

Intelligenza Artificiale II

Calcolo evolutivo

Introduzione

Marco Piastra

Evoluzione (secondo Darwin)

▪ Individui e popolazione

Un popolazione consiste di un insieme di individui diversificati

La ricombinazione (riproduttiva) di caratteristiche individuali che risultano più adatte all'ambiente tende a diventare prevalente nella popolazione

Gli individui sono le “unità di selezione”

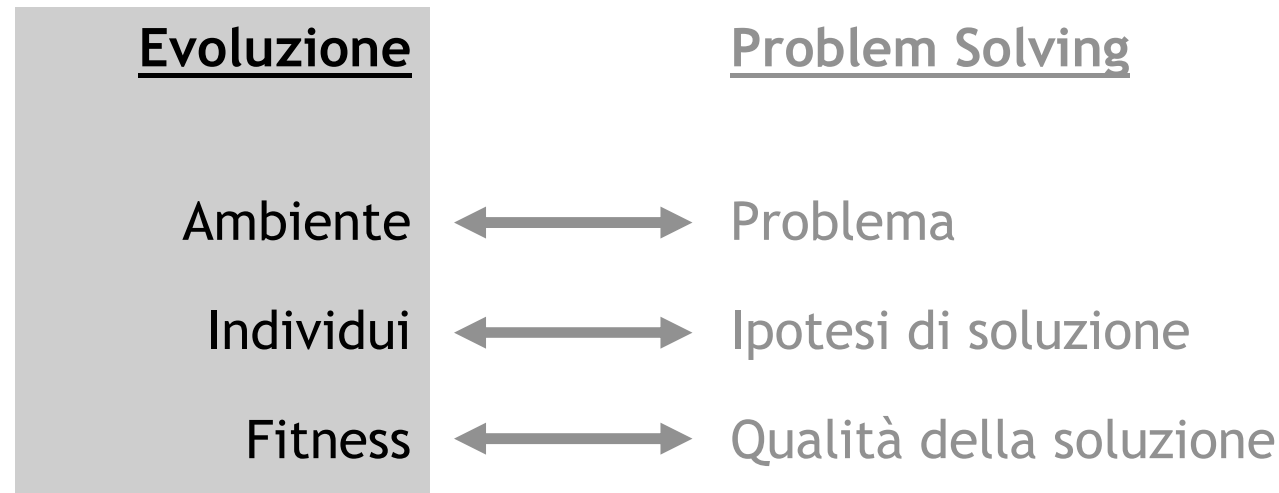
▪ Ricombinazione e caso

Le variazioni casuali, dovute alle mutazioni spontanee, garantiscono una sorgente costante di diversità e preservano il potenziale evolutivo della popolazione

Le popolazioni sono le “unità di evoluzione”

- Si noti l'assenza di una *supervisione esterna*
l'evoluzione è una sorta di processo spontaneo

