

Alessandro Bollini  
bollini@vision.unipv.it

Dipartimento di Informatica e Sistemistica  
Università di Pavia  
Via Ferrata, 1  
27100 Pavia

# Algoritmi Evolutivi



# Obiettivi

- + introduzione al calcolo evolutivo
  - concetti generali
  - motivazioni ed evoluzione storica
- + approfondimento di algoritmi genetici e programmazione genetica
  - modelli teorici di base
  - esercitazioni su esempi didattici
- problematiche operative
- tecniche avanzate

# Riferimenti

## ■ articoli

- J. H. Holland. Genetic Algorithms. Scientific American, 267(1):66-72 (Intl. :44-50), July 1992
- M. O'Neill e C. Ryan. Grammatical Evolution. IEEE Transactions On Evolutionary Computation, 5(4):349-358, August 2001

## ■ siti

- GP Notebook  
[www.geneticprogramming.com](http://www.geneticprogramming.com)
- EvoNet  
[evonet.dcs.napier.ac.uk](http://evonet.dcs.napier.ac.uk)
- GA/GP Bibliography  
[www.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.algorithms.html](http://www.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.algorithms.html)  
[www.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.programming.html](http://www.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.programming.html)

# Un problema di esempio

- massimizzazione della resa di un impianto chimico
- elementi di difficoltà
  - molte variabili di controllo
  - variabili di controllo discrete
  - fonti di rumore
  - interazioni non-lineari
  - tempi di reazione lunghi e ritardi

# Come procedere?

- ottimizzazione analitica
  - modello diretto difficile da definire
  - probabile mancanza di informazione sul gradiente della resa in funzione delle variabili di controllo
  - spazio di ricerca discreto e discontinuo
- ricerca stocastica, con eventuale adattamento euristico
  - è relativamente facile valutare *a posteriori* la resa di un'impostazione
  - lo spazio di ricerca è però molto vasto

# Tentativi ed errori

- fino all'identificazione di una soluzione accettabile (o all'esaurimento delle risorse disponibili...):
  - definizione di una soluzione casuale
  - valutazione della soluzione
  - adozione della soluzione migliore

# Massimo gradiente

- definizione di una soluzione iniziale casuale
- fino all'identificazione di una soluzione accettabile:
  - generazione di una nuova soluzione come perturbazione della soluzione corrente
  - valutazione della nuova soluzione
  - adozione della nuova soluzione come nuovo punto di partenza, a condizione che migliori la precedente

# Adattamento euristico

- la generazione di nuove soluzioni può essere effettuata applicando regole generali derivate dalla conoscenza empirica del dominio applicativo
- eventualmente sulla base delle soluzioni già esaminate, tenendo conto delle loro effettive prestazioni



# Come allocare i tentativi?

- la ricerca per tentativi non sfrutta tutta l'informazione già acquisita
- la ricerca per gradiente limita drasticamente l'esplorazione dello spazio di ricerca e soffre del problema dei minimi locali
- eventuali euristiche di adattamento possono migliorare le prestazioni al costo di limitare lo spazio delle possibili soluzioni
- esiste una strategia ottimale per risolvere questo conflitto?

# L'ipotesi evolutiva

- gli organismi biologici affrontano problemi di adattamento al proprio ambiente con notevoli punti di contatto con la classe di problemi considerati
- operano con discreto successo e non sembrano soffrire dei problemi di allocazione descritti
- potrebbe essere possibile definire algoritmi di adattamento ispirati ad un modello dell'evoluzione biologica

# Algoritmi evolutivi

- nome generico di una famiglia di algoritmi di ricerca, ottimizzazione e adattamento
- generalmente iterativi, paralleli e stocastici
- basati su modelli computazionali dei meccanismi dell'evoluzione biologica
  - popolazione
  - genotipo, fenotipo
  - fitness, selezione

# Algoritmo generalizzato

- **inizializzazione della popolazione**
  - creazione dei genotipi iniziali
- **fino all'identificazione di un individuo ottimo (o almeno accettabile...)**
  - espressione dei genotipi
  - valutazione dei fenotipi
  - selezione degli individui ammessi alla riproduzione sulla base dell'adattamento
  - creazione della successiva popolazione

# Motivazioni teoriche

- possibilità di studiare in un modello semplificato e facilmente manipolabile le dinamiche dei processi evolutivi biologici
- possibilità di creare modelli di fenomeni complessi e non-lineari sulla base delle osservazioni empiriche

# Motivazioni pragmatiche

- possibilità di affrontare problemi di identificazione, ottimizzazione e ricerca di cui non sia nota la dinamica diretta
- possibilità di affrontare problemi difficilmente affrontabili con mezzi analitici a causa di non-linearità, discretizzazioni, vincoli e discontinuità
- parallelizzabilità

# Linee di sviluppo

- modelli dell'adattamento (1950-60)
- strumenti di ottimizzazione (1960-70)
- strumenti di analisi euristica (1980-90)
- calcolo evolutivo (1990-)

# Modelli dell'adattamento

- definizione di modelli matematici dei fenomeni di adattamento biologico
  - algoritmi genetici (Holland, ~1960)
  - classificatori (Holland, ~1970)



# Metafora biologica

- popolazione di individui che si adatta alle caratteristiche di un ambiente
- sviluppo di un fenotipo, tramite espressione di un genotipo
- interazione con l'ambiente e valutazione dell'adattamento (*fitness*)
- riproduzione asessuata o sessuata, tramite operatori genetici
- selezione degli individui maggiormente adattati

# Strumenti di ottimizzazione

- creazione di strumenti per la soluzione di problemi tecnologici
  - programmazione evolutiva (Fogel, 1960)
  - strategie evolutive (Rechenberg, 1973; Schwefel, 1977)

# Metafora funzionale

- insieme di punti sulla superficie di una funzione di costo
- definizione di una soluzione, sulla base di un insieme di parametri
- valutazione della funzione di costo
- generazione di soluzioni perturbate
- aggiornamento dell'insieme di ricerca corrente

# Strumenti di analisi euristica

- creazione di strumenti per l'identificazione di strategie di risoluzione di un problema
  - programmazione genetica (Cramer, 1985; Koza, 1989)
  - evoluzione grammaticale (O'Neill e Ryan, 1998)

# Metafora computazionale

- insieme di punti in uno spazio di programmi
- definizione di una classe di soluzioni, in termini di un programma che definisce una strategia risolutiva
- valutazione di una funzione di efficienza
- generazione di soluzioni alterate ed ibridizzate
- aggiornamento dell'insieme di ricerca corrente

# Sintesi

**adattamento**

*algoritmi  
genetici*

*classificatori*

**euristica**

*programmazione  
genetica*

*evoluzione  
grammaticale*

**ottimizzazione**

*programmazione  
evolutiva*

*strategie  
evolutive*

**calcolo evolutivo**

# Limiti

- Stocasticità, non provabilità dell'ottimo.
- Dinamica mal compresa e conseguenti difficoltà nella configurazione degli esperimenti.
- Scarsa scalabilità.

# Conclusioni

- Esiste un ampio spettro di soluzioni algoritmiche accomunate dalla metafora evolutiva.
- Sviluppate sulla base di motivazioni teoriche e pragmatiche.
- In rapida evoluzione nonostante alcuni limiti, grazie alla flessibilità operativa ed a notevoli vantaggi in applicazioni di nicchia difficilmente affrontabili con mezzi analitici.