



Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

**Corso di Reti di Calcolatori
a.a. 2020/21**

**Antonio Pescapè (pescap@unina.it)
Roberto Canonico (roberto.canonico@unina.it)**

Le socket di Berkeley

Le socket di Berkeley

a cura di Marcello Esposito (mesposit@unina.it)

Nota di Copyright

Quest'insieme di trasparenze è stato realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli.

Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro,

a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori.

Nell'uso dovrà essere esplicitamente riportata la fonte e gli Autori.

Gli Autori non sono responsabili per eventuali imprecisioni contenute in tali trasparenze né per eventuali problemi, danni o malfunzionamenti derivanti dal loro uso o applicazione.

SOCKET: cosa sono? (1)

- Le socket rappresentano un'astrazione di canale di comunicazione tra processi (locali o remoti).
- Attraverso di esse un'applicazione può ricevere o trasmettere dati.
- I meccanismi restano (quasi) indipendenti dal supporto fisico su cui le informazioni viaggiano.
- Inizialmente nascono in ambiente UNIX
 - Negli anni 80 la Advanced Research Project Agency finanziò l'Università di Berkeley per implementare la suite TCP/IP nel sistema operativo Unix.
 - I ricercatori di Berkeley svilupparono il set originario di funzioni che fu chiamato *interfaccia socket*.
 - Esse originariamente apparvero nella versione 4.1cBSD di Unix.

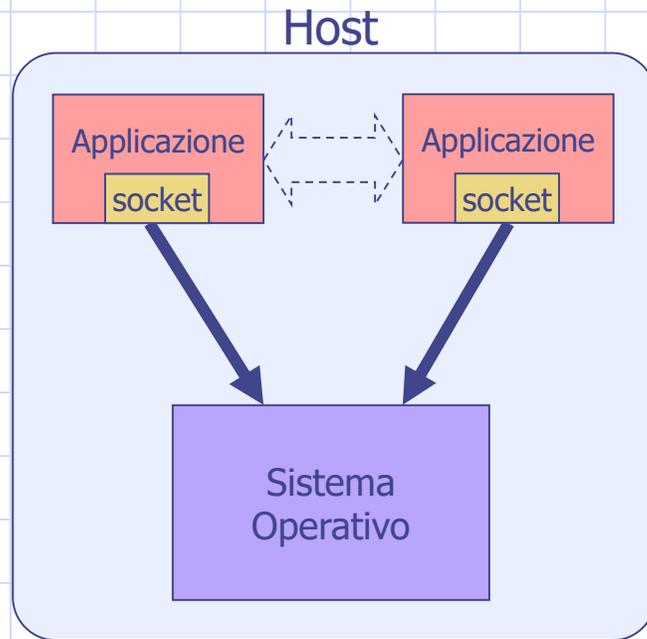
SOCKET: cosa sono? (2)

- Si presentano sotto la forma di un'API (Application Programming Interface), cioè un **insieme di funzioni scritte in C**, che le applicazioni possono invocare per ricevere il servizio desiderato.
- Rappresentano una estensione delle API di UNIX per la gestione dell'I/O su periferica standard (files su disco, stampanti, etc.).
- Questa API è poi divenuta uno standard *de facto*, ed oggi è diffusa nell'ambito di tutti i maggiori sistemi operativi (Linux, FreeBSD, Solaris, Windows... etc.).

Interazione tra Applicazione e SO

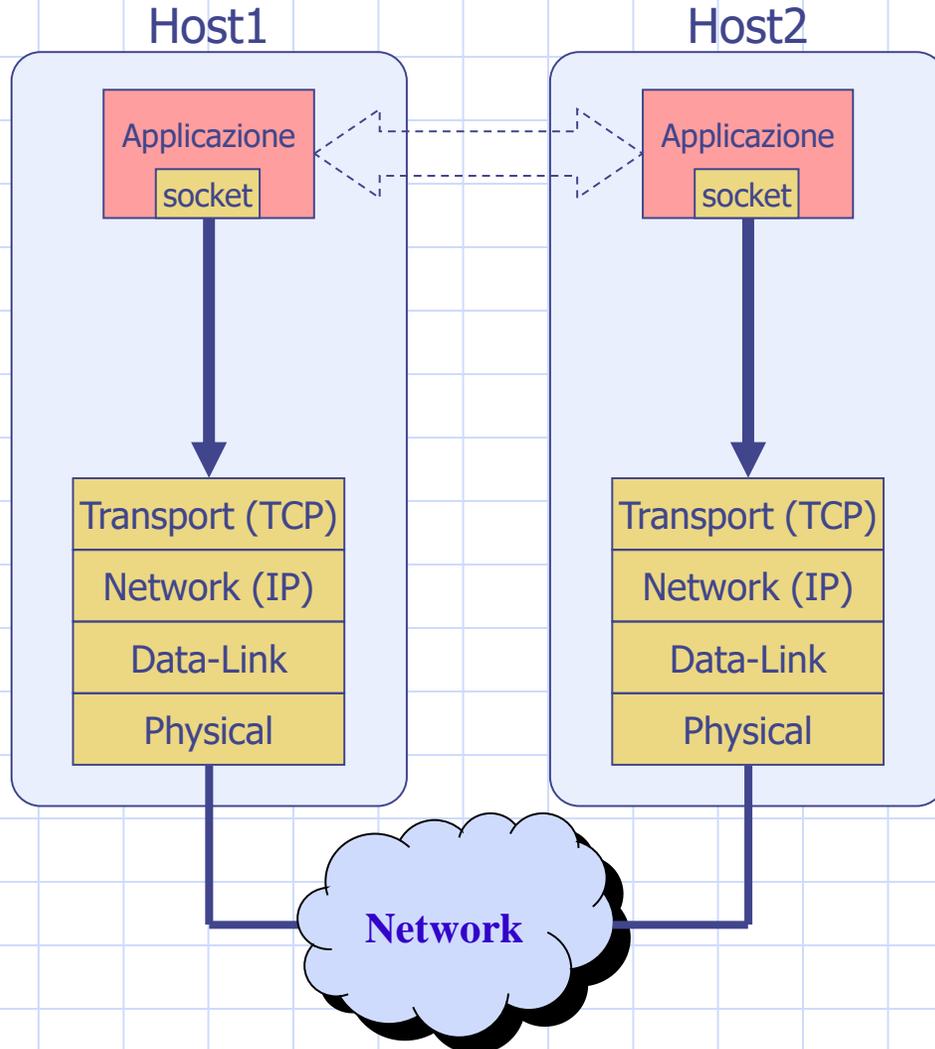
- L'applicazione chiede al sistema operativo di utilizzare i servizi di rete
- Il sistema operativo crea una socket e la restituisce all'applicazione
 - restituito un socket descriptor
- L'applicazione utilizza la socket
 - Open, Read, Write, Close.
- L'applicazione chiude la socket e la restituisce al sistema operativo

