

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.**
 - Motivazioni ed evoluzione storica.
 - Rassegna dei principali modelli.
- + **Approfondimento di algoritmi genetici e programmazione genetica.**
 - Modelli teorici di base.
 - Esercitazioni su esempi didattici.
- **Problematiche operative.**
- **Tecniche avanzate.**

Organizzazione

- **Seminari**
 - Introduzione
 - Algoritmi genetici
 - Programmazione genetica
 - *Evoluzione grammaticale*
- **Esercitazioni**
 - Algoritmi genetici
 - *Evoluzione grammaticale*

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
 - EVONet
evonet.dcs.napier.ac.uk
 - GA/GP Bibliography
linwww.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.algorithms.html
linwww.ira.uka.de/bibliography/Ai/genetic.programming.html

Contesto

- Un problema di esempio:
massimizzazione della resa di un
impianto chimico.
 - Molte variabili di controllo.
 - Variabili di controllo discrete.
 - Fonti di rumore.
 - Interazioni non-lineari.
 - Tempi di reazione lunghi.

Come procedere?

- Difficile da trattare per via analitica come problema di ottimizzazione.
 - Modello diretto difficile da definire.
 - Probabile mancanza di informazione sul gradiente della resa in funzione delle variabili di controllo.
- Più abbordabile come problema di adattamento euristico.
 - E' 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 iniziale.
 - Valutazione della nuova soluzione.
 - Adozione della nuova soluzione come nuovo punto di partenza, a condizione che migliori la precedente.

Come allocare i tentativi?

- Nel primo caso non sfruttato tutta l'informazione che ho già acquisito.
- Nel secondo limite drasticamente l'esplorazione dello spazio di ricerca.
- 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.

Linee di sviluppo

- Modelli dell'adattamento (1950-60).
- Strumenti di ottimizzazione (1960-70).
- Strumenti euristici (1980-90).

Algoritmi Evolutivi

Modelli dell'adattamento

- Definizione di modelli matematici dei fenomeni di adattamento biologico.
- Algoritmi genetici (Holland, ~1960).
- Classificatori (Holland, ~1970).

Metafora biologica

- Popolazione di individui.
- Sviluppo di un fenotipo, tramite espressione di un genotipo.
- Interazione con l'ambiente e valutazione dell'adattamento (*fitness*).
- Riproduzione a sessuata o sessuata, tramite operatori genetici.
- Selezione degli individui maggiormente adattati.

Algoritmi genetici

- Ricerca di un individuo adattato.
- Modello evolutivo a livello di genotipo del singolo individuo.
- Genotipo generalmente costituito da una stringa binaria di lunghezza fissa.
- Operatori di ricombinazione e mutazione.
- Espressione del genotipo e valutazione del fenotipo.

Classificatori

- Ricerca di una popolazione di regole co-adattate, come modello di un sistema computazionale completo.
- Modello evolutivo a livello di definizione delle singole regole, valutate però collettivamente in funzione della risposta globale del sistema.

Strumenti di ottimizzazione

- Creazione di strumenti per la soluzione di problemi tecnologici.
- Programmazione evolutiva (Fogel, 1960).
- Strategie evolutive (Rechenberg, 1973; Schwefel, 1977).

Algoritmi Evolutivi

Metafora funzionale

- **Insieme di punti in uno spazio di ricerca.**
- **Definizione di una soluzione, sulla base di un insieme di parametri.**
- **Valutazione di una funzione di costo.**
- **Generazione di soluzioni perturbate.**
- **Aggiornamento dell'insieme di ricerca corrente.**

Programmazione evolutiva

- Ricerca di una soluzione ottimale.
- Modello evolutivo a livello di insieme di specie.
- Descrizione del fenotipo medio della specie in termini di insieme di parametri.
- Operatori di perturbazione della specie, con ampiezza inversamente proporzionale alla frequenza.
- Coincidenza di genotipo e fenotipo.

Strategie evolutive

- Ricerca di una soluzione ottimale.
- Modello evolutivo a livello di fenotipo del singolo individuo.
- Descrizione del fenotipo in termini di insieme di parametri.
- Operatori di ricombinazione e perturbazione del fenotipo, con ampiezza inversamente proporzionale alla frequenza.
- Coincidenza di genotipo e fenotipo.

Strumenti euristici

- 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 ricerca.
- 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.

