

# **Informatica teorica: Gli albori**

**Giornate di Informatica Teorica  
dedicate alla memoria di Aldo de Luca**

Giorgio Ausiello

Roma, 10 luglio 2019

Durante gli anni 60 e 70 dello scorso secolo abbiamo assistito ad una evoluzione del campo dell'informatica da tecnologia legata al calcolatore a **scienza del calcolo**:

- da un lato abbiamo visto una evoluzione inarrestabile dell'elettronica che ha portato allo sviluppo di nuove generazioni di mezzi di calcolo e quindi a nuove architetture (dai mainframe al personal computer e alle reti), a nuovi paradigmi di calcolo (calcolo parallelo, calcolo distribuito), a nuovi linguaggi di programmazione;
- allo stesso tempo sono iniziati e si sono sviluppati studi teorici (definizione di modelli formali, metodologie di progetto, tecniche di analisi dei problemi) con lo scopo di progettare sistemi ed applicazioni corretti ed efficienti.

In una prima fase i modelli utilizzati per formalizzare i concetti dell'informatica furono ereditati dalle teorie matematiche sviluppate nella prima metà del XX secolo

- calcolabilità
- logica
- algebra

e furono estesi e applicati allo studio delle proprietà dei nuovi prodotti della tecnologia informatica: calcolatori, programmi e processi di calcolo.

## 1) Modelli di calcolo

Calcolabilità --> Macchine, algoritmi (Turing, Church, Markov, ...)

Reti neurali --> Eventi regolari (Mc Culloch & Pitts, Kleene)

1955-56 Macchine di Mealy e Moore

1956 "Automata studies", Shannon and McCarthy Eds., Princeton

1959 Automi non deterministici (Rabin & Scott)

1963 Random access machines (Shepherdson & Sturgis)

1964-66 "Automata Theory", Caianiello Ed.

1966 Linguaggi funzionali: il CUCH (Böhm & Gross)

1966 Strutture di controllo: il teorema di Böhm & Jacopini

1967 "Computation. Finite and Infinite Machines", M. Minsky

## 2) Proprietà sintattiche dei programmi

Calcolabilità, logica --> Sistemi di riscrittura (Post)

Algebra astratta --> Teoria dei semigrupp (Thue)

1956-1959 Grammatiche formali (Chomsky)

1959 Metalinguaggi: Backus Normal Form (Backus-Naur Form)

1960 Algol 60 Report

1964 "Formal Language Description Languages for Computer Programming", IFIP-TC2

1960-1965 Classes of languages and automata (Oettinger, Schützenberger, Myhill, Kuroda, Greibach)

1969 "Formal Languages and Their Relation to Automata", Hopcroft & Ullman

### 3) Semantica dei programmi

Calcolabilità -->  $\lambda$ -calcolo, logica combinatoria

Logica --> Calcolo dei predicati, Universo di Herbrand

Algebra --> Lattice theory

1960 Semantica operativa dei linguaggi funzionali (McCarthy)

1964 Attribute grammars (Knuth)

1964 Toward a formal semantics (Strachey)

1969 Semantica assiomatica (Floyd, Hoare)

1970 Semantica matematica (denotazionale) (Scott)

1972 Fix-point semantics (Manna, Cadiou, Vuillemin)

1972 Semantica algebrica per schemi di programmi (Nivat)

#### 4) Complessità computazionale

Calcolabilità --> Macchine di Turing, concetti di ricorsività

1960 Proprietà delle 'step counting functions' (Rabin)

1965 Classi di complessità basate su macchine di Turing (Hartmanis & Stearns)

1965 Facile = calcolabile in tempo polinomiale (Edmonds)

1966 Complessità assiomatica machine independent (Blum)

1971 Analisi di algoritmi (Knuth)

1971-72 Riduzioni e NP-completezza (Cook, Karp)

“There was a very special spirit in the air; we knew that we were witnessing the birth of a new scientific discipline centered on the computer” (Richard Karp)

"Attribute grammars were born in the exhilarating days of the mid-60s when a great many fundamental principles of computer science were beginning to be understood. An enormous number of ideas were floating in the air, waiting to be captured in just the right combinations that would prove to be powerful sources of future energy" (Donald Knuth)



Come si è sviluppata l'informatica teorica in Italia in quei primi anni?

Una pietra miliare:

**International School of Physics on "Automata Theory", Ravello, 1964**

**Temi trattati:** Linguaggi formali e automi (codici, automi probabilistici, catene di Markov, ...)

Calcolabilità (funzioni ricorsive, macchine di Turing, algoritmi di Markov,  $\lambda$ -calcolo, ...)

Grafi (algoritmi su grafi, grafi e codici, ...)

Modelli del cervello (reti neurali, ...)

