

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).
- **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.

ESEMPIO DI FUNZIONAMENTO

Nell'immagine seguente vi è un esempio di funzionamento, con 4 processori e dimensione dei vettori pari a 10^5 .

%esempio di funzionamento
funzionamento

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

```

[M63000769@ui-studenti-elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare]$ cat elaborato_1.out
-----
100 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
-----
200
300 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
400 PBS: execution mode is PBS_BATCH
    PBS: job identifier is 3920389.torque02.scope.unina.it
    PBS: job name is elaborato_1
    PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3920389.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
500 /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/intel
600 64:/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/debu
    gger/gui/intel64:/opt/d-cache/stm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glite/bin:/opt/globus/bin:/opt/leg/bin:/usr/local/bin:/bi
700 n:/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/MPJExpress
    /mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
800 Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /h
    mes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
    Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpixec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3920389.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPA
900 R/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
    ciao sono il processo 0 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
    Ciao sono il processo 1 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
    Ciao sono il processo 3 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
    Ciao sono il processo 2 e mi chiamo wn273.scope.unina.it
    Sono il processo 0. Il prodotto scalare è pari a : 314159.2653589579858817.
    Sono il processo 0 : tempo di esecuzione totale di 0.0001919269561768 secondi.
1000 [M63000769@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 non positivo

```

[M63000769@ui-studenti elaborato_1/prodotto_scalare]
100 This job is allocated on 4 cpu(s)
    Job is running on node(s):
200 wn273.scope.unina.it
    wn273.scope.unina.it
    wn273.scope.unina.it
    wn273.scope.unina.it
-----
300 PBS: gsub 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
400 PBS: execution mode is PBS BATCH
    PBS: job identifier is 3920409.torque02.scope.unina.it
    PBS: job name is elaborato_1
    PBS: node file is /var/spool/pbs/aux/3920409.torque02.scope.unina.it
500 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/intel
600 64:/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/debu
        gger/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:/bi
        n:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerver/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MJExpress
        /mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
700 -----
    Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /h
        omes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
    Esegui: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpixec -machinefile /var/spool/pbs/aux/3920409.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPAR
        /2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
800 Errore! Il numero dei processi deve essere maggiore di zero
    [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
    [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
900 [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
    [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
    [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
1000 [M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$

```

100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800

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

```
[M63000769@ui-studenti elaborato_1/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 3920441.torque02.scope.unina.it  
PBS: job name is elaborato_1  
PBS: node file is /var/spool/pbs/aux//3920441.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_sp1.3.174/bin/intel64;/opt/  
/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/bin/intel  
64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/debu  
gger/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:/bi  
n:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composerver/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MPJExpress  
/mpj-v0.38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin  
-----  
Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1_h  
omes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c  
Eseguo: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpixec -machinefile /var/spool/pbs/aux//3920441.torque02.scope.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPA  
R/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1  
Errore! La dimensione non è coerente con il numero di processori.  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$  
[M63000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
```

200

400

600

800

1000

1200

1400

1600

1800

Errore: le dimensione dei vettori sono diverse

```

[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$ cat elaborato_1.out
100 This job is allocated on 4 cpu(s)
    Job is running on node(s):
    wn273.scopec.unina.it
200 wn273.scopec.unina.it
    wn273.scopec.unina.it
    wn273.scopec.unina.it
-----
300 PBS: qsub is running on ui-studenti.scopec.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
400 PBS: execution mode is PBS_BATCH
    PBS: job identifier is 3920446.torque02.scopec.unina.it
    PBS: job name is elaborato_1
    PBS: node file is /var/spool/pbs/aux/3920446.torque02.scopec.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_sp1.3.174/bin/intel64:/opt
500 /exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/mpirt/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/bin/intel
600 64:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/bin/intel64_mic:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composer_xe_2013_sp1.3.174/debu
    gger/gui/intel64:/opt/d-cache/srm/bin:/opt/d-cache/dcap/bin:/opt/edg/bin:/opt/glibe/bin:/opt/globus/bin:/opt/lcg/bin:/usr/local/bin:/bi
    n:/usr/bin:/opt/exp_soft/HADOOP/hadoop-1.0.3/bin:/opt/exp_soft/unina.it/intel/composere/bin/intel64:/opt/exp_soft/unina.it/MPRExpress
700 /mpj-v0_38/bin:/homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/bin
-----
Eseguito: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpicc -o /homes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1 /h
omes/DIS/CALCPAR/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1.c
Eseguito: /usr/lib64/openmpi/1.4-gcc/bin/mpixec -machinefile /var/spool/pbs/aux/3920446.torque02.scopec.unina.it -np 4 /homes/DIS/CALCPA
800 R/2019/M63000769/elaborati/elaborato_1/prodotto_scalare/elaborato_1
    Errore! Le dimensioni dei due vettori sono diverse
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
[ME3000769@ui-studenti prodotto_scalare]$
1000 [ME3000769@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 - $T(p)$

