UNIVERSITÀ DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Protocolli di trasporto in Internet: TCP e UDP

Luca Veltri

(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazione, a.a. 2016/2017

http://www.tlc.unipr.it/veltri

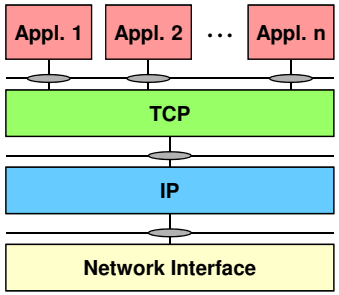
Sommario

- Protocolli di trasporto su rete IP
- User Datagram Protocol (UDP)
- Transmission Control Protocol (TCP)
- Network Address Translator (NAT)

Strato di Trasporto in Internet

- Obiettivo: fornire una comunicazione end-to-end ai processi applicativi
- Per l'architettura Internet sono stati definiti due protocolli di trasporto:
  - **User Datagram Protocol (UDP - RFC 768)**
  - **Transmission Control Protocol (TCP - RFC 793 e succ.)**
- Ulteriori protocolli di trasporto sono stati proposti in ambito IETF
  - **e.g. Stream Control Transmission Protocol (SCTP - RFC 2960, 3257, 3286)**
- Funzione comune:
  - **Permettono di distinguere, all'interno di uno stesso host, il processo applicativo destinatario (o sorgente) dei dati**
    - smistamento dei dati fra differenti sorgenti o destinazioni all'interno dello stesso host
    - ogni host contiene un insieme di punti logici di accesso "port" (porte)
    - ad ogni processo applicativo viene associato un port number differente
    - i port number rappresentano insieme al protocol id e all'indirizzo IP l'indirizzo SAP (Service Access Point) tra strato di trasporto e applicativo

Indirizzamento TCP/UDP

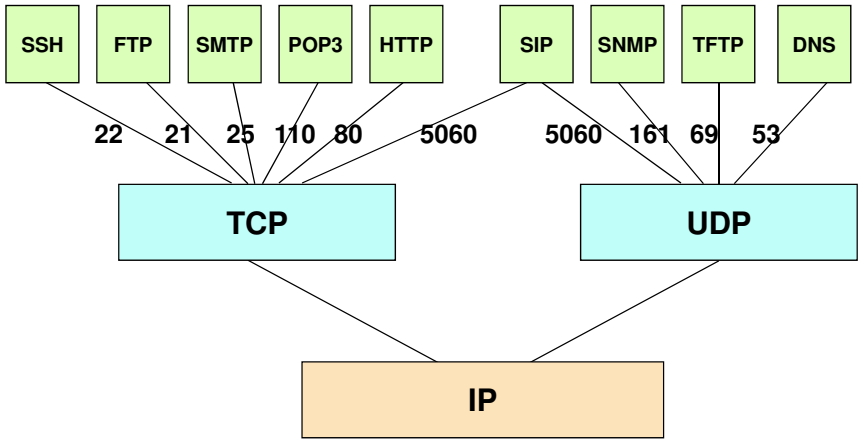


- Port number
  - **identificativo di un utente TCP (o UDP), ovvero il processo applicativo**
- Socket address
  - **indirizzo completo in TCP/IP (T-SAP)**
  - **(IP address , protocol, port)**

- L'assegnazione logica del numero di porta alla specifica applicazione può essere
- statica
  - **gli identificativi (port number) sono staticamente associati alle applicazioni (di solito solo il lato server)**
  - **sono spesso utilizzati identificativi inferiori a 256**
- dinamica
  - **gli identificativi sono ottenuti dal sistema operativo al momento dell'apertura della connessione (in genere identificativi maggiori di 1024)**

Well Known Ports

- Sono associate agli applicativi principali, esempio



User Datagram Protocol (UDP)

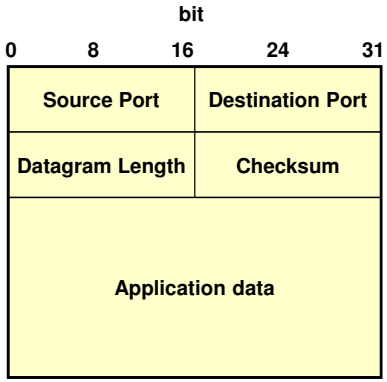
User Datagram Protocol (UDP)

