Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

Facoltà di Ingegneria

Programmazione di applicazioni di rete con socket - parte 1

Corso di Sistemi Distribuiti

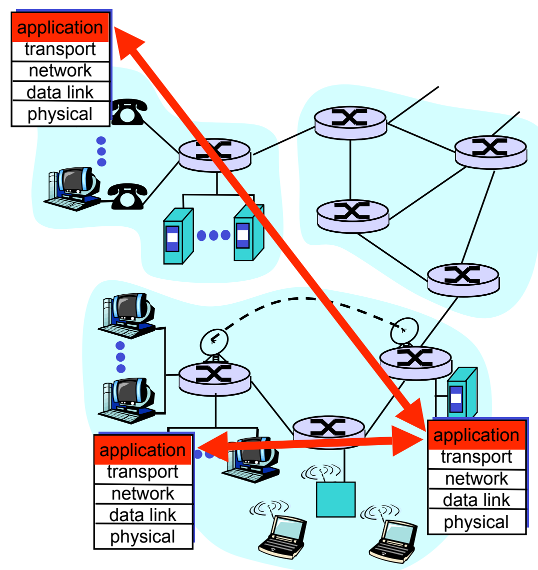
Valeria Cardellini

Anno accademico 2008/09

Applicazioni di rete

- Forniscono i servizi di alto livello utilizzati dagli utenti
- Determinano la percezione di qualità del servizio (QoS) che gli utenti hanno della rete sottostante

- Applicazioni: **processi comunicanti, distribuiti**
  - ✓ in esecuzione sugli *host* (sistemi terminali) della rete, tipicamente nello "spazio utente"
  - ✓ la comunicazione avviene utilizzando i servizi offerti dal sottosistema di comunicazione
  - ✓ comunicazione a scambio di messaggi
  - ✓ la cooperazione può essere implementata secondo vari modelli (più diffuso: **client-server**)

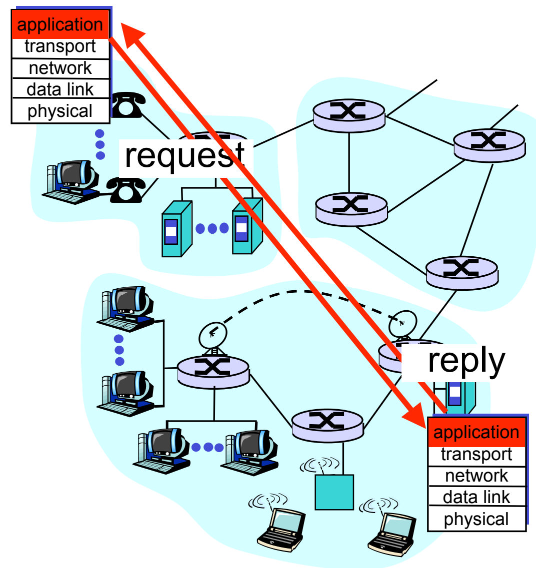


Modello client/server

Applicazioni di rete composte da due parti: *client* e *server*

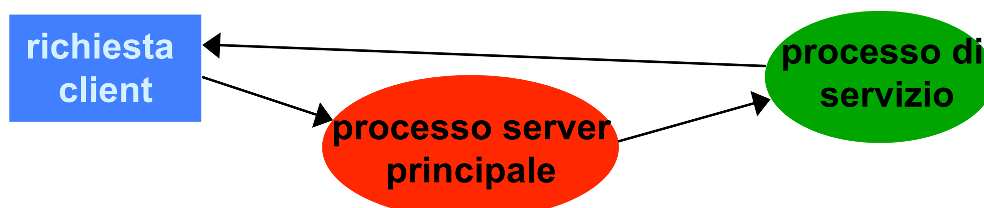
Client:
- È l'applicazione che richiede il servizio (inizia il contatto con il server)
- Es.: richiede una risorsa Web, invia una e-mail

Server:
- È l'applicazione che fornisce il servizio richiesto
- Attende di essere contattato dal client
- Es.: invia la risorsa Web richiesta, riceve/memorizza l'e-mail ricevuta



Modello client/server (2)

- Come fa un'applicazione ad identificare in rete l'altra applicazione con la quale vuole comunicare?
  - **indirizzo IP** dell'host su cui è in esecuzione l'altra applicazione
  - **numero di porta** (consente all'host ricevente di determinare a quale applicazione locale deve essere consegnato il messaggio)
- Server e concorrenza
  - Server **iterativo** (o sequenziale): gestisce una richiesta client per volta
  - Server **ricorsivo** (o concorrente): in grado di gestire più richieste client contemporaneamente
    - In un server ricorsivo, viene creato un nuovo processo/thread di servizio per gestire ciascuna richiesta client



Modello peer-to-peer

- Non vi è un server sempre attivo, ma coppie arbitrarie di host, chiamati **peer** (ossia pari) che comunicano direttamente tra di loro
- Nessuno degli host che prende parte all'architettura peer-to-peer (P2P) deve necessariamente essere sempre attivo
- Ciascun peer può ricevere ed inviare richieste e può ricevere ed inviare risposte
- Punto di forza: scalabilità delle applicazioni P2P
- Svantaggio: le applicazioni P2P possono essere difficili da gestire a causa della loro natura altamente distribuita e decentralizzata

- Alcune applicazioni di rete sono organizzate come un *ibrido* delle architetture client-server e P2P

Un problema apparente…

- Una porta viene assegnata ad un servizio, ma nel caso del multitasking/multithreading vi potrebbero essere più processi/thread server attivi per lo stesso servizio
- D'altro canto, le richieste di un client devono essere consegnate al processo/thread server corretto

- Soluzione:

  Usare sia le informazioni del server, sia le informazioni del client per indirizzare i pacchetti
- I protocolli di trasporto TCP e UDP usano 4 informazioni per identificare una connessione:
  - Indirizzo IP del server
  - Numero di porta del servizio lato server
  - Indirizzo IP del client
  - Numero di porta del servizio lato client

Interazione protocollo trasporto e applicazioni

- Il client ed il server utilizzano un protocollo di trasporto (TCP o UDP) per comunicare
- Il software di gestione del protocollo di trasporto si trova all'interno del sistema operativo
- Il software dell'applicazione si trova all'esterno del sistema operativo
- Per poter comunicare due applicazioni devono interagire con i rispettivi sistemi operativi: come?

