LAST

Col neologismo *computational thinking (pensiero computazionale)* si fa riferimento a competenze cognitive per il *problem solving* maturate con lo studio e accumulate con l’esperienza di utilizzo degli strumenti concettuali e operativi propri dell’*informatica*. In questa relazione viene mostrato come l’atteggiamento mentale corrispondente al *pensiero computazionale* sia (invece) il risultato di una lunga evoluzione culturale che si è consolidata nell’ambito delle diverse abilità sviluppate per il *problem solving* raggiungendo il livello attuale con la comparsa dell’*informatica*: l’attitudine al problem solving designata da questo neologismo ha quindi una storia lunga migliaia d’anni, ben documentata a partire dalla invenzione della scrittura.

L'intelligenza, il fenomeno più importante nell'universo, è in grado di trascendere i suoi limiti naturali e di trasformare il mondo a propria immagine. La nostra intelligenza di esseri umani ci ha consentito di superare le restrizioni della nostra eredità biologica e, così facendo, di modificare noi stessi. Siamo l'unica specie in grado di fare una cosa simile.

La storia dell'intelligenza umana inizia con un universo in grado di codificare informazione: questo è stato il fattore abilitante che ha reso possibile l'evoluzione. Come sia accaduto che l'universo fosse fatto proprio in questo modo è in sé una storia interessante. Il modello standard della fisica ha decine di costanti che debbono avere esattamente il valore che hanno, altrimenti gli atomi non sarebbero stati possibili e non ci sarebbero stati né stelle né pianeti, né cervelli né libri sul cervello. Il fatto che le leggi della fisica siano definite con tanta precisione da consentire l'evoluzione dell'informazione sembra incredibilmente improbabile. Tuttavia, secondo il principio antropico, non ne staremmo parlando, se le cose non fossero andate in questo modo. Dove qualcuno vede una mano divina, altri vedono un multiverso che si estende su un'evoluzione di universi in cui quelli noiosi (che non portano informazione) muoiono. Ma, indipendentemente da come sia successo che il mondo fosse così come è, possiamo iniziare la nostra storia con un mondo basato sull'informazione.

La storia dell'evoluzione si dipana con livelli crescenti di astrazione. Gli atomi (in particolare gli atomi di carbonio, che possono creare strutture ricche di informazione istituendo legami in quattro direzioni diverse) hanno formato molecole di complessità crescente; così, la fisica ha fatto nascere la chimica.

Un miliardo di anni più tardi, è evoluta una molecola complessa che chiamiamo DNA, in grado di codificare con precisione lunghe stringhe di informazione e di generare organismi descritti da quei "programmi". E così la chimica ha fatto nascere la biologia.

A ritmo sempre più rapido, gli organismi hanno evoluto reti di comunicazione e di decisione che chiamiamo sistemi nervosi, in grado di coordinare le parti sempre più complesse del loro corpo, nonché i comportamenti che ne facilitavano la sopravvivenza. I neuroni che costituiscono i sistemi nervosi si sono aggregati in cervelli capaci di esibire comportamenti sempre più intelligenti. In questo modo, la biologia ha fatto nascere la neurologia, e i cervelli a quel punto erano la punta avanzata della conservazione e manipolazione di informazione. Così siamo passati dagli atomi alle molecole, al DNA, ai cervelli. Il passo successivo è stato esclusivo della specie umana.

Il cervello dei mammiferi ha una capacità che non si trova in alcuna altra classe di animali: abbiamo la capacità di un pensiero *gerarchico,*di comprendere una struttura composta da elementi differenti organizzati in uno schema, di rappresentare quella struttura con un simbolo e poi di usare quel simbolo come un elemento in una configurazione ancora più elaborata. Questo grazie a una struttura cerebrale che chiamiamo neocorteccia, che negli esseri umani ha raggiunto una soglia di sofisticazione e di capacità tale che possiamo chiamare *idee*queste forme. Attraverso un processo ricorsivo che non ha fine, siamo in grado di costruire idee che sono ancora più complesse: chiamiamo *conoscenza*questa grande matrice di idee collegate ricorsivamente. Solo *Homo sapiens*ha una base di conoscenza che a sua volta evolve, cresce esponenzialmente e viene trasferita da una generazione alla successiva.

Il nostro cervello produce anche un altro livello di astrazione, perché abbiamo usato l'intelligenza dei nostri cervelli insieme con un altro fattore abilitante, un'appendice opponibile (il pollice) per manipolare l'ambiente circostante e costruire utensili. Questi utensili hanno rappresentato una nuova forma di evoluzione, e in tal modo la neurologia ha prodotto la tecnologia. Solo grazie ai nostri utensili la nostra base di conoscenza ha potuto crescere senza limiti.

La nostra prima invenzione è stata il racconto: il linguaggio parlato che ci ha permesso di rappresentare idee con enunciati distinti. Con la successiva invenzione del linguaggio scritto abbiamo sviluppato forme distinte per rappresentare simbolicamente le nostre idee. Biblioteche di linguaggio scritto hanno ampliato enormemente la capacità dei nostri cervelli senza alcun ausilio di conservare ed estendere la nostra base di conoscenza di idee strutturate ricorsivamente.

