

## INFORMAZIONI PERSONALI

Massimiliano Goldwurm  
Nato a Milano nel 1958

POSIZIONE RICOPERTA  
Dal 01/10/2009

Professore ordinario,  
Università degli Studi di Milano  
Settore scientifico-disciplinare INF/01-Informatica

Attualmente afferente al  
Dipartimento di Matematica  
Via Saldini 50, Milano

## ESPERIENZA PROFESSIONALE

Da Ottobre 2009 a Maggio 2012

Direttore di Dipartimento  
Dip. Scienze dell'Informazione  
Università degli Studi di Milano

Dal 01/10/2006 al 30/09/2009

Professore Straordinario  
Università degli Studi di Milano  
Settore scientifico-disciplinare INF/01 - Informatica

Dal 01/11/1992 al 30/09/2006

Professore Associato  
Università degli Studi di Milano  
Confermato dall'01/11/1995, Settore K05B - Informatica

Dal 01/04/1990 al 31/10/1992

Ricercatore Universitario  
Università degli Studi di Milano  
Gruppo 092

## ISTRUZIONE E FORMAZIONE

Dal 1984 al 1987

Dottorato di ricerca in Informatica  
Università degli Studi di Milano, titolo conseguito nel 1988  
Tesi "Formal series methods in algorithms analysis for problems on languages"  
Relatori: Prof. Alberto Bertoni (Unimi), Prof. Aldo de Luca (Univ. "La Sapienza Roma), Prof. Emo Welzl (Freie Universität Berlin).

Luglio 1982

Laureato in Matematica  
Indirizzo Applicativo  
Università degli Studi di Milano

## ATTIVITA' DI RICERCA

## Descrizione generale

L'attività di ricerca svolta si colloca principalmente nell'area della complessità computazionale, dell'analisi di algoritmi e della teoria degli automi e dei linguaggi formali. I principali strumenti di indagine utilizzati sono legati alle funzioni generatrici e ai metodi probabilistici. I risultati più recenti di questa attività possono essere raggruppati in 4 filoni: algoritmi per problemi di clustering, statistiche di pattern, complessità di linguaggi bidimensionali, riconoscimento di linguaggi traccia razionali.

## Algoritmi per problemi di clustering

A) Algoritmi per problemi di clustering  
Il classico problema di clustering consiste nel determinare una partizione di un insieme di punti in  $R^d$  che minimizzi la somma delle distanze degli stessi punti dai rispettivi centroidi.

Procedure per la soluzione di questo problema sono alla base di molti metodi di apprendimento e trovano applicazioni in diversi ambiti di ricerca di informatica. Il tema specifico affrontato in questo ambito riguarda lo studio della complessità di problemi di clustering assumendo vincoli di cardinalità sugli insiemi della partizione.

I risultati principali riguardano algoritmi efficienti per il 2-clustering nel piano assumendo la norma euclidea o quella  $L_1$ , mentre in vari altri casi si è provato che il problema è NP-difficile.

Le pubblicazioni relative a questo argomento appaiono nell'elenco sottostante ai riferimenti [A24,A23,A22,C20,C19,C18].

**Statistiche di pattern**
**B) Statistiche di pattern**

Questo argomento è di fatto compreso nell'ambito dei problemi di conteggio e generazione casuale di parole in determinate famiglie di linguaggi formali. L'obiettivo consiste nella valutazione probabilistica del numero di occorrenze di pattern in un testo generato a caso in modo opportuno. Questa problematica trova motivazioni e applicazioni in diversi ambiti di ricerca quali lo studio di modelli statistici per generare sequenze di DNA e l'analisi di algoritmi di pattern matching.

I nuovi risultati riguardano le proprietà di tali statistiche quando il testo è generato a caso in modo uniforme tra le parole di data dimensione in linguaggi regolari (modello razionale). Questo modello estende i tradizionali modelli markoviano e bernoulliano, ampiamente utilizzati nella letteratura degli anni '80 e '90. Sono state determinate proprietà asintotiche e distribuzioni limite del numero di occorrenze di pattern per i modelli razionali nei quali la matrice di transizione dell'automa è primitiva e per i principali modelli formati due o più componenti primitive. Alcuni di questi risultati sono stati espressi mediante teoremi limite locali che hanno riguardato i modelli primitivi e, più recentemente, alcuni modelli a due componenti.

