Sistemi di Elaborazione

Introduzione alla Programmazione distribuita

Obiettivi

- Introdurre i concetti di base su programmazione distribuita
  - Modello Client-Server
  - Interfaccia Socket
- Progettare e realizzare una semplice applicazione distribuita (Progetto - esercitazioni)

Cooperazione fra processi

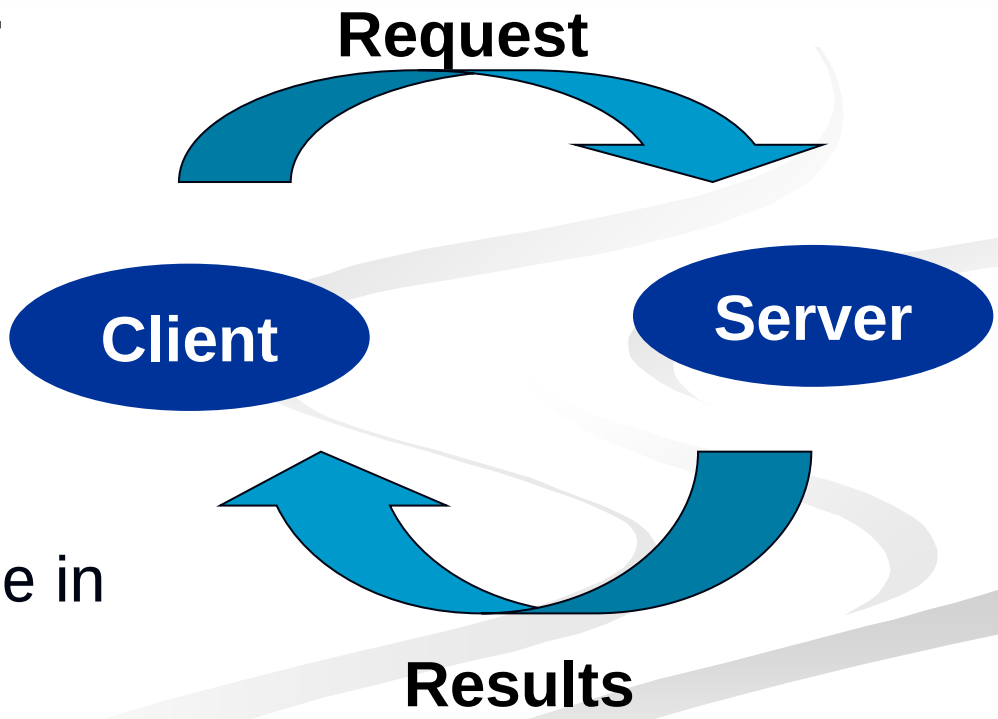
- Processi indipendenti
  - L'esecuzione di un processo non dipende dall'altro processo, e viceversa
- Processi Cooperanti
  - Sincronizzazione
  - Comunicazione (scambio di informazioni)

Comunicazione fra processi

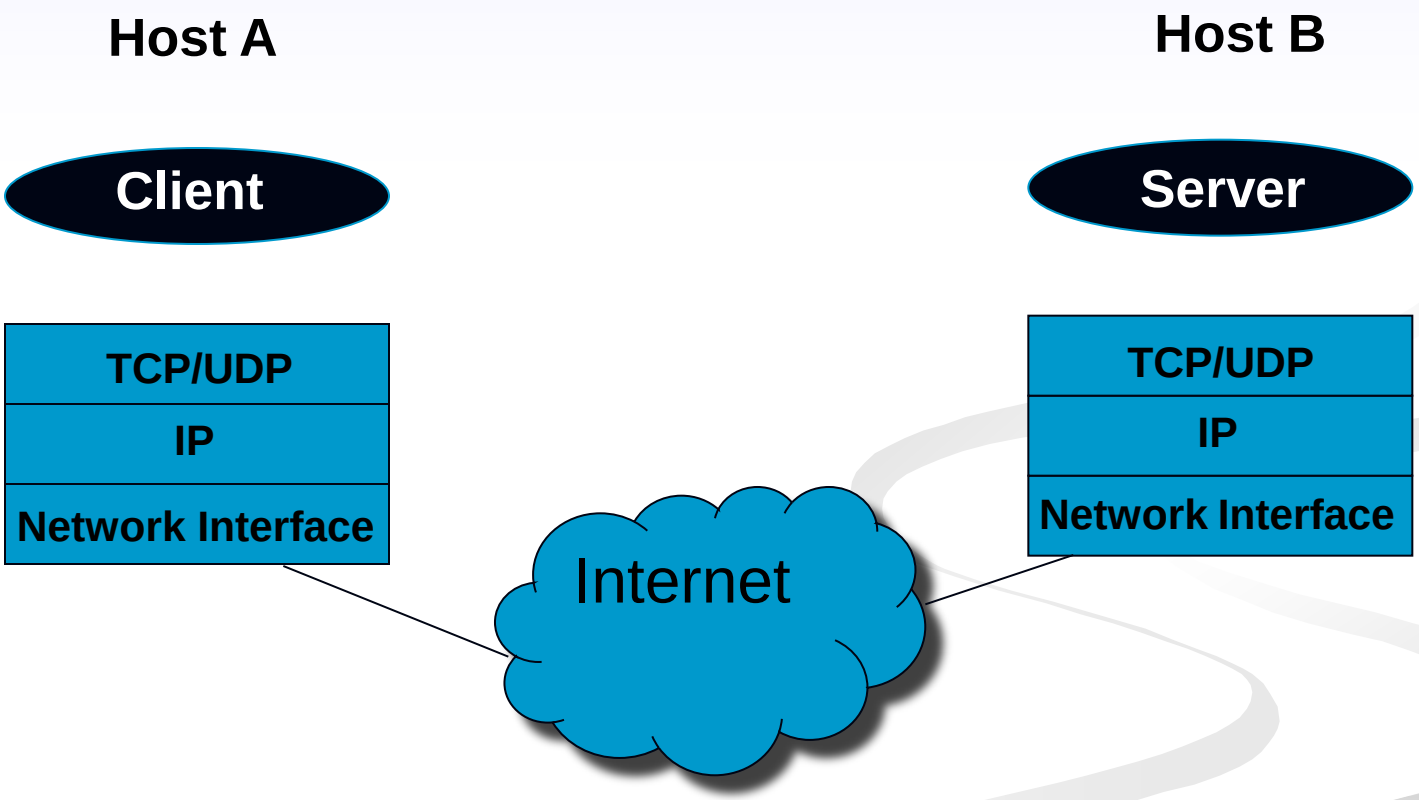
- Esecuzione sullo stesso calcolatore
  - Memoria condivisa
  - Scambio di messaggi
- Esecuzione in sistema distribuito
  - Client-Server
  - Remote Procedure Call
  - Remote Method Invocation
  - ...