La storia culturale, sociale economica dell’uomo è caratterizzata da un susseguirsi di esigenze e problemi che hanno stimolato la invenzione di strumenti operativi e concettuali per facilitarne la soluzione. Il continuo presentarsi di nuove esigenze, il tentativo di migliorare soluzioni parziali a vecchi problemi, la curiosità e la ricerca disinteressata del sapere hanno poi costituito la fondamentale spinta al progresso scientifico, culturale, economico e sociale. Durante questa evoluzione l’uomo ha accumulato molte abilità e competenze di *problem solving* acquisendo non solo capacità operative, ma soprattutto attitudini mentali specifiche collegate a queste invenzioni. La prima evidenza documentata di acquisizione di competenze di problem solving legate all’uso di uno strumento è rappresentata dalla abilità nel costruire e utilizzare strumenti fatti con la pietra e l’ultima significativa specializzazione, consolidata nella seconda metà del secolo ventesimo, è dovuta all’informatica e viene indicata col neologismo “pensiero computazionale” o *computational thinking*. La storia di questa evoluzione, che è la storia della civiltà umana, iniziata con la nascita del linguaggio naturale, successivamente è stata alimentata da esperienze di problem solving e pilotata da invenzione di nuovi strumenti che hanno a loro volta generato linguaggi specializzati spesso condizionati dalla tecnologia. Col consolidarsi dell’uso del linguaggio si rafforzano gli strumenti della comunicazione, si formano le tribù fino a diventare stati. Emerge quindi l’esigenza di ricordare impegni commerciali, di tramandare eventi storici, di demandare compiti e di trasmettere informazioni; infine si passa dalla civiltà orale a quella scritta. Col diffondersi di testi scritti (commerciali, letterari, scientifici, normativi, economici,…) emerge l’esigenza di regole effettive per produrre testi corretti e convincenti, interpretarne i contenuti, svolgere argomentazioni e eseguire calcoli; l’uomo ha quindi imparato a servirsi della scrittura facendo nascere con ciò la letteratura, l’astronomia, la filosofia, la geometria, e la logica. Con l’aumentare della complessità, emerge l’esigenza di disporre di strumenti e metodi che aiutino nella soluzione di problemi; l’uomo ha infine sviluppato linguaggi artificiali specifici che gli hanno consentito di accumulare conoscenza, fare scienza e usare la scienza. Al termine di un percorso durato decine di migliaia di anni, dalla scienza e dalla tecnologia emerge l’informatica: l’uomo ha costruito una macchina che sa usare un linguaggio articolato. Si può quindi affermare che l’informatica è emersa al termine di un percorso iniziato nella preistoria, quando l’uomo ha scoperto il vantaggio competitivo derivante dallo *scambio di messaggi orali contenenti informazione*; si è poi consolidata come disciplina quando hanno fatto la loro comparsa *regole di rappresentazione e metodi di elaborazione dei messaggi scritti*; ha infine assunto la forma attuale quando sono comparse *una lingua per il problem solving algoritmico* e *una macchina capace di trattare le argomentazioni come calcoli e di promuovere lo sviluppo del pensiero computazionale*. Questa storia può quindi essere raccontata come intreccio di tre letture diverse: linguistica, strumentale e applicativa.

*La lettura linguistica* vede il linguaggio come strumento di comunicazione tra due o più sistemi (biologici, strumentali o naturali) con regole e modalità di rappresentazione, comunicazione e memorizzazione dell’informazione: alfabeto, grammatica, sintassi, logica e i gerghi delle discipline scientifiche. Questo percorso termina con la definizione formale di linguaggio di programmazione.

*La lettura strumentale* descrive gli ausili strumentali e concettuali utilizzati per facilitare e realizzare il trattamento dell’informazione: sistemi di numerazione, aritmetica, algebra, calcolatrici manuali e automatiche. Questo percorso termina con la progettazione del computer.

*La lettura applicativa* è la storia di esigenze, problemi e curiosità scientifiche che hanno provocato e trainato ricerche specifiche che con l’accumulo dei loro risultati hanno contribuito alla nascita dell’informatica. Questo percorso termina con la nascita del pensiero computazionale, cioè con la constatazione che l’informatica costituisce l’infrastruttura concettuale e operativa fondamentale per sostenere lo sviluppo scientifico, culturale, economico e tecnico del mondo globalizzato.

