

Network IPC: Socket

Laboratorio Sistemi Operativi

Antonino Staiano
Email: antonino.staiano@uniparthenope.it

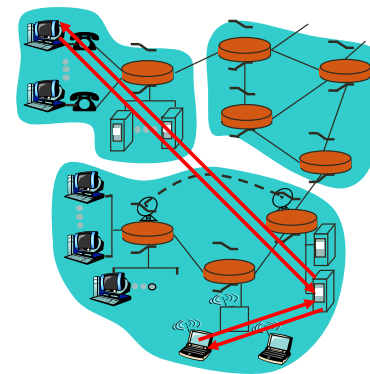
Processi comunicanti

- Due o più processi **sullo stesso host** comunicano usando una qualche forma di IPC definita dal SO
- Due o più processi **su differenti host**, connessi ad una rete di comunicazione comune, comunicano scambiandosi messaggi

Introduzione: architettura client/server

- Nei sistemi operativi moderni i servizi disponibili in rete si basano principalmente sul modello **client/server**
- Tale architettura consente ai sistemi di condividere risorse e cooperare per il raggiungimento di un obiettivo
- Per la programmazione di sistema, esiste l'interfaccia delle **socket** che fornisce un'astrazione user-friendly dei meccanismi di base per implementare programmi client/server

Architettura client-server



server sempre attivo che risponde alle richieste di servizi da parte dei client

server:

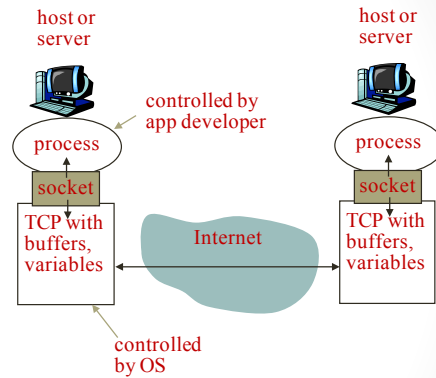
- host sempre attivo
- indirizzo IP fisso

client:

- comunica con il server
- può contattare il server in qualunque momento
- può avere indirizzi IP dinamici
- non comunica direttamente con gli altri client

Socket

- un processo invia/riceve messaggi alla/dalla sua **socket**
- una socket è analoga a una porta
 - un processo che vuole inviare un messaggio, lo fa uscire dalla propria "porta" (socket)
 - il processo presuppone l'esistenza di un'infrastruttura esterna che trasporterà il messaggio attraverso la rete fino alla "porta" del processo di destinazione



Indirizzamento

- Affinché un processo su un host invii un messaggio a un processo su un altro host, il mittente deve identificare il processo destinatario
- Un host A ha un indirizzo IP univoco a 32 bit
 - Ci chiediamo, è sufficiente conoscere l'indirizzo IP dell'host su cui è in esecuzione il processo per identificare il processo stesso?
 - No, sullo stesso host possono essere in esecuzione molti processi
- L'identificatore comprende sia l'indirizzo IP che i numeri di porta associati al processo in esecuzione su un host
- Esempi di numeri di porta:
 - HTTP server: 80
 - Mail server: 25

Servizi dei protocolli di trasporto

Servizio di TCP

- *orientato alla connessione*: è richiesto un setup fra i processi client e server
- *trasporto affidabile* fra i processi d'invio e di ricezione
- *controllo di flusso*: il mittente non vuole sovraccaricare il destinatario
- *controllo della congestione*: "strozza" il processo d'invio quando la rete è sovraccaricata
- *non offre*: temporizzazione, ampiezza di banda minima

Servizio di UDP

- trasferimento dati *inaffidabile* fra i processi d'invio e di ricezione
- non offre: setup della connessione, affidabilità, controllo di flusso, controllo della congestione, temporizzazione né ampiezza di banda minima

Programmazione tramite socket

- Molte applicazioni di rete consistono in una coppia di programmi, detti client e server che risiedono su sistemi differenti
- Quando questi due programmi vengono eseguiti, si crea un **processo client** e un **processo server** che comunicano tramite socket
- Quando si crea un'applicazione di rete, compito primario è la scrittura del codice per il client e per il server

Programmazione delle socket con TCP

Il **client** deve contattare il server

- Il processo server deve essere in corso di esecuzione
- Il server deve avere creato una socket (porta) per il benvenuto al contatto con il client

Il client **contatta il server**:

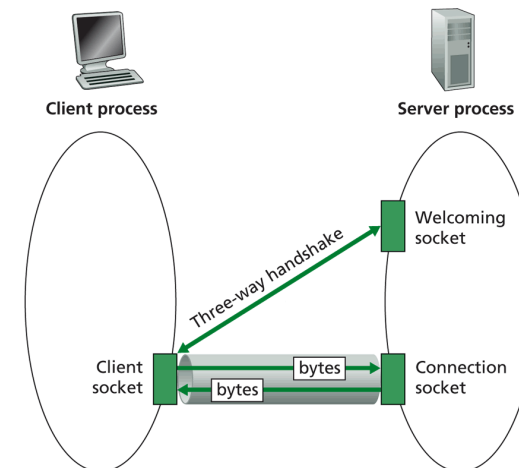
- **Creando una socket TCP**
- **Specificando l'indirizzo IP, il numero di porta del processo server**
- **Quando il client crea la socket: il client TCP stabilisce una connessione con il server TCP (handshake a tre vie)**

Quando viene contattato dal client, il server TCP crea una nuova socket per il processo server per comunicare con il client

- Consente al server di comunicare con più client
- Numeri di porta origine usati per distinguere i client

Dal punto di vista dell'applicazione, TCP fornisce un trasferimento di byte affidabile e ordinato tra client e server

Connessione socket TCP



Programmazione socket con UDP

- Non c'è "connessione" tra client e server
 - Non c'è handshaking
 - Il mittente allega esplicitamente ad ogni pacchetto l'indirizzo IP e la porta di destinazione
 - Il server deve estrarre l'indirizzo IP e la porta del mittente dal pacchetto ricevuto
 - i dati trasmessi possono perdersi o arrivare a destinazione in un ordine diverso da quello d'invio

Dal punto di vista dell'applicazione, UDP fornisce un trasferimento inaffidabile di gruppi di byte ("datagrammi") tra client e server

Socket

Programmazione di sistema

Socket

- Esistono due modi principali per comunicare in rete:
 - il connection oriented model
 - il connectionless oriented model
- In corrispondenza dei due paradigmi di comunicazione precedenti abbiamo i seguenti tipi di socket:
- **Stream socket**: forniscono stream di dati affidabili, duplex, ordinati
 - Nel dominio Internet sono supportati dal protocollo TCP (Transmission Control Protocol)
- **Socket a datagrammi**: trasferiscono messaggi di dimensione variabile, preservando i confini ma senza garantire ordine o arrivo dei pacchetti
 - Supportate nel dominio Internet dal protocollo UDP (User Datagram Protocol)

(13)

Socket

- Una socket è un meccanismo di comunicazione che consente di sviluppare sistemi client/server sia localmente, su una macchina locale, o attraverso una rete
- Le socket sono create ed usate in modo differente dalle pipe poiché fanno una chiara distinzione tra i client ed i server

(14)

Connessioni Socket (ProtocolloTCP)

- In primo luogo, un'applicazione server crea una socket che, come un descrittore di file, è una risorsa assegnata al processo server e solo a quel processo
 - Il server crea una socket mediante la system call **socket()** e non può essere condivisa con altri processi
 - Il processo server associa un nome alla socket
 - Alle socket locali si associa un filename nel file system
 - Per le socket di rete, il nome corrisponde ad un identificatore di servizio (numero di porta/ punto di accesso) rilevante per la particolare rete a cui i client possono connettersi

(15)

Connessioni socket (ProtocolloTCP)

- L'identificatore consente al sistema operativo di instradare le connessioni in arrivo specificando un nome particolare di porta al corretto processo server
- Il nome è assegnato alla socket usando la system call **bind()**
- Il processo server poi aspetta che un client si connetta alla socket a cui è stato dato il nome
 - La system call **listen()** crea una coda di connessioni in arrivo
 - Il server le può accettare usando la system call **accept()**

(16)

Connessioni Socket (ProtocolloTCP)

- Quando il server invoca `accept()`, viene creata una nuova socket distinta da quella dotata di nome (*three-way handshake*)
 - Questa nuova socket è usata solamente per comunicare con il client specifico
 - La socket dotata di nome resta a disposizione per ulteriori connessioni con altri client
 - Se il codice del server è scritto in modo appropriato, esso può trarre vantaggio da connessioni multiple
 - Con un server semplice, invece, altri client attendono sulla coda `listen()` fino a che il server non è di nuovo pronto

[17]

Connessioni socket (ProtocolloTCP)

- Il lato client di un sistema basato su socket è più diretto
- Il client crea una socket invocando `socket()`
- Successivamente invoca `connect()` per stabilire una connessione con il server usando la socket del server come indirizzo
- Una volta create, le socket possono essere usate come dei descrittori di file a basso livello, fornendo una comunicazione dati a due vie

[18]

Un semplice client locale

- Vediamo un esempio di un semplice **programma client** con socket
- Esso crea una socket priva di nome e la connette ad una socket server chiamata *server_socket*

