Laboratorio di
Reti Informatiche

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

A.A. 2016/2017

Ing. Niccolò Iardella

niccolo.iardella@unifi.it

Esercitazione 4

Programmazione con i socket – Parte 1

Programma di oggi

- Introduzione al linguaggio C
- Programmazione con i socket

Introduzione al linguaggio C

Attraverso le principali differenze tra C e C++

Definizione di variabili

- Le variabili possono essere definite solo all'inizio di un blocco (standard C89):

Stile C++

```
int main() {
  int a = 5, i, b;
  a = func(1000);
  int b = f(a);
  // …
  for (i = 0; a < 100; ++i) {
    b = f(a);
    int c = 0;
    // …
  }
}
```

Stile C

```
int main() {
  int a = 5, i, b;
  int b = f(a);
  a = func(1000);
  // …
  for (i = 0; a < 100; ++i) {
    int c = 0;
    b = f(a);
    // …
  }
}
```

Strutture

- Si deve specificare sempre **`struct`** quando si crea una variabile di tipo struttura:

Stile C++

```
struct Complex {
    double Re;
    double Im;
};

int main() {
    int a = 4;
    Complex c;
    // …
}
```

Stile C

```
struct Complex {
    double Re;
    double Im;
};

int main() {
    int a = 4;
    struct Complex c;
    // …
}
```

Memoria dinamica


```c
#include <stdlib.h>

int main() {
  int mem_size = 5;
  void *ptr;
  ptr = malloc(mem_size);
  if (ptr == NULL) {
    // Gestione errore
  }
  // …
  free(ptr);
}
```

```
man malloc
man 3 free
```

Operazioni di I/O


```c
#include <stdio.h>

char *str = "Hello!\n";
printf(str);
printf("str = %s", str);

printf("Hello World!\n");

int i = 5;
printf("i = %d\n", i);

scanf("%d", &i);
printf("i = %d\n", i);
```

```
man 3 printf
man scanf
man stdio
```

Stringhe


```c
#include <string.h>

// Lunghezza
char *str1 = "Hello \n";
int len;
len = strlen(str1);

// Confronto
char *str2 = "World!\n";
int ret;
ret = strcmp(str1, str2);
```

H	e	l	l	o		\n	\0

8 byte allocati, ma **`strlen()`** restituisce **7**!

```
man strlen
man strcmp
```

`ret = 0` se le stringhe sono identiche
`ret < 0` se **`str1`** è alfabeticamente minore di **`str2`**
`ret > 0` se **`str1`** è alfabeticamente maggiore di **`str2`**

Stringhe


```
#include <string.h>

// Copia
char str[20];
n = sizeof(str);
strncpy(str, "Hello \n", n);

// Concatenazione
char *str2 = "World!\n";
strncat(str1, str2, 8);
```

```
man strncpy
man strncat
```

- Fare attenzione a copiare anche il terminatore di stringa
- Le funzioni non controllano che ci sia spazio nella stringa di destinazione

H	e	l	l	o		\n	W	o	r	l	d	!	\n	\0

Gestione dei file


```
#include <stdio.h>

// Apertura file
FILE *fd;
fd = fopen("/tmp/foo.txt", "r" );
if (fd == NULL) {
    // Gestione errore
}
```

`man fopen`

Si specifica un percorso (assoluto o relativo) e una modalità di apertura:

- **`r`** = sola lettura
- **`w`** = sola scrittura
- **`r+`** = lettura e scrittura
- **`a`** = *append*
- **`a+`** = lettura e *append*

Se il file non esiste e si specifica scrittura o *append*, il file viene creato

Gestione dei file


```c
#include <stdio.h>

// Lettura file
int ret, n;
FILE *fd1;
fd1 = fopen("/tmp/foo.txt", "r");
ret = fscanf(fd1, "%d", &n);

// Scrittura file
char *str = "Hello!\n";
FILE *fd2;
fd2 = fopen("/tmp/bar.txt", "w");
ret = fprintf(fd, "%s", str);
```

```
man fscanf
man fprintf
```

Si comportano allo stesso modo di **`scanf()`** e **`printf()`**, ma usano il file specificato invece di **`stdin`** e **`stdout`**

Gestione dei file


```c
#include <stdio.h>
#include <sys/stat.h>

// Dimensione
int ret, size;
struct stat info;
ret = stat("/tmp/foo.txt", &info);
size = info.st_size;

// Chiusura file
FILE *fd;
fd = fopen("/tmp/bar.txt", "w");
fclose(fd);
```

```
man 2 stat
man fprintf
```

