

Laboratorio di Calcolo Parallelo

Lezione 1: Introduzione a C ed MPI

Francesco Versaci & Alberto Bertoldo

Università di Padova

5 maggio 2009



DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



Informazioni sul Laboratorio

Il Laboratorio è facoltativo

Cosa dovete fare:

- 1 Seguire le lezioni
- 2 Iscrivervi al Laboratorio
- 3 Sperimentare
- 4 Fare il progetto e la relazione

Per superare l'esame:

- Esame scritto (Prof. Bilardi)
- Relazione (da -2 a +3 punti)
 - Vi verrà comunicata la modalità di presentazione



Lezioni

- Oggi: Introduzione a C ed MPI
- Domani (Aula Ke): Aspetti avanzati ed esempi
- Piú avanti: Aspetti pratici

Iscrizione

- 1 Formare un gruppo (da 1 a 3 persone)
- 2 Decidere cosa fare ed eleggere un referente
- 3 Il **referente** mi spedisce un'email (versacif@dei.unipd.it) con:
 - Di **ogni** componente: Nome, Cognome, Matricola, Account del DEI
 - Argomento del progetto scelto

IMPORTANTE!

Tutti i componenti devono contribuire al progetto



Accesso al Laboratorio

- L'accesso è **remoto** via SSH
- Possibile sia dalla rete dipartimentale che dall'esterno
- Lezione 3: Guida all'accesso
- Utilizzo prioritario delle postazioni in aula Se:
 - Lunedì 8:00 – 12:00
 - Martedì 8:00 – 12:00
 - Giovedì 8:00 – 12:00
 - Venerdì 12:00 – 18:00

Supporto:

- Via email (versacif@dei.unipd.it)
- Non ponetemi questioni di debugging, ma di organizzazione dell'algoritmo
- Per problemi con la macchina, contattare il sistemista che la gestisce (mazzon@dei.unipd.it)
- In entrambi i casi: prima di scrivere cercate di risolvere il problema!



Il progetto di Laboratorio si compone di:

- 1 **Implementazione** di un algoritmo parallelo
 - Matrix Multiplication (esempio)
 - Gaussian Elimination
 - FFT
 - Sorting
 - **Altro** (grafi, elaborazione delle immagini, ecc...)
- 2 **Valutazione sperimentale** delle prestazioni
 - Correttezza
 - Tempi di esecuzione
 - Requisiti di memoria
 - Speedup ed efficienza
 - Impatto delle comunicazioni
- 3 **Presentazione** dei risultati
 - Breve presentazione dell'algoritmo scelto e delle scelte implementative
 - Accurata analisi delle prestazioni
 - Non includere il codice nella relazione
 - Allegare il codice sorgente e le istruzioni per compilarlo ed eseguirlo



Sommario

- 1 Il Linguaggio C
- 2 Il Compilatore GCC
- 3 Come fare i Makefile
- 4 Programmazione parallela
 - Modelli di memoria
 - Modelli di programmazione
- 5 Introduzione a MPI
 - Ambiente di esecuzione
 - Comunicazioni punto-punto



 Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie
Il Linguaggio C (II Edizione)
Pearson – Prentice Hall, 27 €

Un po' di storia...

Dall'ALGOL al C

1999 ISO C99

1989-90 **Ansi C** (C89, ISO C90)

1978 Esce *The C Programming Language*
(K&R)

1969-73 Nasce il C (Ritchie, AT&T Bell Labs)

~1969 B (Thompson)

1966 BCPL (Richards, University of
Cambridge, in visita all' MIT)

1963 CPL (University of Cambridge and
London)

1958 ALGOL (AA. VV., ETH Zurigo)



Dennis Ritchie e Ken
Thompson – *Turing Award*
1983

C is a language that combines all the elegance and power of assembly language with all the readability and maintainability of assembly language

Jargon file

- Curly bracket language (come C++, Java, ...)
- Molto semplice
- *Facile* da compilare
- Vicino alla macchina
- Ideale per ottenere alte prestazioni
- Programmazione a oggetti non esplicita



Hello, World!

hello.c

```
#include <stdio.h>

main(){
    printf("hello , world\n");
}
```



Compilazione

```
$ cc hello.c
$ ./a.out
hello, world

$ gcc -O3 -o hello hello.c
$ ./hello
hello, world
```



