

# ELABORATO 1 - PRODOTTO SCALARE

## LO BRUTTO FABIO / MAIONE PAOLO

### DEFINIZIONE DEL PROBLEMA

Si vuole progettare un algoritmo in MPI per risolvere il prodotto scalare tra due vettori di reali, di dimensione  $N$ , su  $p$  processori.

In particolare si utilizza l'infrastruttura S.C.o.P.E. per permettere l'esecuzione del software in un ambiente parallelo.

### DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO

In particolare le fasi dell'algoritmo, implementato nel file *eLaborato\_1.c*, sono:

- 1) Distribuzione dei due vettori in  $p$  processori: ognuno dei  $p$  processori eseguirà il prodotto scalare sulla porzione dei vettori ricevuti dal processo *root*, cioè quello con rank 0 ;
- 2) Elaborazione dei prodotti scalari parziali in parallelo ;
- 3) Combinazione dei prodotti scalari parziali nel processo *root* che determinerà il risultato finale.

A tal proposito sono state utilizzate le primitive fornite da MPI (rispettivamente per la prima fase `MPI_Scatterv()` e per la terza `MPI_Reduce()`).

Inoltre l'algoritmo progettato comprende anche il caso in cui la dimensione  $dim$  dei vettori non sia multipla del numero di processori  $p$  a disposizione.

Si è scelto di misurare i tempi di esecuzione nel processo di rank 0 usando la primitiva `MPI_Wtime()` tra la fase 2 e la fase 3 scegliendo il minimo tra 3 misurazioni ripetute.

Infine, si osservi che i controlli di robustezza del software sono stati interamente delegati al processo *root*.

### INPUT, OUTPUT E CONDIZIONI DI ERRORE

- **Input:** i due vettori  $x$  e  $y$  di cui effettuare il prodotto scalare, la loro dimensione ( $dim$ ) e il numero di processori (`numero_processori`) da utilizzare.
- **Output:** il prodotto scalare dei vettori  $x$  e  $y$ .
- **Condizioni di errore:** la dimensione dei vettori deve essere uguale per entrambi e deve essere un intero positivo non minore del numero di processori specificato in ingresso. In

particolare quest'ultimo deve coincidere con il corrispondente parametro `nodes` del file di configurazione `elaborato_1.pbs`.

## ESEMPIO DI FUNZIONAMENTO

Nell'immagine seguente vi è un esempio di funzionamento.

```
%esempio di funzionamento
funzionamento
```

### Esempio di funzionamento con 4 processori e dimensione dei vettori pari a 1000

```

[Me3000769@ui-studenti prodotto scalare]$ cat elaborato_tout
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job: is running on node(s):
wn273.scope.unina.it
wn273.scope.unina.it
wn273.scope.unina.it
wn273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare
PBS: execution mode is PBS BATCH
PBS: job identifier is 3917691.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_1
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux/3917691.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openssl/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64 mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debugger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MPJXpress/mpj-vj_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769/bin
-----
Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpixec -machinefile /var/spool/pbs/aux/3917691.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPAR/2019/Me3000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
Ciao sono il processo 3 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
Ciao sono il processo 1 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
Ciao sono il processo 2 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
Ciao sono il processo 0 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
Sono il processo 0. Il mio prodotto scalare parziale è: 78539.8163397394964704
Sono il processo 1. Il mio prodotto scalare parziale è: 78539.8163397394964704
Sono il processo 2. Il mio prodotto scalare parziale è: 78539.8163397394964704
Sono il processo 3. Il mio prodotto scalare parziale è: 78539.8163397394964704
Sono il processo 0. Il mio prodotto scalare è pari a : 314159.2653589798598017.
Sono il processo 0 : tempo di esecuzione totale di 0.0004549026489258 secondi.
[Me3000769@ui-studenti prodotto scalare]$

```

## ESEMPI DI ERRORE

Nelle successive immagini, invece, sono mostrati i messaggi di errore al verificarsi delle condizioni sopra citate.