**1.Problemi strumenti mentalità**

A partire dall’età della pietra l’uomo non solo è diventato abile nel costruire e usare strumenti da lui costruiti, ma ha anche acquisito e interiorizzato la mentalità corrispondente agli strumenti utilizzati e si sono quindi affermate delle specializzazioni: non solo cacciatori, agricoltori o guerrieri, ma anche letterati, scienziati o artisti. Col diffondersi delle specializzazioni l’uomo ha capito che affrontare un problema con lo strumento appropriato e la mentalità giusta ne facilita sicuramente la soluzione: le conoscenze e le competenze associate ai singoli strumenti (operativi o concettuali) costituiscono un notevole vantaggio competitivo (anche nella vita di tutti i giorni!). A volte questi strumenti hanno contenuti talmente innovativi e profondi da generare non solo nuove mentalità, ma anche vere e proprie “rivoluzioni”, non solo culturali, In questa prospettiva, l’evento più significativo che ha prodotto una vera rivoluzione culturale è rappresentata dalla invenzione dei sistemi di scrittura; questa innovazione ha prodotto diverse attitudini e modi di pensare cui ci si riferisce dicendo per esempio avere la mentalità scientifica, artistica o matematica. Nel *Prometeo incatenato,* Eschilo (anche se alcuni non lo ritengono l’autore) fa dire a Prometeo: “*per loro ho inventato i numeri, la prima tra tutte le scienze, ma ho anche insegnato agli umani come combinare tra loro le lettere, memoria di tutte le cose, madre di tutte le arti*”. Un segnale evidente della consapevolezza della rivoluzione culturale che sancisce il passaggio dalla cultura orale a quella scritta è documentata nella gerarchia dei personaggi dell’Olimpo greco; con la scrittura, la dea della memoria (Mnemosine) è stata sostituita dalle figlie (le Muse), protettrici delle arti e della scienza. Un segno evidente e concreto del passaggio dalla cultura orale a quella scritta è documentato nel corso del primo millennio a.C. in Grecia con la nascita della letteratura (non solo Omero), della filosofia (dal maestro Socrate, che non credeva alla importanza dello scrivere, all’allievo Platone che, con la scrittura dei suoi “Dialoghi” ha di fatto documentato la nascita di questa disciplina), della matematica (con gli “Elementi” di Euclide) e dell’astronomia (formalizzata all’inizio del primo millennio d.C. con l’Almagesto di Tolomeo). Non trascurabile per evidenziare l’importanza della introduzione di strumenti culturali connessi con la scrittura è il rogo dei libri avvenuto in Cina col cambio delle dinastie dominanti. Verso la fine del primo millennio a.C. l’uomo ha a disposizione tutti gli strumenti che permettono l’esplosione della cultura. I sistemi di scrittura e di numerazione infatti, non solo permettono l’accumulo di conoscenze, ma incoraggiano la riflessione su contenuti, modi e forme del pensiero e favoriscono la comparsa e la elaborazione di astrazioni. In particolare, come risultato di queste astrazioni si ha la comparsa e lo sviluppo della logica e dell’aritmetica, come discipline che permettono la manipolazione di segni e, quindi, di idee.

**2.Dalla scrittura ai linguaggi.**

Con la invenzione della scrittura si manifesta l’esigenza di descrivere e comunicare in modo effettivo che si concretizza col l’invenzione di particolari strumenti linguistici per trattare in modo esplicito e non ambiguo i problemi nelle rispettive discipline; questa esigenza si è quindi concretizzata con la proposta di linguaggi (o gerghi) via via sempre più efficaci e specifici.

All’inizio del secondo millennio a.C. (circa 1800) Hammurabi ha iniziato ad utilizzare uno pseudo linguaggio giuridico a clausole contenente strutture tipo

se <predicato> allora <azione>

per descrivere un codice legislativo. A metà del primo millennio a.C. Platone ha colto un nesso profondo fra il linguaggio della dialettica, da lui definito fondamentale per trattare i problemi della conoscenza e il calcolo(1). Aristotele ha contribuito a fondare la logica come linguaggio per costruire argomentazioni cogenti. Euclide ha utilizzato un linguaggio (logico matematico) per descrivere le dimostrazioni nel sistema formale della geometria. Leibniz ipotizza che con la introduzione di un sistema per descrivere concetti e di regole per realizzare inferenze si possa costruire una lingua

universale per descrivere le “discussioni fra filosofi” con modalità simili a quelle usate per le “operazioni dei computisti”(2) . Le idee di Leibniz ebbero una prima parziale realizzazione con l’algebra di Boole, presentata come una legge del pensiero; non è la lingua universale ipotizzata da Leibniz, ma è comunque sufficiente per descrivere il sillogismo di Aristotele come un calcolo!(3)

Galilei ha fondato la scienza moderna utilizzando in modo innovativo strumenti inventati e utilizzati per diversi problemi: col telescopio ha rinnovato in modo radicale l’astronomia e col linguaggio della matematica (di Euclide) ha rifondato lo studio della fisica. Un ulteriore modo innovativo di usare un linguaggio scritto è stato introdotto nel XVIII secolo dagli illuministi ed è stato concretizzato da Diderot e D’Alembert col loro progetto di scrivere un compendio del sapere umano pubblicato come *Enciclopedia* o *Dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri* (*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*). Una delle caratteristiche innovative di questo progetto è rappresentato dal tentativo di descrivere non solo i contenuti del “sapere” (con l’intento di predisporre una documentazione scritta), ma anche di consentire ai futuri lettori di apprendere il “saper fare” (delle arti e dei mestieri): un mestiere descritto in modo esplicito, completo e non ambiguo può essere appreso da chi conosce il linguaggio specifico usato per la sua descrizione! Con questa opera, Diderot e D’Alembert dimostrano che, utilizzando linguaggi appropriati, è possibile descrivere non solo idee e fatti, ma anche abilità e competenze. Alla conoscenza di questo linguaggio è associato l’atteggiamento mentale per acquisire le corrispondenti competenze: mentalità o pensiero tecnico operativo.