Le pubblicazioni relative a questo argomento sono [da A14 a A18, da C10 a C15 e C21, da D11 a D16].

**Linguaggi bidimensionali**
**C) Linguaggi bidimensionali**

I linguaggi bidimensionali, detti anche "picture languages", sono stati introdotti in letteratura come estensione bidimensionale dei tradizionali linguaggi stringa. Un linguaggio di questo tipo è definito come insieme di array bidimensionali di forma rettangolare, formati da simboli estratti da un alfabeto finito. Sono stati considerati originariamente come modelli formali per l'analisi di immagini in connessione con problemi di riconoscimento di pattern. Una linea di ricerca che si è affermata recentemente nella letteratura riguarda l'estensione al caso bidimensionali dei classici risultati sui linguaggi formali e gli automi. In questo contesto i risultati principali ottenuti riguardano la caratterizzazione, in termini di complessità computazionale, dei linguaggi unari tiling-riconoscibili (gli analoghi dei linguaggi regolari monodimensionale). In particolare questi risultati offrono uno strumento per verificare se un linguaggio bidimensionale è riconoscibile o meno.

Le pubblicazioni relative a questo argomento sono [A20,C16].

**Linguaggi traccia**
**D) Riconoscimento di linguaggi traccia razionali**

I linguaggi traccia sono stati originariamente proposti in letteratura per lo studio della semantica di schemi di computazione concorrenti. Essi sono definiti a partire da un alfabeto finito e da una relazione di indipendenza tra i simboli dell'alfabeto che determina in modo naturale una relazione di equivalenza sull'insieme di tutte le parole dell'alfabeto. Una traccia è una classe di equivalenza di tale relazione e un linguaggio traccia è una famiglia di tracce. Anche in questo caso le relative proprietà sono state studiate soprattutto come estensione della teoria dei linguaggi formali tradizionali.

I risultati principali in questo ambito riguardano l'analisi di algoritmi per il riconoscimento di linguaggi traccia razionali. Questo tema è legato in modo naturale allo studio del parallelismo nei processi di compilazione. In alcuni casi si sono ottenuti algoritmi che risolvono il problema di riconoscimento per linguaggi traccia razionali in tempo lineare.

Le pubblicazioni relative a questo argomento sono [A21, A12, A10, A9, A5, A2, B1, C5, C4, C3].