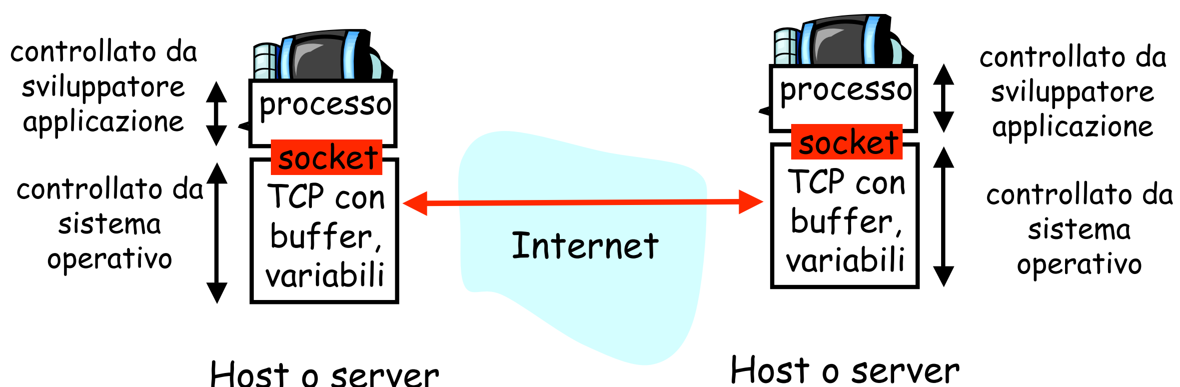
Si utilizza un meccanismo che svolge il ruolo di ponte (interfaccia) tra sistema operativo ed applicazione di rete:
Application Programming Interface (API)

Application Programming Interface

- Standardizza l'interazione con il sistema operativo (SO)
- Consente ai processi applicativi di utilizzare i protocolli di rete, definendo:
  - le funzioni consentite
  - gli argomenti per ciascuna funzione
- **Socket**: Internet API
  - Definito inizialmente per sistemi Unix BSD per utilizzare i protocolli TCP/IP
    - Utilizza un'estensione del paradigma di I/O di questi sistemi
  - Divenuto uno standard di riferimento per tutta la programmazione su reti, disponibile su vari sistemi operativi (ad es. WinSock)
  - Due tipi di servizio di trasporto
    - Datagram non affidabile (UDP)
    - Flusso di byte orientato alla connessione ed affidabile (TCP)

Socket

- E' un'interfaccia (o "porta") tra il processo applicativo e il protocollo di trasporto end-to-end (UCP o TCP)
- E' un'interfaccia **locale** all'host, controllata dal sistema operativo, creata/posseduta dall'applicazione tramite la quale il processo applicativo può inviare/ricevere messaggi a/da un altro processo applicativo (remoto o locale)



Socket (2)

- I socket sono delle API che consentono ai programmatori di gestire le comunicazioni tra processi
  - E' un meccanismo di InterProcess Communication (IPC)
- A differenza degli altri meccanismi di IPC (pipe, code di messaggi, FIFO e memoria condivisa), i socket consentono la comunicazione tra processi che possono risiedere su macchine **diverse** e sono collegati tramite una rete
  - Costituiscono lo strumento di base per realizzare servizi di rete
- Astrazione dei processi sottostanti
  - In pratica, i socket consentono ad un programmatore di effettuare trasmissioni TCP e UDP senza curarsi dei dettagli "di più basso livello" che sono uguali per ogni comunicazione (*three-way handshaking*, *finestre*, …)

Socket (3)

- Socket
  - astrazione del SO
  - creato dinamicamente dal SO su richiesta
  - persiste soltanto durante l'esecuzione dell'applicazione
  - il suo ciclo di vita è simile a quello di un file (apertura, collegamento ad un endpoint, lettura/scrittura, chiusura)
- Descrittore del socket
  - un intero
  - uno per ogni socket attivo
  - significativo soltanto per l'applicazione che possiede il socket
- Endpoint del socket
  - ogni associazione socket è una quintupla di valori **{protocollo, indirizzo locale, porta locale, indirizzo remoto, porta remota}**
  - l'associazione deve essere completamente specificata affinché la comunicazione abbia luogo

Dichiarazione al sistema operativo

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

- E' la prima funzione eseguita sia dal client sia dal server
- Definisce un socket: crea le strutture e riserva le risorse necessarie per la gestione di connessioni
- Restituisce un intero che va interpretato come un descrittore di file: un identificatore dell'entità appena creata
- Il client utilizzerà il socket direttamente, specificando il descrittore in tutte le funzioni che chiamerà
- Il server utilizzerà il socket indirettamente, come se fosse un modello o un prototipo per creare altri socket che saranno quelli effettivamente usati
- Se la creazione del socket fallisce, viene restituito il valore -1

Parametri della funzione socket()

domain — Dominio del socket (famiglia di protocolli); alcuni valori:

- valore usuale: AF_INET (IPv4), ossia InterNET Protocol Family (comunicazione tra processi in Internet);
- AF_INET6 per IPv6
- AF_UNIX per comunicazioni tra processi sullo stesso host Unix

type — Tipo di comunicazione

- SOCK_STREAM: orientato alla connessione (flusso continuo)
- SOCK_DGRAM: senza connessione (pacchetti)
- SOCK_RAW: per applicazioni dirette su IP (riservato all'uso di sistema)

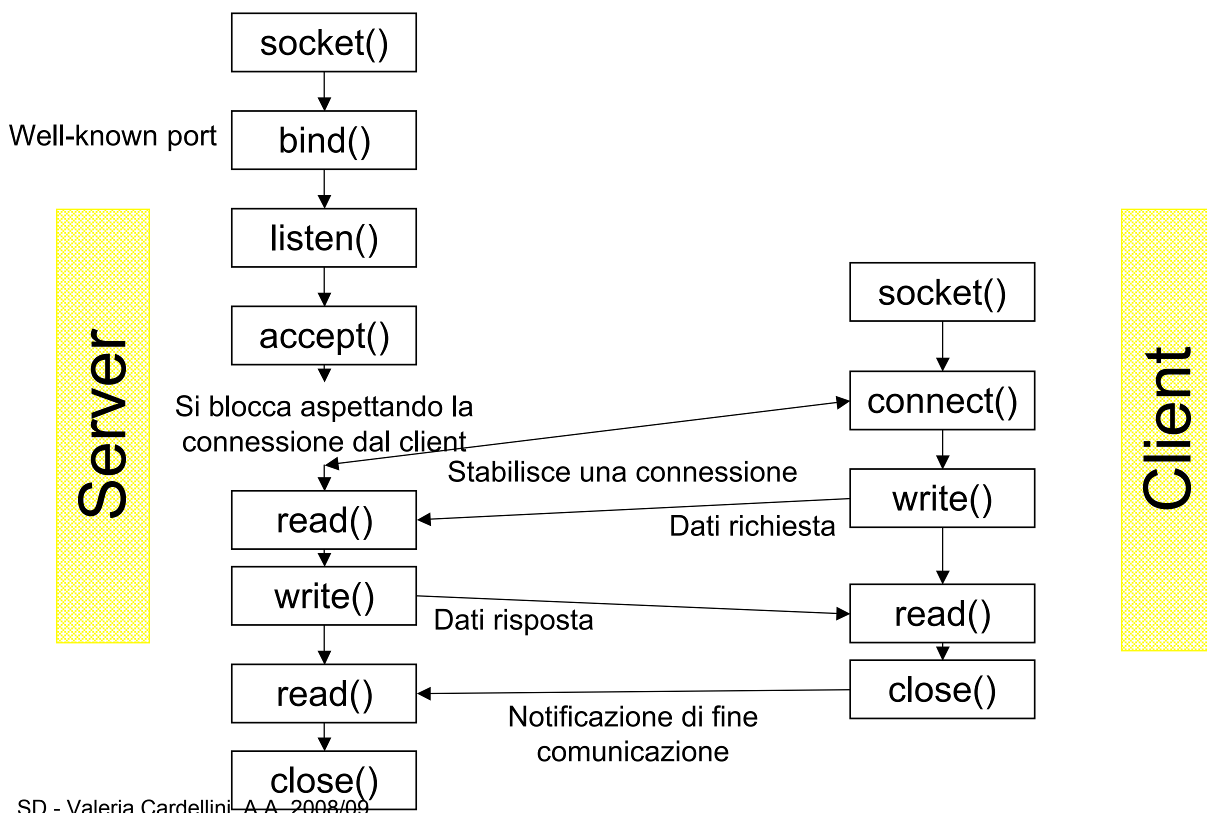
protocol — Protocollo specifico: solitamente, si pone a 0 per selezionare il protocollo di default indotto dalla coppia domain e type (tranne che per SOCK_RAW):