Evoluzione biologica come algoritmo



- **Analogie**

 - Fitness → possibilità di sopravvivenza e riproduzione

 - Qualità → bontà della soluzione

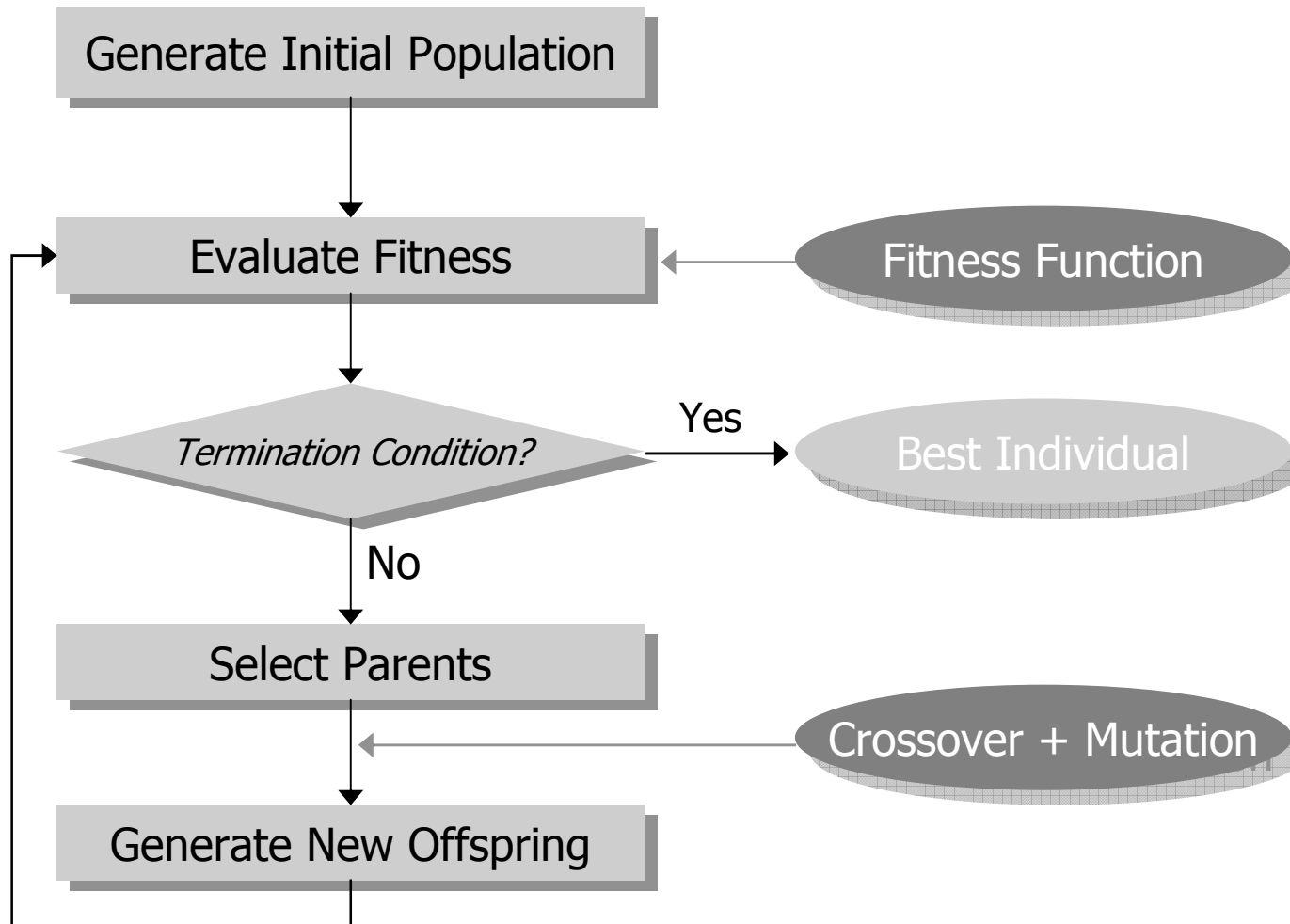
- **Differenze**

 - Popolazione (di *individui*) → insieme di ipotesi di soluzione

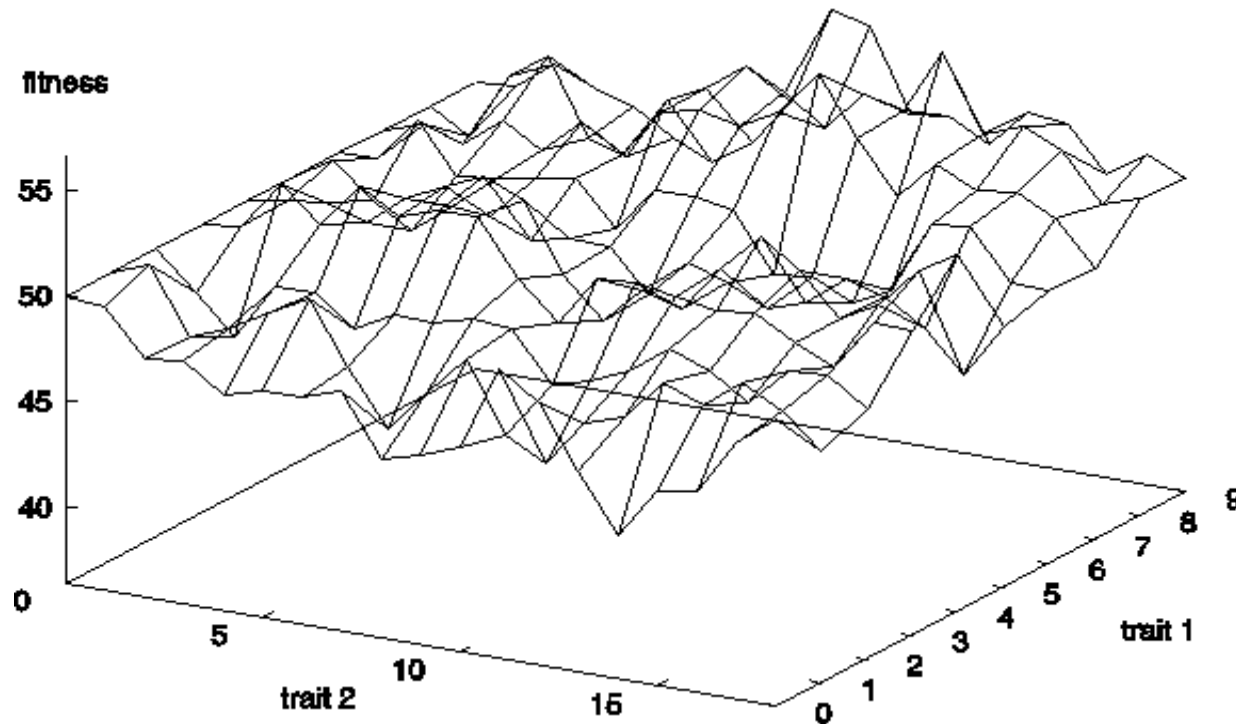
 - Processo evolutivo (della *popolazione*)