Client-Server

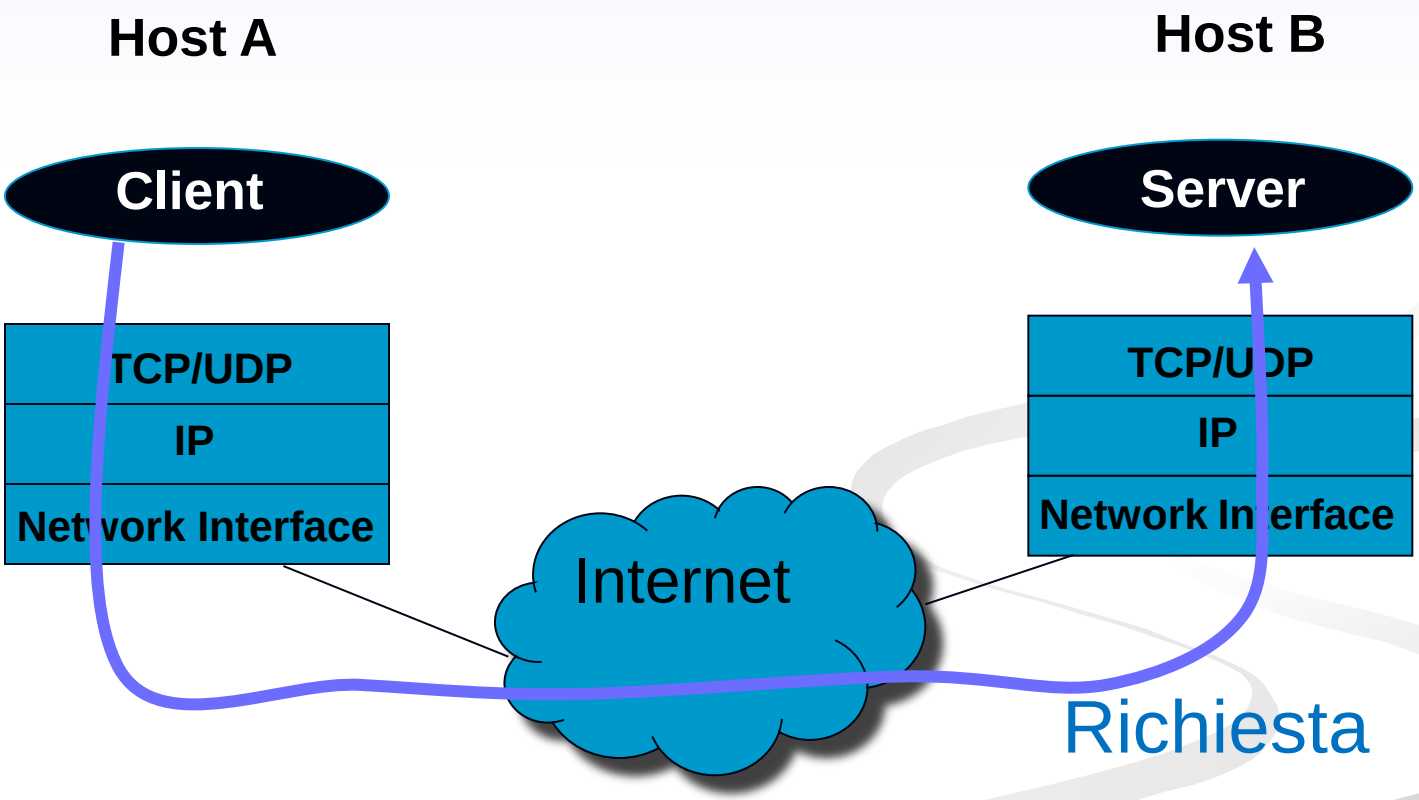
- Paradigma basato su scambio di msg
- Scambio di msg per
  - Richiesta di servizio
  - Invio dei risultati
- Paradigma generale
  - Ma usato principalmente in sistemi distribuiti