- AF_INET + SOCK_STREAM determinano una trasmissione TCP (protocol = IPPROTO_TCP)
- AF_INET + SOCK_DGRAM determinano una trasmissione UDP (protocol = IPPROTO_UDP)

Gestione degli errori

- In caso di successo le funzioni dell'API socket
  - restituiscono un valore positivo
- In caso di fallimento le funzioni dell'API socket
  - restituiscono un valore negativo (-1)
  - assegnano alla variabile globale errno un valore positivo
    - Ogni valore identifica un tipo di errore ed il significato dei nomi simbolici che identificano i vari errori è specificato in sys/errno.h
    - Le funzioni strerror() e perror() permettono di riportare in opportuni messaggi la condizione di errore verificatasi
- Il valore contenuto in errno si riferisce all'ultima chiamata di sistema effettuata
- Dopo aver invocato una funzione dell'API si deve
  - verificare se il codice di ritorno è negativo (errore)
  - in caso di errore, leggere immediatamente il valore di errno

Comunicazione orientata alla connessione



Per inizializzare indirizzo locale e processo locale (*server*)

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

- Serve a far sapere al SO a quale processo vanno inviati i dati ricevuti dalla rete
  - sockfd: descrittore del socket
  - addr: puntatore ad una struct contenente l’indirizzo locale
  - len: dimensione *in byte* della struct contenente l’indirizzo locale

Struttura degli indirizzi

- Struttura generica

```
struct sockaddr {
    sa_family_t sa_family;
    char sa_data[14]; }
```

- Struttura degli indirizzi IPv4

```
struct sockaddr_in {
      sa_family_t syn_family;  /* AF_INET */
      in_port_t syn_port;      /* numero di porta (2 byte) */
      struct in_addr sin_addr; /* struttura indirizzo IP (4 byte) */
      char sin_zero[8]; }      /* non usato */
```

Equivale a sa_data[14] in struct sockaddr

- Struttura dati in_addr

```
struct in_addr {
      in_addr_t s_addr; }
```


Inizializzare indirizzo IP e numero di porta

- L'indirizzo IP ed il numero di porta in sockaddr_in devono essere nel **network byte order**
  - Prima il byte più significativo, ovvero ordinamento *big endian*
- Funzioni di conversione da rappresentazione testuale/binaria dell'indirizzo/numero di porta a valore binario da inserire nella struttura sockaddr_in
- Per inizializzare i campi di sockaddr_in

```
unsigned short htons(int hostshort);     /* numero di porta */
unsigned long htonl(int hostlong);       /* indirizzo IP */
```

  - htons: host-to-network byte order short (16 bit)
  - htonl: host-to-network byte order long (32 bit)
- Per il riordinamento (da rete a macchina locale):
  - ntohs(), ntohl()

Inizializzare indirizzo IP e numero di porta (2)

- Per convertire gli indirizzi IP dalla notazione puntata (*dotted decimal*) in formato ASCII al network byte order in formato binario

```
int inet_aton(const char *src, struct in_addr *dest);
```

  - Es: inet_aton("160.80.85.38", &(sad.sin_addr));
- Per la conversione inversa

```
char *inet_ntoa(struct in_addr addrptr);
```

- Esistono anche le funzioni inet_pton() e inet_ntop()

```
int inet_pton(int af, const char *src, void *addr_ptr);
char *inet_ntop(int af, const void *addr_ptr, char *dest, size_t len);
```

  - A differenza di inet_aton() e inet_ntoa(), possono convertire anche gli indirizzi IPv6

Indirizzo IP in bind()

- Si può assegnare un indirizzo IP specifico
  - L'indirizzo deve appartenere ad un'interfaccia di rete della macchina
- Per indicare un indirizzo IP generico (0.0.0.0)
  - Si usa la costante INADDR_ANY
- Per indicare l'interfaccia di loopback (127.0.0.1)
  - Si usa la costante INADDR_LOOPBACK

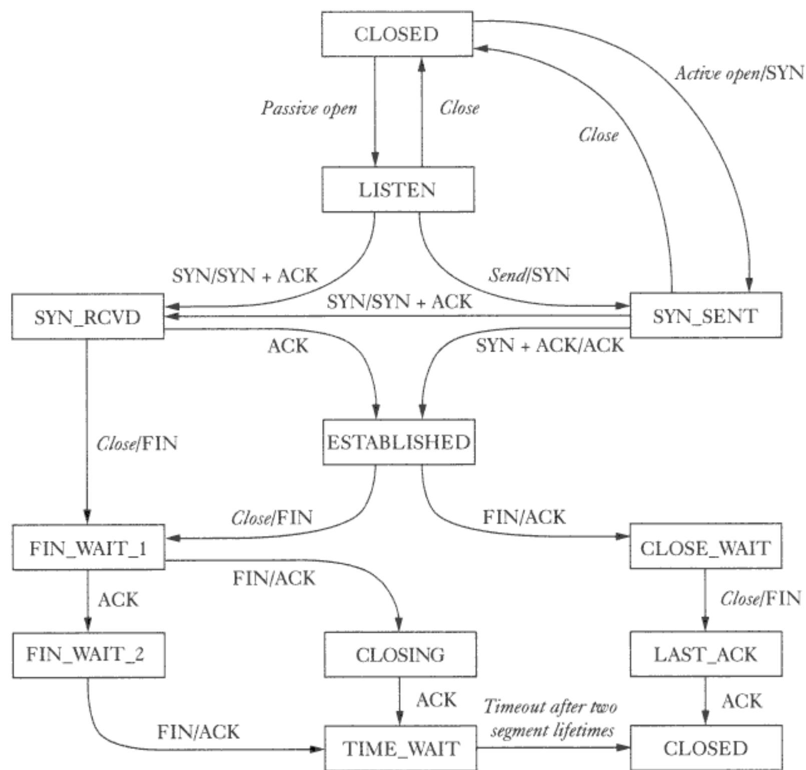
Header file

- sys/socket.h definisce i simboli che iniziano con PF_ e AF_ ed i prototipi delle funzioni (ad es., bind())
- netinet/in.h definisce i tipi di dato per rappresentare gli indirizzi Internet (ad es., la definizione di struct sockaddr_in)
- arpa/inet.h definisce i prototipi delle funzioni per manipolare gli indirizzi IP (ad es., inet_aton())
- In più, sys/types.h, netdb.h e unistd.h (per close())