%un esempio per ciascuna condizione di errore  
errori

#### Errore: numero di processori diverso da quello specificato (in questo caso 4)

```
(M63000769@ui-studenti prodotto_scalare)$ cat elaborato_1.out
-----
This job is allocated on 2 cpu(s)
Job is running on node(s):
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare
PBS: execution mode is PBS_BATCH
PBS: job identifier is 3917684.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_1
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3917684.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debugger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MRVEexpress/mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3917684.torque02.scope.unina.it -np 2 /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
Errore! Il numero dei processi deve essere pari a 4
(M63000769@ui-studenti prodotto_scalare)$
```

#### Errore: la dimensione dei vettori non è positiva

```
(M63000769@ui-studenti prodotto_scalare)$ cat elaborato_1.out
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job is running on node(s):
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
wm273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare
PBS: execution mode is PBS_BATCH
PBS: job identifier is 3917682.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_1
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3917682.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debugger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MRVEexpress/mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3917682.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
Errore! La dimensione dei vettori non è positiva.
(M63000769@ui-studenti prodotto_scalare)$
```

## Errore: la dimensione dei vettori è minore del numero di processori

```
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$ cat elaborato_1.out
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job is running on node(s):
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare
PBS: execution mode is PBS BATCH
PBS: job identifier is 3917688.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_1
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3917688.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_s
oft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp
soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debugger/gui/intel64:/
opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/exp_soft
/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MRVEExpress/mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALC
PAR/2019/M63000769/bin
-----
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /homes/D
IS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3917688.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPAR/2019
/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
700 Errore! La dimensione non è coerente con il numero di processori.
```

## Errore: le dimensioni dei vettori sono diverse

```
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$ cat elaborato_1.out
-----
This job is allocated on 4 cpu(s)
Job is running on node(s):
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
m273.scope.unina.it
-----
PBS: qsub is running on ui-studenti.scope.unina.it
PBS: originating queue is studenti
PBS: executing queue is studenti
PBS: working directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare
PBS: execution mode is PBS BATCH
PBS: job identifier is 3917686.torque02.scope.unina.it
PBS: job name is elaborato_1
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3917686.torque02.scope.unina.it
PBS: current home directory is /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769
PBS: PATH = /usr/lib64/openmpi/1.2.7-gcc/bin:/usr/kerberos/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp_s
oft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64:/opt/exp
soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_spl.3.174/debugger/gui/intel64:/
opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/exp_soft
/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerxe/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MRVEExpress/mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALC
PAR/2019/M63000769/bin
-----
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /homes/D
IS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpiexec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3917686.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPAR/2019
/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
700 Errore! Le dimensioni dei due vettori sono diverse
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
```

## ANALISI DELLE PRESTAZIONI (T(p), S(p), E(p))

Di seguito per brevità si indicherà con  $p$  il numero di processori e con  $N$  la dimensione dei vettori  $x$  e  $y$ .

### Tempo di esecuzione - $T(p)$

Si è scelto di misurare i tempi di esecuzione nel processo *root* usando la primitiva `MPI_Wtime()`. In particolare l'intervallo di tempo misurato è quello che comprende le fasi 2 e 3 dell'algoritmo prima citate.