**3.Il caso della mentalità computazionale.**

Col tempo ci si è accorti che sono i linguaggi specialistici gli strumenti fondamentali per affrontare con successo i problemi di ogni argomento nelle rispettive discipline. La diffusione e l’utilizzo sistematico di questi linguaggi disciplinari ha determinato la formazione di atteggiamenti mentali o di modi specifici per pensare e formalizzare i problemi e per descriverne i metodi di soluzione. Ad ogni linguaggio viene naturalmente associato un modo di pensare e quindi una specifica mentalità.

Hammurabi ha inventato un linguaggio (giuridico) per descrivere come si fa ad emettere sentenze a partire da dati/informazioni che descrivono un fatto. Le persone che hanno studiato, usato e perfezionato questo linguaggio hanno acquisito la mentalità giuridica.

Euclide ha adottato un “linguaggio” per articolare, in geometria, una argomentazione convincente; questo linguaggio (col contributo di Aristotele e con adattamenti, miglioramenti e approfondimenti successivi) ha portato alla creazione della mentalità logica utilizzata non solo in matematica e in filosofia, ma diffusa successivamente in tutte le discipline in cui è richiesta una argomentazione rigorosa.

Continuando ad usare il metodo avviato da Galilei e col contributo di Newton è nata la mentalità scientifica: “ciò che l’esperienza insegna si deve anteporre a qualsiasi ragionamento ancorché assai fondato”.

Queste mentalità non sono riservate ai rispettivi specialisti; la mentalità giuridica non la possiedono solo giudici e avvocati: ogni cittadino sa (o dovrebbe sapere!) cosa è la “legge” e sa quindi determinare i suoi comportamenti per non violarla. Così ogni professionista che sa tener conto dell’esperienza per migliorare e aggiornare le sue competenze dimostra di possedere una mentalità scientifica e sa comunicarla ai suoi collaboratori per migliorarne la professionalità; le opportunità e i vantaggi connessi all’utilizzo della mentalità logica anche in attività quotidiane sono ancora più evidenti delle due citate in precedenza.

Il pensiero computazionale nasce da questa storia ed è l’innovazione concettuale prodotta dall’informatica e si può ritenere l’erede della mentalità evoluta nel tempo originata dalla utilizzazione di linguaggi particolari per descrivere procedimenti e comunicare con altri e coinvolgerli nell’esercizio di arti, mestieri e professioni: il livello di competenze associate al pensiero computazionale è direttamente collegato alla comprensione di ciò che può oggi essere descritto in modo esplicito e effettivo (per esempio con un linguaggio di programmazione) ed essere quindi trasferito come risorsa ad altri (per esempio a un computer).

**4.Il pensiero computazionale oggi.**

Il ruolo dei linguaggi nel percorso concettuale della formazione di una mentalità computazionale ha subito un primo cambiamento decisivo con la costruzione di calcolatrici capaci di eseguire una sequenza di operazioni elementari in modo autonomo. Il lavoro di queste calcolatrici era determinato da un programma costituito dall’elenco delle operazioni da eseguire; il comportamento della macchina era quindi determinato da questo programma. L’insieme delle operazioni eseguibili con le regole per combinarle è un nuovo linguaggio che si può considerare di fatto un proto linguaggio di programmazione. Questo linguaggio rappresenta una singolarità nella storia della cultura: esso infatti è un linguaggio che può essere interpretato da una macchina: il nocciolo della questione è un linguaggio per il trattamento effettivo (esplicito e non ambiguo) dell’informazione e della comunicazione!

Il pensiero computazionale ha infine acquisito particolare importanza con l’informatica nata dalla definizione di linguaggi (comunemente detti di programmazione) usabili per descrivere ogni procedimento effettivo e dalla costruzione di una macchina (il computer) che può eseguire programmi scritti con questi linguaggi. I campi di applicazione dell’informatica non hanno limite: con i linguaggi di programmazione è possibile emulare la capacità espressiva dei gerghi disciplinari.(4) Oggi si possono usare linguaggi di programmazione per formulare problemi (*sapere*) e descrivere procedimenti di soluzione (*saper fare*) e si possono utilizzare computer come esecutori. La competenza associata al pensiero computazionale (*saper far fare* a un computer) si può acquisire formalmente con lo studio, ma si deve perfezionare con la pratica e accumulare con l’esperienza.

**5.E domani il computer potrà apprendere dalla sua esperienza.**

L’Informatica è la disciplina che si occupa dei problemi connessi al trattamento effettivo e automatico dell’informazione digitale, a prescindere dal suo significato (per questo ha forti legami con la logica). L’Informatica è (quindi) nata con

la definizione di un linguaggio per descrivere in modo effettivo procedimenti di elaborazione dell’informazione (definizione di algoritmo) e con la costruzione di una macchina per eseguire algoritmi in modo autonomo.

Il piano di lavoro definito dal concetto associato al pensiero computazionale è ora quello di fornire una versione della *Enciclopedia* o *Dizionario ragionato delle scienze, delle arti e dei mestieri* scritta utilizzando linguaggi di programmazione: con ciò si otterrà che un computer potrà esercitare arti, mestieri e professioni!(4)

L’informatica si presta dunque come strumento linguistico universale per trattare (in modo effettivo e non ambiguo) l’informazione in ogni disciplina. I percorsi culturali che hanno accompagnato l’emergere dell’informatica sono associabili a problemi, strumenti e metodi che sono fondamentali per la gestione digitale automatica ed effettiva dell’informazione.