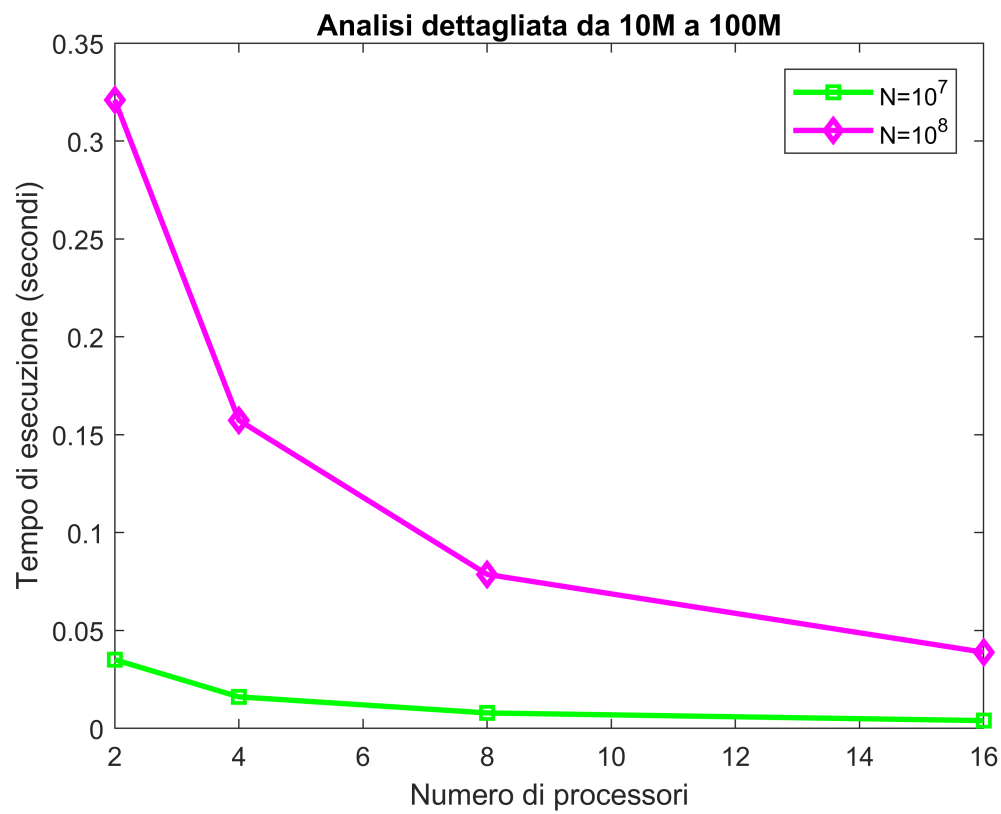
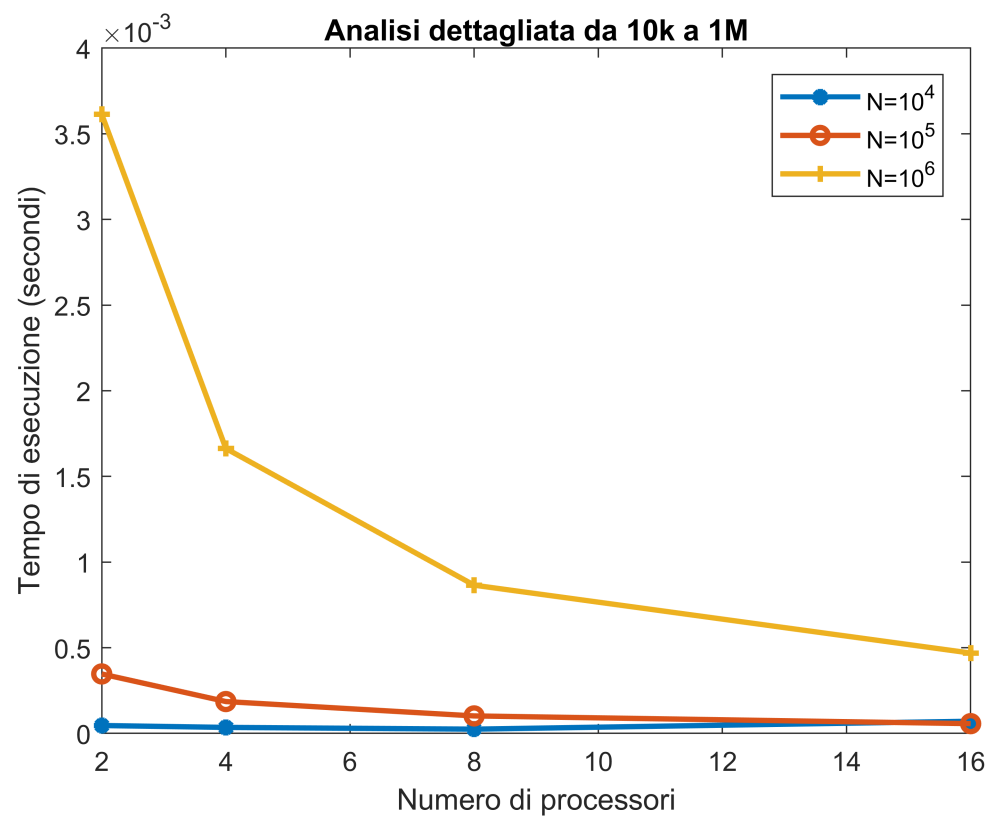
Si è scelto di misurare i tempi di esecuzione nel processo *root* usando la primitiva `MPI_Wtime()`. In particolare l'intervallo di tempo misurato è quello che comprende le fasi 2 e 3 dell'algoritmo prima citate.