- UDP (User Datagram Protocol)
- Consente alle applicazioni di scambiare messaggi singoli (protocollo Message oriented)
- Fornisce un livello di servizio minimo:
  - **E' un protocollo senza connessione**
  - **Non supporta meccanismi di riscontro e recupero d'errore**
  - **Aggiunge solo due funzionalità a quelle di IP**
    - multiplexing delle informazioni tra le varie applicazioni tramite il concetto di porta
    - checksum per verificare l'integrità dei dati
  - **Può essere utilizzato per trasmissioni multicast (a differenza di TCP)**
    - stesso messaggio UDP a più destinazioni, indirizzate attraverso un indirizzo multicast
      <IP multicast address, UDP port>

User Datagram Protocol (UDP)

- E' utilizzato per il supporto di transazioni semplici tra applicativi, esempio
  - **risoluzione di indirizzi (DNS)**
  - **messaggi di management (e.g. SNMP)**
- Particolarmente adatto per applicazioni Real-Time:
  - **assenza di ritrasmissione**
  - **assenza di meccanismi di controllo di flusso e congestione**
  - **minore overhead**

Formato del Datagramma UDP



- Source Port (16 bit) e Destination Port (16 bit)
  - **identificano i processi sorgente e destinazione dei dati**
- Datagram Length (16 bit)
  - **è la lunghezza totale del datagramma, compreso l'header UDP**
  - **UDPLen = IPLen - IPHLen**
- Checksum (16 bit)
  - **protegge tutto il datagramma UDP (header UDP + dati UDP) + pseudo header IP (per proteggere info di indirizzamento)**

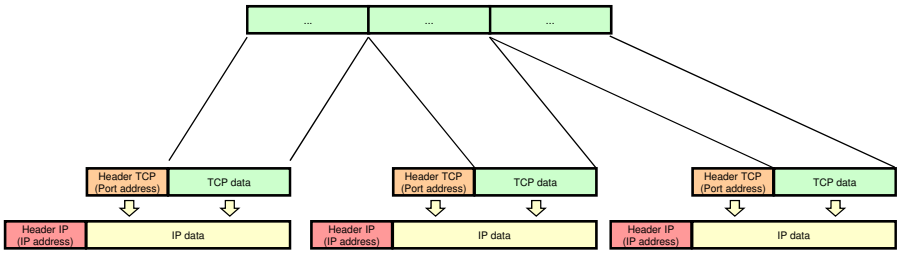
Transmission Control Protocol (TCP)

Transmission Control Protocol (TCP)

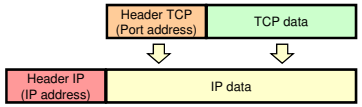
- E' un protocollo end-to-end con connessione e offre un servizio stream-oriented affidabile
- Trasferisce un flusso informativo bi-direzionale non strutturato (byte stream) tra due host ed effettua operazioni di multiplazione e de-multiplazione
- Non prevede nodi intermedi (TCP) e quindi non implementa la funzione di commutazione
- Funzioni eseguite
  - **controllo e recupero di errore**
  - **controllo di flusso**
  - **controllo di congestione**
  - **ri-ordinamento delle unità informative**
  - **indirizzamento (di uno specifico utente all'interno di un host)**

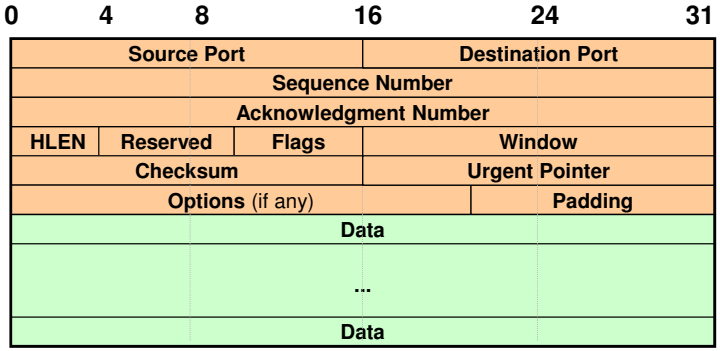
Unità di dati del TCP

- TCP è un protocollo "Stream oriented"
  - **Il TCP interpreta lo stream dati come sequenza di ottetti (byte)**
  - **Lo stream dati è suddiviso in segmenti**
  - **Ogni segmento è trasferito in un pacchetto IP**
  - **dagli applicativi viene visto come un flusso continuo (stream) di byte**



Unità di dati del TCP





Unità di dati del TCP (cont.)

- Source Port (16 bit) e Destination Port (16 bit)
  - **identificano i processi sorgente e destinazione dei dati**
- Sequence Number (32 bit)
  - **numero di sequenza in trasmissione**
  - **contiene il numero di sequenza del primo byte di dati contenuti nel segmento a partire dall'inizio della sessione**
- Acknowledgement Number (32 bit)
  - **numero di sequenza in ricezione**
  - **se ACK=1, contiene il numero di sequenza del prossimo byte che il trasmettitore del segmento si aspetta di ricevere**
  - **è possibile la modalità piggybacking di riscontro**

Unità di dati del TCP (cont.)

