

# Comparazione tra algoritmi di ordinamento

## Insertion Sort, Quick Sort

Leonardo Toccafondi

February, 2023

### Introduzione

Una delle classi di problemi più studiate nel campo dell'informatica sono i problemi di ordinamento. Essi possono essere descritti nel seguente modo:

*A partire da una sequenza di dati  $S = \{x_1, \dots, x_n\}$  in ingresso trovare una permutazione  $S' \Rightarrow \{x'_1, \dots, x'_n\}$  di essa tale che  $x'_1 \leq x'_2 \leq \dots \leq x'_n$ .*

Per la loro risoluzione sono stati pensati numerosi algoritmi di ordinamento: ogni implementazione differisce soprattutto per i campi di applicazione e per il comportamento rispetto a certe sequenze di ingresso. Per valutare quale sia meglio usare è quindi necessario valutare la loro efficienza, ovvero quanto tempo impiegano ad essere eseguiti su insiemi di dati particolari e con dimensione sempre crescente. In questa relazione saranno analizzate le differenze, in senso di *complessità temporale*, di due algoritmi di ordinamento: **Quick Sort** e **Insertion Sort**. In particolare saranno analizzati i loro andamenti temporali all'aumentare del numero di elementi delle liste da ordinare.

### Teoria

#### Insertion sort

**Descrizione dell'algoritmo** Insertion sort è un algoritmo di ordinamento sul posto che prende in ingresso una sequenza di  $n$  numeri memorizzati in un array  $A$ , e restituisce una loro permutazione  $\{A'_1, A'_2, \dots, A'_n\}$  ordinata.

Il funzionamento è simile a come si ordinano le carte in mano: alla  $j$ -esima iterazione l'algoritmo sposta la chiave indietro nell'array, finché non si trova un elemento minore oppure si è arrivati alla fine dell'array. In questo modo la chiave viene inserita nella posizione corretta ( $j+1$ -esima posizione). Quindi ad ogni iterazione il sottoarray  $A[1, \dots, j-1]$  è formato da elementi che originariamente erano in  $A[1, \dots, j-1]$ , ma adesso sono **ordinati**.

Insertion sort è un algoritmo **stabile**, in quanto ordina gli elementi uguali nello stesso ordine in cui appaiono nell'input. Inoltre ordina sul posto, senza l'ausilio di liste ulteriori. Inoltre è **adattivo**, in quanto è efficiente per insiemi di dati che sono già sostanzialmente ordinati.

**Prestazioni attese** Per definire le prestazioni attese di Insertion sort è necessario analizzare il suo costo. Per come è strutturato l'algoritmo, la complessità dipende sia dalla dimensione dell'input, sia da come sono ordinati i dati. Quindi, a parità di quantità di dati, l'algoritmo può essere più o meno veloce a seconda della loro disposizione nella sequenza. Per questo motivo si distinguono tre casi:

- **Caso migliore:** gli elementi sono già ordinati. In questo caso il costo è  $\Theta(n)$ ;
- **Caso peggiore:** gli elementi sono ordinati al contrario. In questo caso il costo è  $\Theta(n^2)$ ;
- **Caso medio:** gli elementi sono ordinati in modo casuale. Questo caso è simile al caso peggiore ed ha la stessa complessità

Rispetto ad un algoritmo *divide-et-impera* performa peggio per set di dati molto grandi, mentre ha ottime prestazioni per set di dati più ridotti

## Quick Sort

**Descrizione dell'algoritmo** Quick sort è un algoritmo di ordinamento sul posto ma, a differenza di insertion sort, è ricorsivo e si basa sul principio *divide et impera*. Per ordinare un array  $A[p, \dots, r]$ :

- **Divide:** partiziona l'array  $A$  in due sottoarray  $A[p, \dots, q-1]$  e  $A[q+1, \dots, r]$  tali che ogni elemento del primo sottoarray è minore di  $q$  (o uguale) e ogni elemento del secondo sottoarray è maggiore di  $q$  (o uguale). L'elemento  $A[q]$  prende il nome di *pivot*.
- **Impera:** ordina i due sottoarray con chiamate ricorsive a se stessa.
- **Combina:** combina i due sottoarray ordinati per restituire l'array  $A[p, \dots, r]$  ordinato.

**Prestazioni attese** Il tempo di esecuzione del Quick sort dipende dal partizionamento dei sottoarray, ovvero se questi ultimi sono bilanciati o sbilanciati:

- **Partizionamento nel caso peggiore:** si ha quando l'array è già ordinato. Infatti in questo caso la funzione *partition* divide il problema in due sottoproblemi, uno di grandezza  $n-1$  e l'altro di grandezza  $0$ . Il costo è, quindi,  $\Theta(n^2)$ .
- **Partizionamento nel caso migliore:** si ha quando, ad ogni iterazione, il pivot scelto è l'elemento che divide l'array in due sottoproblemi di

dimensione uguale. Quindi ciascun sottoarray avrà dimensione  $\frac{n}{2}$ . In questo caso il costo è  $\mathcal{O}(n \log n)$

- **Partizionamento nel caso medio:** i due sottoarray sono divisi in modo casuale. Questo caso è simile al caso migliore ed ha la stessa complessità.