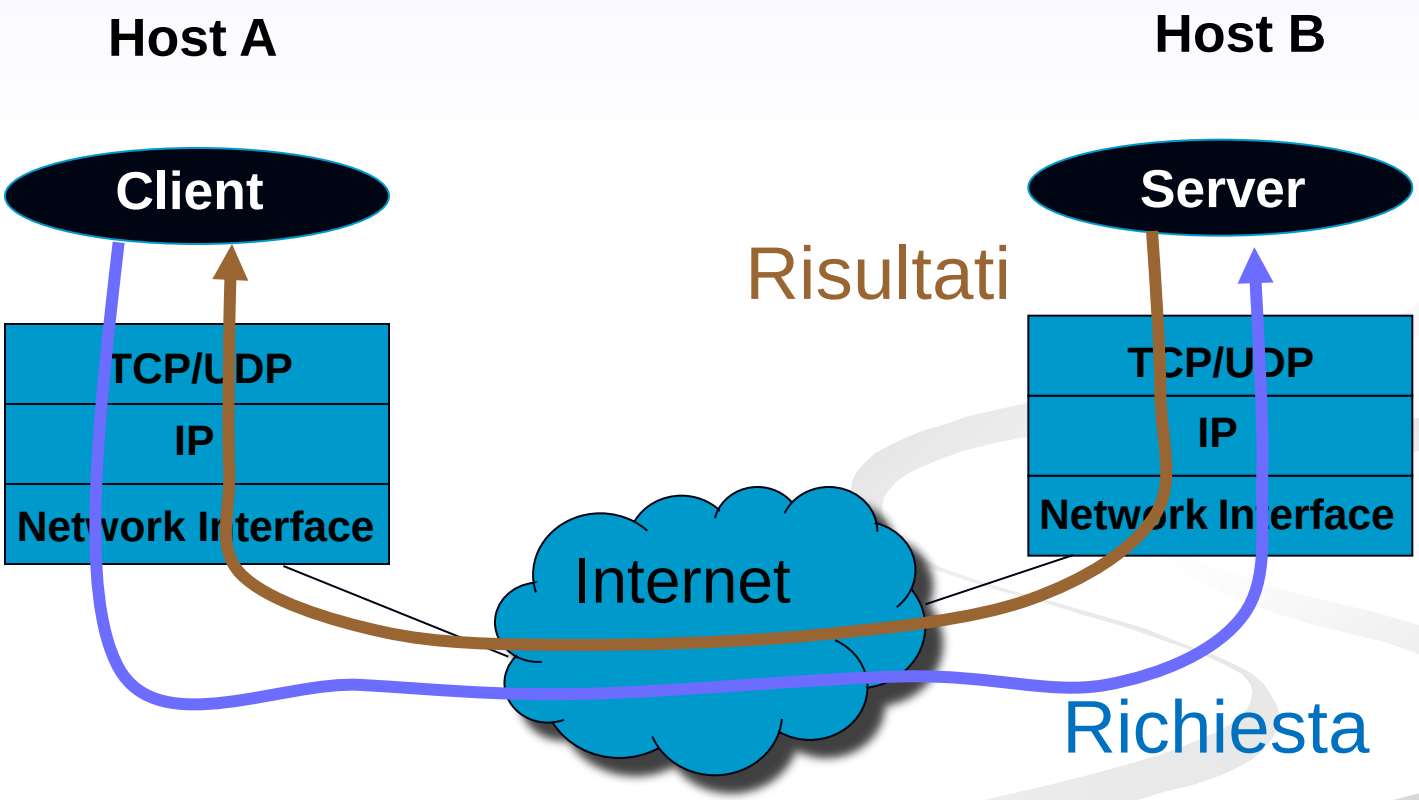
Client-Server in Sistemi Distribuiti



Client-Server in Sistemi Distribuiti



Client-Server in Sistemi Distribuiti



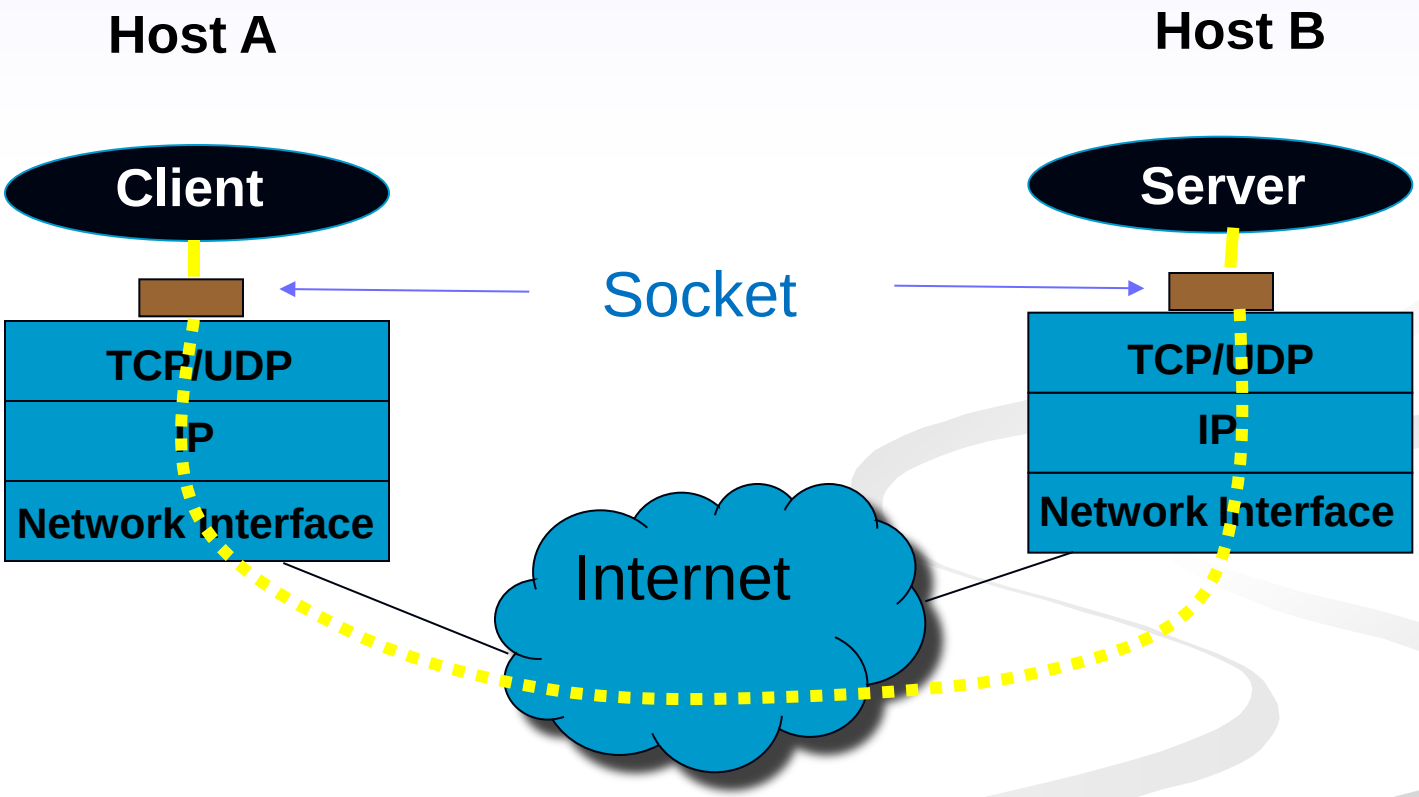
Socket

- Meccanismo di comunicazione tra processi
  - In genere su macchine differenti
- Interfaccia unica per operare con i vari protocolli di rete a disposizione
- I socket nascondono tutti i meccanismi di comunicazione di livello inferiore

Socket

- Estremità di canale di comunicazione identificata da un indirizzo
  - Socket: presa telefonica
  - Indirizzo: numero di telefono
- Indirizzo
  - Indirizzo dell'Host (Indirizzo IP)
  - Indirizzo del processo (Numero di porta)
- La comunicazione avviene tramite una coppia di socket

Comunicazione mediante socket



Supporto del SO

- Il SO implementa l'astrazione di socket
- System call per
  - Creare un socket
  - Associare indirizzo IP e porta al socket
  - Mettere in ascolto un processo su un socket (server)
  - Accettare una richiesta di servizio su un socket (server)
  - Aprire una connessione verso un socket remoto (client)
  - Inviare un messagio verso un socket remoto
  - Ricevere un messaggio da un socket
  - ....

Creazione della connessione

Primitiva socket()

- Crea un socket
  - Restituisce il descrittore (valore intero non negativo)