- HLEN (4 bit)
  - **contiene il numero di parole di 32 bit contenute nell'header TCP**
  - **l'intestazione TCP non supera i 60 byte ed è sempre un multiplo di 32**
- Reserved (6 bit)
  - **riservato per usi futuri, per ora contiene degli zeri**
- Window (16 bit)
  - **larghezza della finestra in byte (controllo di flusso orientato al byte)**
  - **è il numero di byte che, ad iniziare dal valore di Acknowledgement Number, il trasmettitore del segmento è in grado di ricevere**
- Checksum (16 bit)
  - **protegge l'intero segmento più alcuni campi dell'header IP (es. indirizzi)**

Unità di dati del TCP (cont.)

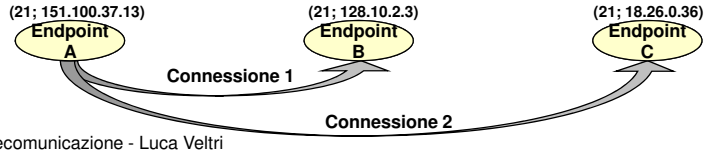
- Flags or Control bits (6 bit): i bit di controllo sono:
  - **URG: è uguale a 1 quando il campo urgent pointer contiene un valore significativo**
  - **ACK: è uguale a 1 quando il campo Acknowledgement Number contiene un valore significativo**
  - **PSH: è uguale a 1 quando l'applicazione esige che i dati forniti vengano trasmessi e consegnati all'applicazione ricevente prescindendo dal riempimento dei buffer allocati fra applicazione e TCP e viceversa**
    - solitamente è il riempimento dei suddetti buffer che scandisce la trasmissione e la consegna dei dati
  - **RST: è uguale a 1 in caso di richiesta di reset della connessione**
  - **SYN: è uguale a 1 solo nel primo segmento inviato (per ogni verso) durante la fase di sincronizzazione fra le entità TCP**
  - **FIN: è uguale a 1 quando la sorgente ha esaurito i dati da trasmettere**

Unità di dati del TCP (cont.)

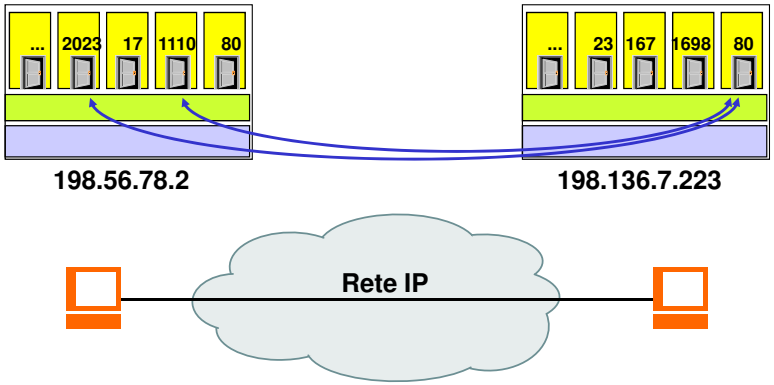
- Urgent Pointer (16 bit)
  - **contiene il numero di sequenza dell'ultimo byte dei dati che devono essere consegnati urgentemente al processo ricevente**
  - **tipicamente sono messaggi di controllo (out-of-band traffic)**
- Options (di lunghezza variabile)
  - **sono presenti solo raramente**
  - **Esempi:**
    - End of Option List, No-operation, Maximum Segment Size (MSS)
- Padding (di lunghezza variabile)
  - **impone che l'intestazione abbia una lunghezza multipla di 32 bit**

Connessioni TCP

- TCP identifica un "canale" di comunicazione con il nome di connessione
- Sono identificate dalla quadrupla:
  <client IP address, client IP port, server IP address, server IP port>
- Questa soluzione permette
  - **A molti client diversi di accedere allo stesso servizio sullo stesso server**
  - **Allo stesso client di attivare più sessioni dello stesso servizio**
- Indirizzamento TCP include indirizzi IP
  - TCP non è indipendente dalla strato sottostante
  - non richiede meccanismi aggiuntivi di Address Resolution