## PUBBLICAZIONI

## Articoli su riviste

- [A24] M. Goldwurm, J. Lin, F. Saccà, *On the complexity of clustering with relaxed size constraints in fixed dimension*, Theoretical Computer Science, vol. 717 (2018), 37-46.
- [A23] J. Lin, A. Bertoni, M. Goldwurm, *Exact algorithms for size constrained 2-Clustering in the plane*, Theoretical Computer Science, vol. 629 (2016), 80-95.
- [A22] A. Bertoni, M. Goldwurm, J. Lin, F. Saccà, *Size constrained distance clustering: separation properties and some complexity results*, Fundamenta Informaticae, vol. 115 (2012), 125-139.
- [A21] L. Breveglieri, S. Crespi Reghizzi, M. Goldwurm, *Efficient recognition of trace languages defined by repeat-until loops*, Information and Computation, vol. 208 (8), 2010, 969-981.
- [A20] A. Bertoni, M. Goldwurm, V. Lonati, *The complexity of unary tiling recognizable picture languages: nondeterministic and unambiguous cases*, Fundamenta Informaticae, vol. 91 (2), 2009, 231-249.
- [A19] I. Cattinelli, M. Goldwurm, N.A. Borghese, *Interacting with an artificial partner: modeling the role of emotional aspects*, Biological Cybernetics, vol. 99, 2008, 473-489.
- [A18] M. Goldwurm, R. Radicioni, *Probabilistic models for pattern statistics*, RAIRO Theoretical Informatics and Applications, vol. 40, 2006, 207-225.
- [A17] M. Goldwurm, V. Lonati, *Pattern statistics and Vandermonde matrices*, Theoretical Computer Science, vol. 356 (1-2), 2006, 153-169.
- [A16] A. Bertoni, C. Choffrut, M. Goldwurm, V. Lonati, *Local limit properties for pattern statistics and rational models*, Theory of Computing Systems, vol. 39 (1), 2006, 209-235.
- [A15] D. de Falco, M. Goldwurm, V. Lonati, *Frequency of symbol occurrences in bicomponent stochastic models*, Theoretical Computer Science, vol. 327 (3), 2004, 269-300.
- [A14] A. Bertoni, C. Choffrut, M. Goldwurm, V. Lonati, *On the number of occurrences of a symbol in words of regular languages*, Theoretical Computer Science, vol.302 (2003), 431-456.
- [A13] A. Bertoni, M. Goldwurm, M. Santini, *Random generation for finitely ambiguous context-free languages*, RAIRO Theoretical Informatics and Applications, vol. 35 (2001), 499-512.
- [A12] M. Goldwurm, M. Santini, *Cliques polynomials have a unique root of smallest modulus*, Information Processing Letters, vol. 75 (2000), 127-132.
- [A11] C. Choffrut, M. Goldwurm, *Timed automata with periodic clock constraints*, Journal of Automata, Languages and Combinatorics, vol. 5 (2000), 371-403.
- [A10] C. Choffrut, M. Goldwurm, *Determinants and Moebius functions in trace monoids*, Discrete Mathematics vol.194 (1999), 239-247.
- [A9] A. Avellone, M. Goldwurm, *Analysis of algorithms for the recognition of rational and context-free trace languages*, RAIRO Theoretical Informatics and Applications, vol. 32 (1998), 141-152.
- [A8] M. Goldwurm, *Random generation of words in an algebraic language in linear binary space*, Information Processing Letters vol. 54 (1995), 229-233.
- [A7] C. Choffrut, M. Goldwurm, *Rational transductions and complexity of counting problems*, Mathematical Systems Theory vol. 28 (1995), 437-450.
- [A6] A. Bertoni, M. Goldwurm, *On ranking 1-way finitely ambiguous NL languages and  $\#P_1$ -complete census functions*, RAIRO Theoretical Informatics and Applications vol.27 (1993), 135-148.
- [A5] M. Goldwurm, *Probabilistic estimation of the number of prefixes of a trace*, Theoretical Computer Science vol. 92 (1992), 249-268.
- [A4] A. Bertoni, D. Bruschi, M. Goldwurm, *Ranking and formal power series*, Theoretical Computer Science vol. 79 (1991), 25-35;
- [A3] A. Bertoni, M. Goldwurm, N. Sabadini, *The complexity of computing the number of strings of given length in context-free languages*, Theoretical Computer Science vol. 86 (1991), 325-342.
- [A2] M. Goldwurm, *Some limit distributions in analysis of algorithms for problems on trace languages*, International Journal of Foundations of Computer Science vol. 1 n.3 (1990), 265-276.
- [A1] A. Bertoni, M. Goldwurm, P. Massazza, *Counting problems and algebraic formal power series in noncommuting variables*, Information Processing Letters vol. 34 (1990), 117-121.

Contributo in volume

[B1] A. Bertoni, M. Goldwurm, G. Mauri and N. Sabadini, *Counting techniques for inclusion, equivalence and membership problems*, Capitolo n. 5 in *The book of traces*, V. Diekert e G. Rozenberg editors, World Scientific Publishing, 131--164, 1995.

Articoli a conferenze con referaggio

[C21] M. Goldwurm, L. Lin, M. Vignati, *A local limit property for pattern statistics in bicomponent stochastic models*, Proceedings 20<sup>th</sup> DCFSS, International Conference on Descriptive Complexity of Formal Systems, Lecture Notes in Computer Science n.10952, Springer (2018), 114-125.