 - migrazione progressiva della *popolazione* verso più alti livelli di *fitness*

Struttura generale del processo



EC - Fitness landscape

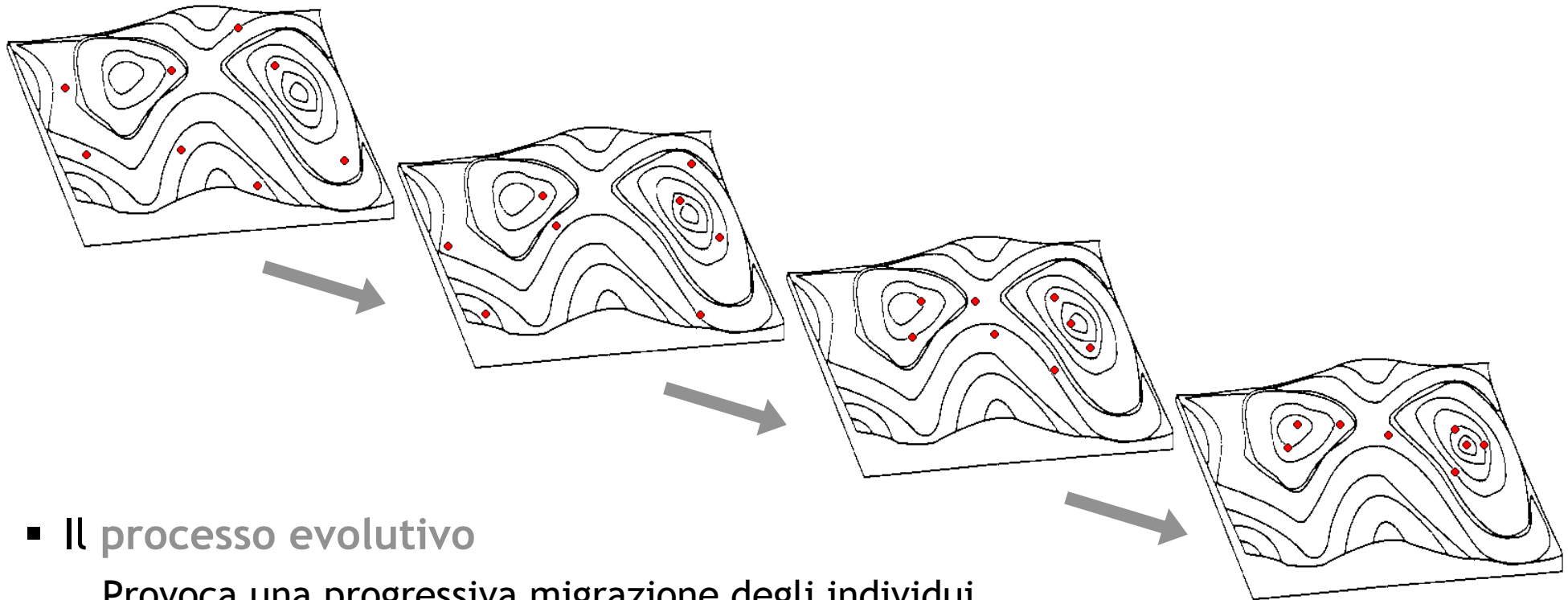


- Ambiente come ‘fitness landscape’

Descritto dai valori della funzione di fitness in funzione delle caratteristiche delle possibili soluzioni (individui)

A ciascun individuo corrisponde un punto nel ‘landscape’

Evoluzione come migrazione



- **Il processo evolutivo**

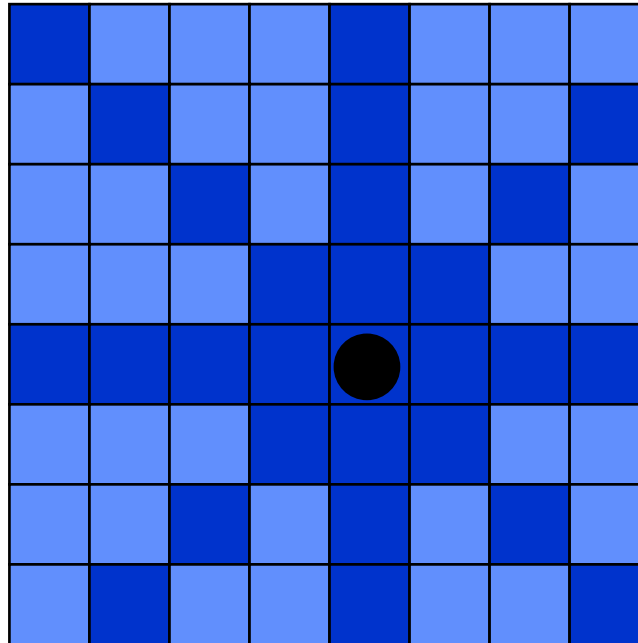
- Provoca una progressiva migrazione degli individui verso zone a fitness più elevata