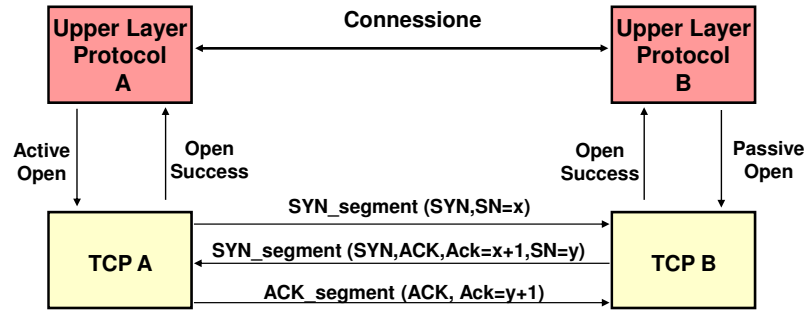


Connessioni TCP



Connessione TCP: apertura

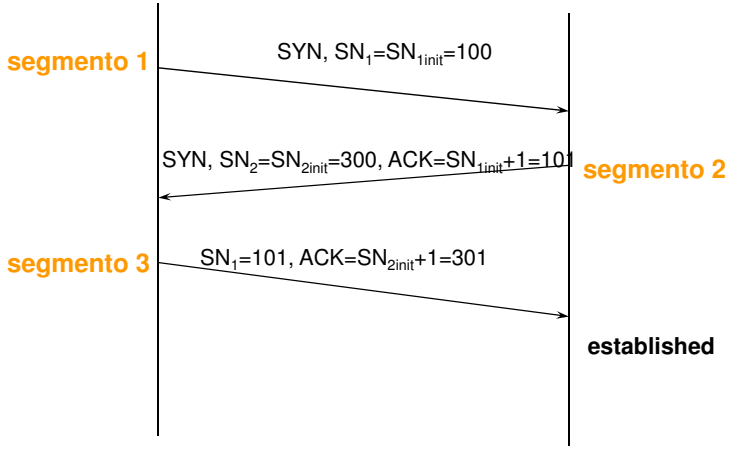
- Apertura = instaurazione della connessione (Setup)
- La sincronizzazione avviene con un meccanismo detto "three way handshaking"



lato client ("chiamante") lato server ("chiamato")

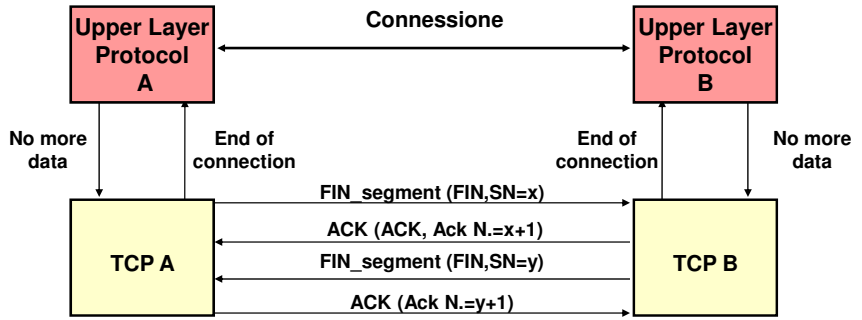
Connessione TCP: apertura

Three-way handshake

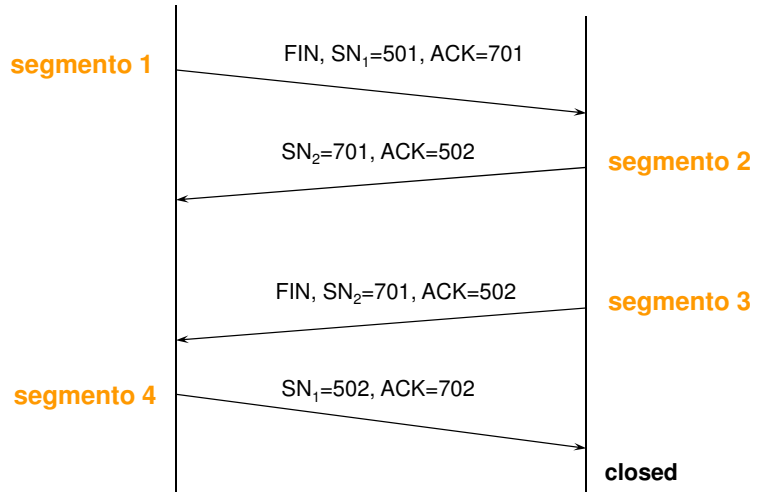


Connessione TCP: chiusura

- Chiusura = abbattimento della connessione (Teardown)
- Nella fase di rilascio le due vie sono chiuse indipendentemente
- Meccanismo del tipo two way handshaking



Connessione TCP: Teardown



Esempio: Instaurazione e abbattimento di una connessione (`tcpdump`)