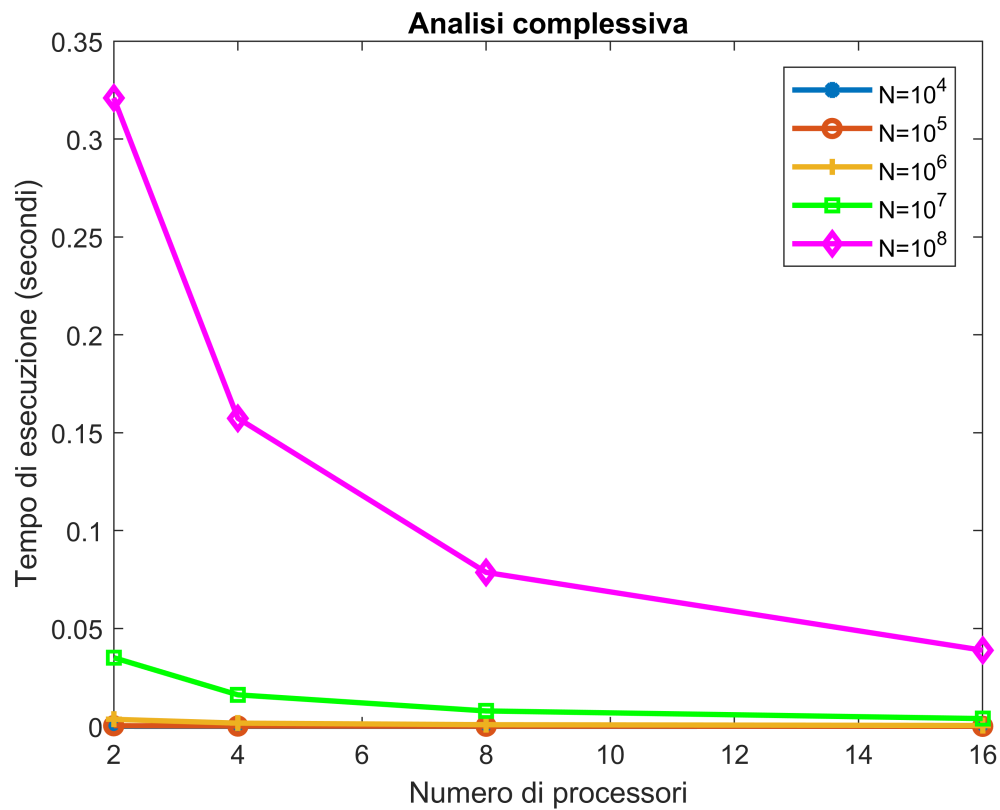
Per ciascuna misurazione (al variare di N da 10k a 100M e al variare di p da 2 a 16) è stato considerato il minimo tra 3 esecuzioni ripetute, eseguite in momenti diversi.