[19]

Un semplice client locale

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/un.h>
#include <unistd.h>
int main () {
    int sockfd;
    int len;
    struct sockaddr_un address;
    int result;
    char ch = 'A';
    /* creiamo una socket per il client */
    sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0);
```

[20]

Un semplice client locale

```
/* definiamo le generalità della socket del server */
address.sun_family = AF_UNIX;
strcpy(address.sun_path, "server_socket");
len = sizeof(address);
/* connettiamo la nostra socket con quella del server */
result = connect(sockfd, (struct sockaddr*)&address, len);
if (result == -1) {
    perror("ops:client 1");
    exit(1);
}
/* possiamo leggere e scrivere via sockfd */
write(sockfd, &ch, 1);
read(sockfd, &ch, 1);
printf("char dal server = %c\n", ch);
close(sockfd);
exit(0);
}
```

[21]

Un semplice client locale

- Quando eseguiamo il programma otteniamo un errore poiché non abbiamo ancora creato la socket lato server (il messaggio di errore può variare a seconda del sistema)

```
$ ./client1
Ops: client 1: Connection refused
$
```

[22]

Un semplice server locale

- Vediamo un semplice **server locale** che accetta le connessioni dal nostro client
- Esso crea la socket del server (**socket()**), gli assegna (**bind()**) un nome, crea una coda in ascolto (**listen()**), e accetta le connessioni (**accept()**)

[23]

Un semplice server locale

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/un.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
    int server_sockfd, client_sockfd;
    int server_len, client_len;
    struct sockaddr_un server_address;
    struct sockaddr_un client_address;
    /* Rimuoviamo eventuali vecchie socket e creiamo
    una socket senza nome per il server */
    unlink("server_socket");
    server_sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0);
```

[24]

Un semplice server locale

```
/* Assegnamo un nome alla socket */
server_address.sun_family = AF_UNIX;
strcpy(server_address.sun_path, "server_socket");
server_len = sizeof(server_address);
bind(server_sockfd, (struct sockaddr*)&server_address,
server_len);
/* creiamo una coda di connessione ed attendiamo i client */
listen(server_sockfd, 5);
while(1){
    char ch;
    printf("server in attesa\n");
    /* accetta una connessione */
    client_len = sizeof(client_address);
    client_sockfd = accept(server_sockfd, (struct
sockaddr*)&client_address,&client_len);
```

(25)

Un semplice server locale

```
/* Leggiamo e scriviamo al client su client_sockfd */
read(client_sockfd, &ch,1);
ch++;
write(client_sockfd, &ch,1);
close(client_sockfd);
}
```

- Il programma server, in questo esempio, può solo servire un client alla volta
 - Legge un carattere dal client, lo incrementa, e lo riscrive
- In sistemi più sofisticati, in cui il server deve eseguire più lavoro per conto del client, ciò non sarebbe accettabile, poiché altri client non sarebbero in grado di connettersi fino a che il server non ha finito

(26)

Clint-Server locali in esecuzione

- Quando si esegue il programma server
 - Esso crea una socket ed attende le connessioni
 - Se si avvia il programma server in background, possiamo avviare i client in foreground
- ```
$./server1 &
[1] 1094
$ server in attesa
```
- Mentre attende le connessioni, il server stampa un messaggio
    - Nell'esempio precedente, il server crea una socket nel file system che è possibile visualizzare con il comando **ls**
- ```
$ ls -lF server_socket
srwxr-xr-x 1 staiano staiano 0 2007-05-21 13:42 server_socket=
```
- Il tipo socket è riconosciuto dalla **s** all'inizio dei permessi e da **=** alla fine. La socket è stata creata come un file ordinario, con i permessi modificati dall'umask corrente

(27)

Clint-Server locali in esecuzione

- Eseguendo il programma client riusciamo a connetterci con il server. Poiché la socket di server esiste, possiamo connetterci ad esso e comunicare

```
$ ./client1
server in attesa
char dal server = B
$
```

- L'output dal server e dal client si intrecciano sul terminale
 - E' possibile comunque vedere che il server ha ricevuto un carattere dal client, lo ha incrementato, e restituito. Il server continua ed attende il prossimo client
 - Eseguendo numerose volte i client insieme, questi saranno serviti in sequenza, sebbene l'output possa apparire intrecciato

(28)

Attributi delle socket

- Per comprendere le system call concernenti le socket è necessario entrare più nel dettaglio del networking di UNIX
- Le socket sono caratterizzate da tre attributi: *dominio*, *tipo* e *protocollo*
 - Esse hanno anche un indirizzo usato come nome
 - Il formato degli indirizzi varia a seconda del dominio, noto anche come *famiglia di protocolli*
 - Ciascuna famiglia di protocolli può usare una o più famiglie di indirizzi per definire il formato dell'indirizzo