Client=193.205.242.33

Server=193.205.242.11

```
[client]# telnet server 9

[client]# tcpdump
09:56:06.0094 client.1057 > server.9    : S 0:0(0) win 32120 <mss 1460>
09:56:06.0098 server.9    > client.1057: S 0:0(0) ack 128582 win 32120 <mss 1460>
09:56:06.0098 client.1057 > server.9    : . 1:1(0) ack 1 win 32120
...
09:56:22.4891 client.1057 > server.9    : F 1:1(0) ack 1 win 32120
09:56:22.4894 server.9    > client.1057: . 1:1(0) ack 2 win 32120
09:56:22.4898 server.9    > client.1057: F 1:1(0) ack 2 win 32120
09:56:22.4898 client.1057 > server.9    : . 2:2(0) ack 2 win 32120
```

time *src* *dest* *Syn/Fin SN SN_next (size)* *ack* *flow-win*

`netstat` : TCP/UDP status

```
UDP:
Local Address       State
------------------ -------
      *.talk        Idle
      *.time        Idle
      *.echo        Idle
      *.discard     Idle
TCP:
Local Address      Remote Address    Swind Send-Q Rwind Recv-Q State
------------------ ----------------- ----- ------ ----- ------ -------
      *.ftp              *.*           0      0     0      0 LISTEN
      *.telnet           *.*           0      0     0      0 LISTEN
      *.pop3             *.*           0      0     0      0 LISTEN
      *.smtp             *.*           0      0     0      0 LISTEN
      *.80               *.*           0      0     0      0 LISTEN
cartesio.telnet    galileo.1262      7904      0  8760      0 ESTABLISHED
cartesio.54770     keplero.telnet   32120      0  8760      0 ESTABLISHED
cartesio.telnet    galileo.1328      8179      0  8760      0 ESTABLISHED
cartesio.54771     keplero.telnet   32120      0  8760      0 ESTABLISHED
cartesio.telnet    galileo.1330      8513      0  8760      0 ESTABLISHED
cartesio.43390     pascal.80         8760      0  8760      0 CLOSE_WAIT
cartesio.pop3      platone.1457     17346      0  8760      0 TIME_WAIT
cartesio.smtp      atlante.57897     8760      0  8760      0 TIME_WAIT
cartesio.54777     newton.smtp       8760      0  8760      0 TIME_WAIT
```


TCP Protocol Overview

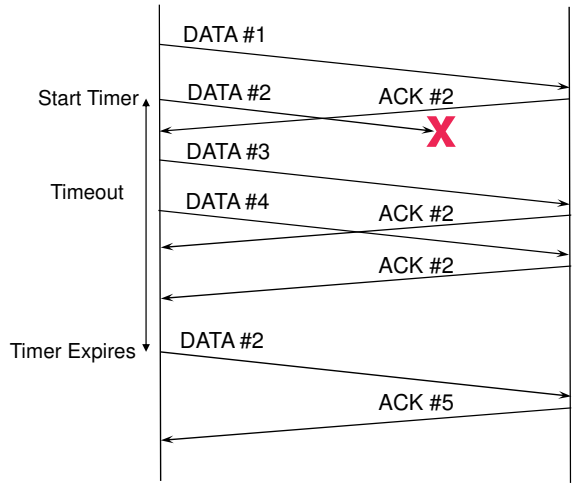
- Il TCP è un protocollo affidabile in quanto:
  - **Quando invia un segmento fa partire un timer**
    Se non viene ricevuto un riscontro prima della scadenza del timeout il segmento viene ritrasmesso
  - **Quando si riceve un segmento dati viene inviato un riscontro (ack)**
    Il riscontro viene ritardato di una frazione di secondo (delayed acknowledgement)
  - **Se un segmento arriva con un checksum non valido, il TCP scarta il segmento e non invia il riscontro**
  - **Si attende che il trasmettitore vada in timeout e ritrasmetta il segmento**
  - **Poiché TCP è imbustato su IP, e poiché i pacchetti IP possono arrivare fuori sequenza, i segmenti TCP vengono riordinati in ricezione e passati in ordine all'applicativo**
  - **Ciascuna estremità di una connessione TCP ha a disposizione un buffer di ricezione di dimensione finita**
    il TCP ricevente non consente alla stazione trasmittente di inviare una quantità di dati che superi lo spazio disponibile nel buffer

Controllo di errore
Sequenzializzazione
Controllo di flusso

Controllo di errore

- Il controllo di errore (rivelazione e recupero) è necessario per risolvere potenziali situazioni di perdita/errore introdotte e non recuperate dagli strati inferiori
  - **IP non è affidabile, i datagrammi possono andare persi, essere ritardati, duplicati o consegnati fuori sequenza**
- TCP utilizza un meccanismo di recupero di errore (ARQ) a finestra scorrevole (Sliding Window)
  - **sono presenti esclusivamente riscontri positivi (Acknowledgement)**
  - **la parte dati dei segmenti TCP contengono ottetti (byte) numerati sequenzialmente a partire dal numero scelto durante il 3-way handshaking**
  - **i segmenti portano un ACK Number (utilizzato anche dal controllo di flusso e dal controllo di congestione)**

Controllo di errore (cont.)