Nella evoluzione ad ogni salto di complessità organizzativa è corrisposto un conseguente salto nella struttura del linguaggio adatto per descriverne i problemi e le soluzioni; nel passaggio dalla fisica alla chimica è emerso un nuovo linguaggio e la differenza è chiaramente visibile osservando i manuali di queste discipline. Analogo salto di struttura linguistica si ha in corrispondenza del passaggio dalle strutture chimiche a quelle biologiche. Anche nei linguaggi di programmazione e più in generale in quelli usati per descrivere i problemi che devono essere risolti via computer sono avvenuti salti di qualità linguistici che si caratterizzano con il livello di astrazione con cui vengono descritti e formalizzati i problemi.

L’abilità di un computer non sarà più condizionata solo dall’imprinting iniziale (dal corredo di programmi trasmesso dal programmatore), ma potrà dipendere in modo essenziale anche dalla esperienza acquisita con la soluzione di problemi e dalle interazioni con l’ambiente, come già avevano ipotizzato Turing e von Neumann, i pionieri di questa disciplina.(5)

NOTE

(1)Platone (Filebo). Tra tutte queste scienze (ἐπιστήμη) il primato spetta alla [**dialettica**](http://it.wikipedia.org/wiki/Dialettica), la più alta forma di conoscenza, «in grado di investigare la chiarezza, la precisione, e il massimo grado di verità». Ma, se non sai calcolare non riuscirai a discutere del bene e del male e la tua vita non sarà quella di un uomo, ma quella di un’ostrica o di una medusa.

Aristotele "Se ogni strumento riuscisse a compiere la sua funzione o dietro un comando o prevedendolo in anticipo, come si dice delle statue di Dedalo o dei tripodi di Efesto... e le spole tessessero da sé e i plettri toccassero la cetra, i capi artigiani non avrebbero davvero bisogno di subordinati, né i padroni di schiavi”

(2)Leibniz. Quo facto, quando orientur controversiae, non magis disputatione opus erit inter duos philosophos, quam inter duos computistas. Sufficiet enim calamos in manus sumere sedereque ad abacos, et sibi mutuo (accito si placet amico) dicere: calculemus. (*De scientia universalis seu calculo philosophico*).

(3)Boole. A proposito dell’algebra di Boole, Frege osservava che lo stesso simbolo (indicato con x) poteva essere interpretato come simbolo della moltiplicazione tra numeri, dell’intersezione tra classi o della congiunzione tra proposizioni. Questa algebra è stata introdotta nel 1854 da George Boole col titolo di *An Investigation of the Laws of Thought*; egli intendeva infatti ricavare possibili indicazioni sulla natura e sulla costituzione della mente umana. Boole ha dimostrato che la deduzione logica poteva essere trattata come un calcolo. Con Shannon, l’algebra di Boole è diventata fondamentale per la descrizione dei circuiti elettronici usati nella costruzione dei computer.

(4)C. Penco: “… Oggi non è nemmeno pensabile studiare lingue naturali e teorie scientifiche senza l’ausilio di qualche formalismo logico-matematico. I linguaggi di programmazione sono diventati uno strumento indispensabile non solo per l’analisi, ma anche per la riproduzione di certe funzioni delle lingue naturali”.

(5)K. Iverson, *Notation as a tool for thought*, Comm. of ACM, Vol. 33(8) pp. 444-465 (1980).

«I linguaggi di programmazione, essendo progettati allo scopo di fornire direttive ai calcolatori, offrono importanti vantaggi in quanto strumenti del pensiero. Non solo sono universali (*general purpose*), ma sono anche eseguibili e non ambigui. L’eseguibilità implica che è possibile utilizzare i calcolatori per effettuare esperimenti su idee espresse in un linguaggio di programmazione, e la mancanza di ambiguità rende possibile precisi esperimenti di pensiero.»

(6)Herbert Simon, uno dei fondatori della disciplina “Intelligenza Artificiale. “Il mio scopo non è stupire o sbalordire, ma è dire che ora nel mondo esistono macchine che possono pensare, imparare e creare.

Inoltre, la loro abilità nel fare queste cose aumenterà rapidamente finché, in un prossimo futuro, il campo dei problemi che esse potranno gestire avrà la stessa estensione di quello a cui si applica la mente umana.

Il computer può essere istruito e può apprendere dall’esperienza; per questo è più rivoluzionario come idea che come insieme di servizi.

Bibliografia

J. M. Wing: Computational thinking. What and Why. The Link (2011).

Simone Martini: Elogio di Babele, Mondo Digitale, (2), 2008.

P. Philips: Computational thinking, a problem solving tool for every classroom. NECC Atlanta 2007.

P. J. Denning: Great principles of computing. URL: http://greatpriciples.org.

Martin Davis: Il calcolatore universale, Adelphi

N. Metropolis e altri: A history of computing in the XX Century

G. Ifrah: The universal history of computing

U. Hashagen e altri: History of computing: Software issues

B. Randell: The Origins of digital Computers

S. Lloyd: Il programma dell’Universo, Einaudi.

Annali della Pubblica Istruzione. 4-5/211. Competizioni di informatica nella scuola dell’obbligo. Le Olimpiadi di Problem Solving.[www.olimpiadiproblemsolving.it](http://www.olimpiadiproblemsolving.it/)

Con Aristotele e fino a tutto il medio evo con la tradizione scolastica, la logica viene usata come strumento per formulare argomentazioni corrette e cogenti. Con la nascita della scienza moderna si ha una rottura; in particolare con Descartes e Locke viene abbandonata la sillogistica e inizia un nuovo metodo della conoscenza basato su una visione meccanicistica del mondo: l’epistemologia.