**Partecipanti:** M. Arbib, C. Berge, R. Büchi, M. Davies, M. Gross, M.P. Schützenberger, W. Mc Culloch, M. Nivat, L. Nolin, M. Rabin, L. Verbeek

## La partecipazione italiana:

E. Caianiello, Istituto di Fisica Teorica, Napoli

C. Böhm & W. Gross, INAC-CNR, Roma

A. Caracciolo di Forino, CSCE-CNR, Pisa

V. Amar & G. Putzolu, L.R.E. Olivetti, Pregnana Milanese

M. Borillo & P. Camion, EURATOM, Ispra

+

C. Berge, International Computation Centre, Roma

M.P. Schützenberger, ad honorem, per il suo rapporto con Napoli

Il ruolo del CNR negli anni '60 : capace di cogliere nuove direzioni di ricerca che il mondo universitario più ingessato (e a quel tempo fortemente centralizzato) non era ancora capace di cogliere

Il Laboratorio di Cibernetica (Arco Felice): come dal fallimento di un progetto possono nascere eccellenti gruppi di ricerca: “Essentially the program of cybernetics, although extremely interesting, was too ambitious and the results that were achieved were indeed disappointingly modest with respect to the expected goal. The program originally was to describe neural nets, to design mathematical models of the nervous system and from this to derive an explanation of high level mental functions such as learning, intelligence and even consciousness but the study and understanding of the central nervous system did not develop as expected ... Eventually from cybernetics a series of specific disciplines developed, each one with its own language and its own goals” (Aldo de Luca)

L'Istituto per le Applicazioni del Calcolo (Roma): a fianco alle eccellenti applicazioni del calcolo numerico si sviluppano gli studi su  $\lambda$ -calcolo, logica combinatoria, CUCH, LISP di Böhm, Gross e Jacopini

“In that period I was interested to find the ‘best’ computation model among Turing machines, Post production systems, Markov algorithms, Curry’s combinatory logic (CL) and Church’s lambda-calculus (LC). The fundamental idea was to transform the ‘winning’ model into a powerful and synthetic programming language. The paper that is at the base of structured programming was born from the examination of the structures of some Universal Turing Machines, together with Jacopini’s intuition that the necessary restrictions might have been represented in terms of flow diagrams. At the same time I was convinced that indeed with CUCH, a fusion of CL and LC, I had found the best abstract machine” (Corrado Böhm)

Il Centro di Studi sulle Calcolatrici Elettroniche (dal 1970: Istituto di Elaborazione dell'Informazione, Pisa): a valle del progetto di costruzione della CEP si sviluppano vari filoni di ricerca teorica: algoritmi di Markov, pattern recognition, algoritmi e strutture dati, teoria della programmazione, ecc.

Nel 1970 l'istituzione dei primi corsi di laurea in Scienza dell'Informazione determina la diffusione di gruppi di ricerca di informatica teorica in ambito universitario.

1971: Nasce il termine informatica teorica e si creano le basi per la comunità scientifica che opera in questo campo.

1971, giugno: Maurice Nivat, insieme a Nolin e Schützenberger, propone una cooperazione interuniversitaria a livello europeo sui temi dell'informatica teorica con la finalità di favorire l'armonizzazione dei programmi di insegnamento, la circolazione degli studenti e la collaborazione scientifica.

Nivat e Caracciolo di Forino organizzano una riunione a Bruxelles su questi temi

1971, luglio: "Rapport préliminaire sur l'informatique théorique"

Primo tentativo di definire il campo dell'informatica teorica: un documento di 12 pagine preparato a Parigi VII da Nivat, Nolin e Schützenberger (cosa è e cosa non è informatica teorica)

22 JUIL. 1971

## RAPPORT PRELIMINAIRE SUR L'INFORMATIQUE THEORIQUE

---

Dans les pages qui suivent nous tentons d'isoler et de délimiter aussi précisément que possible un domaine de recherche que, faute de mieux, nous appellerons Informatique Théorique.



Maurice Nivat (a sinistra) con il suo maestro  
Marcel-Paul Schützenberger nel 1972



## Tre principali campi:

- **Algoritmi**: modelli di calcolo parallelo, memorie a molti livelli, tecniche di progetto (divide-et-impera), analisi di algoritmi nel caso peggiore e nel caso medio, complessità di calcolo
- **Automi e linguaggi formali**: proprietà dei linguaggi regolari e dei linguaggi context-free, automi non-deterministici, tree languages e tree automata
- **Semantica formale dei linguaggi di programmazione**: verifica di correttezza (Floyd, pre- e post- condizioni), trasformazioni di programmi (ricorsivo vs iterativo), schemi di programmi, approcci basati su  $\lambda$ -calcolo (Scott) e su logica combinatoria (Nolin)

1971, ottobre: prima riunione a Firenze per

- preparazione alla riunione prevista in sede europea (Caracciolo)
- creazione del Gruppo Ricercatori di Informatica Teorica (GRIT - poi, negli anni 1986-87 risorto come Capitolo Italiano dell'EATCS anche per iniziativa di Aldo de Luca e Bruno Apolloni).