Controllo di errore (cont.)

- **ritrasmissione innescata dalla mancata ricezione degli ACK entro un fissato tempo limite (timeout)**
  - dopo l'invio di un segmento si attende un certo tempo e, se nessuna conferma (ACK) viene ricevuta nel frattempo, si assume che il segmento si sia perso
- **finestra di trasmissione di dimensione variabile (*twin*)**
  - possono essere inviati sino a *twin* byte consecutivi non riscontrati
  - *twin=min(fwin,cwin)*
    - *fwin : finestra di trasmissione per il controllo di flusso*
    - *cwin : finestra di trasmissione per il controllo di congestione*
- **Un riscontro con ACK Number=N significa che**
  - sono riscontrati tutti gli ottetti ricevuti fino a quello numerato con *N-1*
  - il trasmittente è autorizzato a trasmettere fino a ulteriori *twin* ottetti, ovvero fino all'ottetto numerato con *N+twin-1*

Retransmission Timeout (RTO)

- Il dimensionamento del RTO è un aspetto critico nelle prestazioni del TCP
  - **se troppo piccolo, alcuni segmenti in ritardo, a causa dei ritardi di trasmissione o congestione nella rete, potrebbero essere considerati persi e quindi ritrasmessi, ciò aumenterebbe la congestione e di conseguenza le ritrasmissioni facendo tendere la portata a zero**
  - **se troppo grande, la risposta ad un evento di perdita sarebbe troppo lenta con conseguente perdita di efficienza**
- Il RTO è fissato con uno schema adattativo
- Il TCP misura dinamicamente l'Round Trip Time (RTT), definito come il ritardo tra l'invio di un segmento e la ricezione del relativo ACK

$$E\{RTT\}_k = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K} RTT_i = \frac{K-1}{K} E\{RTT\}_{k-1} + \frac{1}{K} RTT_k$$

$$\widehat{RTT}_k = \alpha \cdot E\{RTT\}_{k-1} + (1-\alpha)\cdot RTT_k \quad \text{(normalmente } 0.8 \le \alpha \le 0.9\text{)}$$

$$RTO_k = \beta \cdot \widehat{RTT}_k \quad (1.3 \le \beta \le 2.0)$$

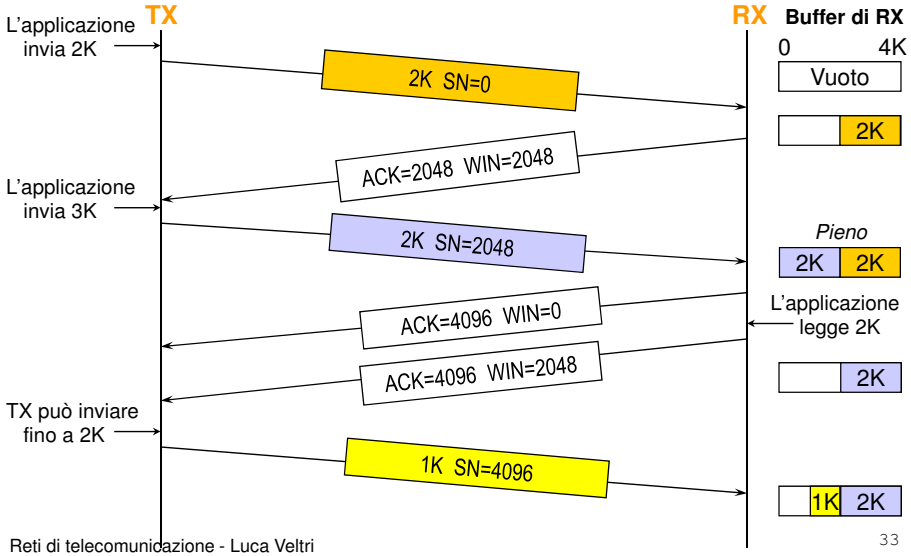
Controllo di Flusso e di Congestione

- Il controllo di flusso ha lo scopo di limitare il flusso dei dati, in base alle esigenze del terminale ricevente, prescindendo dal traffico presente nella rete
  - **per permettere la comunicazione tra terminali di dimensione e velocità molto diverse tra loro**
- Il controllo della congestione ha lo scopo di recuperare eventuali situazioni di sovraccarico (congestione) della rete