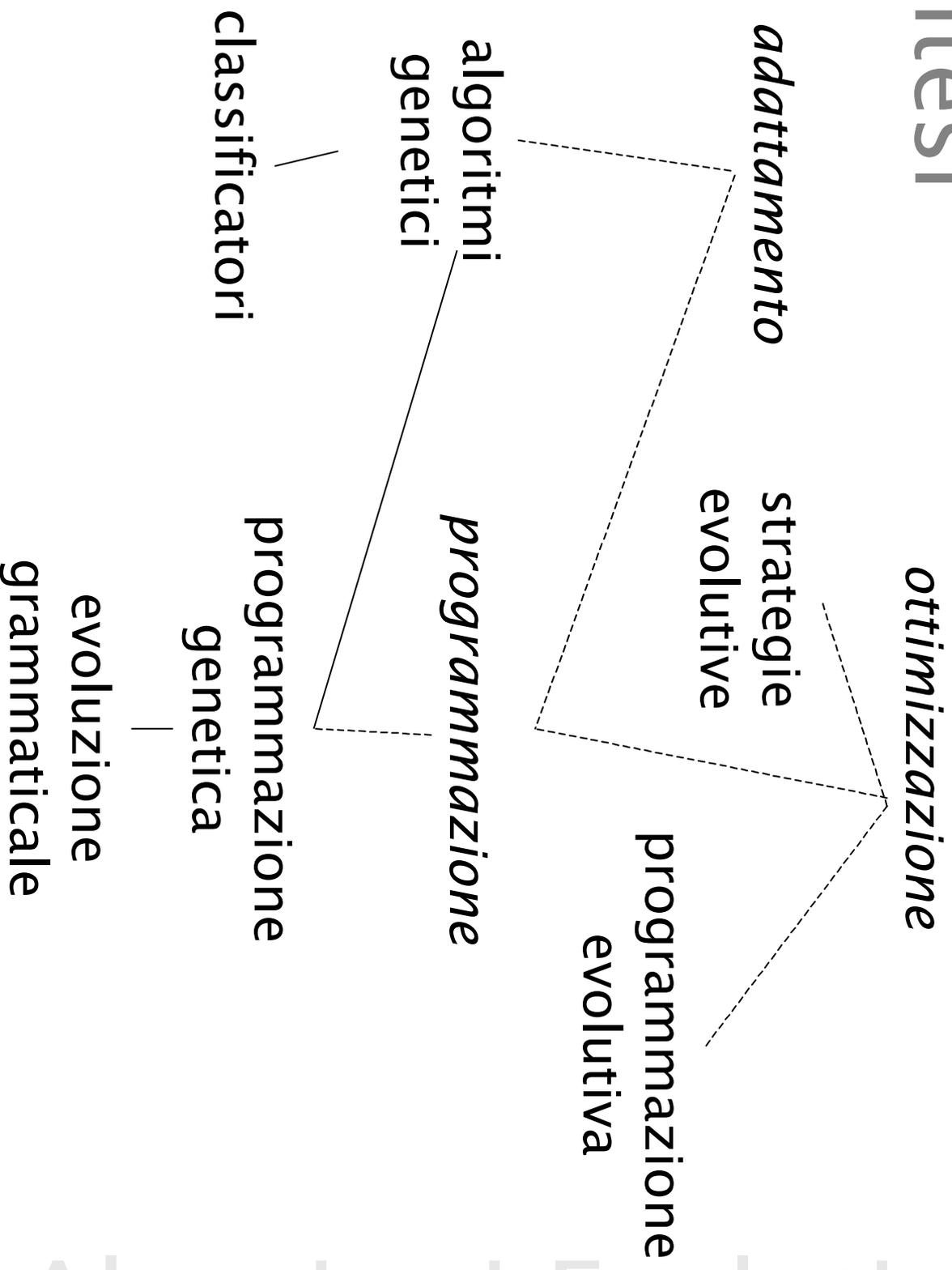
Programmazione genetica

- Ricerca di un programma ottimale.
- Modello evolutivo a livello di fenotipo del singolo individuo.
- Fenotipo generalmente costituito da un albero sintattico eseguibile.
- Operatori di ricombinazione e mutazione.
- Coincidenza di genotipo e fenotipo.

Evoluzione grammaticale

- Ricerca di un programma ottimale.
- Modello evolutivo a livello di genotipo del singolo individuo.
- Genotipo generalmente costituito una stringa binaria di lunghezza variabile; fenotipo costituito da un programma.
- Operatori di ricombinazione e mutazione.
- Espressione del genotipo e valutazione del fenotipo.

Sintesi



Algoritmi Evolutivi

Struttura generalizzata

- Configurazione dei parametri.
- Inizializzazione della popolazione.
- Fino all'identificazione di un individuo ottimo (o almeno accettabile...):
 - Espressione dei genotipi;
 - Valutazione dei fenotipi;
 - Selezione degli individui ammessi alla riproduzione;
- Creazione della successiva popolazione.

Algoritmi evolutivi

- Nome generico di una famiglia di algoritmi di ricerca, ottimizzazione e adattamento.
- Basati su modelli computazionali dei meccanismi dell'evoluzione biologica.
- Generalmente iterativi, paralleli e stocastici.

Algoritmi Evolutivi

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.

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.