## Esperimenti svolti

In questa relazione, sono stati misurati i tempi di esecuzione degli algoritmi di ordinamento all'aumentare del numero di elementi nella lista da passare agli stessi. Gli esperimenti sono stati fatti su un numero massimo di nodi pari a 10000, andando a misurare sia i tempi di esecuzione per array già ordinati (sia in senso crescente che decrescente), sia per un array randomizzato (viene passato lo stesso in tutti e due i casi). Le misurazioni, in questo caso, avvengono ogni incremento di 100 nodi.

I tempi di esecuzione sono stati salvati in delle liste separate, una per ciascun algoritmo, inserendo successivamente i valori in una tabella, poi salvata in formato txt. Infine questi valori sono stati utilizzati per creare grafici rappresentanti andamenti temporali.

Viene distinto il caso ordinato, da quello non ordinato, con un controllo sulla variabile booleana *shuffle*, grazie alla quale il programma sa se randomizzare o meno i valori della lista da ordinare, se questa è pari a True. Altrimenti, l'input non viene randomizzato e avrò come risultato il caso migliore di Insertion sort. Inoltre, con un'altra variabile booleana *rev* è possibile invertire l'ordine dell'array ordinato, ottenendo il caso peggiore di Insertion sort.

## Implementazione pratica

Il programma è suddiviso in più file:

- `insertion_sort.py`, `quick_sort.py`, i quali si occupano dell'implementazione degli algoritmi di ordinamento da testare;
- `test.py`: è il programma principale, si occupa del test degli algoritmi e della creazione dei grafici.

**Ambiente di test** L'esperimento è stato svolto su un computer con le seguenti caratteristiche:

- Sistema operativo: Linux Mint 21.1 con kernel 5.15
- CPU: Intel Core i7-9750H
- RAM: 16 GB
- Interprete Python: conda 22.11.1 e python v 3.10

- IDE: Pycharm Community Edition 2022.3.2

## Risultati

Numero di valori	Insertion Sort	Quick Sort
100	0	0.0016
1000	0.0002	0.1488
2000	0.0004	0.5915
3000	0.0007	1.4455
4000	0.0009	2.3383
5000	0.0011	3.6908
6000	0.0013	5.3176
7000	0.002	7.4722
8000	0.0018	9.4267
10000	0.0021	11.9687

Table 1: Confronto tempi array ordinato

Numero di valori	Insertion Sort	Quick Sort
100	0.001	0.0009
1000	0.1024	0.0929
2000	0.4048	0.3731
3000	0.918	0.847
4000	1.6281	1.508
5000	2.587	2.3577
6000	3.7017	3.3955
7000	5.026	4.6437
8000	6.5952	6.0721
10000	10.2898	7.6807

Table 2: Confronto tempi array ordinato in ordine decrescente

Numero di valori	Insertion Sort	Quick Sort
100	0.0005	0.0002
1000	0.051	0.0024
2000	0.2088	0.0064
3000	0.4531	0.0085
4000	0.8249	0.0123
5000	1.2882	0.0153
6000	1.8727	0.0197
7000	2.5031	0.025
8000	3.2852	0.0254
9000	4.1418	0.0293
10000	5.073	0.341