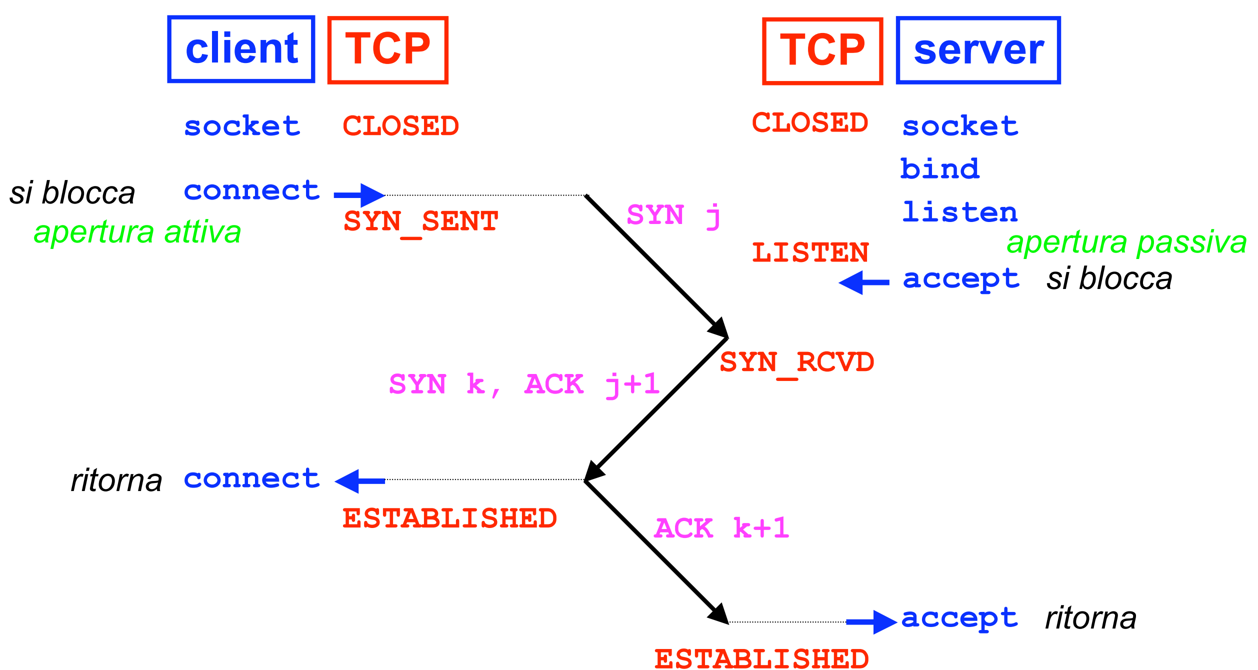
Esempio funzione bind()

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
…
 struct sockaddr_in sad;
 int sd;
…
 if ((sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) {
   perror("errore in socket");
   exit(-1);
 }
 memset((void *)&sad, 0, sizeof(sad));
 sad.sin_family = AF_INET;
 sad.sin_port = htons(1234);
 sad.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); /* il server accetta
    richieste su ogni interfaccia di rete */
 if (bind(sd, (struct sockaddr *)&sad, sizeof(sad)) < 0) {
…
```

Diagramma di stato di TCP



Three way handshake del TCP



Funzione connect() (*client*)

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

- Permette al client TCP di aprire la connessione con un server TCP (invio segmento SYN)
  - Bloccante: termina solo quando la connessione è stata creata
  - Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore
- Parametri della funzione

  sockfd: descrittore del socket

  servaddr: indirizzo (indirizzo IP + numero di porta) del server cui ci si vuole connettere

  addrlen: dimensione in byte della struttura con l'indirizzo remoto del server
- In caso di errore, la variabile errno può assumere i valori:
  - ETIMEDOUT: scaduto il timeout del SYN
  - ECONNREFUSED: nessuno in ascolto (RST in risposta a SYN)
  - ENETUNREACH: errore di indirizzamento (messaggio ICMP di destinazione non raggiungibile)

Gestione di errori transitori in connect()

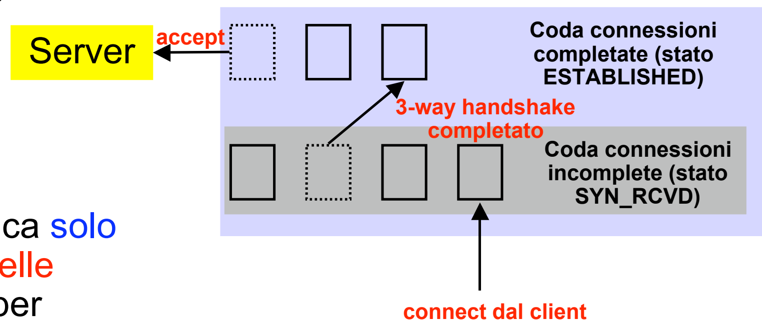
- Algoritmo di backoff esponenziale
  - Se connect() fallisce, il processo attende per un breve periodo e poi tenta di nuovo la connessione, incrementando progressivamente il ritardo, fino ad un massimo di circa 2 minuti

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

# define MAXSLEEP 128

int connect_retry(int sockfd, const struct sockaddr *addr, socklen_t alen)
{
    int nsec;

    for (nsec=1; nsec <= MAXSLEEP; nsec <<=1) {
          if (connect (sockfd, addr, alen) == 0)
                    return(0);          /*connessione accettata */
    /* Ritardo prima di un nuovo tentativo di connessione */
    if (nsec <= MAXSLEEP/2)
          sleep(nsec);
    }
    return(-1);
}
```

Funzione listen() (*server*)

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

- Mette il socket in ascolto di eventuali connessioni
  - dallo stato CLOSED allo stato LISTEN
- Specifica quante connessioni possono essere accettate dal server e messe in attesa di essere servite nella coda di richieste di connessione (backlog)
  - Le connessioni possono essere accettate o rifiutate dal SO senza interrogare il server
- Storicamente, nel backlog c'erano sia le richieste di connessione in corso di accettazione, sia quelle accettate ma non ancora passate al server
- In Linux, il backlog identifica solo la lunghezza della coda delle connessioni completate (per prevenire l'attacco *syn flood*); la lunghezza massima è pari a SOMAXCONN



Funzione accept() (*server*)