- **Attenzione:** è la popolazione che migra, non gli individui
EC vs. Learning

Cenni storici

- 1948, Turing:
propone la “*genetical or evolutionary search*”
- 1962, Bremermann
ottimizzazione tramite *evoluzione e ricombinazione*
- 1964, Rechenberg
introduce le *evolution strategies*
- 1965, L. Fogel, Owens and Walsh
introduce lo *evolutionary programming*
- 1975, Holland
introduce i *genetic algorithms*
- 1992, Koza
introduce il *genetic programming*

Esempio: le 8 regine



- Problema

Piazzare 8 regine su una scacchiera 8 x 8
in modo che nessuna possa attaccare l'altra

Genotipo e fenotipo

▪ Fenotipo

L'individuo completo che interagisce con l'ambiente

Di cui si può valutare la fitness

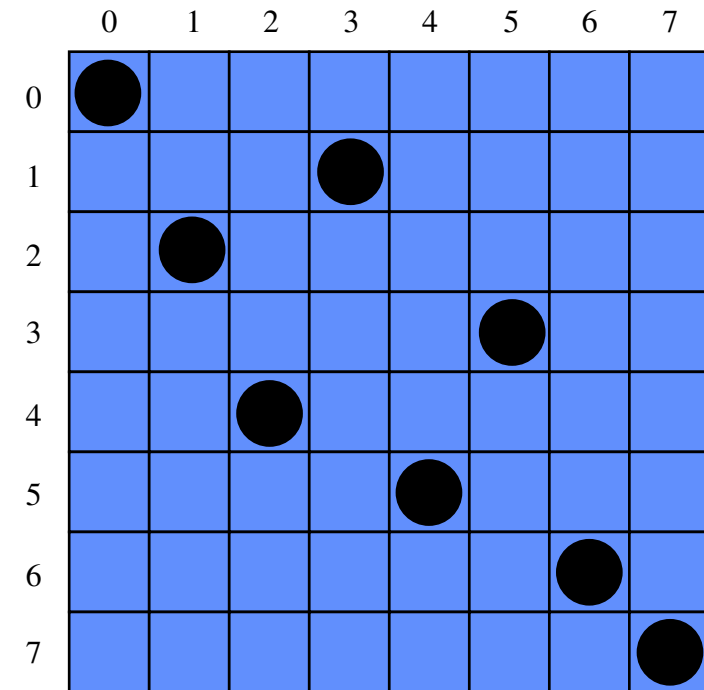
In questo caso,
una disposizione delle 8 regine
sulla scacchiera

▪ Genotipo

Il 'progetto genetico' dell'individuo

In questo caso, una sequenza di
otto cifre, da 0 a 7

Su cui agiscono gli operatori genetici



↑ **Espressione**

Genotipo

0 2 4 1 5 3 6 7

(Rappresentazione binaria)

000 010 100 001 101 011 110 111

Fitness

■ Problema

Prevenire i possibili attacchi

Penalità singola (di un'ipotesi di soluzione)

Un possibile attacco di due regine

Penalità complessiva

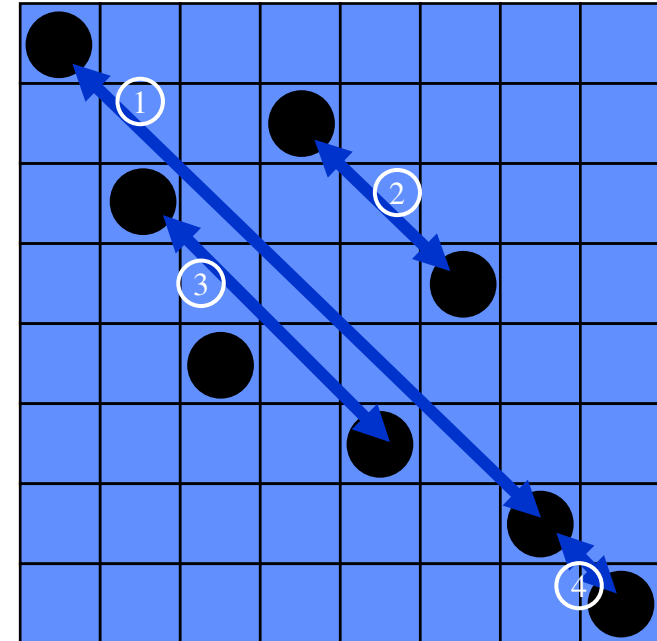
Somma di tutte le penalità singole

■ Fitness

Di una possibile soluzione (individuo):