  - In caso di errore restituisce -1 (setta la variabile *errno*)

int socket(int family, int type, int protocol) [man 2 socket]

- *family*: famiglia di protocolli da utilizzare
  - PF_INET: protocolli internet IPv4 [man 7 ip]
  - PF_UNIX: Unix domain protocol [man 7 unix]
- *type*: stile di comunicazione che si vuole utilizzare
  - SOCK_STREAM: socket di tipo stream (TCP)
  - SOCK_DGRAM: socket di tipo datagram (UDP)
- protocol: settato a 0

```
sk = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
```

Primitiva setsockopt()

- Manipola le opzioni associate con un socket

  int setsockopt(int s, int level, int optname, const void* optval, socklen_t optlen);

  - level: stabilisce il livello a cui manipolare le opzioni
    - SOL_SOCKET: opzioni di livello socket
    - Numero del protocollo: /etc/protocol
  - optname: opzione da settare (man 7 socket per le opzioni di livello socket)
    - SO_REUSEADDR: permette di fare una bind su una certa porta anche se esistono delle connessioni established che usano quella porta (il restart del server)
  - optval e optlen: servono per accedere al valore della opzione

- Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore (setta *errno*)
- Si mette tra la socket() e la bind()
- Es:

```
int optval = 1;
setsockopt(s, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, &optval, sizeof(optval));
```