ANSI C

`char` 1 byte

`int` una word

`float` numero in virgola mobile in precisione singola

`double` numero in virgola mobile in precisione doppia

`unsigned int` intero non negativo

C99

`int8_t` intero a 8 bit

`int16_t` intero a 16 bit

`uint32_t` intero a 32 bit senza segno

`int64_t` intero a 64 bit

`bool` booleano

`complex` numero complesso

Note

- In C i dati non hanno dimensione fissata (per adattarsi alla macchina mantenendo le prestazioni)
- I booleani sono semplici interi (FALSO=0, VERO=diverso da 0)
- Le stringhe sono array di char, terminate da NULL (`\0=0x00`)



Formattazione dell'output: `printf`

Sintassi ed esempi

```
int printf (char *format, arg1, arg2, ...)
```

- scrive sullo stdout gli argomenti, formattati secondo `format`
- restituisce il numero di caratteri visualizzati

Esempi

```
int x=13; char c[]="cows";
printf("number of %s: %d\n", c, x );
/* number of cows: 13 */
printf("%.3s\n", c);
/* cow */
```

```
const double pi=3.141592653589;
printf("%10.5f\n", pi);
/*      3.14159 */
```



CARATTERE	TIPO DELL'ARGOMENTO; STAMPATO COME
d,i	<code>int</code> ; numero in notazione decimale
x,X	<code>unsigned int</code> ; numero in notazione esadecimale (senza <code>0x</code> in testa)
c	<code>int</code> ; singolo carattere
s	<code>char*</code> ; stampa la stringa fino a raggiungere <code>0x00</code> o la lunghezza indicata
f	<code>double</code> ; <code>[-]i.dddddd</code> , con <code>i</code> parte intera e <code>dddddd</code> cifre decimali
g	<code>double</code> ; stampa i <code>double</code> in notazione esponenziale
e	<code>double</code> ; sceglie fra <code>f</code> e <code>g</code> a seconda della grandezza del numero
p	<code>void *</code> ; puntatore

Puntatori

Definizione

- Un puntatore è una variabile che contiene l'indirizzo di un'altra variabile.
- I puntatori possono essere incrementati per scorrere dei vettori (gli iteratori in C++ sono una generalizzazione dei puntatori)

Esempio

```
int x=10;
int *p=&x; /* p punta a x */
(*p)++; /* incrementa x */

double d[]={1.2, 2.3, 3.4};
double* p=d;
p++;
printf("%g\n", *p); /* 2.3 */
```

swap.c – Sbagliato

```
#include <stdio.h>

void swap(int a, int b){
    int c=b;
    b=a; a=c;
}

main(){
    int a=10; int b=20;
    printf("a: %d b: %d\n",a,b);
    swap(a,b);
    printf("a: %d b: %d\n",a,b);
}
```

```
$ gcc swap.c && ./a.out
a: 10 b: 20
a: 10 b: 20
```

swap.c – Corretto

```
#include <stdio.h>

void swap(int *a, int *b){
    int c=*b;
    *b=*a; *a=c;
}

main(){
    int a=10; int b=20;
    printf("a: %d b: %d\n",a,b);
    swap(&a,&b);
    printf("a: %d b: %d\n",a,b);
}
```

```
$ gcc swap.c && ./a.out
a: 10 b: 20
a: 20 b: 10
```



Puntatori e Vettori

scan.h

```
void v_scan(int x[], int n);
void p_scan(int *p);
```

scan.c

```
#include <stdio.h>

void v_scan(int x[], int n){
    int i=0;
    for(; i<n; ++i){
        int buf=x[i];
        if (buf>900)
            printf("%d\n",buf);
    }
}

void p_scan(int *p){
    int buf;
    while ((buf=*p++)>0)
        if (buf>900)
            printf("%d\n",buf);
}
```

main.c

```
#include <stdlib.h>
#include "scan.h"

#define N 100

int main(){
    int x[N];

    int i=0;
    /* inizializzazione valori */
    for(; i<N-1; ++i)
        x[i]=rand()%1000;
    /* terminatore */
    x[N-1]=-1;

    v_scan(x, N);
    p_scan(x);

    return 0;
}
```



args.c

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char* argv[]){
    int i=0;
    for(; i<argc; ++i)
        printf("Argomento %d: %s\n", i, argv[i]);

    return 0;
}
```

Compilazione ed esecuzione

```
$ cc -o args args.c && ./args foo bar
Argomento 0: ./args
Argomento 1: foo
Argomento 2: bar
```



Strutture

complex.c