Table 3: Confronto tempi array randomizzato

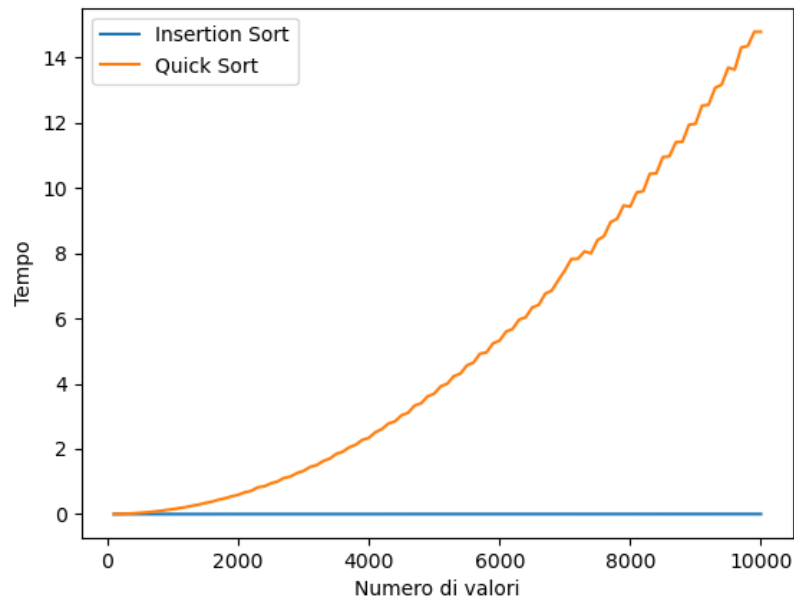


Figure 1: Confronto tempi con array ordinato

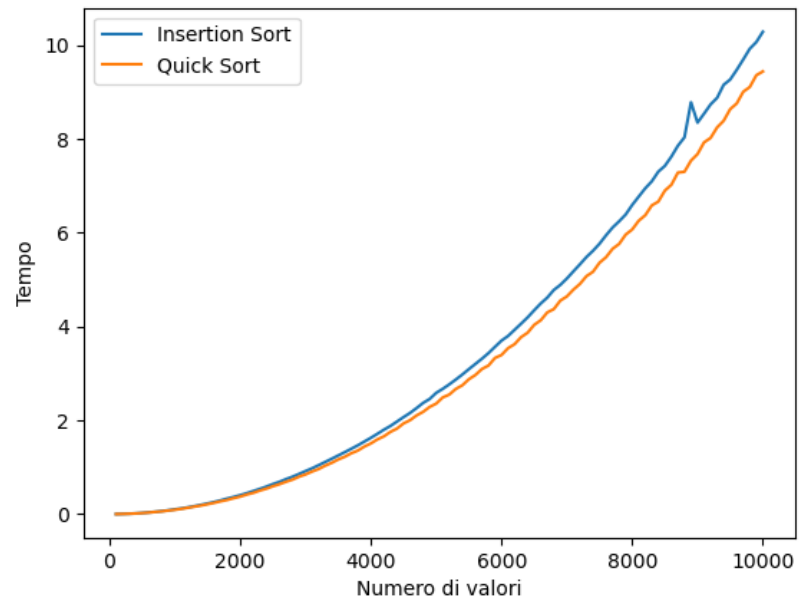


Figure 2: Confronto tempi con array ordinato in ordine decrescente

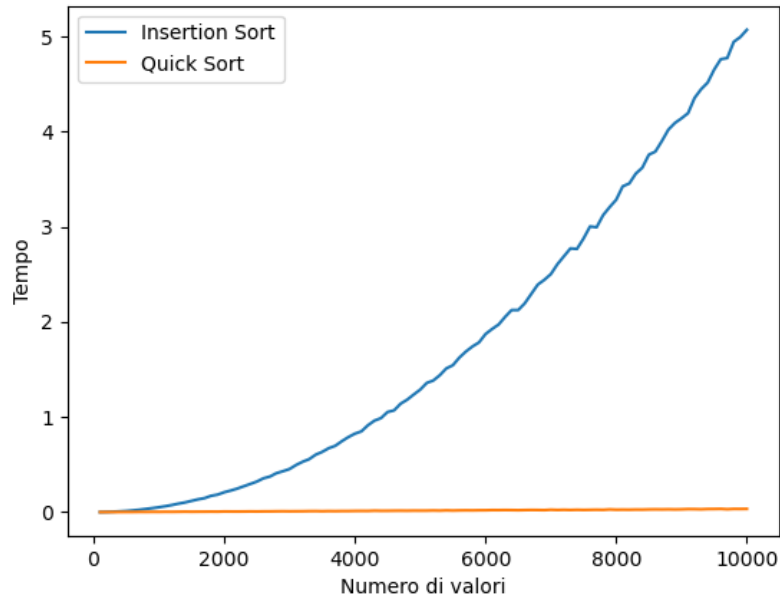


Figure 3: Confronto tempi con array randomizzato

## Conclusioni

Come si evince dai grafi, le performance attese da entrambi gli algoritmi di ordinamento sono state rispettate: infatti, insertion sort risulta essere più efficace di Quick sort soltanto nel caso in cui l'array da ordinare sia già ordinato. In questo caso quick sort è nel suo caso peggiore.

Osservando la figura 2, che rappresenta i tempi di esecuzione nel caso dell'array ordinato in senso decrescente (quindi per il caso peggiore di insertion sort), si può vedere come quick sort si avvicini molto ai tempi di insertion sort, pur rimanendo inferiore.

In figura 3, che raffigura i tempi di esecuzione per il caso medio di quick sort, è evidente la maggiore efficienza di quick sort, che arriva ad essere centinaia di volte più veloce di insertion sort.

In conclusione quick sort è l'algoritmo preferibile nella quasi totalità delle applicazioni, nonostante questo insertion sort ha comunque degli usi reali. Un esempio può essere un insieme di dati dinamico, in cui vengono aggiunti spesso degli elementi che non modificano troppo la struttura dell'insieme. In un caso come questo abbiamo un insieme quasi sempre ordinato a meno di qualche elemento, caso in cui insertion sort ha un comportamento quasi lineare.