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

- Permette ad un server di prendere dal backlog la prima connessione completata sul socket specificato
  - Se il backlog è vuoto, il server rimane bloccato sulla chiamata finché non viene accettata una connessione
- Restituisce
  - -1 in caso di errore
  - Un nuovo descrittore di socket creato e assegnato automaticamente dal SO e l'indirizzo del client connesso
- Parametri della funzione

  sockfd: descrittore del socket originale

  addr: viene riempito con l'indirizzo del client (indirizzo IP + porta)

  addrlen: viene riempito con la dimensione dell'indirizzo del client; prima della chiamata inizializzato con la lunghezza della struttura il cui indirizzo è passato in addr

Socket d'ascolto e socket connesso

- Il server utilizza due socket diversi per ogni connessione con un client
- **Socket d'ascolto** (listening socket): creato da socket()
  - Utilizzato per tutta la vita del processo server
  - In genere usato solo per accettare richieste di connessione
  - Resta per tutto il tempo nello stato LISTEN
- **Socket connesso** (connected socket): creato da accept()
  - Usato solo per la connessione con un dato client
  - Usato per lo scambio di dati con il client
  - Si trova automaticamente nello stato ESTABLISHED
- I due socket identificano due connessioni distinte

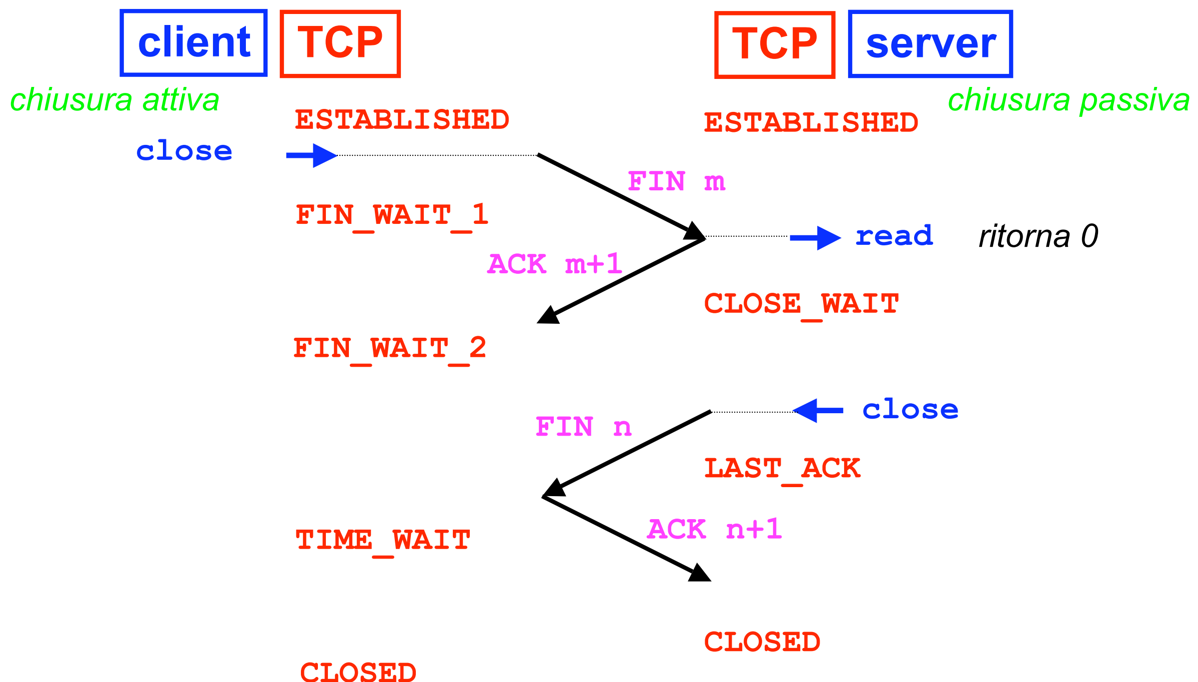
Associazione orientata alla connessione

- In un flusso di dati orientato alla connessione (type=SOCK_STREAM), l'impostazione delle varie componenti dell'associazione è effettuata dalle seguenti chiamate di sistema:

Endpoint	Protocollo	Indirizzo locale Processo locale	Indirizzo remoto Processo remoto
Server	socket()	bind()	listen()+accept()
Client	socket()	connect()	

- un socket sulla macchina del server
  {tcp, server-address, porta, *, *}
- per ogni client, un socket sulla macchina del server
  {tcp, server-address, porta, client-address, nuovaporta}
- per ogni client, un socket sulla macchina del client
  {tcp, client-address, nuovaporta, server-address, porta}

Four way handshake del TCP



La chiusura di una connessione TCP

int close(int sockfd);

- Il processo che invoca per primo close() avvia la chiusura attiva della connessione
- Il descrittore del socket è marcato come chiuso
  - Il processo non può più utilizzare il descrittore ma la connessione non viene chiusa subito, perché il TCP continua ad utilizzare il socket trasmettendo i dati che sono eventualmente nel buffer
- Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore
- All'altro capo della connessione, dopo che è stato ricevuto ogni dato eventualmente rimasto in coda, la ricezione del FIN viene segnalata al processo come un EOF in lettura
  - Rilevato l'EOF, il secondo processo invoca close() sul proprio socket, causando l'emissione del secondo FIN

La chiusura di una connessione TCP (2)

- Per chiudere una connessione TCP, si può usare anche la funzione shutdown()

```
int shutdown(int sockfd, int how);
```

  - shutdown() permette la chiusura asimmetrica
  - Il parametro how può essere uguale a:

    SHUT_RD (0): ulteriori receive sul socket sono disabilitate (viene chiuso il lato in lettura del socket)

    SHUT_WR (1): ulteriori send sul socket sono disabilitate (viene chiuso il lato in scrittura del socket)

    SHUT_RDWR (2): ulteriori send e receive sulla socket sono disabilitate

    - Non è uguale a close(): la sequenza di chiusura del TCP viene effettuata immediatamente, indipendentemente dalla presenza di altri riferimenti al socket (ad es. descrittore ereditato dai processi figli oppure duplicato tramite dup())
    - Con close(), la sequenza di chiusura del TCP viene innescata solo quando il numero di riferimenti del socket si annulla

Per leggere/scrivere dati

- Per leggere e scrivere su un socket si usano le funzioni read() e write()

```
int read(int sockfd, void *buf, size_t count);
int write(int sockfd, const void *buf, size_t count);
```

- Attenzione: non si può assumere che write() o read() terminino avendo sempre letto o scritto il numero di caratteri richiesto
  - read() o write() restituiscono il numero di caratteri *effettivamente* letti o scritti, oppure -1 in caso di errore
- Come determinare la condizione EOF?
  - read() restituisce 0 (per indicare che la parte remota dell'associazione è stata chiusa)
- Cosa succede se si prova a scrivere su un socket la cui parte remota è stata chiusa?
  - Il SO invia il segnale SIGPIPE e write() restituisce -1, impostando errno pari a EPIPE

Per leggere/scrivere dati (2)