Strutture Dati per Indirizzi

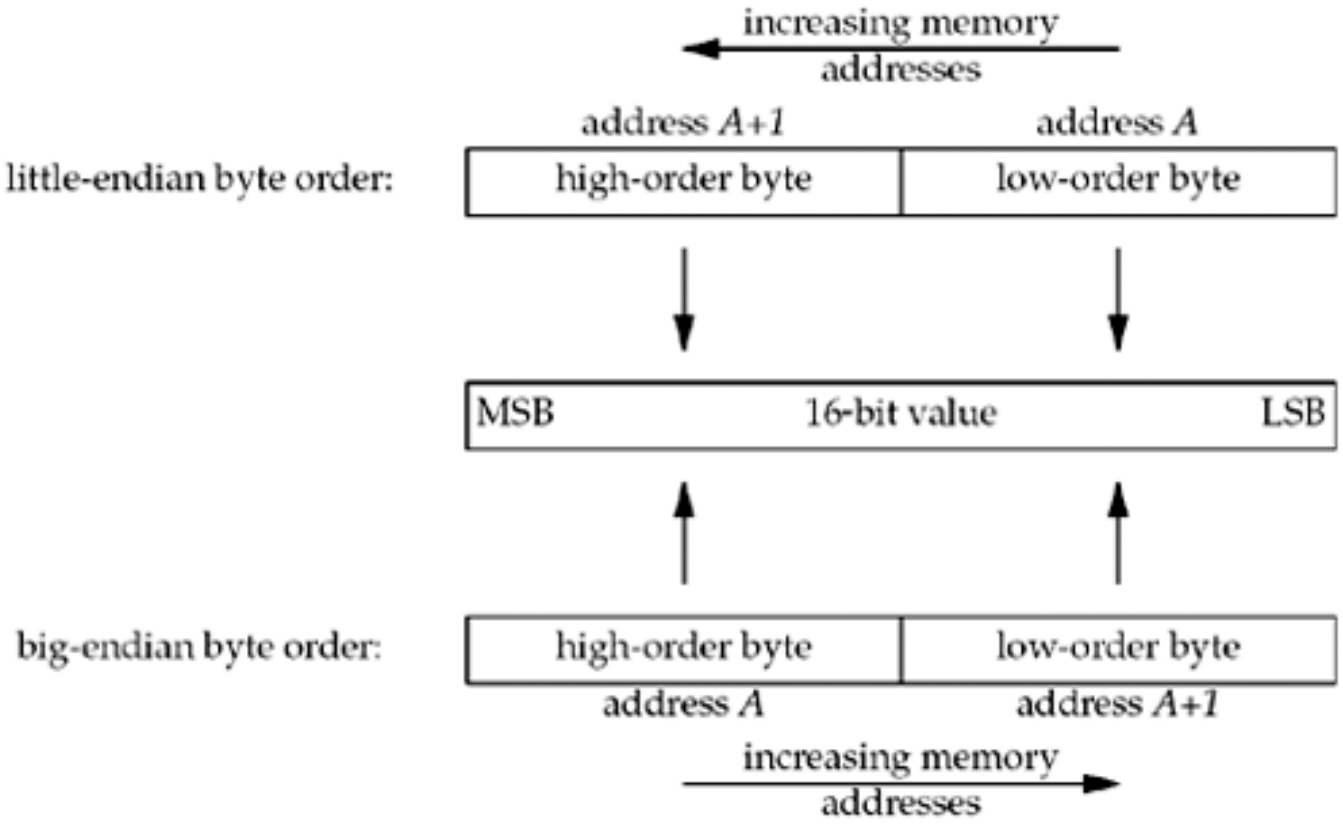
- struct sockaddr { /* man 7 ip */
  sa_family_t sa_family; /* AF_INET */
  char sa_data[14] /* address (protocol specific) */
  };

- struct sockaddr_in { /* man 7 ip */
  sa_family_t sin_family; /* AF_INET */
  u_int16_t sin_port; /* porta, 16 bit */
  struct in_addr sin_addr; /* indirizzo IP 32 bit */
  };

- struct in_addr {
  u_int32_t s_addr; /* indirizzo IP 32 bit */
  };

Formato di Rete

- Calcolatori diversi possono usare convenzioni diverse per ordinare i byte di una word