[29]

Domini delle socket

- I domini specificano il mezzo della rete che la comunicazione socket userà
- Il più comune dominio socket è *AF_INET*, che si riferisce all'Internet Networking, usato su molte reti locali Linux e da Internet stessa
 - Il protocollo sottostante, Internet Protocol (IP), che ha solo una famiglia di indirizzi, impone un particolare modo di specificare i computer su una rete
 - L'indirizzo IP
- Sebbene i nomi si riferiscano quasi sempre a macchine sulla rete Internet, questi sono tradotti in indirizzi IP di basso livello
 - Un esempio di indirizzo IP è 192.168.1.99
 - Tutti gli indirizzi IP sono rappresentati da 4 numeri, ognuno minore di 256
 - Quando un client si connette attraverso la rete mediante una socket, esso necessita dell'indirizzo IP del server

[30]

Domini delle socket

- Possono esserci numerosi servizi su un server. Un client può indirizzare un particolare servizio su una macchina usando una **porta IP**
 - Nel sistema una porta è identificata internamente da un intero unico a 16 bit ed esternamente dalla combinazione dell'indirizzo IP e del numero di porta
 - Le socket sono gli estremi della comunicazione che devono essere legate alle porte prima che avvenga la comunicazione

[31]

Domini delle socket

- I server aspettano le connessioni su porte specifiche. A servizi noti sono allocati numeri di porta usati da tutte le macchine Linux e Unix
 - Solitamente sono numeri inferiori a *1024*
 - rlogin(*513*), ftp(*21*), http (*80*)
- Poiché c'è un insieme standard di numeri di porta per i servizi standard, i computer possono collegarsi facilmente tra loro senza dover stabilire il numero di porta corretto
 - I servizi locali possono usare indirizzi di porta non standard

[32]

Domini delle socket

- Il dominio nell'esempio del Client-Server locale, è il dominio del file system UNIX, **AF_UNIX**, che può essere usato dalle socket sulla base di un singolo computer
 - In questo caso, il protocollo sottostante è il file di input/output e gli indirizzi sono nomi di file assoluti
- I domini specificati da POSIX.1 sono
 - **AF_INET**
 - **AF_INET6**
 - **AF_UNIX**
 - **AF_UNSPEC**
- Possono essere usati anche altri domini come **AF_ISO**, per reti basate su protocolli standard ISO e **AF_XNS**, per Xerox Network System

Tipi di socket

- Un dominio socket può avere diversi modi per comunicare, ognuno dei quali potrebbe avere caratteristiche differenti
 - Questo non è un problema con le socket di dominio **AF_UNIX**, le quali forniscono un'affidabile percorso di comunicazione a due vie
 - In domini di rete, tuttavia, è necessario sapere le caratteristiche della rete sottostante
- I protocolli internet forniscono due livelli distinti di servizio: *stream* e *datagram*

Socket stream

- Le **socket stream** forniscono una connessione che è un flusso di byte a due vie affidabile e sequenziato
 - E' garantito che i dati non siano persi, duplicati o riordinati senza un'indicazione dell'occorrenza di un errore
 - I messaggi più grandi sono frammentati, trasmessi, e riassemblati
 - E' come un flusso su file, poiché accetta grandi quantità di dati e li scrive su dischi di basso livello in blocchi più piccoli
- Le socket stream, specificate dal tipo **SOCK_STREAM**, sono implementate nel dominio **AF_INET** dalle connessioni **TCP/IP**

Socket Datagram

- In contrasto, una **socket datagram**, specificata dal tipo **SOCK_DGRAM**, non stabilisce né mantiene una connessione. C'è anche un limite sulla dimensione del datagramma che può essere inviato
- E' trasmesso come un messaggio di rete singolo che può andar perso, duplicato o arrivare fuori sequenza
- Le socket datagram sono implementate nel dominio **AF_INET** dalle connessioni **UDP/IP** e forniscono un servizio non affidabile e non sequenziato
 - Tuttavia, esse sono poco costose in termini di risorse, poiché le connessioni di rete non devono essere mantenute
 - Sono veloci, perché non c'è associato un tempo di impostazione della connessione

Creare una socket

```
#include <sys/socket.h>
int socket(int dominio, int tipo, int protocollo);
/* restituisce il descrittore di file (socket) se OK,
-1 in caso di errore */
```