- In alternativa a write() e read(), si possono usare

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

  – Se flags=0 allora send() e recv() equivalgono a write() e read()

Funzione readn

Legge *n* byte da un socket, eseguendo un ciclo di letture fino a leggere *n* byte o incontrare EOF o riscontrare un errore

Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore, il numero di byte non letti in caso di EOF

```
#include <errno.h>
#include <unistd.h>
int readn(int fd, void *buf, size_t n)
{
  size_t nleft;
  ssize_t nread;
  char *ptr;

  ptr = buf;
  nleft = n;
  while (nleft > 0) {
    if ( (nread = read(fd, ptr, nleft)) < 0) {
       if (errno == EINTR)     /* funzione interrotta da un segnale prima di aver
                                  potuto leggere qualsiasi dato. */
         nread = 0;
       else
          return(-1);          /*errore */
    }
```

Funzione readn (2)

```
    else if (nread == 0) break;           /* EOF: si interrompe il ciclo */
    nleft -= nread;
    ptr += nread;
  }  /* end while */
  return(nleft);       /* return >= 0 */
}
```


Funzione writen

```
#include <errno.h>
#include <unistd.h>

ssize_t writen(int fd, const void *buf, size_t n)
{
  size_t nleft;
  ssize_t nwritten;
  const char *ptr;

  ptr = buf;
  nleft = n;
  while (nleft > 0) {
    if ( (nwritten = write(fd, ptr, nleft)) <= 0) {
       if ((nwritten < 0) && (errno == EINTR)) nwritten = 0;
       else return(-1);           /* errore */
   }
    nleft -= nwritten;
    ptr += nwritten;
  } /* end while */
  return(nleft);
}
```

Scrive *n* byte in un socket, eseguendo un ciclo di scritture fino a scrivere *n* byte o riscontrare un errore

Restituisce 0 in caso di successo, -1 in caso di errore

Progettazione di un client TCP

Passi base per progettare un client TCP

1. Creazione di un endpoint
   – Richiesta al sistema operativo
2. Creazione della connessione
   – Implementazione del 3-way handshake per l'apertura della connessione TCP
3. Lettura e scrittura sulla connessione
   – Analogo a operazione su file in Unix
4. Chiusura della connessione
   – Implementazione del 4-way handshake per la chiusura della connessione TCP

Progettazione di un server TCP

Passi base per progettare un server TCP

1. Creazione di un endpoint
   – Richiesta al sistema operativo
2. Collegamento dell'endpoint ad una porta
3. Ascolto sulla porta
   – Processo sospeso in attesa
4. Accettazione della richiesta di un client
5. Letture e scritture sulla connessione
6. Chiusura della connessione

Esempio: daytime TCP

- Il client interroga il server per conoscere la data e l'ora
- Il server ottiene l'informazione dal SO e la invia al client
- Il client stampa l'informazione su stdout

- Assunzioni
  - Il server invia la risposta in un'unica stringa alfanumerica
  - Il client legge la stringa, la visualizza a schermo e termina
  - Client e server utilizzano una connessione TCP

- Per eseguire il client
  daytime_clientTCP <indirizzo IP server>
- Per eseguire il server
  daytime_serverTCP

Client TCP daytime

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

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define SERV_PORT       5193
#define MAXLINE         1024

int main(int argc, char *argv[ ])
{
  int      sockfd, n;
  char     recvline[MAXLINE + 1];
  struct   sockaddr_in   servaddr;
```

Client TCP daytime (2)

```
if (argc != 2) { /* controlla numero degli argomenti */
  fprintf(stderr, "utilizzo: daytime_clientTCP <indirizzo IP server>\n");
  exit(-1);
}

if ((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) { /* crea il socket */
  perror("errore in socket");
  exit(-1);
}

memset((void *)&servaddr, 0, sizeof(servaddr));          /* azzera servaddr */
servaddr.sin_family = AF_INET;       /* assegna il tipo di indirizzo */
servaddr.sin_port = htons(SERV_PORT);  /* assegna la porta del server */
/* assegna l'indirizzo del server prendendolo dalla riga di comando; l'indirizzo è
   una stringa da convertire in intero secondo network byte order. */
if (inet_pton(AF_INET, argv[1], &servaddr.sin_addr) <= 0) {
              /* inet_pton (p=presentation) anche per indirizzi IPv6 */
  perror("errore in inet_pton");
  exit(-1);
}
```


Client TCP daytime (3)

```
/* stabilisce la connessione con il server */
if (connect(sockfd, (struct sockaddr *) &servaddr, sizeof(servaddr)) < 0) {
  perror("errore in connect");
  exit(-1);
}
/* legge dal socket fino a quando non trova EOF */
while ((n = read(sockfd, recvline, MAXLINE)) > 0) {
  recvline[n] = 0;       /* aggiunge il carattere di terminazione */
  if (fputs(recvline, stdout) == EOF)   {  /* stampa recvline sullo stdout */
    perror("errore in fputs");
    exit(-1);
  }
}
if (n < 0) {
  perror("errore in read");
  exit(-1);
}
exit(0);
}
```

Server TCP daytime

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

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <time.h>

#define SERV_PORT       5193
#define BACKLOG         10
#define MAXLINE         1024

int main(int argc, char *argv[ ])
{
  int      listensd, connsd;
```


Server TCP daytime (2)

```
  struct sockaddr_in       servaddr;
  char                     buff[MAXLINE];
  time_t                   ticks;

  if ((listensd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) { /* crea il socket */
    perror("errore in socket");
    exit(-1);
  }

  memset((void *)&servaddr, 0, sizeof(servaddr));
  servaddr.sin_family = AF_INET;
  servaddr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); /* il server accetta
     connessioni su una qualunque delle sue interfacce di rete */
  servaddr.sin_port = htons(SERV_PORT); /* numero di porta del server */

  /* assegna l'indirizzo al socket */
  if (bind(listensd, (struct sockaddr *) &servaddr, sizeof(servaddr)) < 0) {
    perror("errore in bind");
    exit(-1);
  }
```

Server TCP daytime (3)

```
if (listen(listensd, BACKLOG) < 0 ) {
  perror("errore in listen");
  exit(-1);
}

while (1) {
  if ( (connsd = accept(listensd, (struct sockaddr *) NULL, NULL)) < 0) {
    perror("errore in accept");
    exit(-1);
  }

  /* accetta una connessione con un client */
  ticks = time(NULL); /* legge l'orario usando la chiamata di sistema time */
  /* scrive in buff l'orario nel formato ottenuto da ctime
   snprintf impedisce l'overflow del buffer */
  snprintf(buff, sizeof(buff), "%.24s\r\n", ctime(&ticks));
   /* ctime trasforma la data e l’ora da binario in ASCII
          \r\n per carriage return e line feed */
```


Server TCP daytime (4)

```
/* scrive sul socket di connessione il contenuto di buff */
  if (write(connsd, buff, strlen(buff)) != strlen(buff)) {
    perror("errore in write");
    exit(-1);
  }

  if (close(connsd == -1) {  /* chiude la connessione */
    perror("errore in close");
    exit(-1);
  }
 }
 exit(0);
}
```

