

C'erano due versioni molto simili dell'esercizio.

Esercizio 1 - Versione 1

Limite superiore di:

$$T(n) = \begin{cases} 27T(\lfloor n/9 \rfloor) + n\sqrt{n} & n > 1 \\ 1 & n \leq 1 \end{cases}$$

Utilizzando il Master Theorem, vediamo che $\alpha = \log_9 27 = 3/2$; $\beta = 3/2$. Siamo quindi nel secondo caso, e sappiamo quindi che $T(n) = n\sqrt{n} \log n$. Proviamo il limite superiore per induzione.

- **Caso base:** $T(n) = 1 \leq c \cdot 1 \cdot \sqrt{1} \log 1 = 0$.

Purtroppo $1 \not\leq 0$ e quindi dobbiamo considerare altri casi base. Per $2 \leq i \leq 17$, $\lfloor i/9 \rfloor$ è pari a 0 oppure 1, e quindi rientrano nel caso $n \leq 1$ della ricorrenza. Possiamo quindi ottenere le seguenti disequazioni:

$$\begin{aligned} T(i) &= 27 \cdot 1 + i\sqrt{i} \leq ci\sqrt{i} \\ c &\geq \frac{i\sqrt{i} + 27}{i\sqrt{i}} = 1 + \frac{27}{i\sqrt{i}} \end{aligned}$$

Poichè $1 + \frac{27}{i\sqrt{i}}$ è una funzione decrescente per $i \geq 1$, possiamo prendere $c \geq 1 + \frac{27}{2\sqrt{2}}$ come valore che soddisfa tutte le disequazioni di cui sopra.

- **Ipotesi induttiva:** Supponiamo di aver dimostrato che $T(n') \leq cn'\sqrt{n'} \log n'$, per tutti i valori n' tali che $2 \leq n' < n$.

- **Passo induttivo:**

$$\begin{aligned} T(n) &= 27T(\lfloor n/9 \rfloor) + n\sqrt{n} \\ &\leq 27c\lfloor n/9 \rfloor \sqrt{\lfloor n/9 \rfloor} \log \lfloor n/9 \rfloor + n\sqrt{n} && \text{Sostituzione} \\ &\leq 27c(n/9) \sqrt{n/9} \log n/9 + n\sqrt{n} && \text{Rimozione interi inferiori} \\ &= cn\sqrt{n}(\log n - \log 9) + n\sqrt{n} && \text{Passo algebrico} \\ &\leq cn\sqrt{n} \log n && \text{Obiettivo} \end{aligned}$$

L'ultima disequazione è vera per $c \geq \frac{1}{\log 9}$.

Combinando insieme il caso base e il passo induttivo, otteniamo che $T(n) = O(n\sqrt{n} \log n)$ con costanti $m = 2$ e $c \geq 1 + \frac{27}{2\sqrt{2}}$

Esercizio 1 - Versione 2

Limite inferiore di:

$$T(n) = \begin{cases} 64T(\lceil n/16 \rceil) + n\sqrt{n} & n > 1 \\ 1 & n \leq 1 \end{cases}$$

Utilizzando il Master Theorem, vediamo che $\alpha = \log_{16} 64 = 3/2$; $\beta = 3/2$. Siamo quindi nel secondo caso, e sappiamo quindi che $T(n) = n\sqrt{n} \log n$. Proviamo il limite inferiore per induzione.

- **Caso base:** $T(n) = 1 \geq c \cdot 1 \cdot \sqrt{1} \log 1 = 0$.

Questa disequazione è vera per ogni valore di c .

- **Ipotesi induttiva:** Supponiamo di aver dimostrato che $T(n') \geq cn'\sqrt{n'} \log n'$, per tutti i valori n' tali che $2 \leq n' < n$.

- **Passo induttivo:**

$$\begin{aligned}
T(n) &= 64 T(\lfloor n/16 \rfloor) + n\sqrt{n} \\
&\geq 64c\lfloor n/16 \rfloor \sqrt{\lfloor n/16 \rfloor} \log \lfloor n/16 \rfloor + n\sqrt{n} \\
&\geq 64c(n/16)\sqrt{n/16} \log n/16 + n\sqrt{n} \\
&= cn\sqrt{n}(\log n - \log 16) + n\sqrt{n} \\
&\geq cn\sqrt{n} \log n
\end{aligned}
\quad \begin{array}{l} \text{Sostituzione} \\ \text{Rimozione interi inferiori} \\ \text{Passo algebrico} \\ \text{Obiettivo} \end{array}$$

L'ultima disequazione è vera per $c \leq \frac{1}{\log 16} = 1/4$.

Combinando insieme il caso base e il passo induttivo, otteniamo che $T(n) = O(n\sqrt{n} \log n)$ con costanti $m = 1$ e $c = 1/4$.

Esercizio 2

Sia V un vettore di $n \geq 3$ interi, con la seguente proprietà:

- per ogni indice $i \in \{2 \dots n\}$, $|V[i-1] - V[i]| \leq 1$
- $V[1] < 0$ e $V[n] > 0$

Questo esercizio si risolve tramite divide-et-impera. Innanzitutto, è importante notare che esiste sicuramente un elemento con valore 0 all'interno del vettore. Per assurdo, supponiamo che 0 non sia presente. Poichè nel primo elemento c'è un valore negativo e nell'ultimo elemento c'è un valore positivo, esiste sicuramente una coppia di elementi consecutivi in cui il primo elemento è negativo e il secondo positivo. Essendo interi, la loro differenza relativa è maggiore di 1, il che è in contraddizione con la descrizione del vettore.