Caso d'uso: comunicazione locale



- Due applicazioni, localizzate sulla stessa macchina, scambiano dati tra di loro utilizzando l'interfaccia delle socket.
- Le socket utilizzate a questo scopo vengono comunemente definite Unix-domain socket.

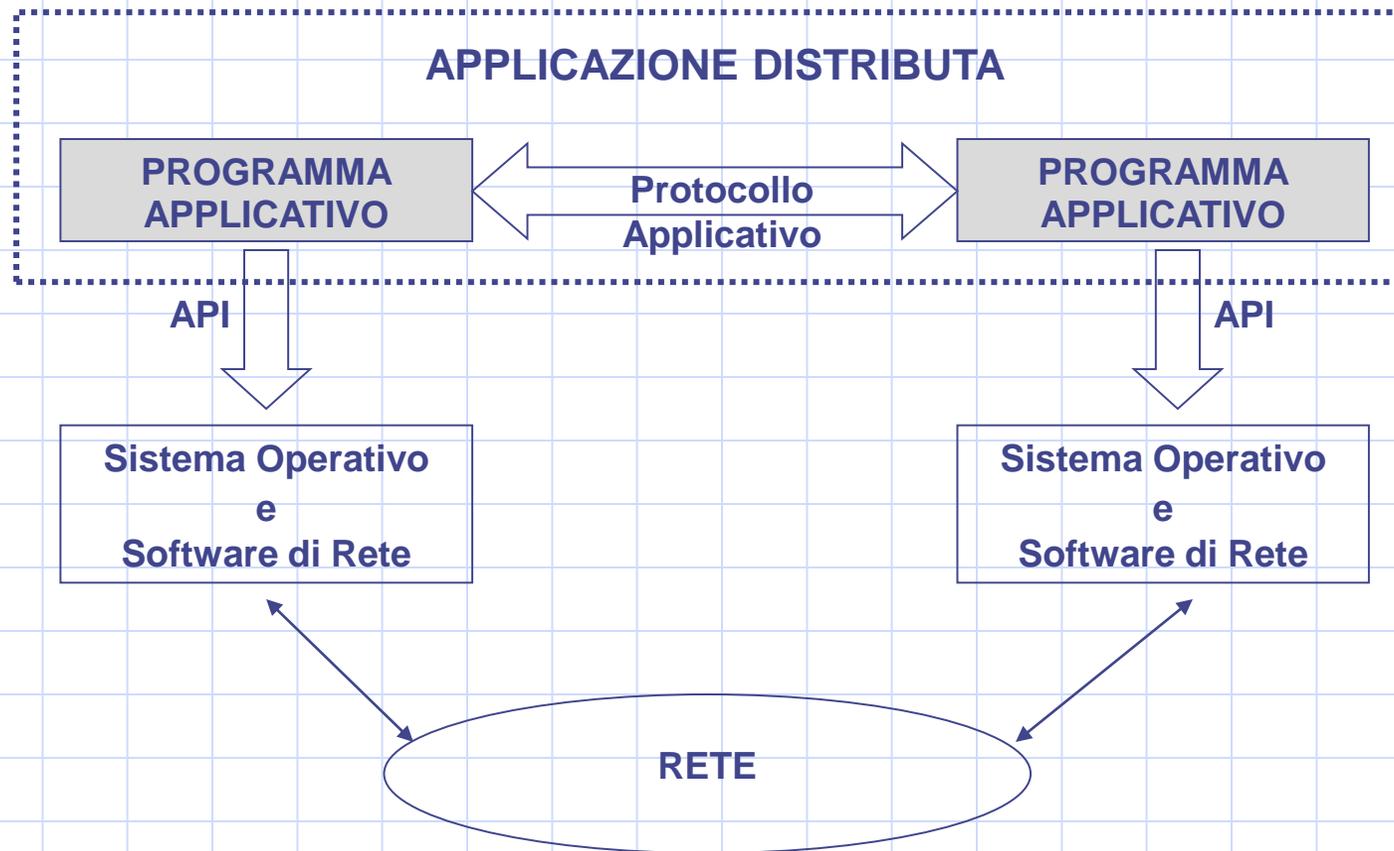
Caso d'uso: comunicazione remota via TCP/IP



- Anche due applicazioni situate su macchine distinte possono scambiare informazioni secondo gli stessi meccanismi.
- Così funzionano telnet, ftp, Emule, BitTorrent.