Non serve aprire il file per usare `stat()`

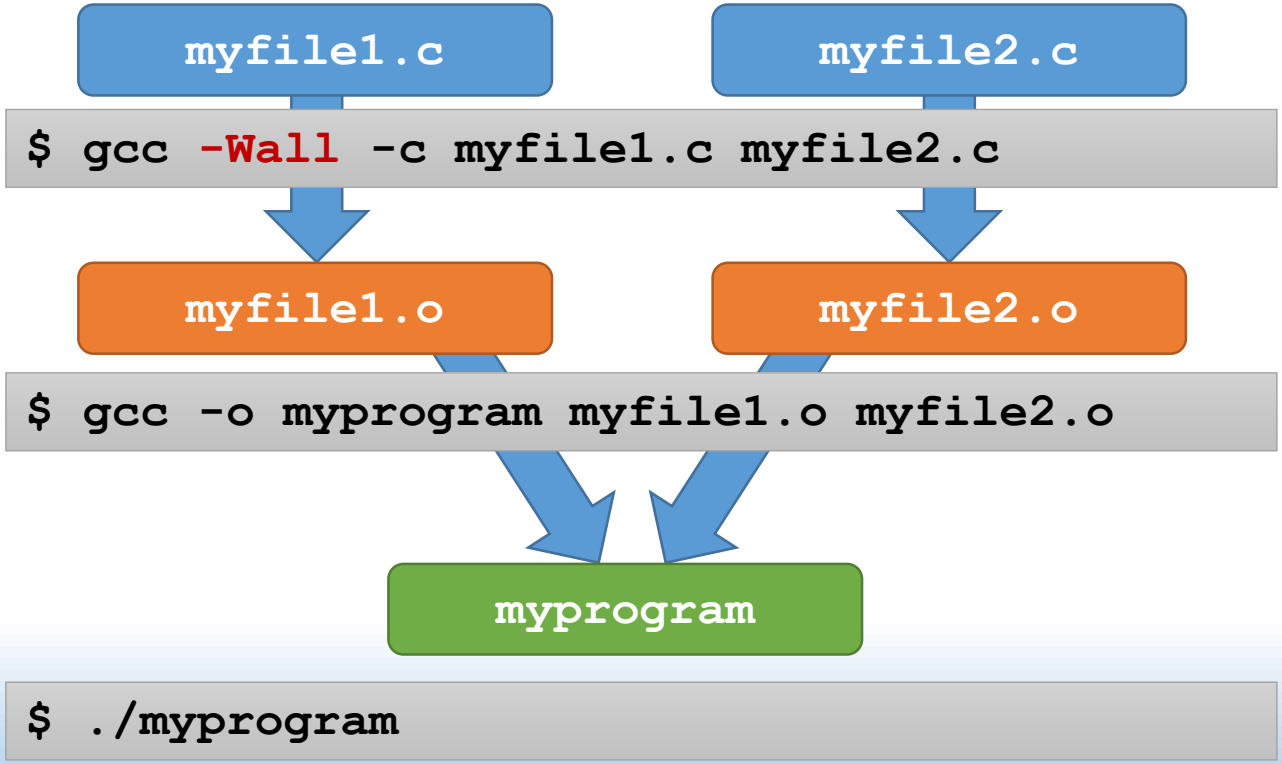
Compilazione

- Useremo la *GNU Compiler Collection* (GCC)

```
man gcc
```

Con la **compilazione**, si creano i *file oggetto* a partire dai *file sorgente*