Controllo di Flusso

- TCP utilizza un controllo di flusso a finestra basato su finestra scorrevole di ampiezza variabile (*fwin*)
- Anche il controllo di flusso opera a livello di ottetti (byte)
- I segmenti portano oltre al ACK Number (utilizzato pure dal controllo di errore) anche un Flow Window
- Un riscontro (ACK Number=N e Window=w) significa che
  - **sono riscontrati tutti gli ottetti ricevuti fino a quello numerato con N-1**
  - **il trasmittente è autorizzato a trasmettere fino a ulteriori w ottetti, ovvero fino all'ottetto numerato con N+w-1**
  - **twin = min(fwin,cwin)**
  - **fwin = w**

Controllo di flusso: esempio

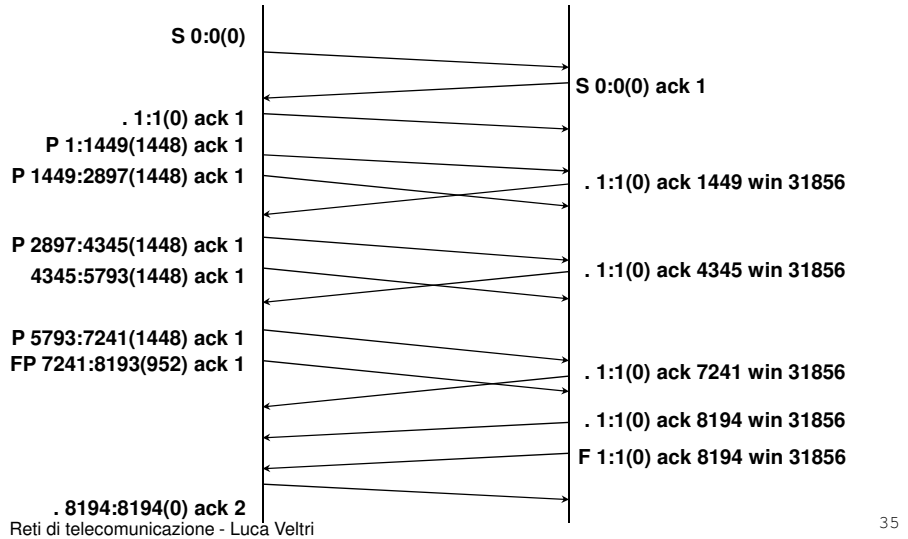


Esempio: trasmissione di un blocco di dati (1/2)

- esempio di trasmissione di 8000 byte dal Client al Server
  - **MSS (Maximum Segment Size) =1460**
  - **Client port=1079, Server port=5555**

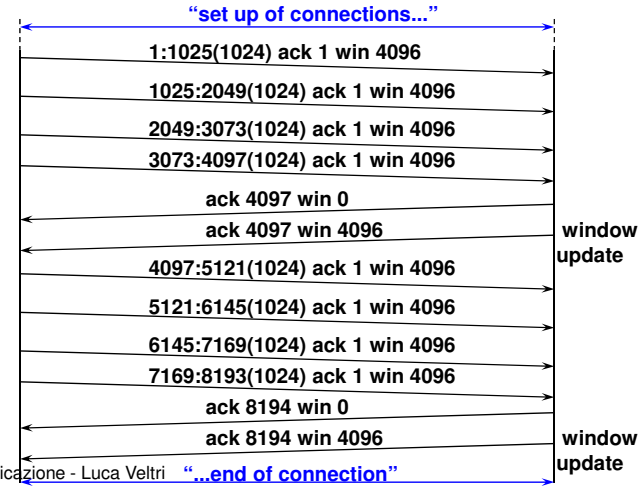
timestamp	*addr.port > addr.port:*	*flag SN:SN ack flow-window <options>*
14.281143	client.1079 > server.5555:	S 0:0(0) win 32120 <mss 1460>
14.281452	server.5555 > client.1079:	S 0:0(0) ack 1 win 31856 <mss 1460>
14.281504	client.1079 > server.5555:	. 1:1(0) ack 1 win 32120
14.282443	client.1079 > server.5555:	P 1:1449(1448) ack 1 win 32120
14.282469	client.1079 > server.5555:	P 1449:2897(1448) ack 1 win 32120
14.284997	server.5555 > client.1079:	. 1:1(0) ack 1449 win 31856
14.285056	client.1079 > server.5555:	P 2897:4345(1448) ack 1 win 32120
14.285068	client.1079 > server.5555:	P 4345:5793(1448) ack 1 win 32120
14.287628	server.5555 > client.1079:	. 1:1(0) ack 4345 win 31856
14.287672	client.1079 > server.5555:	P 5793:7241(1448) ack 1 win 32120
14.287683	client.1079 > server.5555:	FP 7241:8193(952) ack 1 win 32120
14.290019	server.5555 > client.1079:	. 1:1(0) ack 7241 win 31856
14.291264	server.5555 > client.1079:	. 1:1(0) ack 8194 win 31856
14.292922	server.5555 > client.1079:	F 1:1(0) ack 8194 win 31856
14.292961	client.1079 > server.5555:	. 8194:8194(0) ack 2 win 32120