L'algoritmo funziona in questo modo: dati un intervallo $A[i \dots j]$, si calcola $m = \lfloor (i+j)/2 \rfloor$. Si verifica il contenuto di $A[m]$, possono darsi tre casi:

- $A[m] = 0$, abbiamo trovato lo zero.
- $A[m] < 0$, allora nell'intervallo $A[m \dots j]$ esiste sicuramente uno zero in quanto $A[m] < 0$ e $A[j] > 0$.
- $A[m] > 0$, allora nell'intervallo $A[i \dots m]$ esiste sicuramente uno zero in quanto $A[i] < 0$ e $A[m] > 0$.

Poichè in tutte le chiamate siamo sicuri che $A[i] < 0$ e $A[j] > 0$ e fra i e j esiste uno zero, il caso base è un vettore di tre elementi $-1, 0, 1$. Viene calcolato il valore mediano e si restituisce tale valore.

```
int zero(int[] V, int n)
    return zerorec(V, 1, n)
```

```
int zerorec(int[] V, int i, int j)
    m ← ⌊(i+j)/2⌋
    if A[m] = 0 then
        | return m
    else if A[m] < 0 then
        | return zerorec(V, m, j)
    else
        | return zerorec(V, i, m)
```

La complessità è $O(\log n)$, per via della ricerca dicotomica effettuata sul vettore.

Esercizio 3

In questo problema, il costo di una foglia, dato dalla somma dei pesi dei nodi sul cammino radice foglia, può essere calcolato tramite una visita in profondità con pre-visita, in cui il valore calcolato finora viene passato nella chiamata ricorsiva, e a cui viene aggiunto il peso del nodo su cui viene invocata.

La funzione $\text{minCountRec}(t, sum)$ restituisce una coppia di valori; il primo è il costo minimo delle foglie nel sottoalbero radicato in t , il secondo è il numero di foglie che presentano quel costo. Sono dati vari casi:

- Se il nodo è **nil**, restituiamo un costo $+\infty$, in modo da non sceglierlo mai
- Se il nodo è una foglia, restituiamo il costo della foglia, e riportiamo che in questo sottoalbero solo un nodo ha quel valore
- Se il costo minimo nel sottoalbero sinistro e destro di t è uguale, il costo minimo resta uguale e bisogna sommare insieme il numero di foglie che presentano quel valore
- Altrimenti, si restituisce il valore del sottoalbero con valore più basso.

Il costo della procedure è $O(n)$, in quanto si tratta di una semplice visita dell'albero.

```
int minCount(TREE  $T$ )
```

```
   $n, c \leftarrow \text{minCountRec}(T, 0)$ 
```

```
int minCountRec(TREE  $t$ , int  $sum$ )
```

```

if  $t = \text{nil}$  then
|   return  $(+\infty, 1)$                                 % Rami nil non vanno considerati
|    $sum \leftarrow sum + t.p$ 
if  $t.\text{left}() = \text{nil}$  and  $t.\text{right}() = \text{nil}$  then
|   return  $(sum, 1)$                                 % Foglia
else
|    $c_\ell, n_\ell = \text{minCountRec}(t.\text{left}(), sum)$ 
|    $c_r, n_r = \text{minCountRec}(t.\text{right}(), sum)$ 
|   if  $c_\ell = c_r$  then
|   |   return  $(c_\ell, n_\ell + n_r)$ 
|   else if  $c_\ell < c_r$  then
|   |   return  $(c_\ell, n_\ell)$ 
|   else
|   |   return  $(c_r, n_r)$ 
```

Esercizio 4

Nella soluzione che segue, basata su DFS, si utilizza un vettore *longest* che conterrà il più lungo cammino crescente che inizia in ogni nodo. Questo vettore assume anche il ruolo di *visited*, ovvero ci permette di capire se un nodo è già stato visitato. Si noti che essendo diretto aciclico, un nodo può essere visitato solo da archi dell'albero di visita, in avanti o di attraversamento – niente archi all'indietro. Quindi, tutte le volte che viene visitato un nodo per la seconda volta, il valore *longest* corrispondente è già stato calcolato e può essere utilizzato per calcolare il valore locale. Il costo è quello di una visita in profondità, $O(m + n)$.

```
longestIncreasing(GRAPH G)
```

```
int[] longest = new int[1 ... G.n]
foreach  $u \leftarrow 1$  to  $G.n$  do
    longest[ $u$ ]  $\leftarrow -1$ 
foreach  $u \leftarrow 1$  to  $G.n$  do
    if  $longest[u] < 0$  then
        longestIncRec( $G, u, longest$ )
return max( $longest$ )
```

```
longestIncRec(GRAPH G, NODE  $u$ , int[]  $longest$ )
```

```
longest[ $u$ ]  $\leftarrow 0$ 
foreach  $v \in G.\text{adj}(u)$  do
    if  $longest[v] < 0$  then
        longestIncRec( $G, v, longest$ )
    if  $u.p < v.p$  and  $longest[u] < longest[v] + 1$  then
        longest[ $u$ ]  $\leftarrow longest[v] + 1$ 
```