- La system call **socket()** crea una socket e restituisce un descrittore che può essere usato per accedere alla socket stessa
- La socket creata è un'estremo del canale di comunicazione
 - Il parametro **dominio** specifica la famiglia di indirizzi
 - Il parametro **tipo** specifica il tipo di comunicazione da usare con questa socket
 - **protocollo** specifica il protocollo da impiegare

[37]

Creare una socket

- I domini possono essere:
 - **AF_UNIX**: UNIX (file system socket)
 - **AF_INET**: ARPA Internet Protocols (UNIX network sockets)
 - **AF_ISO**: ISO standard protocols (Non POSIX.1)
 - **AF_NS**: Xerox Network System Protocols (Non POSIX.1)
- I domini più comuni sono **AF_UNIX**, usato per socket locali implementate via i file system di UNIX e Linux e **AF_INET**, usato per le socket di rete UNIX
- Le socket **AF_INET** possono essere usate da programmi che comunicano attraverso una rete TCP/IP, inclusa Internet
 - L'interfaccia Windows Winsock fornisce accesso a questo dominio di socket

[38]

Creare una socket

- Il parametro **tipo** specifica le caratteristiche della comunicazione da usare per la nuova socket
 - Possibili valori sono
 - **SOCK_STREAM**
 - **SOCK_DGRAM**

[39]

Creare una socket

- Il **protocollo** usato per la comunicazione è determinato dal tipo di socket e dal dominio
 - Solitamente il valore è zero
 - Per selezionare il valore di default per i dati dominio e tipo
 - TCP per SOCK_STREAM nel dominio AF_INET
 - UDP per SOCK_DGRAM nel dominio AF_INET
- Se sono supportati più protocolli per lo stesso dominio e tipo di socket
 - l'argomento **protocollo** è usato per selezionare un particolare protocollo

[40]

Formati degli indirizzi

- Un indirizzo identifica un lato socket in un particolare dominio di comunicazione
- Il formato dell'indirizzo è specifico al dominio
 - Per poter fornire tali indirizzi alle funzioni per le socket, gli indirizzi subiscono un cast ad una struttura indirizzo generica

```
struct sockaddr {
    sa_family_t  sa_family;
    char         sa_data[];
    .
    .
    .
}
```

[41]

Indirizzi delle socket

- Ciascun dominio richiede il proprio formato di indirizzo. Per una socket **AF_UNIX**, l'indirizzo è descritto da una struttura, **sockaddr_un**, definita nel file **<sys/un.h>**

```
struct sockaddr_un {
    short sa_family; /* Flag AF_UNIX */
    char sun_path[]; /* Pathname */
};
```

- Per indicare una socket nel dominio **AF_INET**, l'indirizzo è specificato usando una struttura chiamata **sockaddr_in**, definita in **<netinet/in.h>**, che contiene almeno tre membri:

```
struct sockaddr_in {
    short sa_family; /* Flag AF_INET */
    short sin_port; /* Numero di porta */
    struct in_addr sin_addr; /* indir. IP */
};
```

dove **in_addr** rappresenta un indirizzo IP

```
struct in_addr { u_long s_addr; /* 4 byte */ };
```

[42]

Indirizzi delle socket

- I quattro byte di un indirizzo IP costituiscono un valore di 32 bit singolo. Una socket **AF_INET** è descritta totalmente dal suo dominio, l'indirizzo IP ed il numero di porta
- Da un punto di vista dell'applicazione, tutte le socket agiscono come descrittori di file e sono indirizzate da un unico valore intero

[43]

Assegnare un nome alle socket

- Per rendere disponibile una socket all'uso (dopo averla creata con **socket()**) ad altri processi, un programma server ha bisogno di assegnare un nome alla stessa
 - le socket **AF_UNIX** sono associate con un pathname del file system
 - le socket **AF_INET** sono associate con un numero di porta IP

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

```
int bind(int sockfd, struct sockaddr *address, size_t len);
/* restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- La system call **bind()** assegna l'indirizzo specificato nel parametro, **address**, alla socket senza nome associata con il descrittore di file **sockfd**. La lunghezza della struttura dell'indirizzo è passato come **len**

[44]

Creare una coda per la socket

- Per accettare le connessioni in arrivo su una socket, un programma server deve creare una coda per memorizzare le richieste pendenti

```
#include<sys/socket.h>
int listen(int sockfd, int backlog);
/* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- Questa funzione è utilizzata da un server per stabilire il massimo numero di connessioni da lasciare in coda
- Solitamente è eseguita dopo le chiamate di sistema `socket()` e `bind()` ed immediatamente prima della chiamata `accept()`
 - Imposta la lunghezza della coda a `backlog`

[45]