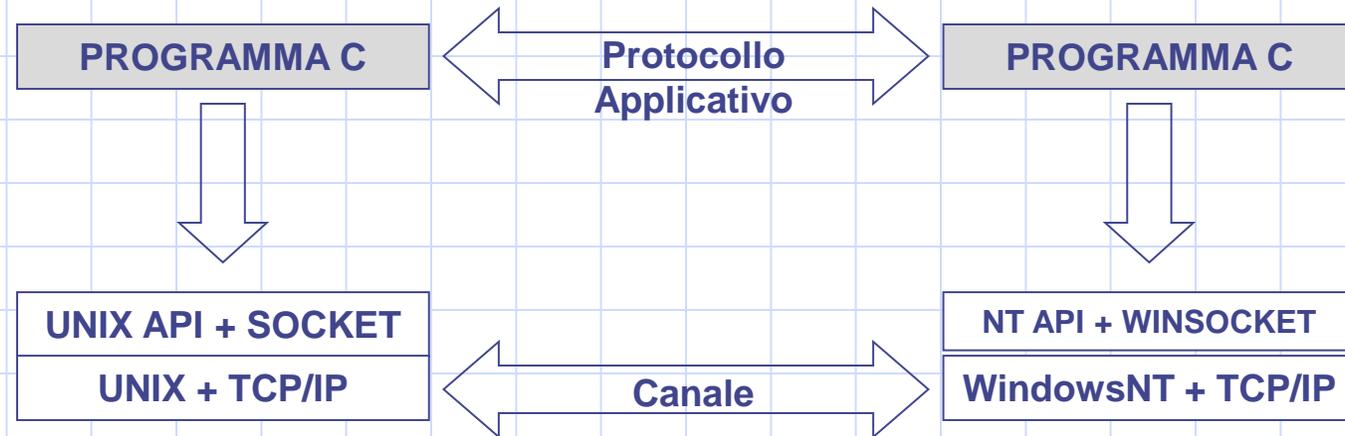
Interfacce e protocolli

◆ Esempio di applicazione distribuita:



Interfacce e protocolli

- ◆ La configurazione di riferimento di una applicazione distribuita basata su TCP/IP e socket è il seguente:



Il problema della connessione

- Nel momento in cui una entità decide di instaurare una comunicazione con un'entità paritaria, come assicurarsi che quest'ultima sia disponibile?
 - La chiamata telefonica: chi desidera instaurare la comunicazione compone **il numero** del destinatario e attende durante il segnale di chiamata. Dall'altro lato **uno squillo** avverte di una chiamata in arrivo. Se si è disponibili alla comunicazione (si è in casa, si può ascoltare lo squillo e non si è sotto la doccia) **si alza la cornetta**. Lo squillo dal lato del chiamante **termina**. Da questo momento in poi la chiamata è instaurata e diviene simmetrica: chiunque può parlare quando vuole.
- E' necessario che il chiamante conosca l'indirizzo del chiamato e che il chiamato sia in attesa di eventuali comunicazioni.

Il paradigma Client-Server (C/S)

- Il chiamato è il **server**:
 - deve aver divulgato il proprio indirizzo
 - resta in attesa di chiamate
 - in genere viene contattato per fornire un servizio
- Il chiamante è il **client**:
 - conosce l'indirizzo del server
 - prende l'iniziativa di comunicare
 - usufruisce dei servizi messi a disposizione dal server

Il concetto di indirizzo

- Una comunicazione può essere identificata attraverso la quintupla:

{protocol, local-addr, local-process, foreign-addr, foreign-process}

- Una coppia {addr, process} identifica univocamente un terminale di comunicazione (end-point).
- Nel mondo IP, ad esempio:
 - **local-addr e foreign-addr** rappresentano indirizzi IP
 - **local-process e foreign-process** rappresentano numeri di porto

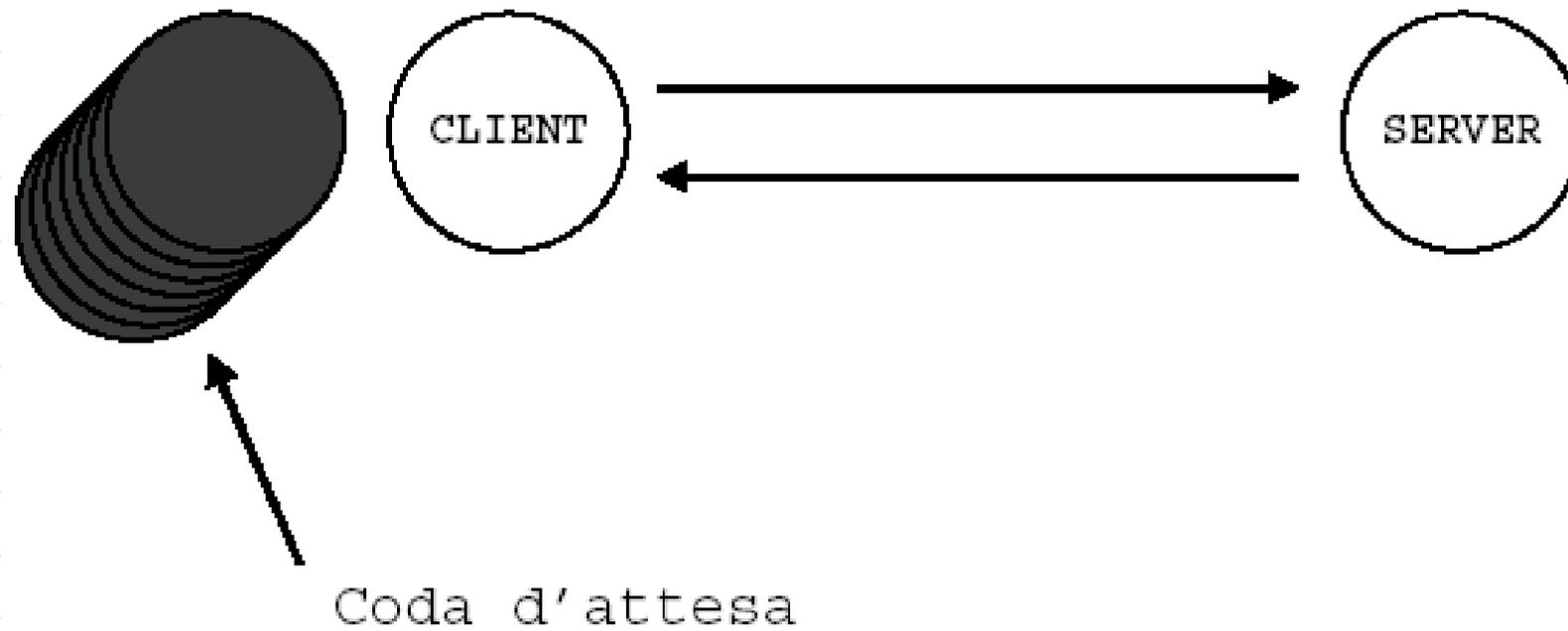
Server concorrente e iterativo

- Un server può ricevere chiamate anche da più client diversi.
- Ogni comunicazione richiederà un certo tempo prima di potersi considerare conclusa.