Con il **linking**, si crea un *file eseguibile* a partire dai *file oggetto*



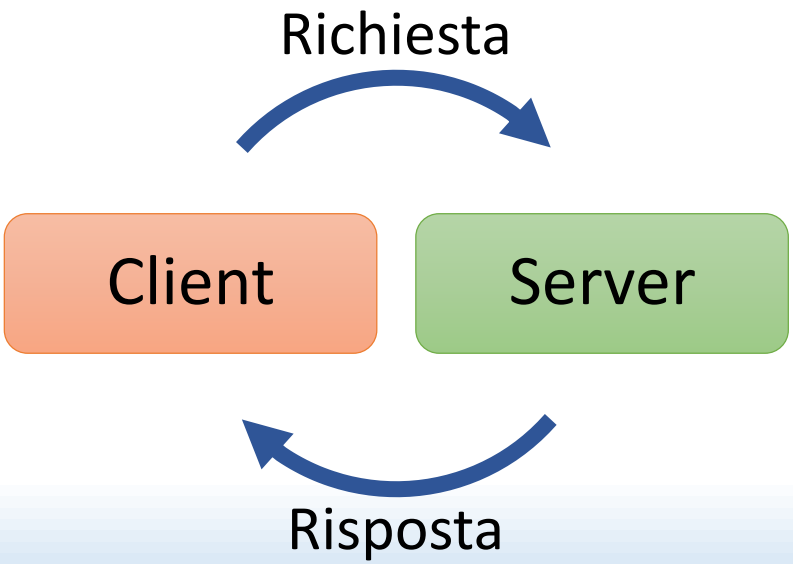
Programmazione distribuita

Cooperazione tra processi

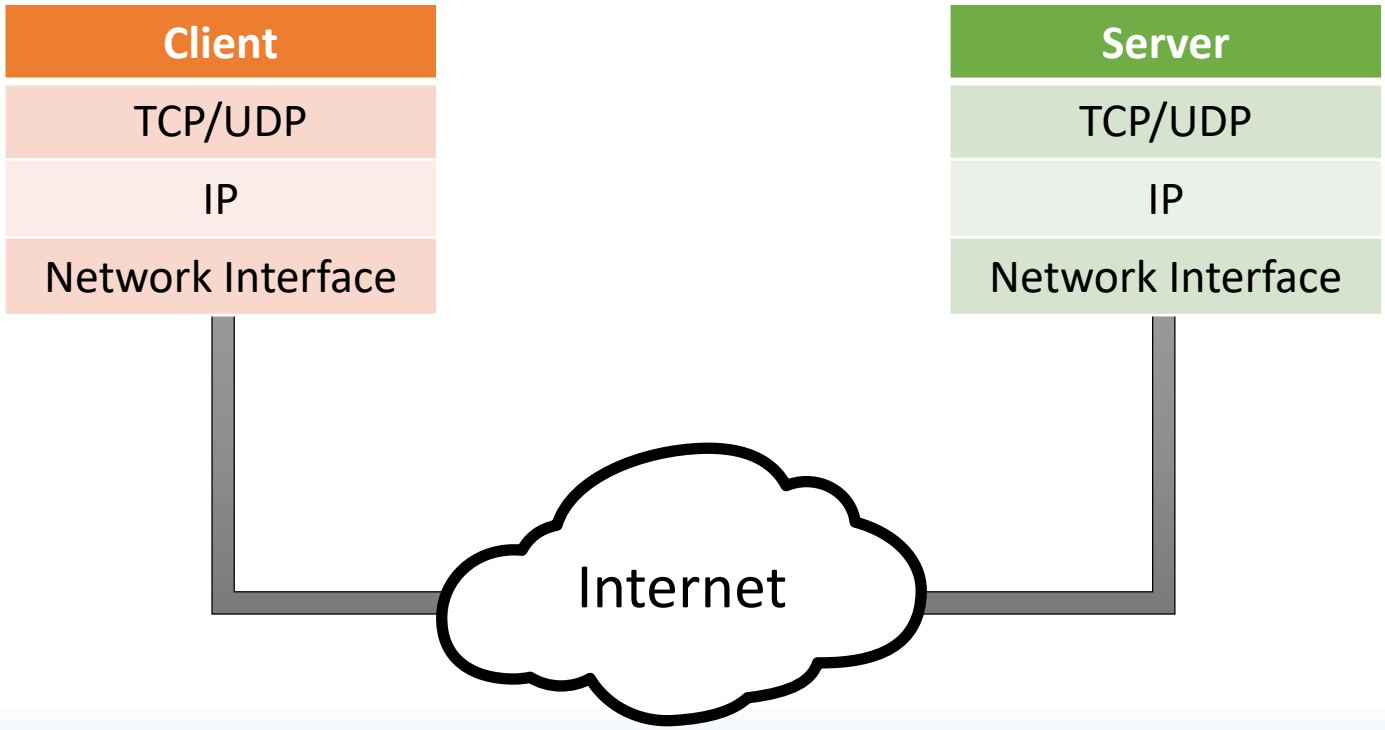
- Due processi possono essere:
  - Indipendenti
  - **Cooperanti**
    - Sulla stessa macchina
    - Su macchine diverse (**sistema distribuito**)
- Due processi possono cooperare attraverso:
  - Sincronizzazione (Es. semafori)
  - **Comunicazione**, cioè scambio di informazioni
    - Memoria condivisa
    - Chiamate a procedura remota
    - **Scambio di messaggi**

Client/server

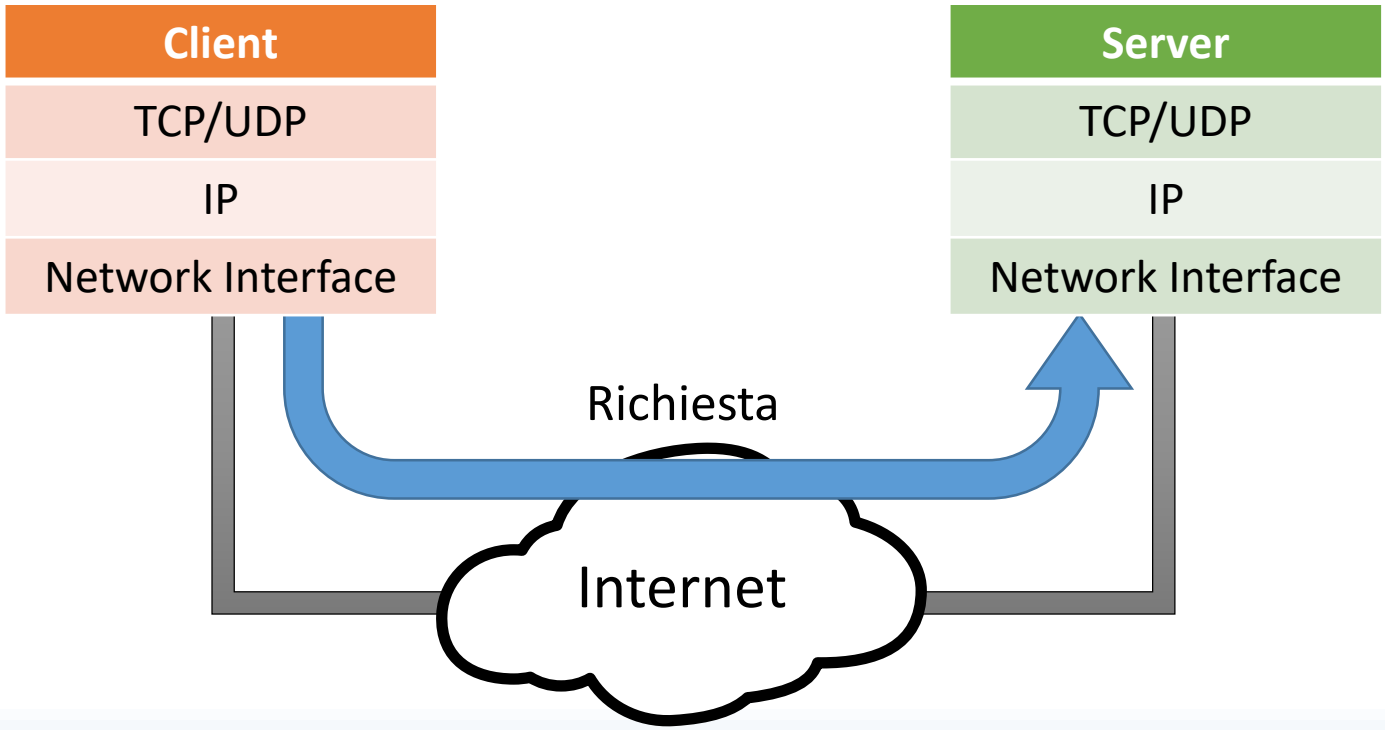
- Paradigma basato su scambio di messaggi
- Viene usato principalmente per sistemi distribuiti