```
#include <stdio.h>

typedef struct {
    double re;
    double im;
} co;

co prod(co x, co y){
    co z;
    z.re=x.re*y.re-x.im*y.im;
    z.im=x.im*y.re+x.re*y.im;
    return z;
}

main(){
    co x,z;
    x.re=0; x.im=1; /* x=i */
    z=prod(x,x); /* z=i^2=-1 */
    printf("(%g +i %g)\n",z.re, z.im);
}
```

- Definiscono nuovi tipi composti
- Antesignani delle classi C++



```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char* argv[]){
    int n, i, *dyn; FILE* fout;
    if (argc!=2)
        return 1;

    sscanf(argv[1], "%d", &n);

    dyn=malloc(n*sizeof(int));

    for(i=0; i<n; ++i)
        dyn[i]=rand()%1000;

    fout=fopen("data", "w");
    fwrite(dyn, sizeof(int), n, fout);
    fclose(fout);

    free(dyn);

    return 0;
}
```

- La funzione `sscanf` legge i valori da una stringa
- `malloc` alloca dinamicamente un'area di memoria
- `free` la libera
- `fopen` apre un file
- `fclose` lo chiude
- `fwrite` scrive sul file



Sommario

- 1 Il Linguaggio C
- 2 Il Compilatore GCC
- 3 Come fare i Makefile
- 4 Programmazione parallela
 - Modelli di memoria
 - Modelli di programmazione
- 5 Introduzione a MPI
 - Ambiente di esecuzione
 - Comunicazioni punto-punto



Passi per la creazione dell'eseguibile

preprocessing Vengono espanso le macro (fra cui le direttive `#include`)

compilation Il sorgente viene convertito in linguaggio *assembly*

assembling Dall'*assembly* al linguaggio macchina

linking Si uniscono i vari pezzi per formare l'eseguibile finale

runtime Vengono caricate in memoria le eventuali librerie condivise



Estensioni riconosciute

Le estensioni riconosciute dal compilatore come file C sono le seguenti:

header `.h`

codice `.c`

Opzioni per l'output

```
gcc [-c] [-o output] nome.c
```

-c Compila senza collegare, non crea l'eseguibile

-o *nomeoutput* Chiama il file di uscita "nomeoutput"

scan.h

```
void v_scan(int x[], int n);
void p_scan(int *p);
```

scan.c

```
#include <stdio.h>

void v_scan(int x[], int n){
    int i=0;
    for(; i<n; ++i){
        int buf=x[i];
        if (buf>900)
            printf("%d\n",buf);
    }
}

void p_scan(int *p){
    int buf;
    while ((buf=*p++)>0)
        if (buf>900)
            printf("%d\n",buf);
}
```

main.c

```
#include <stdlib.h>
#include "scan.h"

#define N 100

int main(){
    int x[N];

    int i=0;
    /* inizializzazione valori */
    for(; i<N-1; ++i)
        x[i]=rand()%1000;
    /* terminatore */
    x[N-1]=-1;

    v_scan(x, N);
    p_scan(x);

    return 0;
}
```



```
$ gcc -c scan.c
$ gcc -c main.c
$ gcc -o runme main.o scan.o
$ ./runme
[output]
```

Spiegazione

- I primi due comandi compilano i file sorgenti creando i file oggetto .o.
- Il terzo li collega creando l'eseguibile runme, lanciato alla quarta riga.

Le prime tre righe si sarebbero potute sostituire con questa:

```
gcc -o runme scan.c main.c
```



Queste opzioni segnalano in fase di compilazione delle probabile sviste del programmatore che non danno errori in compilazione. È consigliabile usarle **sempre**.

Warnings

- Wall Abilita molti avvisi utili (variabili usate senza inizializzazione, classi polimorfe senza distruttore virtuale, ecc.)
- ansi Seleziona l'ANSI C
- pedantic Avvisa se si devia dallo standard ISO
- W (-Wextra) Abilita altri avvisi (confronto di unsigned con 0, funzioni che possono o meno restituire un valore, ecc.)



Il gcc può utilizzare diverse tecniche per ottimizzare l'eseguibile prodotto.

Opzioni per l'ottimizzazione

- O1 Ottimizza salti condizionali e cicli, prova a eliminare alcuni if, srotola i cicli, ...
- O2 Ottimizza l'uso di sottoespressioni, riordina il codice minimizzando i salti, ...
- O3 Rende inline le funzioni piccole, ...



Opzioni di linking

- Inome* Usa la libreria esterna “nome”
- Ldir* Cerca le librerie nelle directory “dir”
- shared* Crea un file oggetto condiviso, da usare come libreria dinamica
- static* Collega tutte le librerie in modo statico (anche le condivise)
- s* Togli la tavola dei simboli dall'eseguibile



pi.c

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main(){
    printf("pi=%.10f\n", 4*atan(1));
    return 0;
}
```