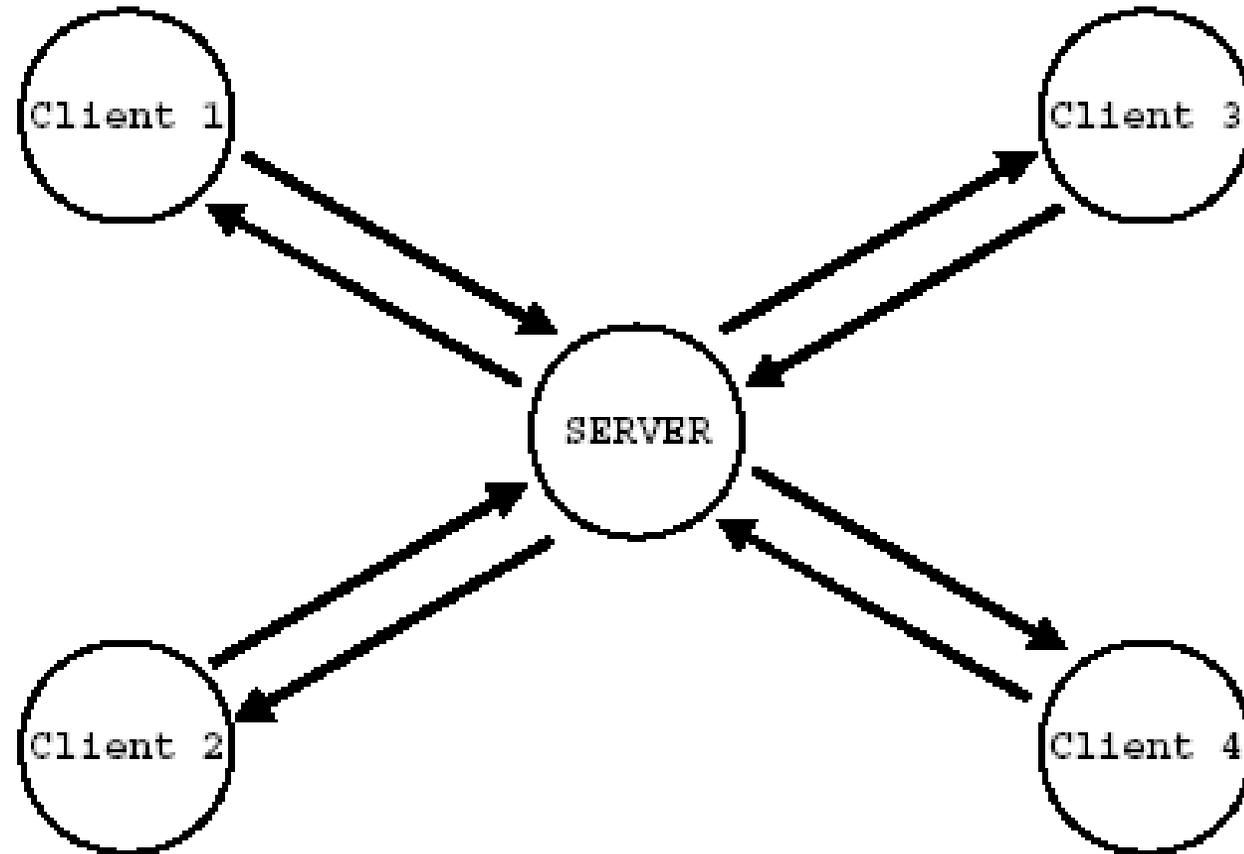
E se una chiamata arriva mentre il server è già impegnato in una comunicazione?

- Un server che accetti più comunicazioni contemporaneamente si definisce **concorrente**.
- Un server che accetti una sola comunicazione alla volta è detto **iterativo**.
 - In questo ultimo caso una richiesta può essere servita solo quando la precedente si è già conclusa.
 - Questo è il paradigma applicato nel modello di comunicazione telefonica di base.
 - E l'avviso di chiamata?...

Server Iterativo



Server Concorrente



Il paradigma di comunicazione "Connection-Oriented"

- In una comunicazione dati Connection-Oriented, i due end-point dispongono di un canale di comunicazione che:
 - trasporta flussi
 - è affidabile
 - è dedicato
 - preserva l'ordine delle informazioni
- Il canale si comporta cioè come una sorta di "tubo": tutto quello che viene inserito al suo interno, arriverà inalterato dall'altro lato e nello stesso ordine con cui è stato immesso.
- Non è detto che vengano però mantenuti i limiti dei messaggi.
- La comunicazione telefonica è più simile ad una comunicazione connection-oriented.

Il paradigma di comunicazione "Datagram"

- In una comunicazione Datagram (anche detta connectionless), il canale
 - trasporta messaggi
 - non è affidabile
 - è condiviso
 - non preserva l'ordine delle informazioni
- Se si inviano dieci messaggi dall'altro lato essi possono anche arrivare mescolati tra di loro e tra i messaggi appartenenti ad altre comunicazioni. I limiti dei messaggi vengono comunque preservati.
- La posta ordinaria è un esempio di comunicazione a datagramma.