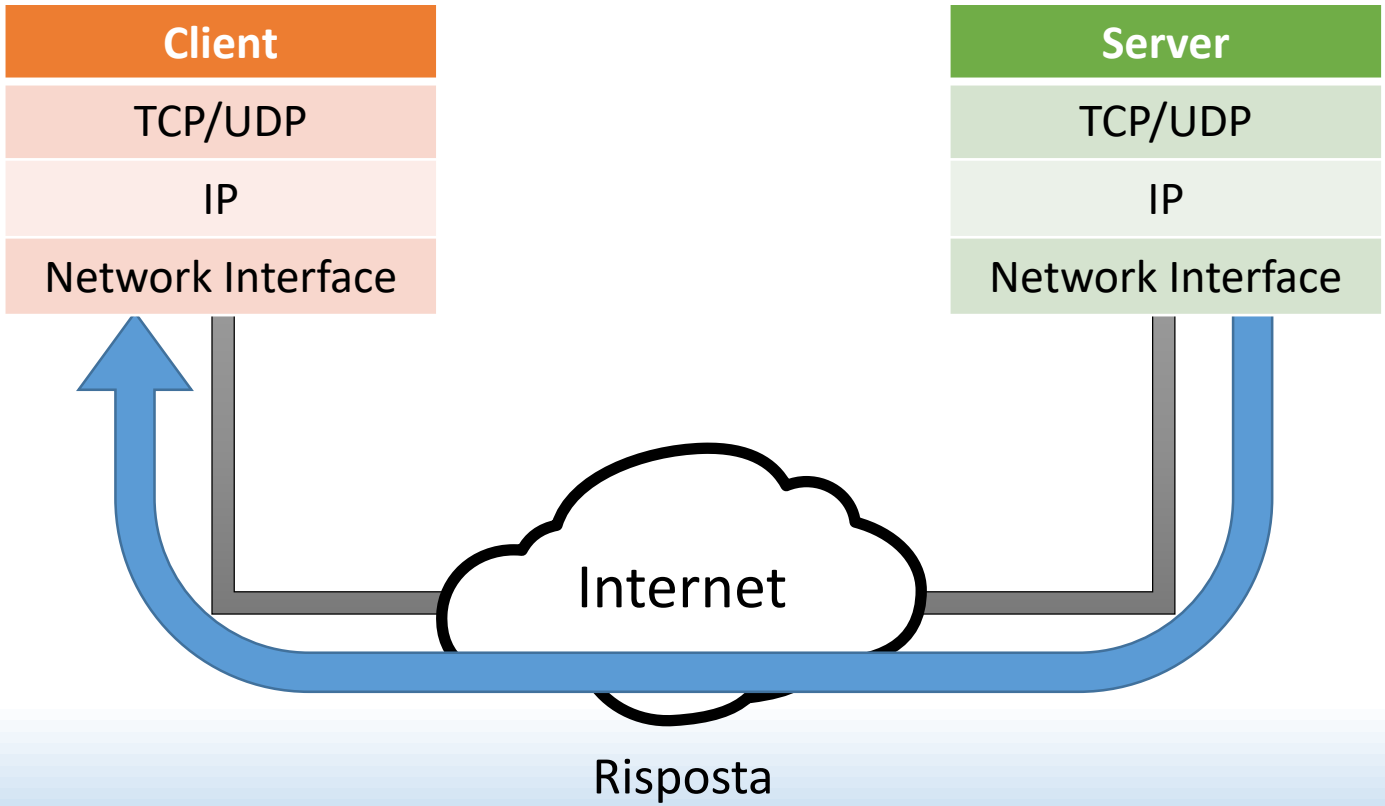
Client/server



Client/server



Client/server

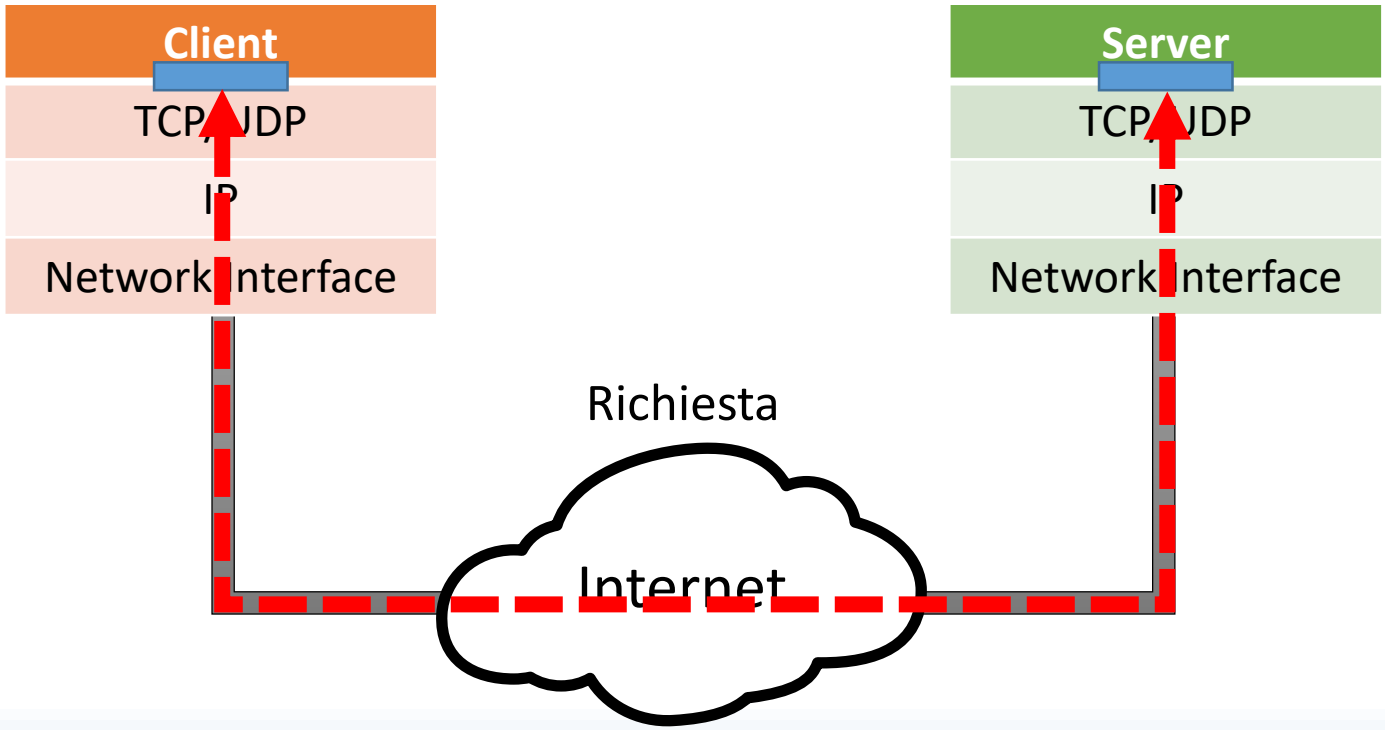


Socket

- Meccanismo per la comunicazione tra processi
  - Sulla stessa macchina o su macchine differenti
- È un'**astrazione**:
  - Un interfaccia unica per operare con diversi protocolli di rete
  - Nasconde i dettagli dei livelli sottostanti
- Un socket è identificato da un *indirizzo*:
  - Indirizzo host (TCP/IP: **Indirizzo IP**)
  - Indirizzo processo (TCP/IP: **Numero di porta**)

Socket

Un socket è l'estremità di un canale di comunicazione



Socket

- L'astrazione di socket è implementata dal SO
- Abbiamo a disposizione delle **primitive** per:
  - Creare un socket
  - Assegnargli un indirizzo
  - Connettersi a un altro socket
  - Accettare una connessione
  - Inviare e ricevere dati attraverso i socket
  - …

Primitiva **`socket()`**

- **Crea** un socket

```
man 7 ip
man 2 socket
man 7 socket
```

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>

int socket(int domain, int type, int protocol);
```

- **`domain`**: famiglia di protocolli da utilizzare
  - **`AF_LOCAL`** – Comunicazione locale
  - **`AF_INET`** – Protocolli IPv4, TCP e UDP
- **`type`**: tipologia di socket
  - **`SOCK_STREAM`** – Connessione affidabile, bidirezionale (TCP) - Oggi vedremo questo
  - **`SOCK_DGRAM`** – Invio di pacchetti senza connessione (UDP)
- **`protocol`**: sempre a 0