$f = 8$ - la penalità complessiva

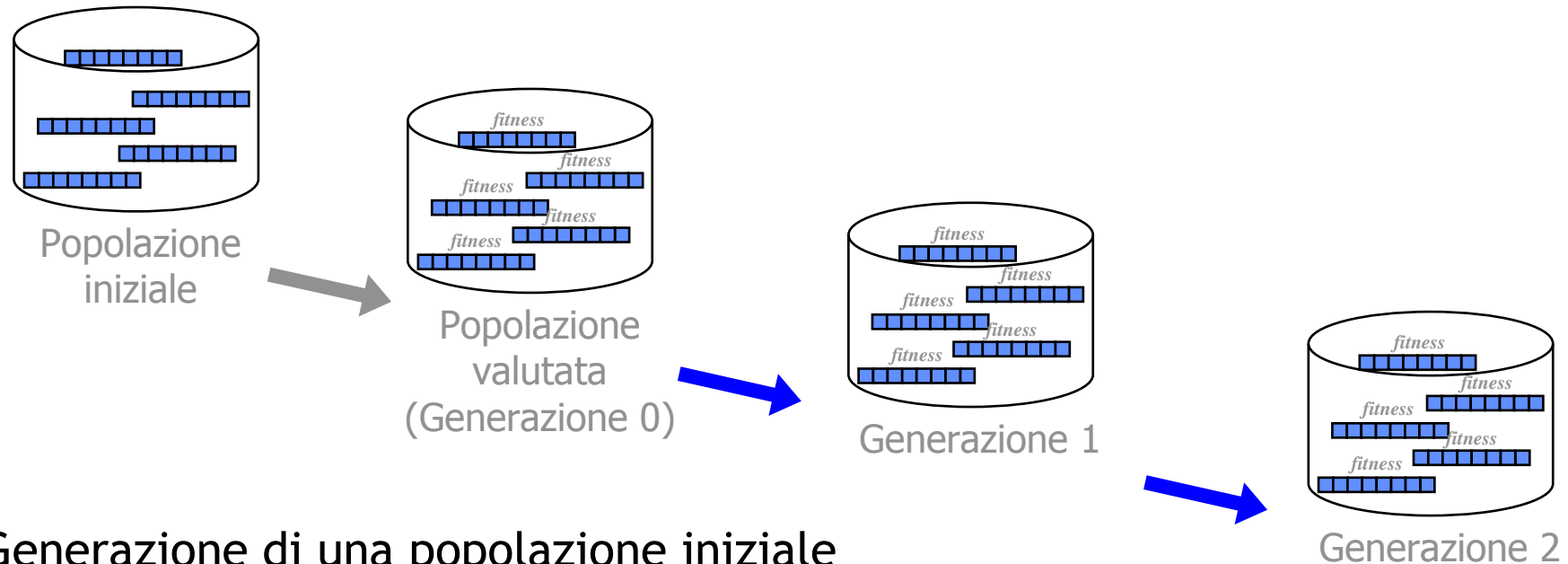
Nel caso in figura, la *fitness*
del genotipo è 4



$$\text{fitness: } 8 - 4 = 4$$

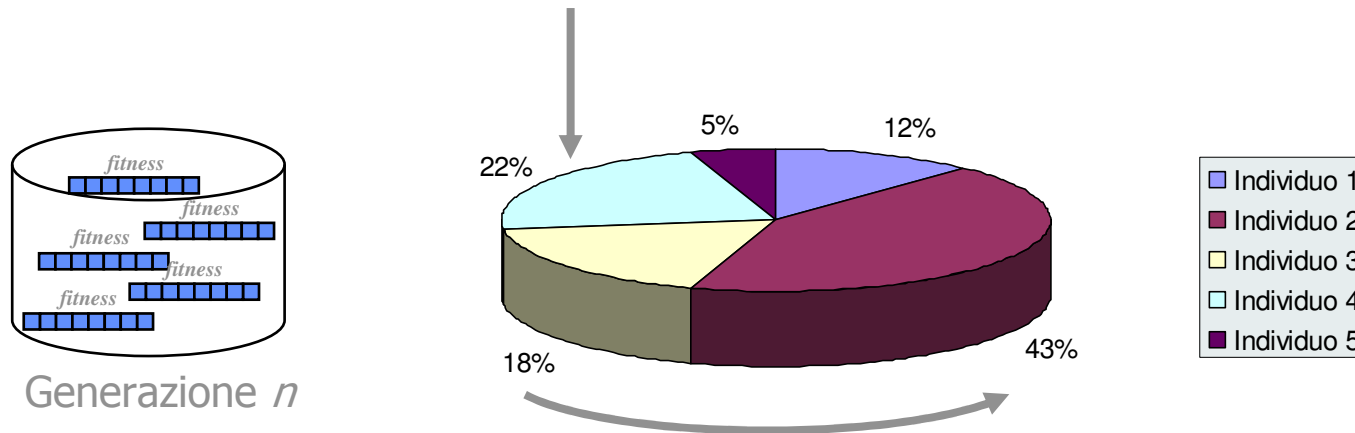
0	2	4	1	5	3	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