Accettare le connessioni

- Una volta che un programma server ha creato e “dato un nome” ad una socket, esso può aspettare le connessioni usando la system call `accept()`:

```
#include<sys/socket.h>
int accept(int sockfd, struct sockaddr *address, size_t *len);
/* Restituisce il descrittore di file (socket) se OK, -1 in caso di errore */
```

- La system call `accept()` ritorna quando un programma client tenta di connettersi alla socket specificata dal parametro `sockfd`
- Il client è la prima connessione pendente nella coda della socket
 - La funzione `accept()` crea una nuova socket per comunicare con il client e restituisce il suo descrittore
 - La nuova socket avrà lo stesso tipo della socket in ascolto del server

[46]

Accettare le connessioni

- Alla socket deve essere stato precedentemente assegnato un nome da una chiamata a `bind()` ed allocata una coda da una chiamata a `listen()`
- L'indirizzo del client chiamante sarà posto nella struttura `sockaddr` puntata da `address`
- Il parametro `len` specifica la lunghezza della struttura del client
 - Se l'indirizzo del client è più lungo di questo valore, sarà troncato
 - Prima di chiamare `accept()`, `len` deve essere impostato alla lunghezza attesa dell'indirizzo
 - Al ritorno `len` sarà impostato alla lunghezza reale della struttura dell'indirizzo del client chiamante

[47]

Accettare le connessioni

- Se non ci sono connessioni pendenti sulla coda della socket, `accept()` blocca il processo fino a che un client effettua una connessione
- La funzione `accept()` restituisce
 - un descrittore della nuova socket quando c'è una connessione pendente di un client
 - 1 se si verifica un errore

[48]

Richiedere connessioni

- I programmi client si connettono ai server stabilendo una connessione tra una socket senza nome e la socket del server in ascolto. Il tutto è fatto invocando `connect()`

```
#include<sys/socket.h>
int connect(int sockfd, struct sockaddr *address, size_t len);
/* Restituisce 0 se OK, -1 in caso di errore */
```

- La socket specificata dal parametro `sockfd` è connessa alla socket del server specificata dal parametro `address`, che è di lunghezza `len`
- La socket deve essere un descrittore di file valido ottenuto da una chiamata a socket
- Se la connessione non può essere impostata immediatamente, `connect()` bloccherà il processo per un periodo di tempo (timeout) non specificato. Una volta trascorso timeout, la connessione sarà annullata e `connect()` fallisce
 - Tuttavia, se la chiamata a `connect()` è interrotta da un segnale gestito, la `connect()` fallirà, ma il tentativo di connessione non sarà annullato ma sarà impostato in modo asincrono

(49)

Chiudere una socket

- Si può terminare una connessione socket al server e al client invocando `close()` così come avviene per i descrittori di file
- E' necessario sempre chiudere la socket in ambo i lati

(50)

Esempio

- Sfruttiamo l'esempio visto all'inizio per creare una socket di rete piuttosto che una del file system
- Scegliamo il numero di porta **9734**
 - Questa è una scelta arbitraria che evita i servizi standard (assegnati alle porte fino a 1024)
 - Nel file `/etc/services` sono elencati i servizi e le porte associate
- Eseguiamo il client ed il server attraverso una rete locale
 - Usiamo la rete di loopback che consiste di un singolo computer chiamato `localhost` con l'indirizzo standard `127.0.0.1`, ovvero la macchina locale

(51)

Esempio: lato client

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
    int sockfd;
    int len;
    struct sockaddr_in address;
    int result;
    char ch = 'A';
    /* creiamo una socket per il client */
    sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
```

(52)

Esempio: lato client

```
/* assegnamo un nome alla socket */
address.sin_family = AF_INET;
address.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");
address.sin_port = 9734;
len = sizeof(address);
/* connettiamo la nostra socket con quella del server */
result = connect(sockfd, (struct sockaddr*)&address, len);
if (result == -1) {
    perror("ops:client 1");
    exit(1);
}
/* possiamo leggere e scrivere via sockfd */
write(sockfd, &ch, 1);
read(sockfd, &ch, 1);
printf("char dal server = %c\n", ch);
close(sockfd);
exit(0);
}
```

[53]

Esempio: lato client

- Il programma client usa la struttura `sockaddr_in` dal file `netinet/in.h` per specificare un indirizzo `AF_INET`
 - Cerca di connettersi ad un server sull'host con indirizzo IP 127.0.0.1
 - Utilizza una funzione, `inet_addr()`, per convertire la rappresentazione testuale di un indirizzo IP in una forma adatta all'indirizzamento delle socket
- `in_addr_t inet_addr(char *cp);`
- Converte una stringa di caratteri da una notazione con il punto decimale ad un indirizzo di Internet di 32 bit

[54]

Formati indirizzo

- Per la trasformazione inversa è possibile usare la funzione
`char *inet_ntoa(struct in_addr in);`
- Tuttavia `inet_addr()` e `inet_ntoa()` lavorano solo con indirizzi IPv4
- Per lavorare sia con indirizzi IPv4 che IPv6 è possibile usare la nuova funzione
`#include <arpa/inet.h>`
`int inet_pton(int domain, const char * src, void *dst);`
/* Restituisce 1 se OK, 0 se il formato non è valido, o -1 in caso di errore */
- `inet_pton()` converte una stringa di testo in un indirizzo binario nell'ordinamento di byte della rete
- Sono supportati solo due valori dell'argomento `domain`: `AF_INET` e `AF_INET6`

[55]

Esempio: lato server

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
    int server_sockfd, client_sockfd;
    int server_len, client_len;
    struct sockaddr_in server_address;
    struct sockaddr_in client_address;
    /* crea un socket senza nome per il server */
    server_sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
```