- La funzione restituisce un *descrittore di file* (oppure -1 su errore)
- **Attenzione**: il socket *non* è ancora associato a un indirizzo IP o a una porta

Strutture per gli indirizzi


```
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

struct sockaddr_in {
  sa_family_t    sin_family;  /* address family: AF_INET */
  in_port_t      sin_port;    /* port in network byte order */
  struct in_addr sin_addr;    /* internet address */
};

/* Internet address. */
struct in_addr {
  uint32_t       s_addr;      /* address in network byte order */
};
```

man 7 ip

Attenzione: esiste anche la struttura **`struct sockaddr`** usata da alcune funzioni descritte più avanti ma non la useremo direttamente.

Ordine dei byte

- Calcolatori diversi possono usare modalità diverse per **ordinare i byte** all'interno di una *word*
- Esempio: numero **422990**, in 32 bit (4 byte)
  - 11001110100010011110
- **Memorizzazione *big-endian*** - Per primo il byte più significativo (MSB)

Indirizzo A	Indirizzo A+1	Indirizzo A+2	Indirizzo A+3
0000 0000	0000 0110	0111 0100	0100 1110

- **Memorizzazione *little-endian*** - Per primo il byte meno significativo (LSB)

Indirizzo A	Indirizzo A+1	Indirizzo A+2	Indirizzo A+3
0100 1110	0111 0100	0000 0110	0000 0000

Ordine dei byte

- Il formato di rete (*network order*), usato nei socket, è *big-endian*
- Il formato dell'host (*host order*) dipende dal singolo host
- Funzioni di conversione:

man 3 byteorder