Connection-Oriented vs Datagram

- ◆ Connection oriented.
 - Principali vantaggi:
 - ◆ Affidabilità
 - ◆ Controllo di flusso
 - Principali svantaggi:
 - ◆ Overhead per instaurare la connessione
- ◆ Datagram.
 - Principali Vantaggi
 - ◆ Basso overhead
 - Principali svantaggi
 - ◆ Nessun controllo sulla consegna
- ◆ Le socket che utilizzano i protocolli Internet sfruttano rispettivamente TCP (Transmission Control Protocol) e UDP (User Datagram Protocol) per implementare le due tipologie di comunicazione. In entrambi i casi il protocollo di livello inferiore è IP (che è un protocollo datagram).

Naming / Binding

- ◆ È l'operazione in cui associamo un indirizzo transport ad una socket già creata
- ◆ In questo modo l'indirizzo diventa noto al sistema operativo ed altre socket sono in grado di stabilire una connessione

Byte Stream e Datagram

- ◆ È possibile impostare il protocollo che verrà utilizzato per il trasferimento dei dati
- ◆ Nel caso delle socket abbiamo due opzioni:
 - **byte-stream**: I dati vengono trasferiti come una sequenza ordinata ed affidabile di byte (SOCK_STREAM)
 - **Datagram**: I dati vengono inviati come messaggi indipendenti ed inaffidabili (SOCK_DGRAM)

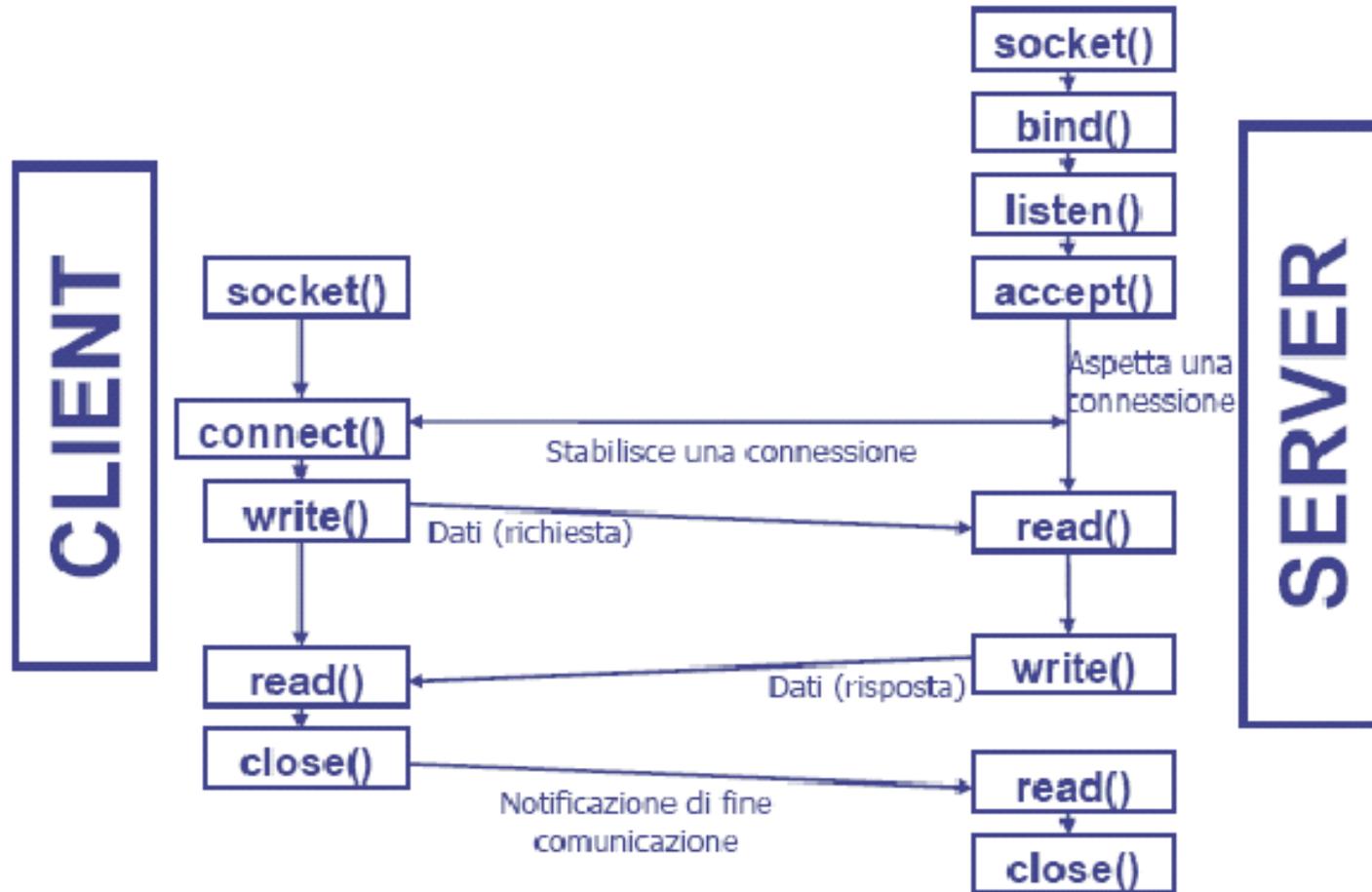
Progettazione di un Server TCP

- Creazione di un endpoint
 - Richiesta al sistema operativo
- Collegamento dell'endpoint ad una porta
 - Ascolto sulla porta
 - Processo sospeso in attesa
- Accettazione della richiesta di un client
- Letture e scritture sulla connessione
- Chiusura della connessione

Progettazione di un Client TCP

- Creazione di un endpoint
 - Richiesta al sistema operativo
- Creazione della connessione
 - Implementa open di TCP (3-way handshake)
- Lettura e scrittura sulla connessione
 - Analoghi a operazioni su file in Unix
- Chiusura della connessione
 - Implementa close di TCP (4-way handshake)