[C20] M. Goldwurm, L. Lin, F. Saccà, *On the complexity of clustering with relaxed size constraints*, Proceedings 11<sup>th</sup> AAIM, International Conference on Algorithmic Aspects in Information and Management, LNCS n.9778, Springer-Verlag (2016), 26-38.

[C19] A. Bertoni, M. Goldwurm, L. Lin, *Exact algorithms for 2-clustering with size-constraints in the Euclidean plane*, Proceedings SOFSEM 2015, 41<sup>st</sup> International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Pec pod Sněžkou (Czech Republic), LNCS n.8939, Springer-Verlag (2015), 128-139.

[C18] A. Bertoni, M. Goldwurm, L. Lin, L. Pini, *Size-constrained 2-clustering in the plane with Manhattan distance*, Proceedings of the 15th ICTCS, Italian Conference on Theoretical Computer Science, Perugia, September 2014, <http://ceur-ws.org/Vol-1231/>, pp. 33-44, 2014.

[C17] L. Breveglieri, S. Crespi Reghizzi, M. Goldwurm, *Efficient recognition of trace languages defined by repeat-until loops*, International Conference WORDS 2009, Salerno, 14-18 Settembre 2009.

[C16] A. Bertoni, M. Goldwurm, V. Lonati, *On the complexity of unary tiling-recognizable picture languages*, Proceedings STACS 2007, 24<sup>nd</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, LNCS n.4393, Springer-Verlag (2007), 381-392.

[C15] M. Goldwurm, R. Radicioni, *Average value and variance of pattern statistics in rational models*, Proceedings CIAA 2007, 12<sup>th</sup> International Conference on Implementation and Applications of Automata, LNCS n. 4783, Springer-Verlag (2007), 62-72.

[C14] M. Goldwurm, V. Lonati, *Pattern occurrences in multicomponent models*, Proceedings STACS 2005, 22<sup>nd</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, V. Diekert and B. Durand Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 3404, Springer-Verlag (2005), 680-692.

[C13] C. Choffrut, M. Goldwurm, V. Lonati, *On the maximum coefficients of rational formal series in commuting variables*, Proceedings DLT 2004, 8<sup>th</sup> International Conference Developments in Language Theory, Auckland (New Zealand), December 2004, C.S. Calude, E. Calude and M.J. Dinneen Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 3340, Springer (2004), 114-126.

[C12] A. Bertoni, C. Choffrut, M. Goldwurm, V. Lonati, *Local limit distributions in pattern statistics: beyond the Markovian models*, Proceedings STACS 2004, 21<sup>st</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, Montpellier (France), March 2004, V. Diekert and M. Habib Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 2996, Springer-Verlag (2004), 117-128.

[C11] D. de Falco, M. Goldwurm, V. Lonati, *Pattern statistics in bicomponent stochastic models*, Proceedings Words'03, Turku (Finland), T. Harju and J. Karhumäki Editors, TUCS General Publication n. 27 (August 2003), 344-357.

[C10] D. de Falco, M. Goldwurm, V. Lonati, *Frequency of symbol occurrences in simple non-primitive stochastic models*, Proceedings DLT 2003, 7<sup>th</sup> International Conference Developments in Language Theory, Szeged (Hungary) July 2003, Z. Esik and Z. Fülöp Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 2710, Springer-Verlag (2003), 242-253.

[C9] M. Goldwurm, B. Palano, M. Santini, *On the circuit complexity of random generation problems for regular and context-free languages*, Proceedings STACS 2001, 18<sup>th</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, Dresden (Germany), February 2001, A. Ferreira and H. Reichel Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 2010, Springer-Verlag (2001), 305-316.

[C8] A. Bertoni, M. Goldwurm, M. Santini, *Random generation and approximate counting of ambiguously described combinatorial structures*, Proceedings STACS 2000, 17<sup>th</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, Lille (France), February 2000, H. Reichel and S. Tison Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 1770, Springer-Verlag (2000), 567-580.

[C7] C. Choffrut, M. Goldwurm, *Rational transductions and complexity of counting*

*problems*, Proceedings 17th M.F.C.S., Lecture Notes in Computer Science n.629, Springer-Verlag (1992), 181-190.