Comitato promotore del GRIT

Torino: Böhm

Milano: Degli Antoni, Somalvico

Firenze: Pinzani

Pisa: Luccio, Montanari

Roma: Ausiello, Venturini

Napoli: de Luca, Lauria

1971, dicembre: Censimento delle ricerche svolte in Italia nell'ambito dell'informatica teorica.

Scienza dell'Informazione, Torino (Böhm, Dezani, Ronchi della Rocca, Simone, ...):  $\lambda$ -calcolo, strutture informative, linguaggi di programmazione

Elettronica e Cibernetica, Milano (Degli Antoni, Bertoni, De Michelis, Maiocchi, ...): automi e linguaggi formali, correttezza dei programmi

Politecnico di Milano (Crespi Reghizzi, Della Vigna, Ghezzi, Sami, ...): basi di dati relazionali, linguaggi context-free, traduzione diretta dalla sintassi, reti di Petri

Istituto Matematico, Firenze (Aguzzi, Cesarini, Pinzani, Soda, ...): teoria della programmazione

Istituto di Elaborazione dell'Informazione-CNR + Istituto di Scienza dell'Informazione, Pisa (Aiello, Albano, Caracciolo, Carlucci, Grasselli, Levi, Luccio, Martelli, Montanari, Sirovich, Sprugnoli, ...): algoritmi di Markov, elaborazione dell'informazione semantica (QA systems, problem solving, semantica dei programmi), teoria dell'elaborazione di immagini, strutture informative (hashing), euristiche per problemi di ottimizzazione

Istituto per le Applicazioni del Calcolo-CNR, Roma (Ausiello, Jacopini, Longo, Miola, Venturini, ...): abstract computational complexity, linguaggi funzionali, sistemi di calcolo simbolico, deduzione automatica

Laboratorio di Cibernetica-CNR, Arco Felice (de Luca, Germano, Maggiolo Schettini, Termini, ...): fuzzy set, algoritmi di Markov

Gruppo di Cibernetica presso Istituto di Fisica Teorica, Napoli (Aloisio, Lauria, Trautteur, ...): modelli neuronali, automi, ricorsività, complessità

Nel 1971 Aldo de Luca prende la libera docenza in Cibernetica e teoria dell'informazione.

Primi contributi:

A. de Luca, S. Termini, Algebraic properties of fuzzy sets, Journal Mathematical Analysis and Applications

A. de Luca, S. Termini, Algorithmic aspects in complex systems analysis, Scientia

1972: 'Annus mirabilis' dell'informatica teorica

Alcuni pilastri dell'informatica teorica.

- Programmazione: "Structured Programming" (Dahl, Dijkstra, Hoare)
- Algoritmi e strutture dati: invenzione dei B-tree (Bayer & McCreight), algoritmi lineari su grafi basati su DFS (Tarjan)
- Basi di dati: pubblicazione dei proceedings del Courant Symposium su "Data Base Systems" (modello relazionale di Codd)
- Semantica: Courant Symposium su "Formal Semantics" (Scott)
- Verifica di correttezza di programmi: "ACM Conference on Proving Assertions about Programs" (Milner presenta LCF - Logic for Computable Functions)
- Programmazione logica: nasce PROLOG (Colmerauer)
- Complessità di calcolo: Simposio IBM su "Complexity of Computer Computations" (problemi NP-completi, Karp)

## Nascita della Associazione Europea di Informatica Teorica

**1972, gennaio:** Riunione a Bruxelles finalizzata alla creazione della collaborazione interuniversitaria in informatica teorica e che porta alla nascita della Association Européenne d'Informatique Théorique (AEIT - EATCS).

La riunione è coordinata da Alfonso Caracciolo di Forino e da Maurice Nivat. Sei paesi rappresentati: Belgio, Francia, Germania, Gran Bretagna, Italia, Paesi Bassi.

L'istituzione dell'EATCS viene ufficialmente approvata dal Re del Belgio nel settembre 1972.

Nascita delle due principali conferenze europee di informatica teorica,

1972, luglio: Primo ICALP, chair M.-P. Schützenberger  
Parigi, INRIA

Tematiche: come nel documento di Nivat

Lingue ufficiali: inglese, francese, tedesco

1972, agosto: Primo MFCS, chair H. Rasiowa  
Jablonna (Varsavia)

Tematiche: Semantica di linguaggi di programmazione,  
fondamenti teorici dei sistemi di calcolo

Lingue ufficiali: inglese e russo



... e ...

primo importante lavoro di Aldo de Luca su rivista internazionale

A. de Luca, S. Termini, A definition of a non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy sets theory, Information and Control 20 (4)

(2240 citazioni)



Per quanto hai dato alla scienza,  
per la tua amicizia  
**GRAZIE ALDO!**