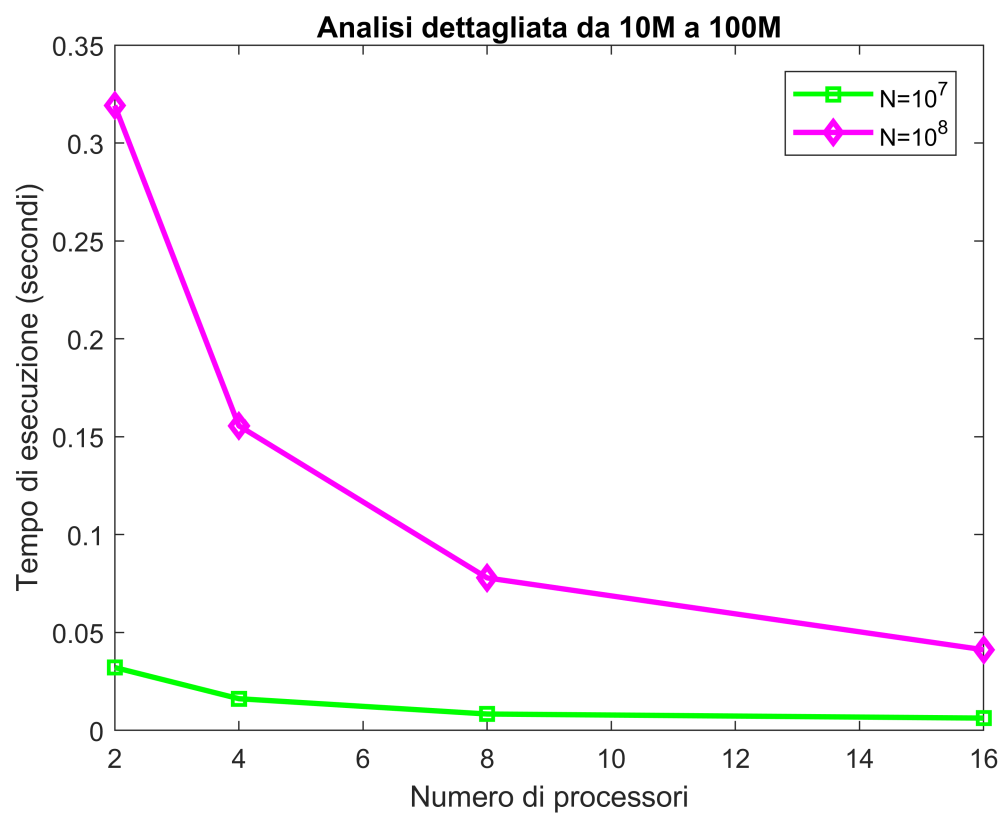
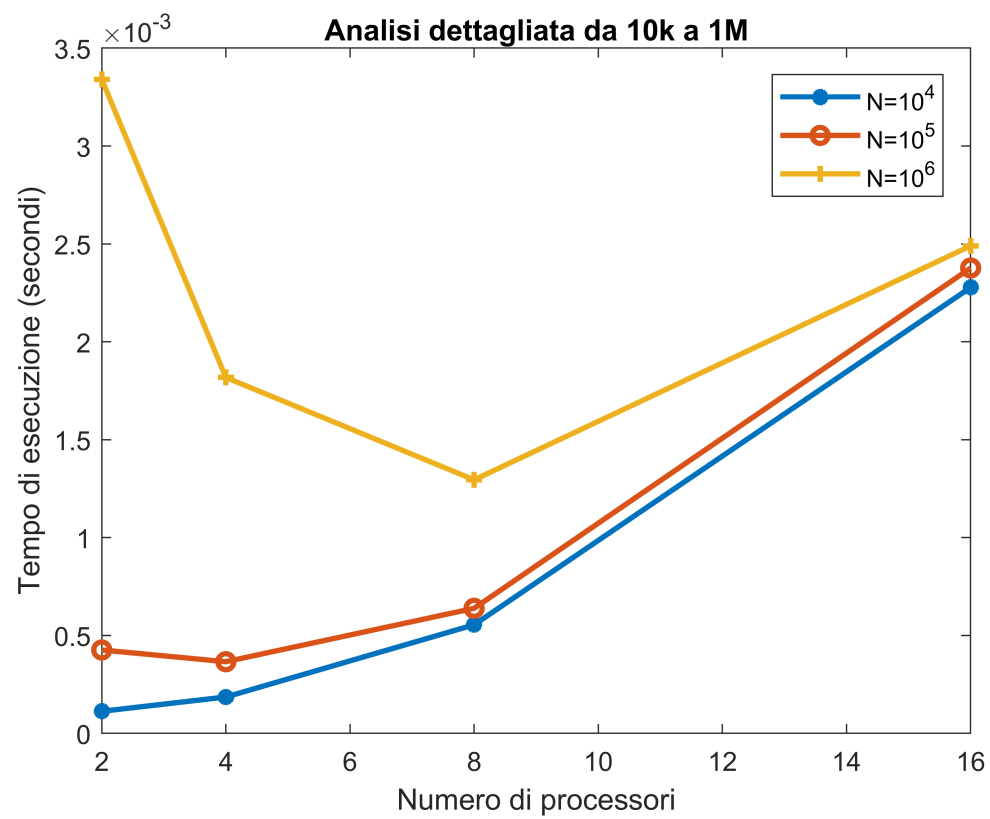
Per ciascuna misurazione (al variare di  $N$  da 10k a 100M e al variare di  $p$  da 2 a 16) è stato considerato il minimo tra 3 esecuzioni ripetute, eseguite in momenti diversi.