Popolazioni e generazioni



- Generazione di una popolazione iniziale
 - M permutazioni generate a caso (anche con duplicazioni)
- Valutazione della *fitness* di ciascun individuo
 - Si ottiene la generazione 0
- Attivazione del processo evolutivo
 - Produzione iterativa di ulteriori generazioni

Selezione



- Ruota della roulette (*Roulette wheel*)

A ciascun individuo si assegna un settore della roulette

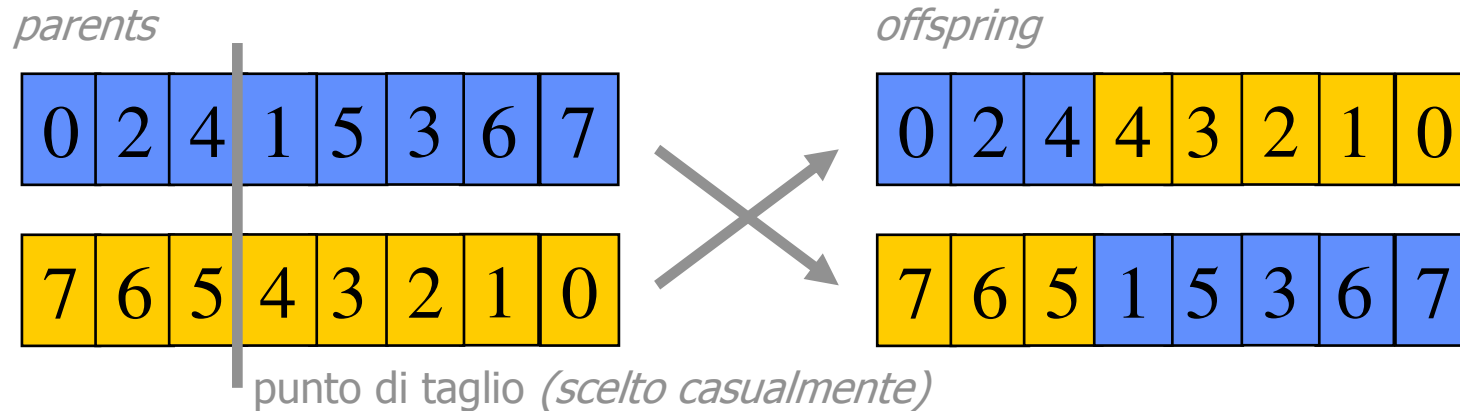
L'ampiezza del settore è proporzionale alla *fitness*

Tipicamente, ampiezza $\sim f / f_{\text{avg}}$

Migliore è la *fitness*, più largo il settore

La probabilità di selezione è quindi più alta quanto migliore è la *fitness*

Ricombinazione (Crossover)