Leibniz non aderisce a questo cambiamento e continua a occuparsi dei fondamenti della logica aristotelica intravvedendo la possibilità di usare un lingua e di una grammatica universali per descrivere in modo effettivo le argomentazioni in modo analogo a come l’aritmetica descrive ogni forma di calcolo. Quo facto.

Le idee di Leibniz vennero riprese due secoli più tardi da George Boole con la formulazione di una lingua per il calcolo proposizionale e successivamente da Frege per il calcolo dei predicati. In particolare la proposta di Frege era di formulare un linguaggio per realizzare il sogno di Leibniz di poter descrivere le argomentazioni come calcoli.

**Leibniz**

Leibniz sogna la realizzazione di un linguaggio per descrivere le argomentazioni in modo cogente in analogia al linguaggio dell’aritmetica per descrivere i calcoli. Leibniz è un punto singolare nella storia della cultura: filosofo, matematico, ingegnere, giurista, storico, … Ha ideato un il linguaggio ancora oggi utilizzato per descrivere le operazioni di derivazione e integrazione dell’analisi matematica. Ha conosciuto la cultura cinese degli oracoli descritta nel libro *I Ching* nel quale, utilizzando un alfabeto binario, vengono descritte 64 situazioni (le risposte dell’oracolo) accompagnate da istruzioni per *leggerle* e *costruirne* l’interpretazione, simulando un calcolo.

Da queste esperienze Leibniz ha, probabilmente, avuto l’idea di ipotizzare che fosse possibile definire un linguaggio, per descrivere concetti e definire regole inferenziali, utilizzando il quale le argomentazioni assumono l’aspetto di un calcolo: *Quo facto* (definito il linguaggio, cioè la *characteristica universalis* e il *calculus ratiocinator*) ogni controversia filosofica potrà essere risolta col *calculemus*, in analogia a quanto avviene in aritmetica.

**Boole**

Boole mostra che esistono operazioni linguistiche sulle proposizioni che si possono descrivere come operazioni aritmetiche; nel suo lavoro *Le leggi del pensiero* si percepisce la possibilità di realizzare il sogno di Leibniz di esprimere la logica filosofica (*quo facto, calculemus*) con un linguaggio formale. Boole, nella prospettiva del “sogno” di Leibniz, studia le leggi fondamentali delle operazioni della mente per mezzo delle quali si attua il ragionamento e le formula con un linguaggio simbolico di un calcolo per fondare la logica matematica. E’ un principio generale del linguaggio (non solo di quello matematico) che sia consentito di usare simboli (come nomi) per rappresentare qualunque cosa si scelga di voler rappresentare.

In logica matematica, l’algebra di Boole è un linguaggio con due operazioni nel quale i valori delle variabili sono due (spesso denotati con 1 e 0. A proposito dell’algebra di Boole, Frege osservava che una delle due operazioni di questo linguaggio poteva essere interpretata come simbolo della moltiplicazione tra numeri, dell’intersezione tra classi, della congiunzione tra proposizioni.

Boole, nel 1854, nel lavoro *An Investigation of the Laws of Thought* propone un linguaggio col quale si realizza un primo passo nella direzione ipotizzata da Leibniz. In questa algebra/linguaggio esistono due operazioni binarie che sono in genere descritte nel modo seguente usando le due costanti 0 e 1

0 + 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 1;

0 \* 0 = 0; 0 \* 1 = 0; 1 \* 0 = 0; 1 \* 1 = 1.

Boole, con questa proposta, ha dimostrato che la deduzione logica poteva essere trattata come un calcolo. Infatti, le operazioni + e \* possono essere interpretate come unione e intersezione se le variabili rappresentano insiemi; come le due congiunzioni “o” “e” se le variabili sono predicati. Esempio, se X è la classe dei cavalli e Y è quella delle cose bianche X\*Y è la classe dei cavalli bianchi. La classe X\*X rappresenta la classe dei cavalli che sono cavalli e dunque è la classe dei cavalli, ergo X\*X = X e per X costante, è vera solo per X = 0 e per X=1.

De Morgan ha sviluppato queste idee ampliando le operazioni/funzioni di questa algebra; in seguito, col contributo determinante di Shannon, l’algebra di Boole è diventata fondamentale per la descrizione astratta dei circuiti digitali e la costruzione dei computer.

Alcuni calcoli e teoremi descritti col linguaggio di Boole.

**X\*(1-X) = 0 ovvero *la contraddizion che non consente*!** Nessun elemento può appartenere contemporaneamente a un insieme e al suo complemento! Il principio di non contraddizione di Aristotele (non possono essere contemporaneamente vere una proposizione e la sua contraria) viene ottenuto come risultato di un calcolo!