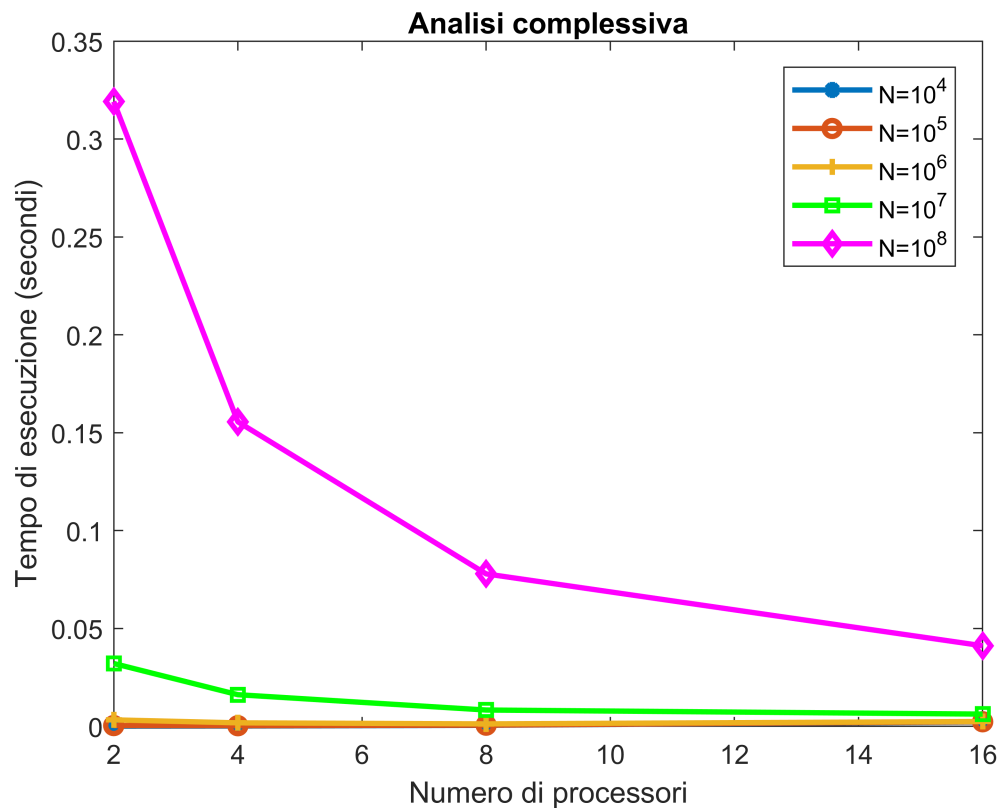
Di seguito si riportano i risultati in forma di tabelle e grafici.

```
%esecuzione script per tabelle e grafici  
tempi
```

Warning: Image is too big to fit on screen; displaying at 67%

Tempi					
	x10000	x100000	x1000000	x10000000	x100000000
2	1.130104064941000e-04	4.260540008545000e-04	3.340959548950200e-03	3.213310241699220e-02	3.191530704498290e-01
4	1.859664916992000e-04	3.662109375000000e-04	1.817941665649400e-03	1.619505882263180e-02	1.555759906768790e-01
8	5.548000335693000e-04	6.389617919922000e-04	1.295089721679700e-03	8.368968963623000e-03	7.789397239685060e-02
16	2.277851104736300e-03	2.377033233642600e-03	2.490043640136700e-03	6.289005279541000e-03	4.117798805236820e-02





L'ultimo grafico è quello che riassume i risultati ottenuti per tutti i possibili valori di  $N$  e  $p$ . Sono forniti due ulteriori grafici (i primi due) che mostrano gli andamenti più nel dettaglio.