```
#include <arpa/inet.h>

      uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
      uint16_t htons(uint16_t hostshort);
      uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
      uint16_t ntohs(uint16_t netshort);
```

Attenzione: `uint16_t` e `uint32_t` sono **interi senza segno** che occupano **sempre** 16 e 32 bit a prescindere dal calcolatore usato per compilare. Sono utili quando si vuole avere il controllo completo della dimensione delle variabili, come in questo caso.
Sono definiti nell'header **`<stdint.h>`**.

Formato degli indirizzi

- Formato *numerico*: 32-bit, usato dal computer
- Formato *presentazione*: stringa in notazione decimale puntata

```
int inet_pton(int af, const char *src, void *dst);
```

- **af**: famiglia (**AF_INET**)
- **src**: stringa del tipo **"ddd.ddd.ddd.ddd"**
- **dst**: puntatore a una **struct in_addr**

```
man inet_pton
man inet_ntop
```

```
const char *inet_ntop(int af, const void *src,
                      char *dst, socklen_t size);
```

- **af**: famiglia (**AF_INET**)
- **src**: puntatore a una **struct in_addr**
- **dst**: puntatore a un buffer di caratteri lungo **size**
- **size**: deve valere almeno **INET_ADDRSTRLEN**

Iniziamo a fare qualcosa


```
#include <arpa/inet.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

int main () {
  /* Creazione socket */
  int sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);

  /* Creazione indirizzo */
  struct sockaddr_in my_addr;
  memset(&my_addr, 0, sizeof(my_addr); // Pulizia
  my_addr.sin_family = AF_INET ;
  my_addr.sin_port = htons(4242);
  inet_pton(AF_INET, "192.168.4.5", &my_addr.sin_addr);
```

Programmazione distribuita

Lato server

Primitiva **`bind()`**

- **Assegna** un socket a un indirizzo
  - Viene usata dal *server* per specificare indirizzo e porta sui quali ricevere richieste
  - Di solito, il client non ha bisogno di eseguire la **`bind()`**

```
int bind(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
         socklen_t addrlen);
```

`man 2 bind`

- **`sockfd`**: descrittore del socket
- **`addr`**: puntatore alla struttura di tipo **`struct sockaddr`**
  - Visto che usiamo **`struct sockaddr_in`** bisogna convertire il puntatore
- **`addrlen`**: dimensione di **`addr`**
- La funzione restituisce 0 se ha successo, -1 su errore

```
ret = bind(sd, (struct sockaddr*)&my_addr, sizeof(my_addr));
```

Primitiva **`listen()`**

- Specifica che il socket è **passivo**, cioè verrà usato per ricevere richieste di connessione
  - Come vedremo, si possono mettere in attesa solo i socket **`SOCK_STREAM`**

```
int listen(int sockfd, int backlog);
```

`man 2 listen`

- **`sockfd`**: descrittore del socket
- **`backlog`**: dimensione della coda, cioè quante richieste dai client possono rimanere in attesa di essere gestite
- La funzione restituisce 0 se ha successo, -1 su errore

```
ret = listen(sd, 10);
```

Primitiva **`accept()`**

- **Accetta una** richiesta di connessione pervenuta sul socket
  - Anche in questo caso, ha senso solo sui socket **`SOCK_STREAM`**

```
int accept(int sockfd, struct sockaddr *addr,
                       socklen_t *addrlen);
```

`man 2 accept`

- **`sockfd`**: descrittore del socket
- **`addr`**: puntatore a una struttura (vuota) di tipo **`struct sockaddr`**
  - Qui ci viene salvato l'indirizzo del client
- **`addrlen`**: dimensione di **`addr`**
- La funzione restituisce il **descrittore di un *nuovo* socket** che verrà usato per la comunicazione, -1 su errore
- **La funzione è bloccante**: il programma si ferma finché non arriva una richiesta

```
struct sockaddr_in cl_addr;
int len = sizeof(cl_addr);
new_sd = accept(sd, (struct sockaddr*)&cl_addr, &len);
```

Codice del server


```
#include <arpa/inet.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

int main () {
  int ret, sd, new_sd, len;
  struct sockaddr_in my_addr, cl_addr; // Due strutture!
  /* Creazione socket */
  sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  /* Creazione indirizzo */
  memset(&my_addr, 0, sizeof(my_addr); // Pulizia
  my_addr.sin_family = AF_INET ;
  my_addr.sin_port = htons(4242);
  inet_pton(AF_INET, "192.168.4.5", &my_addr.sin_addr);
  // In alternativa: my_addr.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
  ret = bind(sd, (struct sockaddr*)&my_addr, sizeof(my_addr));
  ret = listen(sd, 10);
  int len = sizeof(cl_addr);
  new_sd = accept(sd, (struct sockaddr*)&cl_addr, &len);
```

Programmazione distribuita

Lato client

Primitiva **`connect()`**

- **Connette** il socket a un indirizzo remoto
  - Cioè a un altro socket

```
int connect(int sockfd, const struct sockaddr *addr,
            socklen_t addrlen);
```

`man 2 connect`

- **`sockfd`**: descrittore del socket (locale)
- **`addr`**: puntatore alla struttura contentente l'indirizzo del server
- **`addrlen`**: dimensione di **`addr`**
- La funzione restituisce 0 se ha successo, -1 su errore
- **La funzione è bloccante**: il programma si ferma finché la richiesta di connessione non è stata accettata