**Teoremi Algebra Booleana (de Morgan)**:

not (A \* B) = not A + not B

not (A + B) = not B \* not A

**Questa algebra può essere applicata per dedurre proprietà logiche (sillogismo)**.

X\*(1-Y) = 0 cioè tutti gli X sono in Y: nessun X è contenuto nel complemento di Y.

Tutti gli X sono Y X\*(1-Y) = 0 <=> X = X\*Y

Tutti gli Y sono Z Y\*(1-Z) = 0 <=> Y = Y\*Z

----------------------

Calcolando: X = X\*Y => X = X\*(Y\*Z) => X = (X\*Y)\*Z =>

X = X\*Z => X – X\*Z = 0 => X\*(1-Z) = 0

Tutti gli X sono Z X\*(1-Z) = 0

Tutte le deduzioni logiche prodotte con sillogismi possono essere descritte col linguaggio di Boole e essere ottenute con calcoli della sua algebra: questo è il primo risultato parziale positivo nella prospettiva ipotizzata da Leibniz.

**Frege**

Frege. Il sogno di Leibniz, dopo Boole, ha fatto un ulteriore passo avanti con la proposta del *Begriffsschrift* di Frege: un linguaggio simbolico formalizzato capace di replicare la struttura del linguaggio naturale. Per ottenere un sistema logico per descrivere tutte le inferenze deduttive della matematica Frege introduce simboli speciali usabili per analizzare la struttura di una singola proposizione. Per questo introduce i quantificatori universale e esistenziale per cui le due proposizioni

Tutti i cavalli sono mammiferi e alcuni cavalli sono purosangue diventano

(x)(se x è un cavallo allora x è un mammifero)

(x)(x è un cavallo e x è un purosangue).

e un”.

La proposizione “tutti gli studenti bocciati sono pigri o stupidi”, posto

B(x) per x è uno studente bocciato

S(x) per x è uno studente stupido

P(x) per x è uno studente pigro

diventa

(x)(B(x)⇒(S(x)P(x))

Da questi esempi si vede che Frege non sta solo elaborando un trattamento matematico della logica, ma di fatto sta creando un nuovo linguaggio artificiale (Begriffsschrift) col quale scrivere inferenze logiche come operazioni eseguibili su simboli in modo meccanico (cioè senza la necessità di capirne il significato).

Il linguaggio di Frege è un ulteriore passo avanti rispetto al progetto di Leibniz: consente, in linea di principio, di descrivere tutti i ragionamenti (matematici), ma non garantisce di raggiungere un risultato concreto in un tempo finito.

Frege introdusse (1879) nell’algebra logica il concetto di variabile

*per ogni x, Se X è vero allora Y è vero;*

*esiste un x tale che: Se x è vero, allora z è vero.*

Cioè non ragioniamo più su predicati fissi, ma su predicati variabili che si possono affermare

1) su tutte le entità di un certo insieme – quantificatore universale;

2) per almeno un elemento dell’insieme – quantificatore esistenziale.

**Russell**

Dopo Boole e Frege anche Russell ha lavorato sul medesimo problema: formulare un insieme di assiomi e di regole di inferenza che permettano di derivare tutte le verità logiche. L’obiettivo di Frege e di Russell era quello di assiomatizzare la logica (il pensiero) così come Euclide aveva assiomatizzato la geometria.

Nei *Principia Mathematica*, tre volumi scritti con Whitehead, viene presentato un sistema di logica simbolica (un linguaggio per descrivere deduzioni) capace di realizzare il programma di Frege di riduzione dell’aritmetica alla logica pura senza incorrere nei paradossi.

Secondo Poincaré, nei *Principia Mathematica* si ammette la possibilità di ridurre la matematica a mero calcolo (il sogno di Leibniz). (Nel sistema formale dei *Principia Mathematica*, il calcolo dei predicati viene usato come un linguaggio di programmazione, … il Prolog).

I *Principia Mathematica* rappresentano un importante tentativo di sistematizzazione delle basi della [matematica](https://it.wikipedia.org/wiki/Matematica) partendo da un insieme definito di [assiomi](https://it.wikipedia.org/wiki/Assioma) e di regole logiche di inferenza. I *Principia* traggono origine dall'opera di Frege che però si era arenata in alcune contraddizioni scoperte dallo stesso [Russell](https://it.wikipedia.org/wiki/Bertrand_Russell), divenute celebri come [paradossi di Russell](https://it.wikipedia.org/wiki/Paradosso_di_Russell). Le difficoltà che avevano portato Frege a dichiarare il proprio fallimento furono evitate nei *Principia* in virtù di una elaborata "[teoria dei tipi](https://it.wikipedia.org/wiki/Teoria_dei_tipi)". Il concetto che sta alla base della teoria dei tipi è il seguente: un insieme appartiene ad un livello "più alto" del livello al quale appartengono i suoi elementi e nessuno può parlare dell'insieme di tutti gli insiemi o costruzioni analoghe (da affermazioni come queste originano i principali paradossi logici).

I *Principia* coprono solo la teoria degli insiemi, i numeri cardinali, ordinali e reali; rami più avanzati della matematica, come l'analisi, non sono trattati all'interno dell'opera; comunque i due autori, alla fine del terzo volume, lasciano intendere come essi siano convinti che tutti i rami della matematica possano essere trattati con il formalismo da loro adottato.