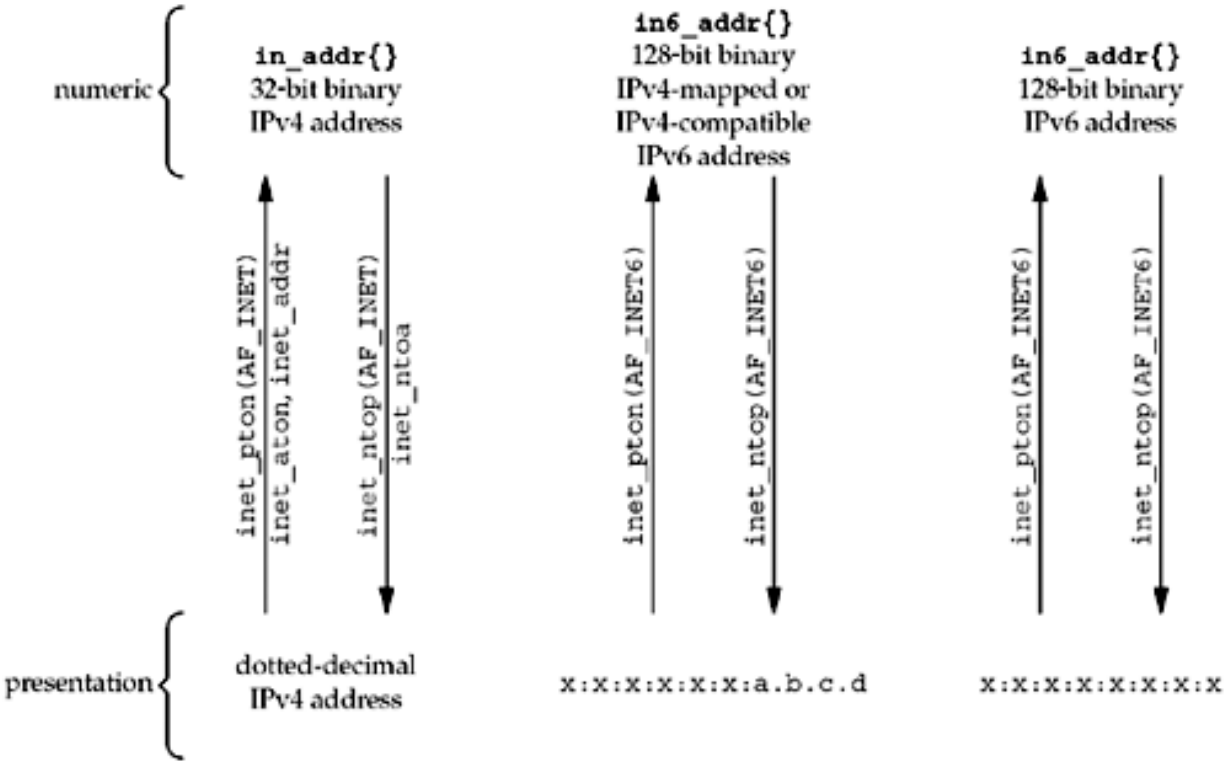


Formato di Rete

- L'indirizzo IP ed il numero di porta devono essere specificati nel formato di rete (*network order*, big endian) in modo da essere indipendenti dal formato usato dal calcolatore (*host order*)
  - uint32_t htonl(uint32_t hostlong);
  - uint16_t htons(uint16_t hostshort);
  - uint32_t ntohl(uint32_t netlong);
  - uint16_t ntohs(uint16_t netlong);

Formato di Rete

- Alcune funzioni consentono di passare dal formato *numeric* al formato *presentation* dell'indirizzo



Formato di Rete

- Formato *numeric* : valore binario nella struttura socket
  - int inet_pton(int af, const char* src, void* addr_ptr);
    - Restituisce 0 in caso di insuccesso
- Formato *presentation* : stringa
  - char* inet_ntop(int af, const void* addr_ptr, char* dest, size_t len);
    - len: deve valere almeno INET_ADDRSTRLEN
    - Restituisce un puntatore NULL in caso di errore

Indirizzi

```
struct sockaddr_in addr_a;

memset(&addr_a, 0, sizeof(addr_a)); /* azzera la struttura*/

addr_a.sin_family = AF_INET;      /* IPv4 address */

addr_a.sin_port = htons(1234);    /* network ordered */

inet_pton(AF_INET, “192.168.1.1”, &addr_a.sin_addr.s_addr);
```

Primitiva bind()

- Collega un indirizzo locale al socket creato con la socket()
- Usata dal server per specificare l'indirizzo su cui il server accetta le richieste
  - Indirizzo IP
  - Numero di Porta
- Il client non esegue la bind()
  - la porta viene assegnata dal SO

Primitiva bind()

int bind(int sd, struct sockaddr* myaddr, int addrlen);

- sd: descrittore del socket
- myaddr: indirizzo della struttura dati che contiene l'indirizzo da associare al socket
  - A seconda della famiglia di protocolli usata dal socket, la struttura dati contenente gli indirizzi varia di formato. Occorre eseguire un casting del puntatore
- addrlen: dimensione della struttura myaddr
- Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore (setta la variabile *errno*)

Primitiva bind()

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

man 2 bind per ulteriori dettagli

Primitiva listen()

- Mette il socket in attesa di eventuali connessioni.
- Usata dal server per dire che è disposto ad accettare richieste di connessione su un certo socket

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

- sd: descrittore di socket sul quale il server si mette in ascolto
- backlog: dimensione massima per la coda di connessioni pendenti (connessioni established in attesa della accept)
- Restituisce 0 in caso di successo; -1 in caso di errore (setta *errno*)

Primitiva accept()

- Usata dal server per accettare richieste di connessione
- Estrae la prima richiesta di connessione dalla coda delle connessioni pendenti relativa al (listening) socket
- Crea un nuovo socket (connected socket) e gli associa la connessione.
- Il listening socket è usato per accettare le richieste
- Il connected socket è usato per la comunicazione vera e propria con il client
  - In un server c'è sempre un solo socket in ascolto, e le varie connessioni vengono gestite dai socket creati dalla accept
- Il connected socket ha le stesse proprietà del listening socket

Primitiva accept()

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

- sd: descrittore di socket creato con la socket()
  - listening socket
- addr: puntatore alla struttura che sarà riempito con l'indirizzo del client (IP e porta)
- addrlen: puntatore alla dimensione della struttura addr che viene restituita

- Restituisce il descrittore del connected socket; -1 in caso di errore (e setta errno)
- Se non ci sono connessioni completate la funzione è bloccante

Lato Server

```
#define SA struct sockaddr;
struct sockaddr_in my_addr, cl_addr;
int ret, len, sk, cn_sk;

sk = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
memset(&my_addr, 0, sizeof(my_addr));
my_addr.sin_family = AF_INET;
my_addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
my_addr.sin_port = htons(1234);

ret = bind(sk, (SA *) &my_addr, sizeof(my_addr));
ret = listen(sk, 10);

len = sizeof(cl_addr);
cn_sk = accept(sk, (SA *) &cl_addr, &len);
```

- Con INADDR_ANY il server si mette in ascolto su una qualsiasi delle sue interfacce di rete

Creazione della connessione

Primitiva connect()

- Usata dal client per stabilire una connessione con il server
  - usando il socket creato localmente

```
int connect(int sd, const struct sockaddr*
serv_addr, socklen_t addrlen);
```