Compilazione

```
$ gcc -o runme pi.c -lm
$ ./runme
pi=3.1415926536
```

Per usare una libreria esterna è necessario installare il pacchetto con gli header (in Linux *libqualcosa-dev*), includere l'header e dichiarare al linker in quali librerie recuperare gli oggetti (si veda il manuale della libreria usata).



- 1 Il Linguaggio C
- 2 Il Compilatore GCC
- 3 Come fare i Makefile
- 4 Programmazione parallela
 - Modelli di memoria
 - Modelli di programmazione
- 5 Introduzione a MPI
 - Ambiente di esecuzione
 - Comunicazioni punto-punto



Make

Panoramica

Per automatizzare la compilazione dei sorgenti lo strumento standard è il `make`. Noi analizzeremo la versione GNU di questo programma.

Il Makefile

In ogni directory che contiene sorgenti è necessario creare un file di testo, chiamato *Makefile*, che contiene le istruzioni per la compilazione.

Come avviare la compilazione

Una volta creato il Makefile è sufficiente lanciare il comando `make` (o `make obiettivo`) per avviare la compilazione.



Sintassi delle regole

```
obiettivo: prerequisiti
          comando1
          comando2
          ...
```

Spiegazione

obiettivo Il file da creare

prerequisiti I file che servono per crearlo

comando I comandi (si noti il *tab* obbligatorio) per creare l'*obiettivo*

Cosa fa il make?

Controlla se qualcuno frai *prerequisiti* è stato modificato piú recentemente dell'*obiettivo*. In caso affermativo esegue i *comandi*.



Makefile

```
grosso.txt: piccolo1.txt piccolo2.txt
            cat piccolo1.txt piccolo2.txt > grosso.txt
```

Il comando `make grosso.txt` controlla che il file *grosso.txt* non esista oppure sia piú vecchio dei file *piccolo1.txt* e *piccolo2.txt*. Quindi esegue il comando `cat` che crea il file *grosso.txt*.

Nel caso l'obiettivo sia già aggiornato `make` notifica la cosa con la seguente stringa:

```
make: 'grosso.txt' is up to date.
```



Spesso è comodo poter creare dei comandi svincolati da particolari file. Si usano allora degli obiettivi *phony*.

Makefile

```
.PHONY: clean
clean:
    rm *.o
```

Spiegazione

Eeguire il comando `make clean` è equivalente ad eseguire `rm *.o`



Nei Makefile è possibile utilizzare delle variabili per evitare di riscrivere più volte gli stessi comandi.

Makefile

```
CFLAGS = -Wall -W -pedantic -ansi

scan.o : scan.c
    gcc $(CFLAGS) -c scan.c

main.o : main.c
    gcc $(CFLAGS) -c main.c
```



Spesso si deve eseguire lo stesso comando su piú file.

Makefile

```
CFLAGS = -Wall -W -pedantic -ansi
%.o : %.c
        gcc $(CFLAGS) -c -o $@ $<
```

Regole implicite

La seconda riga fornisce una regola per trasformare qualunque file `.c` in un file

`.o`

Variabili automatiche

`$@` Bersaglio

`$<` Primo prerequisito

`$$` Tutti i prerequisiti



```
CXXFLAGS = -Wall -W -pedantic

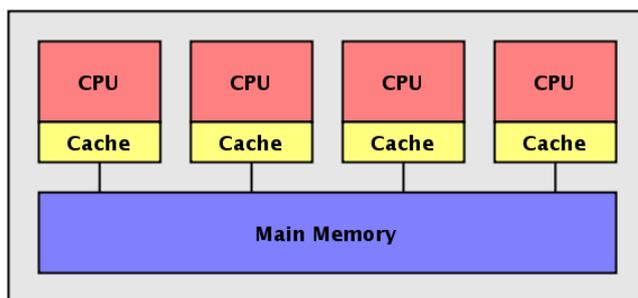
%.o : %.cc
        g++ $(CXXFLAGS) -o $@ -c $<

runme : test.o saluti.o
        g++ $(CXXFLAGS) -o $@ $$
```