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

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

Tempi					
TEMPI					
	10000	100000	1000000	10000000	100000000
2	0,0000460147857666	0,0003470831298828	0,0036139388580322	0,0351049690246582	0,3209781646728510
4	0,0000350475311279	0,0001859664916992	0,0016629695892334	0,0161240100860596	0,1573901176452630
8	0,0000247955322266	0,0001020431518555	0,0008652210235596	0,0078989765167236	0,0786648521423340
16	0,0000710487365723	0,0000569820404053	0,0004689693450928	0,0039839744567871	0,0388941764831543





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.

Per considerazioni più di dettaglio su questi risultati si rimanda alla sezione Conclusioni.

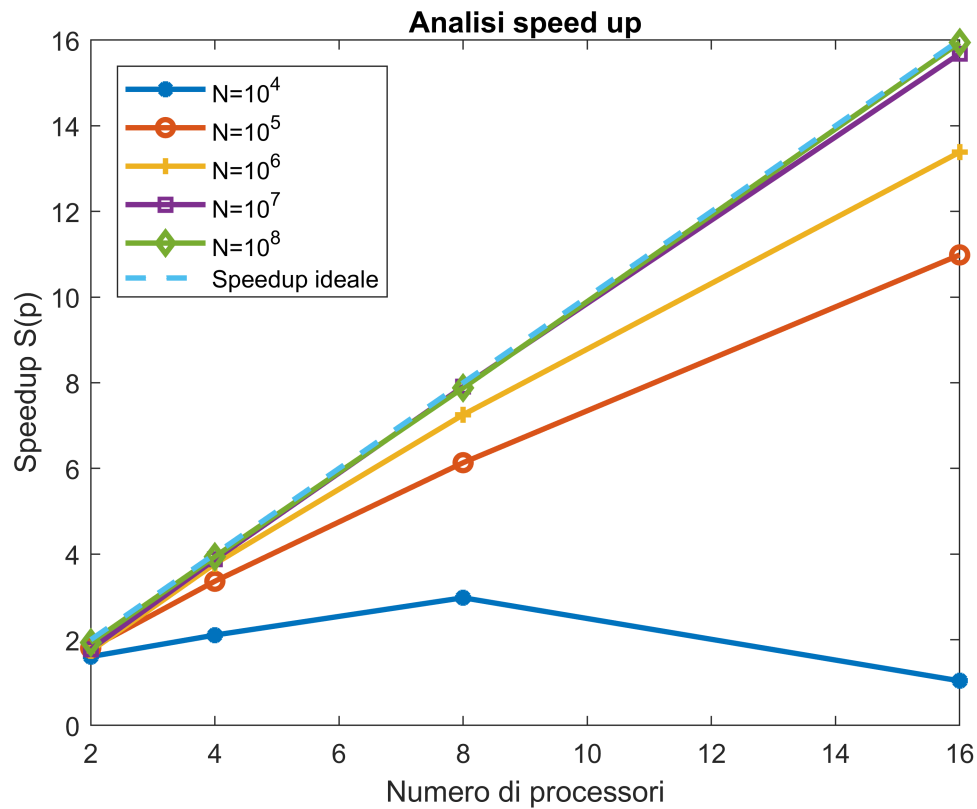
Speed up ed Efficienza - $S(p)$ ed $E(p)$