  - sd: socket creato presso il cliente con la socket()
  - serv_addr: struttura contenente l'indirizzo IP ed il numero di porta del server da contattare
  - addrlen: dimensione della struttura serv_addr

- Restituisce 0 in caso di connessione; -1 in caso di errore (e setta errno)

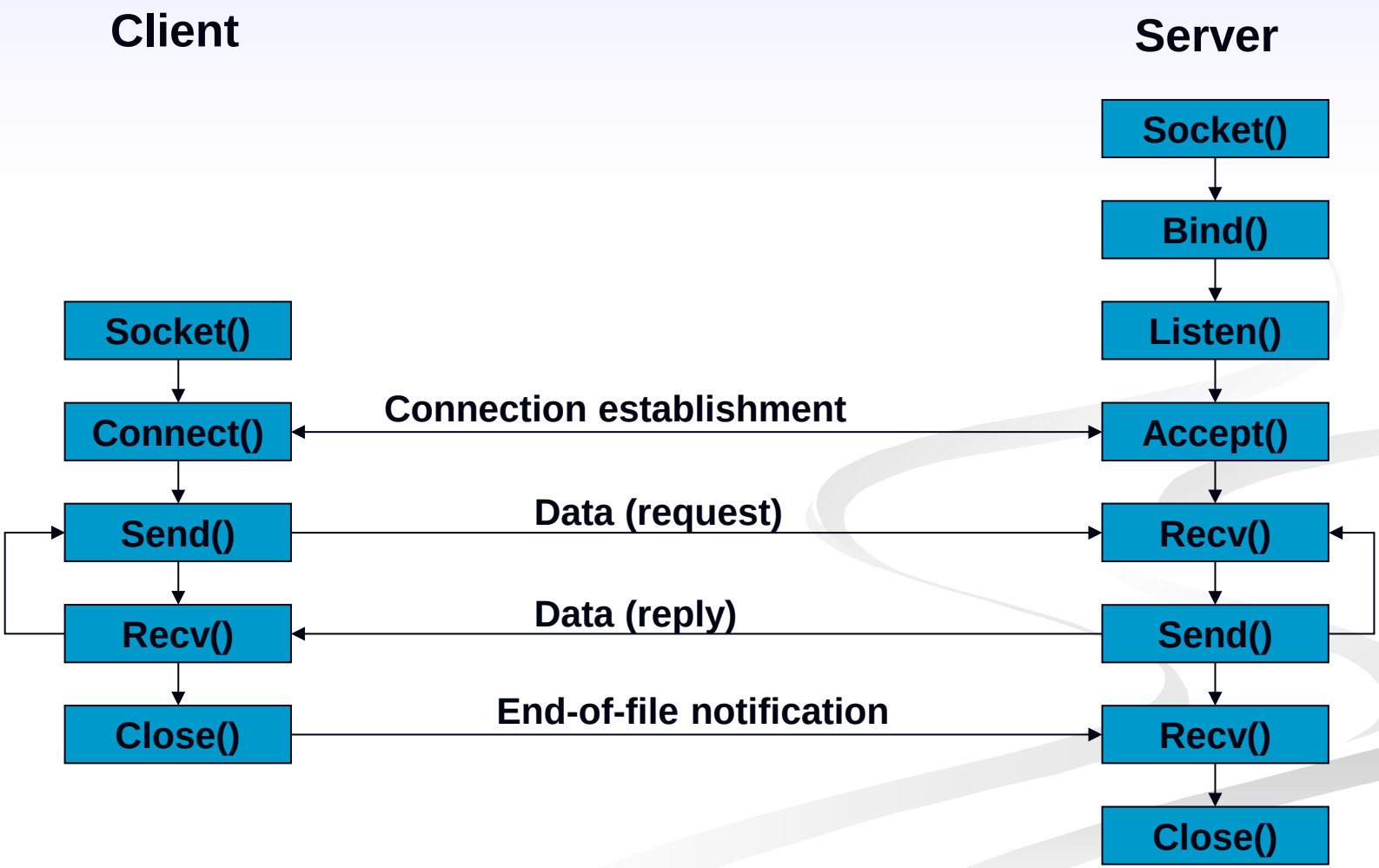
Lato Cliente

```
#define SA struct sockaddr;
struct sockaddr_in srv_addr;
int ret, sk;

sk = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
memset(&srv_addr, 0, sizeof(srv_addr));
srv_addr.sin_family = AF_INET;
srv_addr.sin_port = htons(1234);
ret = inet_pton(AF_INET, “192.168.1.1”, &srv_addr.sin_addr);

ret = connect(sk, (SA *) &srv_addr, sizeof(srv_addr));
```

Interazioni Client-Server



Primitiva send()

- Usata per spedire dati attraverso il socket

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

  - sd: descrittore del socket usato per la comunicazione
  - buf: buffer contenente il messaggio da spedire
  - len: lunghezza del messaggio
  - flags: definisce il comportamento della send
- Restituisce il numero di caratteri spediti; -1 in caso di errore

Invio dati

```
int ret, sk_a;
char msg[1024];
...
strcpy(msg, “something to send”);
ret = send(sk_a, (void *) msg, strlen(msg), 0);
if(ret == -1 || ret < strlen(msg)){  /* error */
...
}
```