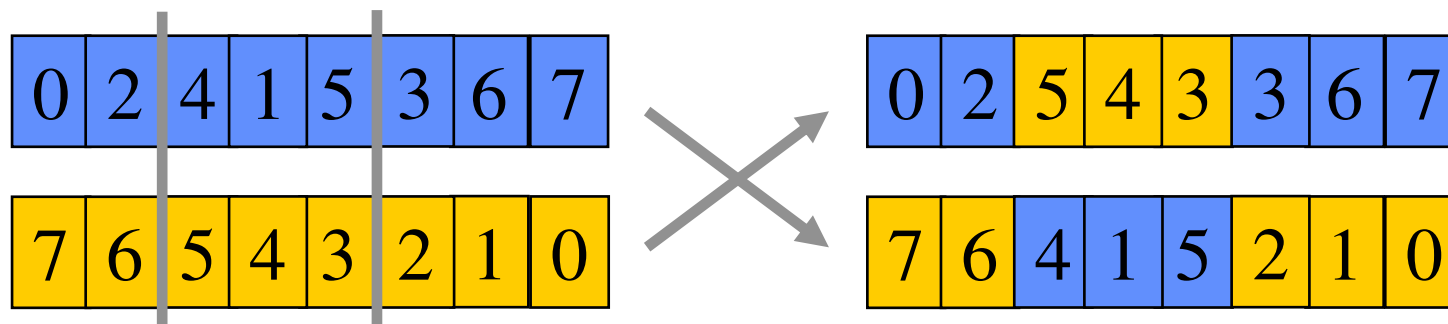


- Generazione di due nuovi individui a partire da due individui esistenti

Si seleziona un punto di *crossover*

Si incrociano le parti dei genotipi

Alternativa: due punti di taglio



Mutazione

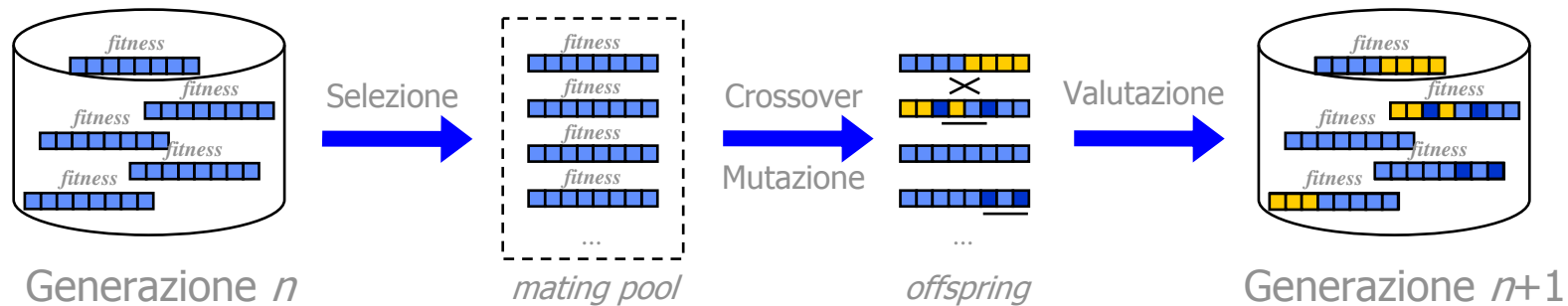


- Variazione casuale di un singolo individuo
alterazione di una cifra
Alternativa: inversione di due cifre



Altra alternativa: ciascuna cifra viene mutata con probabilità p_m

Mating pool



- **Pseudo-algoritmo:**

INPUT: Generazione n (di M individui)

Selezione di M individui (*roulette wheel*)

Per ciascuna coppia di individui (*parents*)

 applicazione del *crossover* con probabilità p_C

 applicazione della *mutazione* (all'*offspring*) con probabilità p_M

 inserimento dei risultati nella Generazione $n+1$

Valutazione della Generazione $n+1$ (*fitness*)

Processo evolutivo

- Un processo stocastico

 - Selezione casuale degli individui come *parents*

 - Identificazione casuale del punto di *crossover*

 - Applicazione casuale della mutazione all'*offspring*

- Cui si aggiunge un effetto 'deriva' causato dalla *fitness*

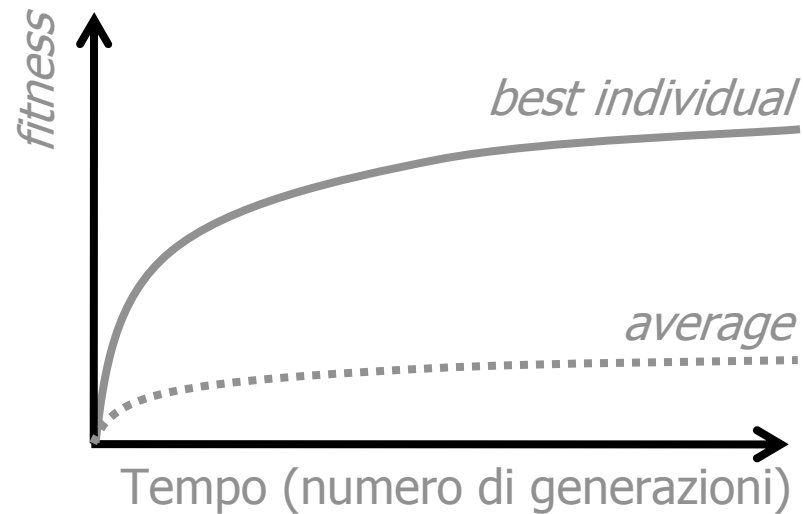
 - L'unico elemento condizionante è la **selezione**

 - Nella selezione si 'bilancia' il caso (*roulette*) ed il determinismo (*fitness*)

 - Si determina così una tendenza migratoria della popolazione verso i picchi del *fitness landscape*