[56]

Esempio: lato server

```
/* assegna un nome alla socket */
server_address.sin_family = AF_INET;
server_address.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");
server_address.sin_port = 9734;
server_len = sizeof(server_address);
bind(server_sockfd, (struct sockaddr*)&server_address, server_len);
/* creiamo una coda di connessione ed attendiamo i client */
listen(server_sockfd, 5);
while(1){
    char ch;
    printf("server in attesa\n");
    /* accetta una connessione */
    client_len = sizeof(client_address);
    client_sockfd = accept(server_sockfd, (struct
sockaddr*)&client_address, &client_len);
    /* Leggiamo e scriviamo al client su client_sockfd */
    read(client_sockfd, &ch, 1);
    ch++;
    write(client_sockfd, &ch, 1);
    close(client_sockfd);
}
}
```

[57]

Esempio: lato server

- Il programma server crea un socket di dominio **AF_INET** e si dispone per accettare connessioni
- La socket viene legata alla porta scelta
 - L'indirizzo specificato determina a quali computer è consentito connettersi
 - Specificando l'indirizzo di loopback, come nel programma client, restringiamo le comunicazioni alla macchina locale

[58]

Ordinamento dei Byte

- Se si eseguono i programmi *server* e *client* è possibile vedere le connessioni di rete usando il comando **netstat**
 - Il comando mostra le connessioni client/server in attesa di chiusura
 - La connessione si chiude dopo un piccolo timeout

```
$ ./server2 &
[4] 1225
$ server in attesa
Client2
Server in attesa
Char dal server = B
$ netstat
Active Internet Connections
Proto Recv-Q Send-Q Local Address Foreign Address (State) user
Tcp      0      0 localhost:1574 localhost:1174 TIME_WAIT root
```

[59]

Ordinamento dei Byte

- Possiamo osservare i numeri di porta che sono stati assegnati alla connessione tra il server ed il client
 - L'indirizzo locale (local address) mostra il server
 - L'indirizzo straniero (foreign address) è il client remoto
 - Per assicurare che tutte le socket siano distinte, queste porte client sono tipicamente differenti dalle socket del server in ascolto e uniche
- Tuttavia, all'indirizzo locale (la socket del server) è assegnata la porta 1574 sebbene abbiamo scelto la porta 9734
 - Perché differiscono?

[60]

Ordinamento dei Byte

- I numeri di porta e gli indirizzi sono comunicati sulle interfacce delle socket come numeri binari
- Computer differenti impiegano ordinamenti differenti per gli interi
 - Un processore Intel memorizza l'intero a 32 bit come quattro byte di memoria consecutivi nell'ordine 1-2-3-4, dove 1 è il byte più significativo (**little-endian**)
 - I processori Motorola memorizzano l'intero nell'ordine di byte 4-3-2-1 (**big-endian**)
- Se la memoria usata per gli interi è copiata byte per byte, i due computer hanno valori differenti assegnati all'intero

[61]

Ordinamento dei Byte

- Per consentire a computer di tipo differente di avere rappresentazioni degli interi, trasmessi in rete, coerenti è necessario avere un ordinamento nella rete
- I programmi client e server devono convertire le rispettive rappresentazioni interne degli interi nell'ordinamento della rete prima di effettuare la trasmissione
- Per questo si usano le funzioni:

```
#include <netinet.h>
unsigned long int htonl(unsigned long int hostlong);
unsigned short int htons(unsigned short int hostshort);
unsigned long int ntohl(unsigned long int netlong);
unsigned short int ntohs(unsigned short int netshort);
```

[62]