Invio dati

```
int ret, sk_a, dim;
char msg[1024];
...
strcpy(msg, “something to send”);
dim = htonl(strlen(msg));
ret = send(sk_a, (void *) &dim, sizeof(dim), 0);
if(ret == -1 || ret < sizeof(dim)){  /* error */
...
}
ret = send(sk_a, (void *) msg, strlen(msg), 0);
if(ret == -1 || ret < strlen(msg)){  /* error */
...
}
```

Primitiva Receive()

- Usata per ricevere dati da un certo socket

  ssize_t recv(int sd, void* buf, size_t len, int flags);

  - sd: socket dal quale ricevere i dati
  - buf: buffer dove mettere i dati ricevuti
  - len: dimensione del buffer
  - flags: definisce il comportamento della recv
- Restituisce il numero di byte ricevuti; -1 in caso di errore
- È bloccante

Ricezione dati

```
int ret, len, sk_a;
char msg[1024];
...
ret = recv(sk_a, (void *) msg, len, MSG_WAITALL);
/* non ritorna finchè non ha letto l'intera lungh. del msg */

ret = recv(sk_a, (void *) msg, len, 0);
/* len is the size of the incoming message (<= sizeof(msg)) */

if( (ret == -1) || (ret<len) ) { /* error */
  ...
}
```

Numero di caratteri che si vogliono leggere

Ricezione dati

```
int ret, sk_a, dim;
char msg[1024];
...

ret = recv(sk_a, (void *) &dim, sizeof(dim), MSG_WAITALL);
if( (ret == -1) || (ret<sizeof(dim)) ) { /* error */
  ...
}
dim = ntohl(dim);

ret = recv(sk_a, (void *) msg, dim, MSG_WAITALL);
if( (ret == -1) || (ret<dim) ) { /* error */
  ...
}
```

Primitiva close()

- Marca come closed il socket
- Il socket non può più essere usato per inviare o ricevere dati

int close(int sd)

- sd è il descrittore del socket che si vuole chiudere

- Restituisce 0 se tutto è andato bene; -1 altrimenti

Tipologie di server

- Server iterativo
  - viene servita una richiesta alla volta
- Server concorrente:
  - Per ogni richiesta da parte di un client (accettata dalla *accept*) il server
    - Crea un processo figlio (primitiva fork())
    - Crea un thread
    - Attiva un thread da un pool creato in anticipo
  - Il processo/thread si incarica di gestire il client in questione

Server concorrente multiprocesso

```
For(;;) {
        consd = accept(listensd, …);          /* probably blocks */
        if((pid = fork()) = = 0) {
                close(listensd);              /* child closes listening socket */
                doit(consd);                  /* process the request */
                close(consd);                 /* done with this client */
                Exit(0);                      /* child terminates */
        }
        close(consd);                         /* parent closes conn. socket */
}
```

- La close(consd) è obbligatoria
  - decrementa il numero di riferimenti al socket descriptor.
  - La sequenza di chiusura non viene innescata fintanto che il numero di riferimenti non si annulla

Server concorrente multiprocesso

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
...
int sock, cl_sock, ret;
struct sockaddr_in srv_addr, cl_addr;
pid_t child_pid;
sock = socket(PF_INET, SOCK_STREAM,0);
if(sock==-1){ /*errore*/}
/*inizializzazione srv_addr*/
bind(sock, &srv_addr, sizeof(srv_addr));
listen(sock,QUEUE_SIZE);
while(1){
    cl_sock = accept(sock, &cl_addr, sizeof(cl_addr));
    if(cl_sock==-1){ /*errore*/}
    /* gestione cl_addr */
    child_pid = fork();
    if(child_pid==0) /* sono nel processo figlio*/
        gestisci_richiesta(cl_sock, sock, …); /*funzione per la gestione delle
    richieste per il det servizio */
    else /* sono nel processo padre*/
        close(cl_sock);
}
```

Server concorrente multi-threaded

```
int consd;
int* par;
For(;;) {
        consd = accept(listensd, …);     /* probably blocks */
        par = malloc(sizeof(consd));
        *par = consd;
        if ( pthread_create( &tid, NULL, doit, (void*)par ) ) {
                        exit(0);                /* error on thread creation */
        }
}
```

- Chiusura della connessione
  - in questo caso la close(consd) viene fatta dal thread gestore (all'interno della funzione gestione_richiesta)

Server concorrente multi-threaded

```
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
…
void* gestisci_richiesta( void* socket ) { /*funzione per la gestione delle richieste */ }
…
int sock, cl_sock, ret;
Int* par;
struct sockaddr_in srv_addr, cl_addr;
pthread_t tid;
sock = socket(PF_INET, SOCK_STREAM,0);
if(sock==-1){ /*errore*/}
/*inizializzazione srv_addr*/
bind(sock, &srv_addr, sizeof(srv_addr));
listen(sock,QUEUE_SIZE);
while(1){
      cl_sock = accept(sock, &cl_addr, sizeof(cl_addr));
      if(cl_sock==-1){ /*errore*/}
      /* gestione cl_addr */
      par = malloc(sizeof(cl_sock));
      *par = cl_sock;
      if ( pthread_create( &tid, NULL, gestisci_richiesta, (void*)par ) ) {
            exit(0);                  /* errore */
      }
}
```

Includes

- Headers da includere
  - #include <unistd.h>
  - #include <sys/types.h>
  - #include <sys/socket.h>
  - #include <arpa/inet.h>
- Per il server multi-threaded aggiungere
  - #include <pthread.h>