- 1 Il Linguaggio C
- 2 Il Compilatore GCC
- 3 Come fare i Makefile
- 4 Programmazione parallela
 - Modelli di memoria
 - Modelli di programmazione
- 5 Introduzione a MPI
 - Ambiente di esecuzione
 - Comunicazioni punto-punto

Architettura a memoria condivisa



Caratteristiche:

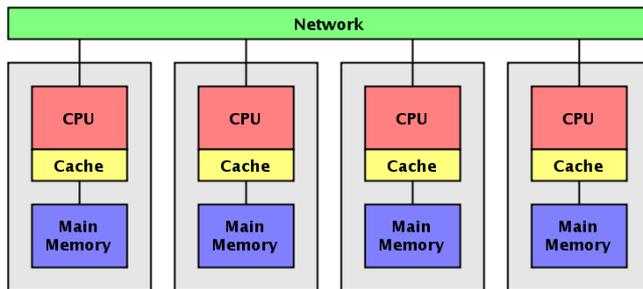
- Spazio di indirizzamento globale
- Processori uguali = SMP
- Può essere UMA or NUMA
- Esempi:
 - SGI Origin 3000
 - IBM Server p595

Pro

- Facilità di programmazione (multithreading/IPC)
- Condivisione dati veloce
- Il SO può controllare il bilanciamento del carico

Contro

- Collo di bottiglia tra CPU e memoria
- Scalabilità limitata
- Coerenza della cache



Caratteristiche:

- Spazio di indirizzamento locale
- Richiede una rete di interconnessione
- Esempi:
 - Cray T3E
 - CoW (Beowulf)

Pro

- Alta scalabilità (n. di CPU e memoria)
- Costi limitati (es. Beowulf)

Contro

- Difficili da programmare
- Occorre distribuire i dati
- Costo delle comunicazioni



Modelli di programmazione

Panoramica

Modelli di programmazione parallela più comuni:

- Shared-memory (memoria condivisa)
 - Multithreading
 - Message passing (**scambio di messaggi**)
 - Data parallel
 - Ibridi
-
- **Astrazione** delle architetture di memoria
 - Possono (teoricamente) essere realizzati su qualsiasi architettura di memoria:
 - Modello a memoria condivisa su macchine a memoria distribuita
 - Modello a scambio di messaggi su macchine a memoria condivisa (es. MPI)



Single-Program Multiple-Data

I task:

- Eseguono tutti lo stesso programma
- Possono eseguire istruzioni diverse
- Possono usare dati diversi
- Comunicano tra loro e si sincronizzano

Adatto per applicazioni parallele regolari

Multiple-Program Multiple-Data

- I task eseguono programmi diversi
- Adatto per applicazioni parallele irregolari, e.g. Master/Worker



Sommario

- 1 Il Linguaggio C
- 2 Il Compilatore GCC
- 3 Come fare i Makefile
- 4 Programmazione parallela
 - Modelli di memoria
 - Modelli di programmazione
- 5 Introduzione a MPI
 - Ambiente di esecuzione
 - Comunicazioni punto-punto



MPI = Message Passing Interface

Con il termine MPI si intendono tre cose:

- 1 **Paradigma** di programmazione a scambio di messaggi
- 2 Insieme di **specifiche** che definiscono una API
- 3 **Libreria** per la programmazione di applicazioni parallele

In realtà sarebbe corretto dire che:

- 1 Message passing è il paradigma di programmazione
- 2 **MPI è una API** (protocollo di comunicazione e semantica delle operazioni)
 - Non è uno standard *de iure*
 - È lo standard *de facto* per la programmazione message passing
 - Se ne occupa un apposito forum: <http://www.mpi-forum.org>
- 3 Esistono varie implementazioni di MPI, es: OpenMPI, MPICH, IBM MPL, ecc.



Perché MPI?

Pro

- Indipendenza dall'implementazione
 - Librerie proprietarie, es. IBM MPI
 - Open Source, es. OpenMPI
- Indipendenza dall'architettura di calcolo e di rete
 - Shared-memory, NUMA, distributed memory, multithreading, ecc.
 - Little-endian, big-endian, ecc...
 - Infiniband, TCP, Myrinet, ecc...
- Indipendenza dal linguaggio
 - C/C++, Java, Fortran, ecc...