Le chiamate per una comunicazione Connection-Oriented



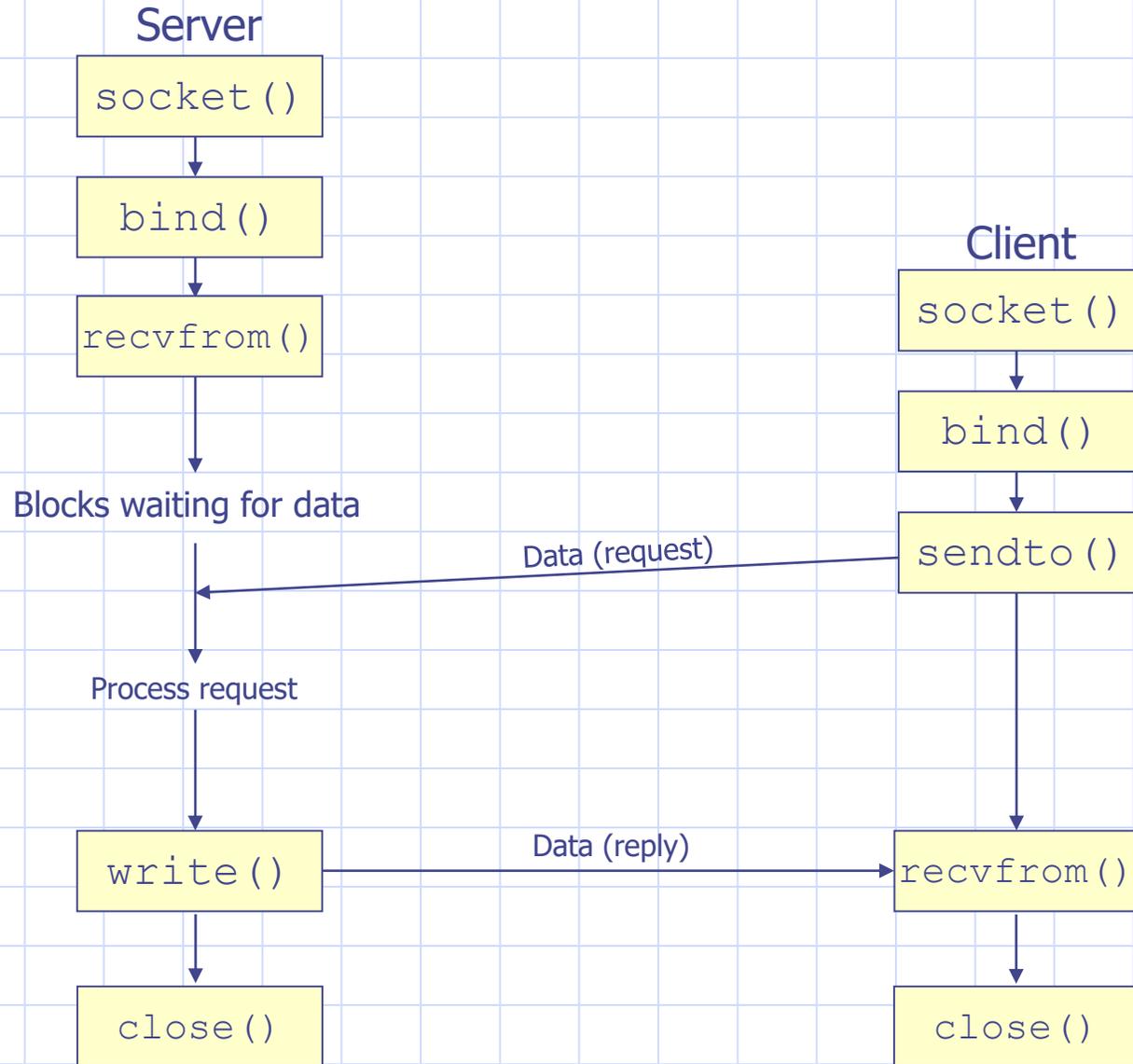
Progettazione di un Server UDP

- Creazione di un endpoint
 - Richiesta al sistema operativo
- Collegamento dell'endpoint ad una porta
 - open passiva in attesa di ricevere datagram
- Ricezione ed invio di datagram
- Chiusura dell'endpoint

Progettazione di un Client UDP

- Creazione di un endpoint
 - Richiesta al sistema operativo
- Invio e ricezione di datagram
- Chiusura dell'endpoint

Le chiamate per una comunicazione Datagram



La programmazione delle socket

Le strutture dati per le socket: il trattamento degli indirizzi (1)

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

```
struct sockaddr {  
    u_short sa_family;    /* address family: AF_*** value */  
    char    sa_data[14];  /* up to 14 bytes of protocol-specific address */  
};
```

```
<netinet/in.h>
```

```
struct in_addr {  
    u_long s_addr;        /* 32-bit netid/hostid network byte ordered */  
};
```

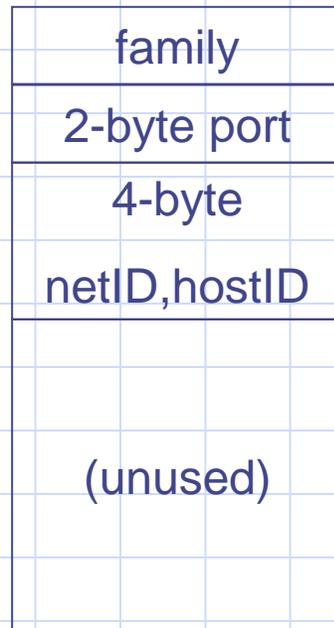
```
struct sockaddr_in {  
    short    sin_family;    /* AF_INET */  
    u_short  sin_port;      /* 16-bit port number network byte ordered */  
    struct in_addr sin_addr;  
    char     sin_zero[8];   /* unused */  
};
```

```
<sys/un.h>
```