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
```

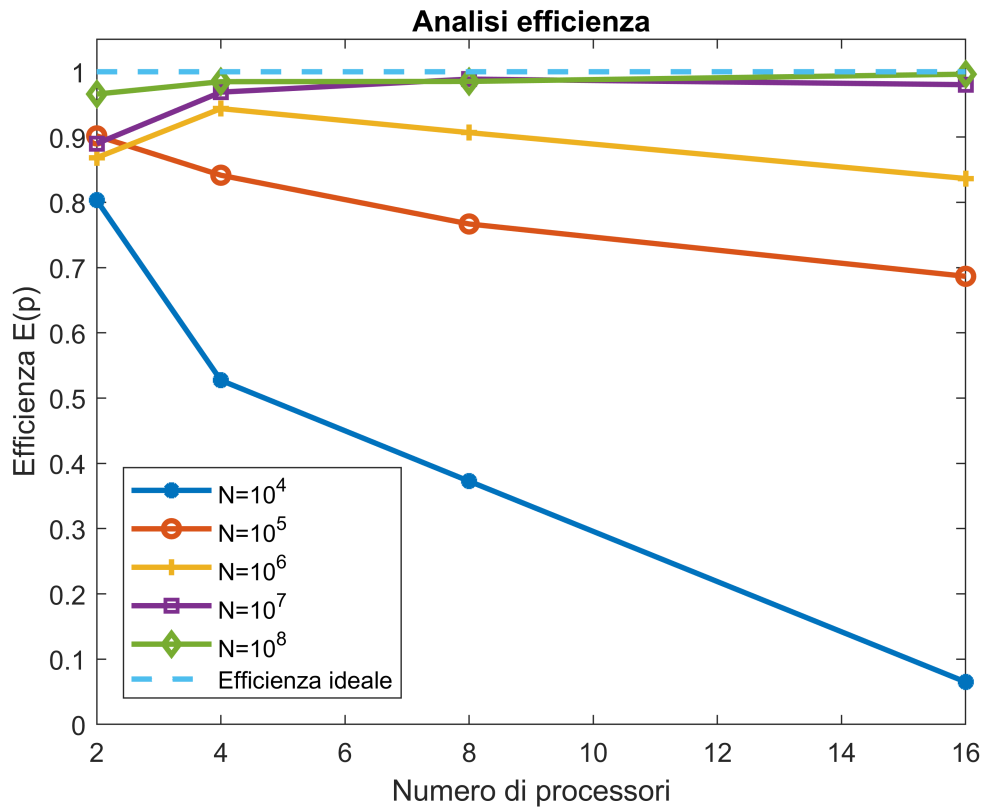

Speed up					
SPEEDUP	10000	100000	1000000	10000000	100000000
50					
100	2	1,6062	1,8034	1,7366	1,7798
150	4	2,1088	3,3658	3,7741	3,8750
	8	2,9808	6,1340	7,2538	7,9099
	16	1,0403	10,9847	13,3828	15,6828



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					
EFFICIENZA	10000	100000	1000000	10000000	100000000
50					
100	2	0,8031	0,9017	0,8683	0,8899
150	4	0,5272	0,8415	0,9435	0,9687
	8	0,3726	0,7667	0,9067	0,9887
	16	0,0650	0,6865	0,8364	0,9802



Conclusioni

Dai grafici appena presentati si possono trarre alcune considerazioni.

Analizzando l'efficienza si nota come nel caso $N=10^4$ e $N=10^5$ l'efficienza ottimale si ha per 2 processori.

Invece nel caso di $N=10^6$ l'ottimo è in corrispondenza di 4 processori, mentre per $N=10^7$ e $N=10^8$ è, rispettivamente, in corrispondenza di 8 e 16 processori.

Si possono fare ulteriori considerazioni notando che, per N fissato, l'efficienza peggiora dopo un certo valore di p (ciò verifica sperimentalmente la legge di Amdahl), e che, in generale, all'aumentare sia di N che di p , l'efficienza migliora (verificando la legge di Gustafson).

Analoghe considerazioni per i tempi e 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
```