Esercizio

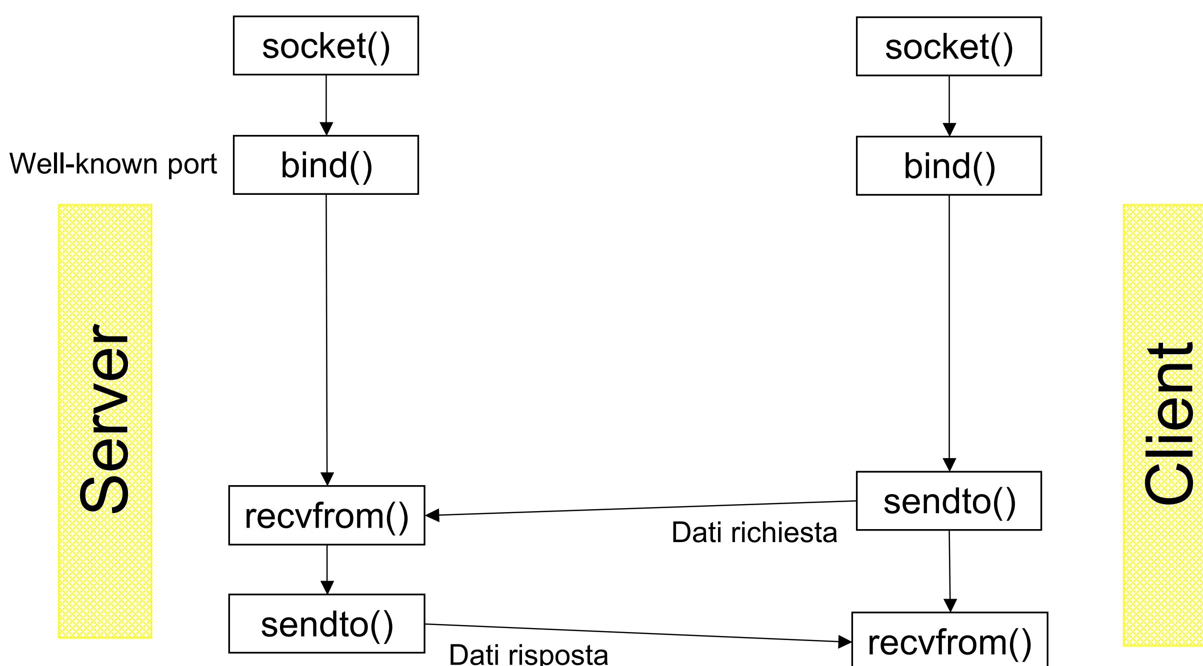
Sviluppare in C un'applicazione client/server che offre il servizio di trasferimento di un file da un client ad un server.

Il client richiede all'utente, in modo interattivo, il nome del file da trasferire e, se il file esiste, apre una connessione con il server. Quando la connessione viene accettata, il client invia al server il nome del file, seguito dal suo contenuto. Infine, il client attende l'esito dell'operazione dal server, stampa a schermo l'esito dell'operazione e quindi torna in attesa di ricevere dall'utente una nuova richiesta di trasferimento.

Il server riceve una richiesta di connessione e salva il file richiesto in una directory locale. Alla fine della ricezione del file, il server invia al client l'esito della operazione, che può essere di due tipi:

- update: il file esisteva già ed è stato sovrascritto
- new: è stato creato un nuovo file

Comunicazione senza connessione



Comunicazione senza connessione (2)

- Per creare un socket

  socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, IPPROTO_UDP);

  SOCK_DGRAM è il tipo di protocollo per datagram

  IPPROTO_UDP è lo specifico protocollo richiesto (anche 0)

- Il server invoca bind() per associare al socket l'indirizzo locale e la porta locale
  - Il numero della porta è prestabilito per l'applicazione
- Il client invoca bind() per associare al socket l'indirizzo locale e la porta locale
  - Il numero della porta è in qualche modo arbitrario
  - Il numero di porta 0 lascia al SO la scelta della porta
- Il server ed il client hanno così impostato la semi-associazione locale del socket; l'impostazione delle altre due componenti dell'associazione può essere fatta per ogni pacchetto

Funzione sendto()

```
int sendto(int sockfd, const void *buf, size_t len, int flags,
const struct sockaddr_in *to, socklen_t tolen);
```

- Restituisce il numero di byte inviati (oppure -1 in caso di errore)
- Trasmissione non affidabile: sendto() non restituisce errore se il pacchetto non raggiunge l'host remoto
  - soltanto errori locali: ad es., dimensione del pacchetto maggiore della dimensione massima del datagram usato (errore EMSGSIZE)
- Parametri della funzione

  sockfd: descrittore del socket a cui si fa riferimento

  buf: puntatore al buffer contenente il pacchetto da inviare

  len: dimensione (in byte) del pacchetto da inviare

  flags: intero usato come maschera binaria per impostare una serie di modalità di funzionamento della comunicazione; per ora 0

  to: l'indirizzo IP e la porta della macchina remota che riceverà il pacchetto inviato

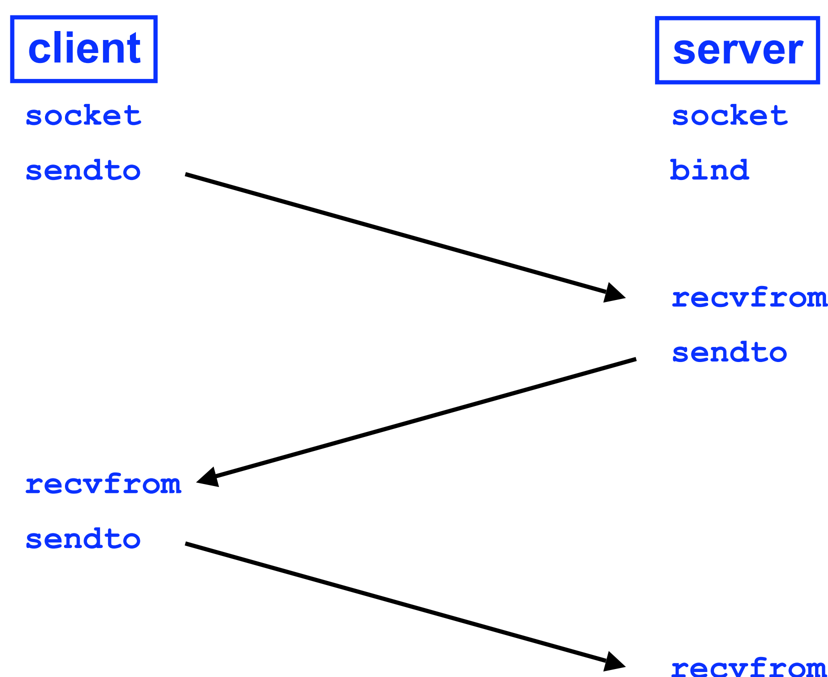
  tolen: dimensione (in byte) della struttura sockaddr