I *Principia* non risolvono però la questione di contraddizioni che possono essere derivate dagli assiomi adottati da Russell e Whitehead, né tantomeno se esistano verità matematiche che non possano essere provate o confutate nel sistema stesso.

Da qui nascono le esigenze di chiarezza proposte da Hilbert.

**Hilbert**

Frege e Russell avevano cercato assiomi e regole per assiomatizzare l’aritmetica, senza riuscirci. Hilbert, in questo contesto culturale per fare chiarezza sulla questione se si possa fondare tutta la matematica sulla logica del primo ordine (linguaggi di programmazione) pone due problemi:

* dimostrare l’esistenza di un sistema formale coerente e completo per l’aritmetica;
* dimostrare l’esistenza di un algoritmo per decidere sulla verità o falsità di una proposizione matematica, cioè dimostrare che il problema della decisione (*Enscheidungsproblem)* è risolubile con un algoritmo.

Hilbert immagina un linguaggio simbolico puramente formale (un linguaggio di programmazione?); quindi vuole dimostrare che per ogni inferenza valida esiste una derivazione della conclusione dalle premesse scrivibile, passo dopo passo, utilizzando questo linguaggio. (per Frege/Russell/Hilbert, il calcolo dei predicati del primo ordine diventerà il Prolog).

Hilbert vuole dimostrare che se una inferenza è tale che per ogni interpretazione delle lettere presenti nelle formule per cui quando le premesse siano enunciati veri anche la conclusione è vera allora è possibile passare dalle premesse alla conclusione usando le regole del suo linguaggio (Frege/Russell/Hilbert…il Prolog).

Esempio. Siano date le due inferenze seguenti

1. Chiunque ami è felice, W ama S quindi W è felice
2. I predatori hanno denti aguzzi, i lupi predano le pecore, quindi i lupi hanno denti aguzzi

In questo caso, il *programma* per eseguire la derivazione è il seguente.

Le inferenze a) e b), posto

A(U,V) [con A(U,V) interpretabile come U ama V oppure come U preda V]

F(U) [interpretabile come U è felice oppure come U ha i denti aguzzi]

possono essere riscritte in questo modo:

Per ogni x se esiste un y tale che A(x,y ) allora F(x),

Il *calculemus* di Leibniz/Frege/Russell/Hilbert è il seguente

(Ā x))(( Ēy) A(x,y) => F(x))

A(U,V)

-------------------------------

F(U)

***Wir muessen wissen, wir werden wissen.***

**Gödel**

Goedel nel 1930 dimostra la completezza e la coerenza dei sistemi di Frege-Russell per la logica del primo ordine: in questi sistemi si possono derivare tutte e sole le verità logiche e successivamente dimostra (per assurdo scrivendo un programma!) che l’*Enscheidungsproblem* non può avere soluzione positiva.

Il Primo Teorema di incompletezza di Gödel dice che:

In ogni teoria matematica T sufficientemente espressiva da contenere l'aritmetica, esiste una [formula](https://it.wikipedia.org/wiki/Formula_ben_formata) ɸ tale che, se T è [coerente](https://it.wikipedia.org/wiki/Coerenza_(logica_matematica)), allora né ɸ né la sua negazione sono dimostrabili in T.

Con qualche semplificazione, il primo teorema afferma che:

*In ogni formalizzazione*[*coerente*](https://it.wikipedia.org/wiki/Coerenza_(logica_matematica))*della matematica che sia sufficientemente potente da poter*[*assiomatizzare*](https://it.wikipedia.org/wiki/Assioma_(matematica))*la teoria elementare dei*[*numeri naturali*](https://it.wikipedia.org/wiki/Numeri_naturali)*— vale a dire, sufficientemente potente da definire la struttura dei numeri naturali dotati delle operazioni di somma e prodotto — è possibile costruire una proposizione sintatticamente corretta che non può essere né dimostrata né confutata all'interno dello stesso sistema.*

Il secondo teorema di incompletezza di Gödel, che si dimostra formalizzando una parte della dimostrazione del primo teorema all'interno del sistema stesso, afferma che:

*Sia* T *una teoria matematica sufficientemente espressiva da contenere l'aritmetica: se* T *è coerente, non è possibile provare la coerenza di* T *all'interno di* T*.*

Con qualche semplificazione,

*Nessun sistema, che sia coerente e abbastanza espressivo da contenere l'aritmetica, può essere utilizzato per dimostrare la sua stessa coerenza.*

**Turing**

Turing Introduce una grammatica formale per manipolare simboli digitali interpretabile come linguaggio di programmazione di basso livello (la Macchina Universale di Turing) esempio concreto formalmente definito di linguaggio alla Frege/Russell/Hilbert; con questo linguaggio è possibile scrivere algoritmi (macchine di Turing) eseguibili in modo meccanico. Con questi strumenti Turing definisce la classe dei problemi Turing-calcolabili, cioè dei problemi risolubili con un programma, un algoritmo o macchina di Turing e mostra che esistono problemi non Turing-calcolabili; con questo viene mostrato costruttivamente che l’***Enscheidungsproblem*** di Hilbert non è risolubile. Una equivalente definizione di calcolabilità viene definita da Alonzo Church.

A. Turing: *On Computable Number with an Application to the Enscheidungsproblem*.

A. Church: *An unsolvable Problem of Elementary Number Theory.*