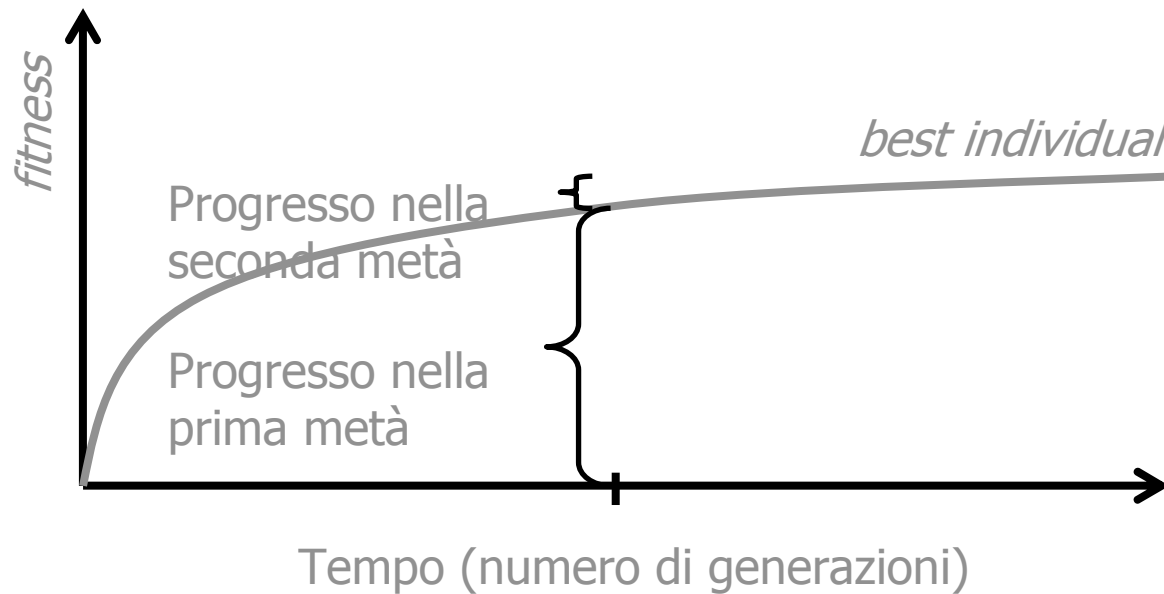


Tipico andamento del processo evolutivo



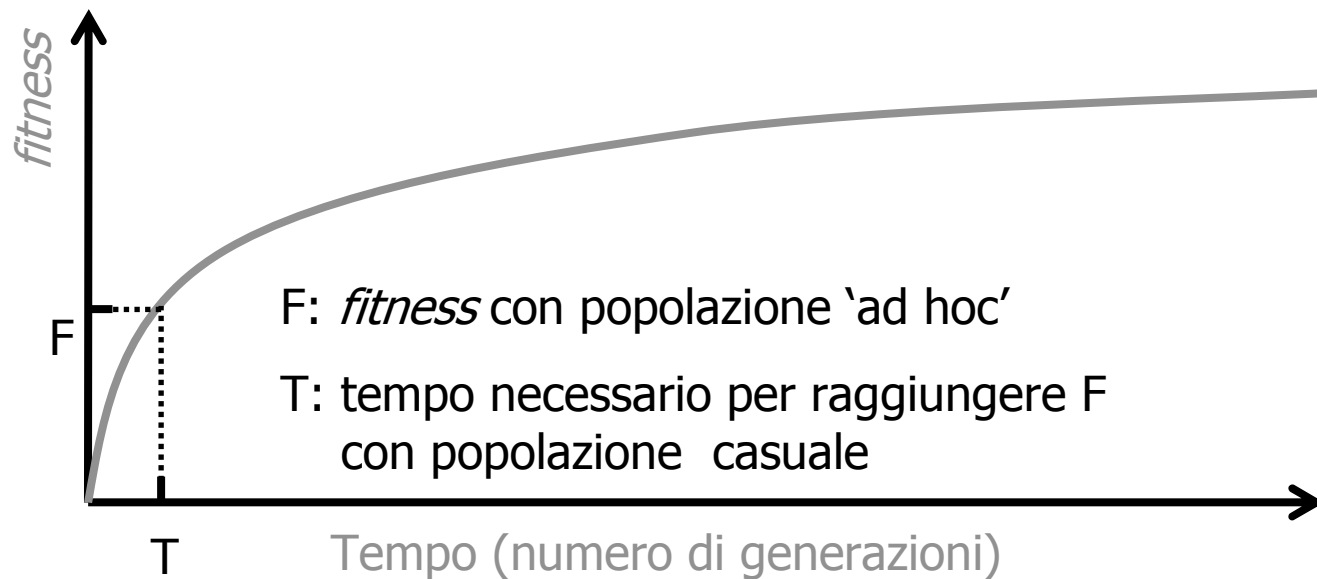
- L'effetto 'deriva' produce un miglioramento progressivo
best fitness, cioè del miglior individuo della generazione
migliora rapidamente
fitness media della generazione
migliora molto più lentamente
- Supervisione: fitness + criterio di terminazione
raramente, nella pratica, si ottiene un individuo ottimo

Condizioni di terminazione



- Quando non si trova un individuo ottimo
Attendere ulteriormente (aumento del numero di generazioni)
non sempre porta miglioramenti significativi dei risultati

Popolazione iniziale



- In generale, la generazione *casuale* della popolazione iniziale è una buona scelta

L'iniziale miglioramento della fitness è rapido

Spesso lo sforzo di creare popolazioni iniziali più specifiche non è compensato da risultati apprezzabili

Varianti del calcolo evolutivo

- Rappresentazione degli individui
 - vettori di bit, di interi di numeri reali
 - grafi
 - alberi
 - dimensione fissa, limitata o variabile
- Operatori genetici
 - mutazione, crossover
 - operatori speciali (dipendenti dalla rappresentazione)
- Metodi di selezione
 - Roulette (fitness proporzionate)
 - Tournament
- Processo evolutivo
 - Generation-based
 - Steady state
- Fitness
 - scalare
 - multi-valore (multi-obiettivo)