Funzione recvfrom()

```
int recvfrom(int sockfd, void *buf, size_t len, int flags, struct sockaddr *from, socklen_t *fromlen);
```

- Restituisce il numero di byte ricevuti (-1 in caso di errore)
- Parametri della funzione
  - sockfd: descrittore del socket a cui si fa riferimento
  - buf: puntatore al buffer contenente il pacchetto da ricevere
  - len: dimensione del buffer (numero massimo di byte da leggere)
    - Se il pacchetto ricevuto ha dimensione maggiore di len, si ottengono i primi len byte ed il resto del pacchetto è perso
  - from: puntatore alla struttura contenente l'indirizzo IP e la porta della macchina remota che ha spedito il pacchetto; usato per ottenere l'indirizzo del mittente del pacchetto
  - fromlen: puntatore alla dimensione (in byte) della struttura sockaddr
- Riceve i pacchetti da qualunque macchina remota: non è possibile rifiutare un pacchetto
  - Per verificare l'indirizzo del client, si usa il flag MSG_PEEK che non toglie il pacchetto dalla coda del SO

Scambio di pacchetti in comunicazione UDP



Uso di connect() con i socket UDP

- connect() può essere usata anche in applicazioni client di tipo senza connessione per impostare una volta per tutte le due componenti remote dell'associazione del client e gestire la presenza di errori asincroni
  - ad es. indirizzo inesistente o su cui non è in ascolto un server
- Usando connect() il client può lasciare nulli gli ultimi campi in sendto() oppure usare la write() o la send()

```
int sendto(sockfd, buf, len, flags, NULL, 0);
int write(sockfd, buf, len);
```

- connect() impedisce la ricezione sul socket di pacchetti non provenienti dalla macchina remota registrata

```
int recvfrom(sockfd, buf, len, flags, NULL, NULL);
int read(sockfd, buf, len);
```

- Non ha senso usare connect() sul server!

Associazione senza connessione

- In un flusso di dati senza connessione (type=SOCK_DGRAM), l'impostazione delle varie componenti dell'associazione è effettuata dalle seguenti chiamate di sistema:

End-point	Protocollo	Indirizzo locale Processo locale	Indirizzo remoto Processo remoto
Server	socket()	bind()	recvfrom()
Client	socket()	bind()	sendto()

End-point	Protocollo	Indirizzo locale Processo locale	Indirizzo remoto Processo remoto
Server	socket()	bind()	recvfrom()
Client	socket()	bind()	connect()

Esempio: daytime UDP

- Il client interroga il server per ottenere la data e l'ora
- Il server ottiene l'informazione dal SO e la invia al client
- Il client stampa l'informazione su stdout

- Assunzioni
  - Il server invia la risposta in un'unica stringa alfanumerica
  - Il client legge la stringa, la visualizza sullo schermo e termina
  - Client e server utilizzano una comunicazione UDP

- Per eseguire il client
  daytime_clientUDP <indirizzo IP server>
- Per eseguire il server
  daytime_serverUDP

Client UDP daytime

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

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define SERV_PORT      5193
#define MAXLINE        1024

int main(int argc, char *argv[ ])
{
 int      sockfd, n;
 char     recvline[MAXLINE + 1];
 struct   sockaddr_in   servaddr;
```

Client UDP daytime (2)

```
if (argc != 2) { /* controlla numero degli argomenti */
  fprintf(stderr, "utilizzo: daytime_clientUDP <indirizzo IP server>\n");
  exit(1);
}

if ((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) < 0) { /* crea il socket */
  perror("errore in socket");
  exit(-1);
}

memset((void *)&servaddr, 0, sizeof(servaddr));        /* azzera servaddr */
servaddr.sin_family = AF_INET;      /* assegna il tipo di indirizzo */
servaddr.sin_port = htons(SERV_PORT);  /* assegna la porta del server */
/* assegna l'indirizzo del server prendendolo dalla riga di comando. L'indirizzo è
   una stringa da convertire in intero secondo network byte order. */
if (inet_pton(AF_INET, argv[1], &servaddr.sin_addr) <= 0) {
              /* inet_pton (p=presentation) vale anche per indirizzi IPv6 */
  perror("errore in inet_pton");
  exit(-1);
}
```


Client UDP daytime (3)

```
/* Invia al server il pacchetto di richiesta*/
if (sendto(sockfd, NULL, 0, 0, (struct sockaddr *) &servaddr, sizeof(servaddr)) < 0) {
  perror("errore in sendto");
  exit(-1);
}
/* legge dal socket il pacchetto di risposta */
n = recvfrom(sockfd, recvline, MAXLINE, 0 , NULL, NULL);
if (n < 0) {
  perror("errore in recvfrom");
  exit(-1);
}
if (n > 0) {
  recvline[n] = 0;      /* aggiunge il carattere di terminazione */
  if (fputs(recvline, stdout) == EOF)   {  /* stampa recvline sullo stdout */
    perror("errore in fputs");
    exit(-1);
  }
}
exit(0);
}
```

Server UDP daytime

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

#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <string.h>


#define SERV_PORT       5193
#define MAXLINE         1024

int main(int argc, char *argv[ ])
{
  int       sockfd, len;
  struct    sockaddr_in       addr;
  char      buff[MAXLINE];
  time_t    ticks;
```


Server UDP daytime (2)

```
  if ((sockfd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) < 0) { /* crea il socket */
    perror("errore in socket");
    exit(-1);
  }

  memset((void *)&addr, 0, sizeof(addr));
  addr.sin_family = AF_INET;
  addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY); /* il server accetta pacchetti su
     una qualunque delle sue interfacce di rete */
  addr.sin_port = htons(SERV_PORT); /* numero di porta del server */

  /* assegna l'indirizzo al socket */
  if (bind(sockfd, (struct sockaddr *) &addr, sizeof(addr)) < 0) {
    perror("errore in bind");
    exit(-1);
  }
```

Server UDP daytime (3)

```
while (1) {
  len = sizeof(addr);
  if ( (recvfrom(sockfd, buff, MAXLINE, 0, (struct sockaddr *)&addr, &len)) < 0) {
    perror("errore in recvfrom");
    exit(-1);
  }

  ticks = time(NULL); /* legge l'orario usando la chiamata di sistema time */
  /* scrive in buff l'orario nel formato ottenuto da ctime
          snprintf impedisce l'overflow del buffer */
  snprintf(buff, sizeof(buff), "%.24s\r\n", ctime(&ticks));
  /* ctime trasforma la data e l'ora da binario in ASCII
          \r\n per carriage return e line feed*/
  /* scrive sul socket il contenuto di buff */
  if (sendto(sockfd, buff, strlen(buff), 0, (struct sockaddr *)&addr, sizeof(addr)) < 0)
   {
    perror("errore in sendto");
    exit(-1);
  }
}
exit(0);
}
```