```
ret = connect(sd, (struct sockaddr*)&sv_addr, sizeof(sv_addr));
```

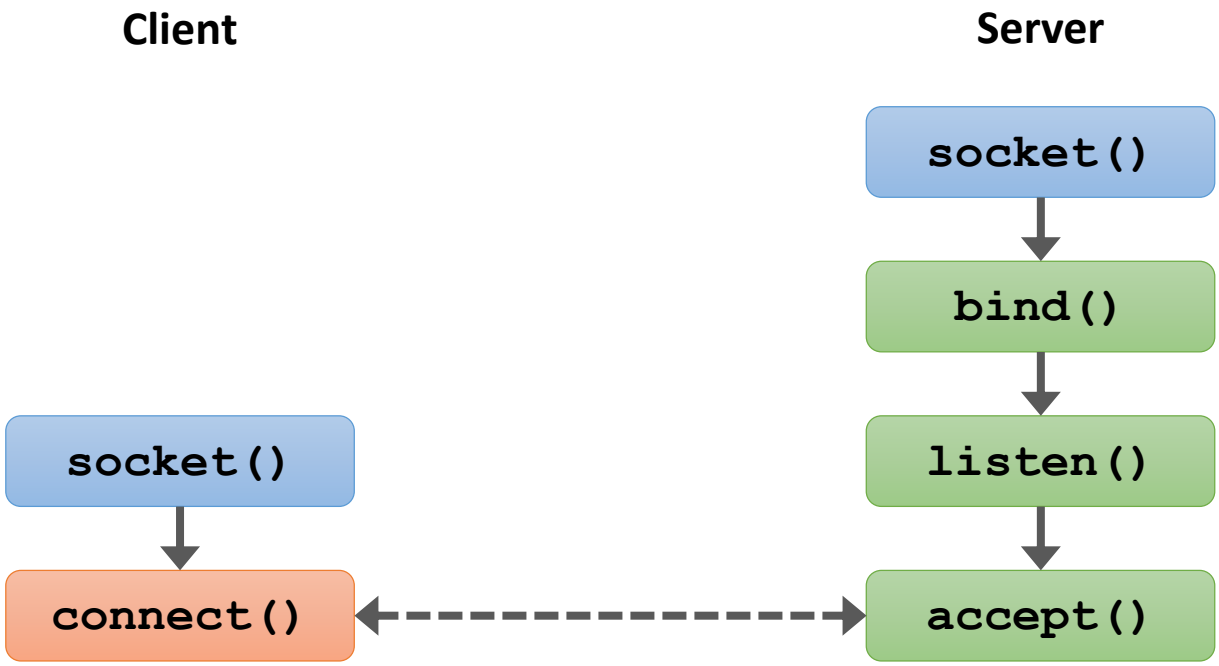
Codice del client


```
#include <arpa/inet.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>

int main () {
  int ret, sd;
  struct sockaddr_in sv_addr; // Struttura per il server
  /* Creazione socket */
  sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
  /* Creazione indirizzo del server */
  memset(&sv_addr, 0, sizeof(sv_addr); // Pulizia
  sv_addr.sin_family = AF_INET ;
  sv_addr.sin_port = htons(4242);
  inet_pton(AF_INET, "192.168.4.5", &sv_addr.sin_addr);

  ret = connect(sd, (struct sockaddr*)&sv_addr, sizeof(sv_addr));
```

Cosa succede



Programmazione distribuita

Scambio di dati

Primitiva **`send()`**

- Invia un messaggio attraverso un socket **connesso**

```
ssize_t send(int sockfd, const void *buf, size_t len,
             int flags);
```

`man 2 send`

- **`sockfd`**: descrittore del socket
- **`buf`**: puntatore al buffer contenente il messaggio da inviare
- **`len`**: dimensione in byte del messaggio
- **`flags`**: per settare delle opzioni, lasciamolo a 0
- La funzione restituisce il **numero di byte inviati**, -1 su errore
- **La funzione è bloccante**: il programma si ferma finché non ha scritto tutto il messaggio

Primitiva **send()**


```
int ret, sd, len;
char buffer[1024];

//…

strcpy(buffer, "Hello Server!");
len = strlen(buffer);
ret = send(sd, (void*)buffer, len, 0);
if (ret < len) {
  // Gestione errore
}
```

Primitiva `recv()`

- Preleva un messaggio da un socket **connesso**

```
ssize_t recv(int sockfd, const void *buf, size_t len,
             int flags);
```

`man 2 recv`

- **`sockfd`**: descrittore del socket
- **`buf`**: puntatore al buffer in cui salvare il messaggio
- **`len`**: dimensione in byte del messaggio desiderato
- **`flags`**: per settare delle opzioni
- La funzione restituisce il **numero di byte ricevuti**, -1 su errore, 0 se il socket remoto si è chiuso (vedi più avanti)
- **La funzione è bloccante**: il programma si ferma finché non ha letto *qualcosa*

Primitiva **recv()**


```
int ret, sd, bytes_needed;
char buffer[1024];