[C6] A. Bertoni, D. Bruschi, M. Goldwurm, *Ranking and formal power series*, Proceedings 1<sup>st</sup> Italian Conference in Algorithms and Complexity, World Scientific (1991), 159-171.

[C5] M. Goldwurm, *Some limit distributions in analysis of algorithms for problems on trace languages*, Proceedings 3<sup>rd</sup> Italian Conference in Theoretical Computer Science, A. Bertoni, C. Böhm, P. Miglioli editors, World Scientific (1989), 285-298.

[C4] A. Bertoni, M. Goldwurm, *On the prefixes of a random trace and the Membership Problem for context-free trace languages*, Proceedings 5<sup>th</sup> International Conference A.A.E.C.C., Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes, Menorca (Spagna), L. Huguet and A. Poli Editors, Lecture Notes in Computer Science n.356, Springer-Verlag (1989), 35-59.

[C3] A. Bertoni, M. Goldwurm, N. Sabadini, *Analysis of a Class of Algorithms for Problems on Trace Languages*, Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference A.A.E.C.C., Applicable Algebra, Error-Correcting Codes, Combinatorics and Computer Algebra, Karlsruhe (RFT) Th. Beth and M. Clausen Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 307, Springer-Verlag (1988), 202-214.

[C2] A. Bertoni, M. Goldwurm, N. Sabadini, *Computing the Counting Function of Context-free Languages*, Proceedings STACS 87, 4<sup>th</sup> Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, Passau (RFT), F.J. Brandenburg, G. Vidal-Naquet, M. Wirsing Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 247, Springer-Verlag (1987), 167-179.

[C1] A. Bertoni, M. Goldwurm, G. Mauri, N. Sabadini, *Parallel Algorithms and the Classification of Problems*, Proceedings WOPLOT 86 - Parallel Processing: Logic, Organization, and Technology, Monaco (RFT), J.D. Becker and I.Eisele Editors, Lecture Notes in Computer Science n. 253, Springer-Verlag (1986), 206-226.

#### SOGGIORNI DI STUDIO

Ha svolto vari periodi di soggiorno e studio presso università e centri di ricerca all'estero, e in particolare presso il Coordinated Science Laboratory, University of Illinois at Urbana, USA (nel 1987, su invito del Prof. Franco Preparata), presso il L.I.T.P. e il L.I.A.F.A. dell'Università Parigi VII (negli anni 1994, 1997, 2000, 2003, 2004, 2005 su invito del Prof. Christian Choffrut), presso il LaB.R.I. dell'Università Bordeaux I (nel 2005 su invito del Prof. Jean-Guy Penaud) e presso il Dipartimento di Matematica dell'Università di Turku, (Finlandia, 2004) su invito del Prof. Juhani Karhumäki.

#### ATTIVITA' DIDATTICA

Presso l'Università degli Studi di Milano ha tenuto in qualità di titolare i seguenti insegnamenti:

dall' a.a. 2015/16 a oggi	- <i>Algoritmi</i> , laurea triennale in Matematica, 5 cfu;
dall' a.a. 2015/16 a oggi	- <i>Fondamenti di Informatica</i> , laurea magistrale in Matematica, 6 cfu;
dall' a.a. 2016/17 a oggi	- <i>Metodi probabilistici per l'Informatica</i> , laurea magistrale di Informatica, 6 cfu;
dall' a.a. 1995/96 al 2015/16	- <i>Algoritmi e strutture dati</i> , laurea triennale di Informatica, 12 o 9 cfu;
dall' a.a. 2012/13 al 2014/15	- <i>Algoritmi e strutture dati II</i> , laurea triennale di Informatica, 6 cfu;
dall' a.a. 2006/07 al 2014/15	- <i>Processi stocastici (modelli Markoviani)</i> , laurea magistrale di Informatica, 6 cfu;
a.a. 2001/02 e 2002/03	- <i>Automi e linguaggi formali</i> , laurea triennale di Informatica, 6 cfu;
dall' a.a. 1993/94 al 1995/96	- <i>Teoria dei linguaggi</i> , laurea quadriennale in Matematica, =12 cfu;
a.a. 1992/93	- <i>Documentazione automatica</i> , laurea quadriennale in Scienze dell'Informazione, =12 cfu.