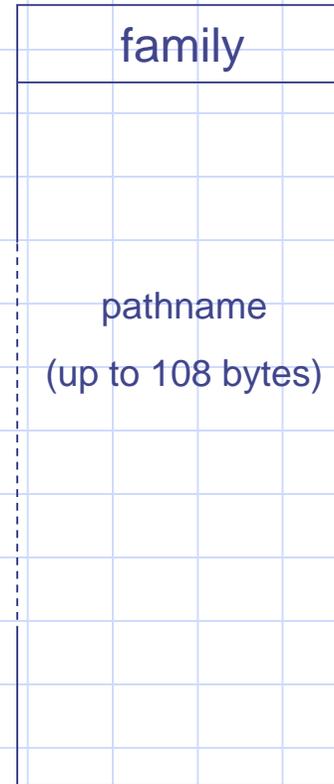
```
struct sockaddr_un {  
    short  sun_family;    /* AF_UNIX */  
    char   sun_path[108]; /* pathname */  
};
```

Le strutture dati per le socket: il trattamento degli indirizzi (2)

`struct sockaddr_in`



`struct sockaddr_un`



La system-call `socket()`

- ◆ Questa system-call serve ad **istanziare un nuovo descrittore di socket**.
- ◆ Esso verrà utilizzato in tutte le successive chiamate

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

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

- ◆ `family` può essere: `AF_UNIX`, `AF_INET`...
- ◆ `type` può essere: `SOCK_STREAM`, `SOCK_DGRAM`, `SOCK_RAW`, `SOCK_SEQPACKET`, `SOCK_RDM`.
- ◆ `protocol` indica il protocollo utilizzato: `IPPROTO_TCP`, `IPPROTO_UDP`.
- ◆ il valore restituito è un descrittore di socket (di tipo `int` secondo lo stile Unix).
- ◆ Della quintupla, dopo la chiamata `socket()`, resta specificato solo il primo campo:
{protocol, local-addr, local-process, foreign-addr, foreign-process}

La system-call `bind()` (1)

- ◆ Questa system-call serve ad **assegnare un indirizzo locale** (name) ad una socket.

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

```
int bind(int sockfd, struct sockaddr *myaddr, int addrlen);
```

- ◆ `sockfd` è il descrittore di socket restituito da `socket()`.
- ◆ `myaddr` punta ad un generico indirizzo.
- ◆ `addrlen` è la lunghezza di `myaddr`: `sizeof(myaddr)`.
- ◆ il valore restituito è indicativo del successo dell'operazione (0, se ha successo; -1, altrimenti).
- ◆ Della quintupla, dopo la chiamata `bind()`, restano specificati il secondo ed il terzo campo, cioè gli estremi locali della comunicazione:

{protocol, local-addr, local-process, foreign-addr, foreign-process}

La system-call `bind()` (2)

- ◆ Essa può essere invocata in una molteplicità di casi:
 - un **server** vuole registrare i suoi estremi (già divulgati precedentemente) presso il sistema sul quale si trova. In questo modo è come se dicesse:- *“Questo è il mio indirizzo e tutti i messaggi inviati ad esso devono essere consegnati a me”*.
 - ◆ Ciò accade sia per i server connection-oriented che per quelli connectionless.
 - un **client** vuole registrare uno specifico indirizzo per se stesso.
 - un **client connectionless** vuole assicurarsi uno specifico indirizzo poiché è solo attraverso di esso che può essere raggiunto da un server al quale aveva in precedenza inoltrato una richiesta.

- ◆ Può restituire una condizione di errore, per esempio, se l'indirizzo al quale si desidera “legarsi” risulta già occupato.

La system-call `connect()` (1)

- ◆ Attraverso la chiamata `connect()`, subito dopo una chiamata `socket()`, un processo **client** stabilisce una connessione con un server.

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

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

```
int connect(int sockfd, struct sockaddr *servaddr, int addrlen);
```

- ◆ `sockfd` è il descrittore di socket restituito da `socket()`.
- ◆ `servaddr` punta all'indirizzo (generico) del server.
- ◆ `addrlen` è sempre la lunghezza di `servaddr`: `sizeof(servaddr)`.
- ◆ il valore restituito è indicativo del successo dell'operazione (0, se ha successo; -1, altrimenti).
- ◆ Della quintupla, dopo la chiamata `connect()`, restano specificati tutti i campi relativi agli indirizzi:

```
{protocol, local-addr, local-process, foreign-addr, foreign-process}
```

La system-call `connect()` (2)

- ◆ Per le **comunicazioni connection-oriented**, la chiamata `connect()` scatena una fase di segnalazione tra il client ed il server intesa a stabilire realmente la connessione, ed a concordare una serie di parametri che la caratterizzano. In questo caso la `connect()` è bloccante e non ritorna se non dopo aver instaurato la connessione (o, eventualmente, con una condizione di errore).
- ◆ Un client non deve necessariamente realizzare una chiamata a `bind()` prima della `connect()`, poiché è il sistema che assegna automaticamente un indirizzo valido tra quelli disponibili. Questo è il motivo per cui tutta la quintupla risulterà valorizzata dopo una chiamata a `connect()`.
- ◆ Per un client **connectionless** c'è ancora la possibilità di invocare la chiamata `connect()`. In questo caso, però, il server non viene realmente contattato (potrebbe anche non essere attivo), ma si produce semplicemente la memorizzazione locale dell'indirizzo del server con la conseguenza che:
 - ogni successivo messaggio scritto sulla socket sarà diretto a quel server;
 - ogni messaggio ricevuto sulla socket verrà accettato solo se proveniente da quel server.

La system-call `listen()`

- ◆ Attraverso la chiamata `listen()`, un **server** manifesta la sua volontà di **apprestarsi a ricevere connessioni**.
- ◆ Generalmente si esegue dopo `socket()` e `bind()` e prima di `accept()`.

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

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

- ◆ `sockfd` è il descrittore di socket restituito da `socket()`.
- ◆ `qlen` indica quante richieste di connessione possono essere accodate dal sistema in attesa di essere servite.
- ◆ il valore restituito è indicativo del successo dell'operazione (0, se ha successo; -1, altrimenti).
- ◆ Se un client tenta una connessione ad una socket la cui coda è piena la connessione gli viene negata (`connect()` fallisce) e gli viene notificato l'errore `ECONNREFUSED`.