⇒ **Portabilità, scalabilità, efficienza**

Contro

- Parallelismo troppo a basso livello
 - Controllo diretto su come, quando e tra chi scambiare messaggi
- Difficoltà di utilizzo
 - Sincronizzazione, deadlock



Versioni principali dello standard

- MPI-1.2 (Detta anche MPI-1)
 - Primitive tradizionali per lo scambio di messaggi
 - Ambiente di esecuzione statico
- MPI-2.1 (Detta anche MPI-2)
 - I/O parallelo
 - Ambiente di esecuzione dinamico
 - Accesso alla memoria remota

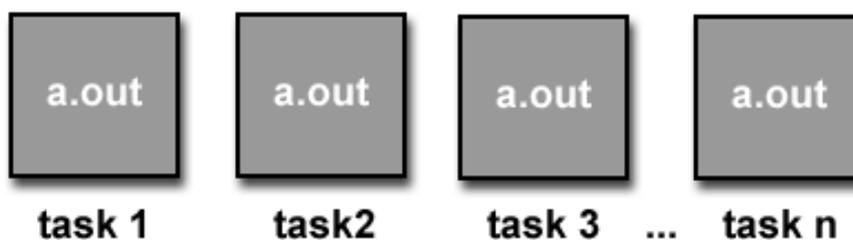
Primitive principali in MPI-1:

- Gestione dell'ambiente di esecuzione
- Comunicazioni punto-punto
- Comunicazioni collettive



Gestione dell'ambiente di esecuzione

Paradigma SPMD



- Il sistema run-time lancia n **processi**
- Ogni processo:
 - esegue una copia di `a.out` indipendentemente
 - ha il suo spazio di memoria locale
 - **può** essere mappato su un processore diverso
 - ha una sua identità
- `a.out` **può** essere un programma MPI

Ora ci occupiamo solo di programmi MPI



Definizione

Un **comunicatore** è un insieme di processi MPI che possono comunicare tra loro

- Ha un nome che lo identifica
 - Ha una dimensione (numero di processi)
 - Ogni processo può essere identificato univocamente
 - I processi sono tra loro equivalenti
-
- Esiste un comunicatore di default
 - Ha un nome: `MPI_COMM_WORLD`
 - Comprende gli n processi lanciati dal sistema run-time
 - I processi sono identificati con un intero da 0 a $n - 1$
 - Possono essere definiti altri comunicatori, anche non disgiunti



Inizializzare MPI

```
int MPI_Init(int *argc, char ***argv)
```

- Deve essere chiamata da tutti i processi **prima** di ogni altra chiamata MPI

Terminare MPI

```
int MPI_Finalize(void)
```

Dato un comunicatore `comm` (per noi è sempre `MPI_COMM_WORLD`):

Quanti siamo?

```
int MPI_Comm_size(MPI_Comm comm, int *size)
```

- `size` è la dimensione del comunicatore

Chi sono io?

```
int MPI_Comm_rank(MPI_Comm comm, int *rank)
```

- `rank` è l'identificatore del processo corrente (da 0 a `size-1`)



```
/* C Example */
#include <stdio.h>
#include <mpi.h>

int main (int argc, char *argv[])
{
    int rank, size;

    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
    printf("Hello_world_from_process_%d_of_%d\n", rank, size);
    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```



Gestione dell'ambiente di esecuzione

Alcune note sull'Esempio 1

- `MPI_COMM_WORLD` è definito in `mpi.h`
- Ogni comando è eseguito da **ogni** processo **indipendentemente**
- La compilazione produce un unico eseguibile
- Il sistema run-time dipende dall'implementazione e definisce:
 - Se e come si replica l'eseguibile nei nodi di calcolo
 - Come si lanciano i processi
 - Come vengono gestiti lo standard output/error

Esempio di esecuzione:

```
bash-2.05$ mpcc hello.c
bash-2.05$ poe ./a.out -procs 4
Hello world from process 1 of 4
Hello world from process 0 of 4 <-- NOTARE L' ORDINE
Hello world from process 2 of 4
Hello world from process 3 of 4
bash-2.05$
```



Comunicazione tra **due** processi MPI

- Copia di dati tra spazi di memoria distinti
- Permette di identificare univocamente i messaggi
- Usa tipi di dati propri
- Le primitive possono essere **bloccanti** o **non bloccanti**
- Varie **modalità** di comunicazione:

Standard: buffering e sincronizzazione automatici

Buffered: buffering utente intermedio

Sincrona: rendezvous stretto

Pronta: spedizione immediata (no handshaking)

I messaggi sono composti da **due** parti:

Intestazione: permette di identificare univocamente il messaggio

Dati: ciò che si vuole scambiare tra i processi



Comunicazioni punto-punto

Messaggi

L'intestazione è composta da:

Sorgente: è l'identificatore (nel comunicatore) del processo che invia il messaggio

Destinazione: è l'identificatore (nel comunicatore) del processo che deve ricevere il messaggio

Tag: identifica il messaggio (intero da 0 a `MPI_TAG_UB`)

Comunicatore: è il contesto di comunicazione (già visto)

I dati sono composti da:

Tipo: tipo di dati MPI (tabella)

Lunghezza: come numero di **elementi**

Buffer: array di elementi consecutivi nella **memoria utente**

MPI datatype	C datatype
<code>MPI_CHAR</code>	signed char
<code>MPI_SHORT</code>	signed short int
<code>MPI_INT</code>	signed int
<code>MPI_LONG</code>	signed long int
<code>MPI_UNSIGNED_CHAR</code>	unsigned char
<code>MPI_UNSIGNED_SHORT</code>	unsigned short int
<code>MPI_UNSIGNED</code>	unsigned int
<code>MPI_UNSIGNED_LONG</code>	unsigned long int
<code>MPI_FLOAT</code>	float
<code>MPI_DOUBLE</code>	double
<code>MPI_LONG_DOUBLE</code>	long double
<code>MPI_BYTE</code>	
<code>MPI_PACKED</code>	



Spedire un messaggio

```
int MPI_Send(void* buf, int count, \
             MPI_Datatype datatype, int dest, \
             int tag, MPI_Comm comm)
```

- Ritorna quando il messaggio è stato copiato dal sistema
- Quando ritorna `buf` può essere sovrascritto
- Non è detto che quando ritorna il messaggio sia stato ricevuto!!!
- Potrebbe essere nella **memoria di sistema** del mittente

Note sul buffering in spedizione

- Dipende dall'implementazione di MPI
- Può essere controllato dall'utente (lo vedremo prossimamente)
- **Pro:** disaccoppia send e recv, elimina la sincronizzazione
- **Contro:** memoria aggiuntiva, tempo per la copia



Ricevere un messaggio

```
int MPI_Recv(void* buf, int count, \
             MPI_Datatype datatype, \
             int source, int tag, \
             MPI_Comm comm, MPI_Status *status)
```

- Ritorna quando il messaggio è stato ricevuto nel buffer nello spazio utente
- `count` deve essere \geq della lunghezza del msg ricevuto
- `source` può essere `MPI_ANY_SOURCE`
- Il `tag` identifica quale messaggio da `source` si vuole ricevere
- `tag` può essere `MPI_ANY_TAG`
- `status` contiene informazioni aggiuntive

Attenzione

I tipi di dato devono coincidere con quelli della send corrispondente!



Comunicazioni punto-punto

Esempio 2

```
#include "mpi.h"
#include <stdio.h>
int main( int argc, char *argv[])
{
    int rank, buf;
    MPI_Status status;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    if (rank == 0) {
        buf = 123456;
        MPI_Send(&buf, 1, MPI_INT, 1, 0, MPI_COMM_WORLD);
        printf("%d has sent %d to %d\n", rank, buf, 1);
    }
    else if (rank == 1) {
        MPI_Recv(&buf, 1, MPI_INT, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
        printf("%d has received %d from %d\n", rank, buf, 0);
    }
    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```



Comunicazioni punto-punto

Alcune note sull'Esempio 2

- Stesso codice eseguibile, ma...
- ... processi diversi eseguono parti di codice diverse
- Solo p_0 inizializza `buf`
- p_1 ottiene il valore 123456 in `buf` solo dopo aver ricevuto il messaggio da p_0

Esempio di esecuzione:

```
bash-2.05$ mpcc blocking.c
bash-2.05$ poe ./a.out -procs 8
0 has sent 123456 to 1
1 has received 123456 from 0
bash-2.05$
```

Cosa fanno i processi $p_2 \dots p_7$?





Per lo standard:

<http://www.mpi-forum.org/docs>



Tutorial:

<https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi>



Per l'implementazione IBM:

http://www.dei.unipd.it/~addetto/manuali_online/index.html



In particolare:

<http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245380.pdf>