Tali risultati verificano la legge di Amdahl: all'aumentare del numero di processori, fissata la dimensione del problema ( $N$ ), i tempi peggiorano (cioè aumentano). Per esempio, si osservi il comportamento nel caso di  $N = 10^6$  nel grafico "Analisi dettagliata da 10k a 1M". Inoltre è verificata anche la legge di Gustafson in quanto all'aumentare sia di  $N$  che di  $p$ , il tempo di esecuzione migliora (cioè diminuisce) come è evidente nel grafico "Analisi complessiva".

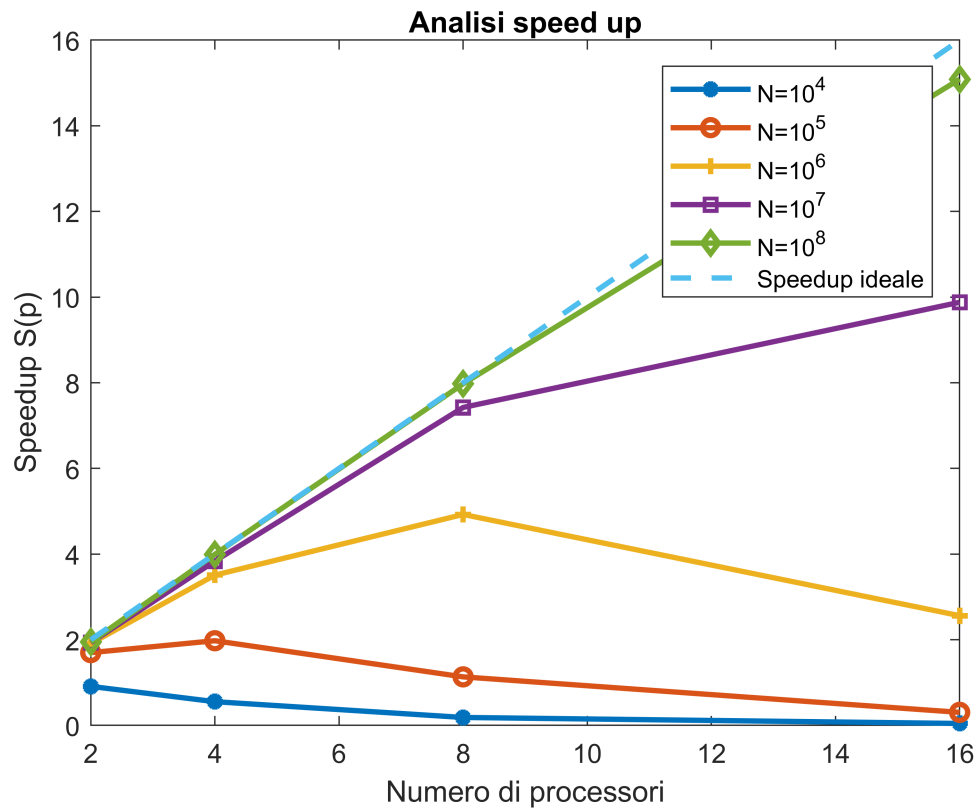
### Speed up ed Efficienza - $S(p)$ ed $E(p)$

Si è calcolato, inoltre, il tempo di riferimento  $T(1)$  che corrisponde al tempo di esecuzione su un unico processore.

A partire dai tempi misurati nella sezione precedente e da  $T(1)$  è stato calcolato lo speed-up al variare di  $N$  e  $p$ .

```
%esecuzione script per tabelle e grafici
speedup
```

		Speed up								
		x10000	x100000	x1000000	x10000000	x100000000				
50	2	0.9114	1.6995	1.9093	1.9335	1.9466				
100	4	0.5538	1.9772	3.5089	3.8364	3.9932				
150	8	0.1856	1.1332	4.9254	7.4239	7.9756				
	16	0.0452	0.3046	2.5618	9.8791	15.0869				
		100	200	300	400	500	600	700	800	900