Ordinamento dei Byte

- Queste funzioni convertono gli interi a 16 e 32 bit tra il formato host nativo e l'ordinamento standard della rete
 - Per i computer in cui l'ordinamento nativo coincide con l'ordinamento della rete queste rappresentano operazioni nulle
- In virtù di ciò, i codici client e server devono essere modificati opportunamente:
 - Server

```
server_address.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
server_address.sin_port = htons(9734);
```
 - Client

```
address.sin_port = htons(9734);
```
- Il server è stato cambiato per consentire connessioni a qualsiasi indirizzo IP usando **INADDR_ANY**

[63]

send e recv

- Una volta stabilita la connessione fra client e server, si possono usare le system call **send()** e **recv()** per trasmettere e ricevere dati attraverso le socket:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
int send(int sockfd, void *buffer, int length, int flags);
int recv(int sockfd, void *buffer, int length, int flags);
```

- se **flags** vale 0, allora **send()** e **recv()** equivalgono, rispettivamente alle system call **write()** e **read()**. Altrimenti **flags** può assumere i seguenti valori, per quanto riguarda **send()**:
 - MSG_OOB: il processo invia dati "out of band";
 - MSG_DONTROUTE: vengono ignorate le condizioni di routing dei pacchetti sottostanti al protocollo utilizzato
- Per quanto riguarda **recv()** invece **flags** può assumere i seguenti valori:
 - MSG_PEEK: i dati vengono letti, ma non "consumati" in modo che una successiva **recv()** riceverà ancora le stesse informazioni
 - MSG_OOB: legge soltanto i dati "out of band";
 - MSG_WAITALL: la **recv()** ritorna soltanto quando la totalità dei dati è disponibile
- Il valore di ritorno è la lunghezza del messaggio inviato/ricevuto

[64]

Esempio di applicazione connection oriented

- Realizziamo un “maiuscolatore”. Un server che riceve delle stringhe di testo dai client, restituendole a questi ultimi dopo aver convertito in maiuscolo le lettere

/ upperserver.c: un server per rendere maiuscole linee di testo */*

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <ctype.h>
#include <sys/times.h>
#define SERVER_PORT 1313
#define LINESIZE 80
```

[65]

Esempio di server: “maiuscolatore”

```
void upperlines(int in, int out) {
    char inputline[LINESIZE];
    int len, i;
    while ((len = recv(in, inputline, LINESIZE, 0)) > 0) {
        for (i=0; i < len; i++)
            inputline[i] = toupper(inputline[i]);
        send(out, inputline, len, 0);
    }
}

int main (int argc, char **argv) {
    int sock, client_len, fd;
    struct sockaddr_in server, client;
    /* impostazione dell'end point della comunicazione */
    if ((sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) == -1) {
        perror("chiamata alla system call socket fallita");
        exit(1);
    }
    server.sin_family = AF_INET;
    server.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
    server.sin_port = htons(SERVER_PORT);
```

[66]

Esempio di server: maiuscolatore

```
/* legghiamo l'indirizzo all'end point della comunicazione */
if (bind(sock, (struct sockaddr*)&server, sizeof server)==-1) {
    perror("chiamata alla system call bind fallita");
    exit(2);
}
listen(sock, 1);
/* gestione delle connessioni dei client */
while (1) {
    client_len = sizeof(client);
    if ((fd = accept(sock, (struct sockaddr*)&client, &client_len))<0)
    {
        perror("accepting connection");
        exit(3);
    }
    fprintf(stdout, "Aperta connessione.\n");
    send(fd, "Benvenuto all'UpperServer!\n", 27, 0);
    upperlines(fd, fd);
    close(fd);
    fprintf(stdout, "Chiusa connessione.\n");
}
}
```

[67]

Test del server

- Compiliamo e lanciamo in esecuzione il server:
`$ gcc -o upperserver upperserver.c`
`$./upperserver &`
- Per verificare il funzionamento del server, usiamo telnet:

```
$ telnet 127.0.0.1 1313
Trying 127.0.0.1...
Connected to 127.0.0.1.
Escape character is '^]'.
Benvenuto all'UpperServer!
prova
PROVA
Per terminare la sessione premere Ctrl + ] e
impartire il comando quit:
^]
telnet> quit
Connection closed.
>
```

[68]

Esercizi

- Completare l'esempio del maiuscolatore, scrivendo il codice del client (caso del modello connection oriented). La struttura di quest'ultimo sarà la seguente:

```
#include <ctype.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
main() {
    int sockfd;
    if((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) == -1) {
        perror("chiamata alla system call socket fallita");
        exit(1);
    }
    /* connessione al server */
    /* invio e ricezione della stringa */
    /* chiusura della connessione */
}
```

- Modificare il programma upperserver.c in modo che accetti più connessioni contemporaneamente (utilizzando la **fork()**)