#### Relatore di tesi

Ha seguito in qualità di relatore o correlatore numerose tesi di laurea, vecchio e nuovo ordinamento (triennale e magistrale), nell'ambito dei corsi laurea di Informatica e di Matematica. Inoltre è stato relatore di due tesi di dottorato di Informatica, rispettivamente nel 1999 e nel 2006, e controrelatore (rapporteur) di tesi di dottorato presso università estere (Bordeaux nel 2001, Stuttgart nel 2004, Parigi Marne-la-Vallée nel 2007).

#### ALTRE ATTIVITA'

- Comitati di programma di conferenze** Ha fatto parte dei comitati di programma delle seguenti conferenze internazionali:  
- STACS 2003, Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, (Berlino, 27 Febbraio-1° Marzo 2003);  
- DLT 2007, Developments in Language Theory (Turku, 3-6 Luglio 2007);  
- DLT 2009, Developments in Language Theory (Stuttgart, 30/6-3/7 2009);  
- SOFSEM 2010, 36<sup>th</sup> International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science (track of Foundations of Computer Science), Spindlerun Mlyn, Rep. Ceca, 23 - 29 Gennaio 2010.
- Attività di referee ed editor scientifico** Ha svolto attività di referee per numerose conferenze, tra le quali diverse edizioni di STACS, ICALP, CAAP, DLT, AFL, CIAA, DFCS, ICTC, MFCS, LATA, CPM. Ha svolto attività di referaggio anche per numerose riviste tra cui Theoretical Computer Science, RAIRO Theoretical Informatics and Applications, Random Structures & Algorithms, Discrete Mathematics, Theory of Computing Systems. Ha anche collaborato come editor di numeri speciali di rivista (Theoretical Computer Science e RAIRO).
- Progetti di ricerca** Ha partecipato anche come responsabile a progetti di ricerca locali (60%, FIRST e PUR) dell'Università degli Studi di Milano. Ha inoltre preso parte a vari progetti nazionali (40%, MURST, PRIN) ed europei (Esprit). In particolare ha partecipato ai progetti MIUR-COFIN del 1999 e 2000, e a progetti MIUR-PRIN (2003, 2005, 2007, 2010), centrati su tematiche di teoria degli automi e dei linguaggi formali.
- Commissioni** E' stato membro di varie commissioni di concorso per l'ammissione a corsi di dottorato, per la valutazione di tesi di dottorato e per l'attribuzione di assegni di ricerca. Ha inoltre fatto parte, sia come membro eletto sia come membro interno, di numerose commissioni di valutazione comparativa per posti di ricercatore universitario e di professore associato.
- Attività organizzativa** Tra le attività organizzative svolte nell'Università degli Studi di Milano, ha fatto parte della commissione orientamento della Facoltà di Scienze MMFFNN, del comitato d'area informatica della Commissione d'Ateneo per la Ricerca Scientifica e il Trasferimento Tecnologico (CARSTT), della commissione tesi e tirocini nell'ambito delle attività didattiche del Dipartimento di Informatica e, più recentemente, del Gruppo del Riesame presso il Collegio Didattico di Matematica. Inoltre, dall'ottobre 2009 al maggio 2012 è stato direttore del Dipartimento di Scienze dell'Informazione.

**ALTRE INFORMAZIONI**

- Sito web** [users.mat.unimi.it/users/goldwurm/](http://users.mat.unimi.it/users/goldwurm/)
- Madre lingua** Italiano
- Altre lingue** Inglese, Francese parlato
- Dati personali** Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del Decreto Legislativo 30 giugno 2003, n. 196 (Codice in materia di protezione dei dati personali) e sue successive modifiche e integrazioni, nonché del Regolamento UE 679/2016 (Regolamento Generale sulla Protezione dei dati o, più brevemente, RGPD).

Data, 10 Novembre 2018

Firma