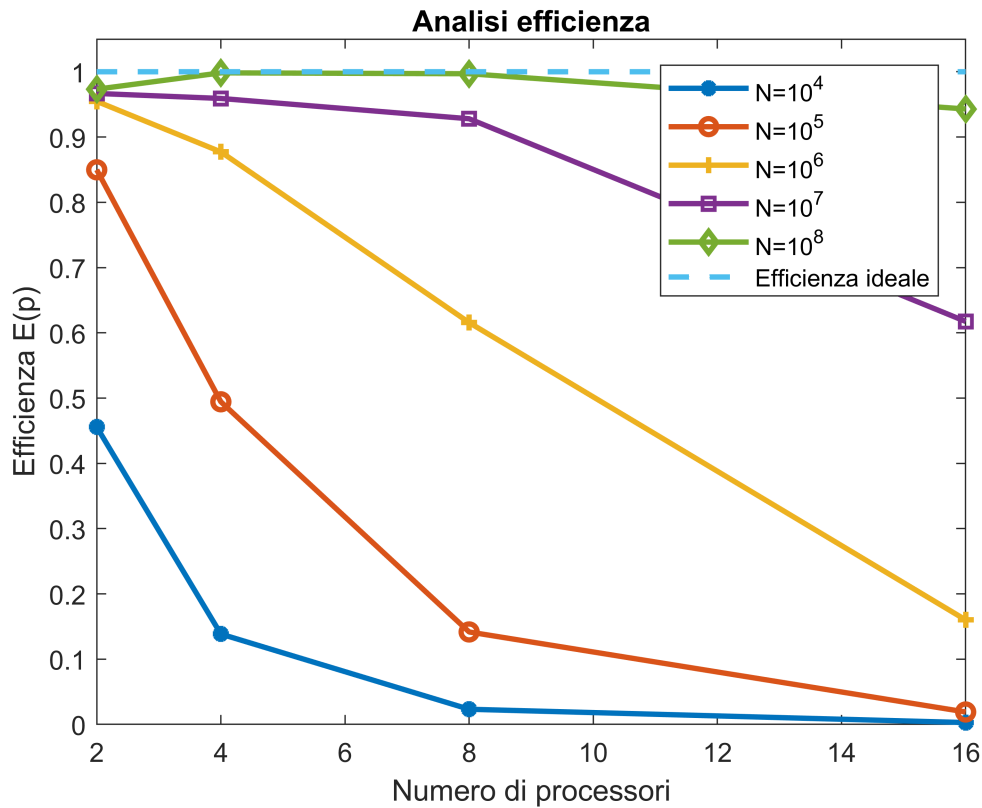


Infine si è calcolata l'efficienza rapportando lo speed-up  $S(p)$  al numero di processori  $p$ .

```
%esecuzione script per tabelle e grafici
efficienza
```

		Efficienza								
		x10000	x100000	x1000000	x10000000	x100000000				
50	2	0.4557	0.8497	0.9546	0.9668	0.9733				
100	4	0.1385	0.4943	0.8772	0.9591	0.9983				
150	8	0.0232	0.1417	0.6157	0.9280	0.9969				
	16	0.0028	0.0190	0.1601	0.6174	0.9429				
		100	200	300	400	500	600	700	800	900





## Conclusioni

Dai grafici appena presentati si possono trarre alcune considerazioni.

Analizzando l'efficienza si nota come nel caso  $N=10^4$  l'efficienza è bassa anche per 2 processori; ciò indica che è un problema che non conviene risolvere in parallelo, fissate queste dimensioni.

Tuttavia anche da  $N=10^5$  fino a  $N=10^7$  si osserva che l'efficienza migliore si ottiene in corrispondenza di soltanto 2 processori.

Si possono ripetere analoghe considerazioni come quelle fatte per i tempi, notando che, per  $N$  fissato, l'efficienza peggiora dopo un certo valore di  $p$ , e che, in generale, all'aumentare sia di  $N$  che di  $p$ , l'efficienza migliora.

Solo nel caso in cui  $N=10^8$  l'efficienza ottima si ha con  $p=4$  processori.

Analoghe considerazioni per lo speedup.

## ANALISI DELL' ACCURATEZZA

Confrontando il risultato ottenuto sul cluster Scope e quello ottenuto su MATLAB si ottiene il seguente errore relativo, fissando a 8 il numero di processori con dimensione dei vettori pari a  $10^5$ .

```
%esecuzione script per i test di accuratezza
accuratezza
```

```
risultato_scope =
    3.141592653589620e+05
risultato_matlab =
    3.141592653587123e+05
errore_relativo =
    7.946690904462235e-13
```