//…

bytes_needed = 20;
ret = recv(sd, (void*)buffer, bytes_needed, 0);
// Adesso 0 < ret <= bytes_needed
if (ret < bytes_needed) {
  // Gestione errore
}

ret = recv(sd, (void*)buffer, bytes_needed, MSG_WAITALL);
// Adesso ret == bytes_needed
```

Primitiva `close()`

- **Chiude** un socket
  - Non può più essere usato per inviare o ricevere dati

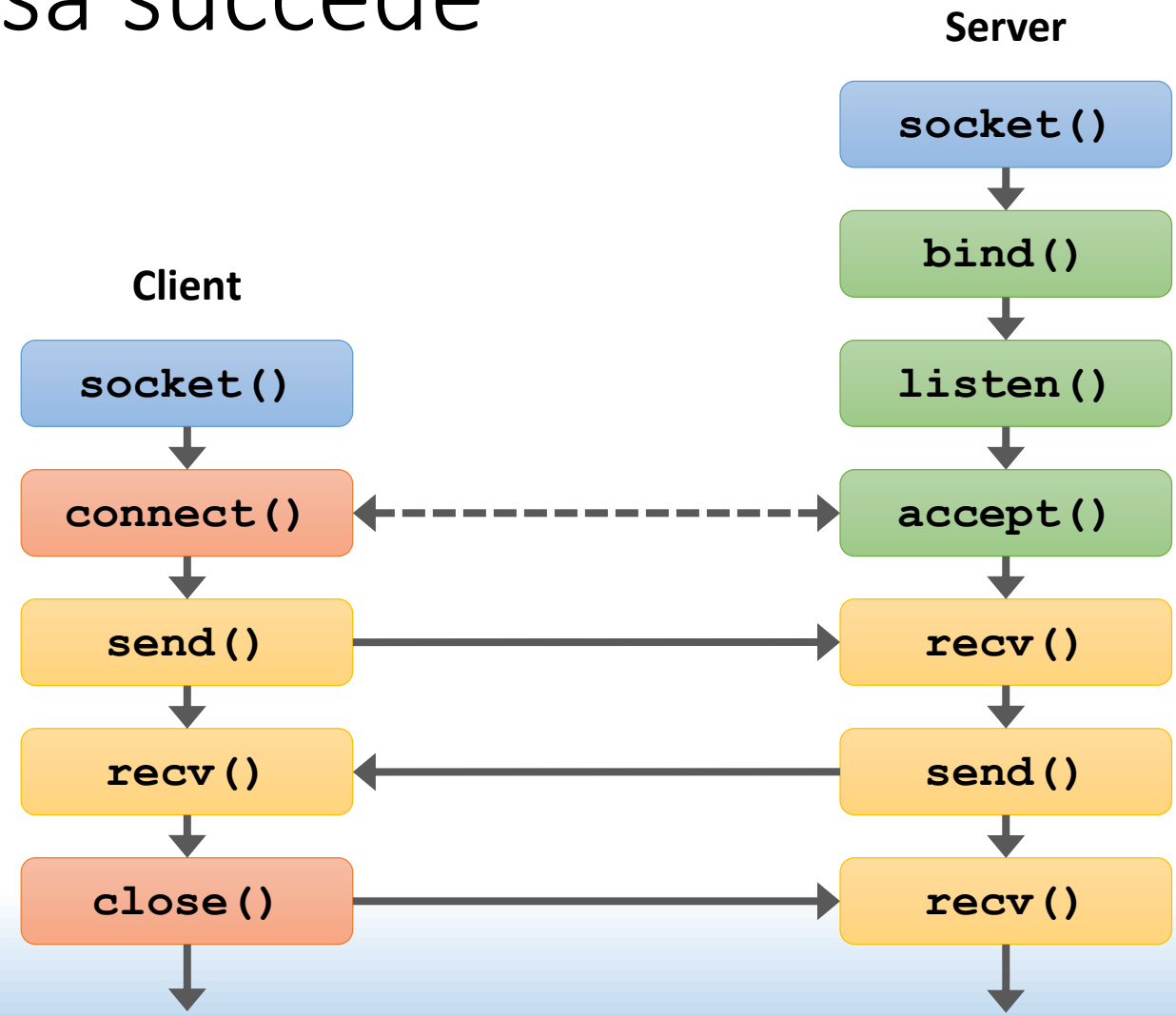
```
#include <unistd.h>

int close(int fd);
```

`man 2 close`

- **`fd`**: descrittore del socket
- La funzione restituisce 0 se ha successo, -1 su errore
- L'host remoto riceverà 0 dalla **`recv()`**

Cosa succede



Gestione degli errori

Gestione degli errori

- Le primitive viste finora restituiscono -1 quando c'è un errore
  - In più settano una variabile, **`errno`**, che può essere letta per scoprire il motivo dell'errore
  - Nel manuale di ogni funzione c'è l'elenco degli errori possibili

`man 3 errno`

```
#include <errno.h>
//…
  ret = bind(sd, (struct sockaddr*)&my_addr, sizeof(my_addr));
  if (ret == -1) {
    if (errno == EADDRINUSE) {/* Gestisci errore */}
    if (errno == EINVAL) {/* Gestisci errore */}
    //…
  }
```

Gestione degli errori

- A volte vogliamo solo sapere l'errore e uscire
  - **`perror()`** legge **`errno`** e stampa l'errore su schermo in forma leggibile

`man 3 perror`

```
#include <stdio.h>
//…
  ret = bind(sd, (struct sockaddr*)&my_addr, sizeof(my_addr));
  if (ret == -1) {
    perror("Error: ");
    exit(1);
  }
//…
```