La system-call `accept()` (1)

- ◆ Dopo la chiamata `listen()`, un **server** si mette realmente in **attesa di connessioni** attraverso una chiamata ad `accept()`.

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

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

- ◆ `sockfd` è il descrittore di socket restituito da `socket()`.
- ◆ `peer` e `addrlen` sono parametri di ingresso-uscita:
 - prima dell' `accept()`, devono essere impostati coerentemente con le caratteristiche delle strutture dati allocate.
 - dopo l' `accept()`, contengono l'indirizzo del client di cui si è accettata la connessione, con la sua lunghezza (minore o uguale a quella preimpostata).

La system-call `accept()` (2)

- ◆ `accept()` preleva la prima richiesta di connessione dalla coda e crea una nuova socket avente le stesse proprietà di `sockfd`, supponendo implicitamente che il server sia concorrente.
- ◆ Se la coda è vuota la chiamata è invece bloccante.
- ◆ `accept()` restituisce fino a tre valori:
 - se è andata a buon fine restituisce
 - ◆ il nuovo descrittore di socket;
 - ◆ l'indirizzo del client di cui si è accettata la connessione;
 - ◆ la sua lunghezza dell'indirizzo.
 - se non è andata a buon fine
 - ◆ il codice relativo all'errore verificatosi.

La system-call `accept()` (3)

- Il server quindi utilizza due socket diversi per ogni connessione con un client
 - il **socket di ascolto** (listening socket) è quello creato dalla funzione **socket()**
 - utilizzato per tutta la vita del processo
 - in genere usato solo per accettare richieste di connessione
 - il **socket connesso** (connected socket) è quello creato dalla funzione **accept()**
 - usato solo per la connessione con un certo client
 - usato per lo scambio dei dati con il client
- I due socket identificano due connessioni distinte

Esempio di `accept()` in un server concorrente.

```
int sockfd, newsockfd;

if ( (sockfd = socket( ... ) ) < 0 )
    err_sys("socket error");
if ( bind(sockfd, ... ) < 0 )
    err_sys("bind error");
if ( listen(sockfd, 5) < 0 )
    err_sys("listen error");

for ( ; ; ) {
    newsockfd = accept(sockfd, ... );    /* blocks */
    if (newsockfd < 0) {
        err_sys("accept error");
    }

    if (fork() == 0) {
        close(sockfd);                  /* child */
        doit(newsockfd);                /* process the request */
        close(newsockfd);
        exit(0);
    }

    close(newsockfd);                  /* parent */
}
}
```

- Dopo l'`accept()` il descrittore `newsockfd` ha la quintupla tutta impostata, ed è pronto ad essere utilizzato.
- `sockfd`, invece, continua ad avere impostati solo i primi tre campi e può essere usato per accettare le altre connessioni, senza la necessità di istanziare, per questo, una nuova socket.

Esempio di `accept()` in un server iterativo.

```
int sockfd, newsockfd;

if ( (sockfd = socket( ... ) ) < 0 )
    err_sys("socket error");
if ( bind(sockfd, ... ) < 0 )
    err_sys("bind error");
if ( listen(sockfd, 5) < 0 )
    err_sys("listen error");

for ( ; ; ) {
    newsockfd = accept(sockfd, ... );           /* blocks */
    if (newsockfd < 0)
        err_sys("accept error");

    doit(newsockfd);                          /* process the request */
    close(newsockfd);
}
```

Ricevere ed inviare i dati

- ◆ Una volta utilizzate le precedenti chiamate, la “connessione” è stata predisposta.
- ◆ La quintupla risulta completamente impostata.
- ◆ A questo punto chiunque può inviare o ricevere dati.
- ◆ Per questo, è necessario aver concordato un protocollo comune.
 - Per esempio, nella comunicazione telefonica, il chiamato parla per primo e risponde: - “Pronto, chi è?”, e quindi il chiamante fornisce la propria identità.

Le system-call `send()` e `sendto()`

- ◆ `send()` e `sendto()` si utilizzano per **inviare dati** verso l'altro terminale di comunicazione.

```
int send(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags);  
int sendto(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags,  
           struct sockaddr *to, int addrlen);
```

- ◆ `sockfd` è il descrittore restituito dalla chiamata `socket()`.
- ◆ `buff` punta all'inizio dell'area di memoria contenente i dati da inviare.
- ◆ `nbytes` indica la lunghezza in bytes del buffer, e quindi, il numero di bytes da inviare.
- ◆ `to` e `addrlen` indicano l'indirizzo del destinatario, con la sua lunghezza.
- ◆ `flags` abilita particolari opzioni. In generale è pari a 0.
- ◆ entrambe restituiscono il numero di bytes effettivamente inviati.

Le system-call `recv()` e `recvfrom()`

- ◆ `recv()` e `recvfrom()` si utilizzano per ricevere dati dall'altro terminale di comunicazione.

```
int recv(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags);  
int recvfrom(int sockfd, char *buff, int nbytes, int flags,  
             struct sockaddr *from, int *addrlen);
```

- ◆ `sockfd` è il descrittore restituito dalla chiamata `socket()`.
- ◆ `buff` punta all'inizio dell'area di memoria in cui devono essere ricopiati i dati ricevuti.
- ◆ `nbytes` è un parametro di ingresso che indica la lunghezza del buffer.
- ◆ `from` e `addrlen` contengono, dopo la chiamata, l'indirizzo del mittente con la sua lunghezza.
- ◆ `flags` abilita particolari opzioni. In generale è pari a 0.
- ◆ entrambe restituiscono il numero di bytes ricevuti (minore o uguale a `nbytes`).
- ◆ in assenza di dati da leggere, la chiamata è bloccante.

La system-call `close()`

- ◆ Chiude una socket e rilascia le risorse ad essa associate.

```
int close(int fd);
```

- ◆ in seguito a questa chiamata, eventuali dati pendenti, vengono inviati al destinatario prima che la socket venga chiusa.