Esempio: trasmissione di un blocco di dati (2/2)



Esempio: fast sender, slow receiver

- Esempio di trasmissione di 8000 byte da un host sorgente veloce ad un host destinatario lento



Controllo di congestione

- Ha lo scopo di recuperare situazioni di sovraccarico nella rete limitando il traffico offerto alla stessa
- Difficoltà:
  - **La congestione dipende dai nodi di rete (di livello IP), mentre il TCP è un protocollo di trasporto che opera solo nei nodi terminali**
    - la congestione può essere rilevata solo da estremo a estremo
  - **Il protocollo sottostante IP (protocollo di rete) non possiede alcun meccanismo per rivelare (e controllare) la congestione**
    - TCP può solo rivelare e controllare la congestione in modo indiretto, misurandone gli effetti a livello di trasporto
    - la conoscenza dello stato della rete da parte delle entità TCP è imperfetta
  - **Le entità TCP coinvolte su connessioni diverse (e su host diversi), sebbene condividano la stessa rete e competono per il suo utilizzo, non cooperano direttamente tra loro**

Controllo di congestione

- Osservazione: in caso di congestione, il controllo di errore e di flusso a finestra proteggono implicitamente anche la rete
  - **se la rete è congestionata arriveranno meno riscontri e quindi saranno emessi un numero minore di segmenti (finestra di trasmissione)**
  - **il meccanismo adattativo di timeout evita ritrasmissioni che porterebbero ad un aumento della congestione invece che ad una sua diminuzione**
- Il risultato è che con le funzioni di controllo di errore e di flusso, il ritmo di emissione della sorgente tende ad adattarsi automaticamente alla capacità del ramo più piccolo lungo il percorso (collo di bottiglia della rete)
- La funzione di controllo di congestione interviene cercando di limitare ulteriormente il carico in modo da rimuovere lo stato di congestione
  - **funziona se tutti gli host collaborano eseguendo la una procedura simile di controllo di congestione**

Controllo di congestione (cont.)

- I colli di bottiglia (bottleneck) in rete possono essere causati da:
  - **limitazione della banda nei collegamenti fisici**
  - **congestione nei router**
  - **limitata capacità elaborativa del ricevitore**
- Il controllo di congestione di TCP
  - **non è in grado di distinguere la causa specifica**
  - **non può stabilire il tipo di contromisura più adatta**
- TCP utilizza il TO di ritrasmissione come indicatore di congestione
  - **lo scadere del TO è considerato un sintomo di congestione**
- Il controllo di congestione del TCP introduce una finestra di emissione (Congestion Window) di dimensione variabile (cwin)
  - **tale finestra indica il numero massimo di byte che possono essere emessi senza riscontro in base al controllo di congestione**
- Fissato il RTT, variando la dimensione della finestra varia il ritmo di emissione

Controllo di congestione

- Sono stsati definiti vari meccanismi di stima del RTT e di adattamento del TO di trasmissione (RTO)
- Sono stati definiti vari meccanismi di adattamento della finestra di congestione
- Come risultato esistono varie implementazioni di TCP
  - **Berkeley, Tahoe, Reno, etc.**

	Meccanismo	TCP Berkeley	TCP Tahoe	TCP Reno
Timer	RTT variance estimation	◆	◆	◆
	Exponential RTO Backoff	◆	◆	◆
	Karn Algorithm	◆	◆	◆
Congest. window	Slow Start	◆	◆	◆
	Congestion Avoidance	◆	◆	◆
	Fast retransmit		◆	◆
	Fast recovery			◆

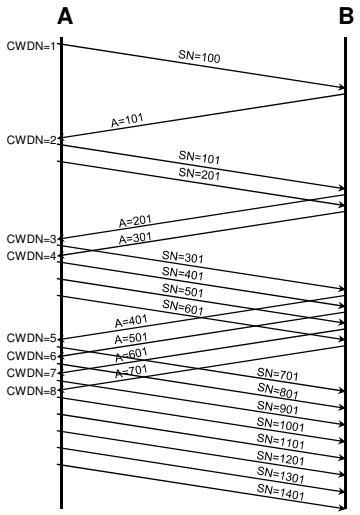
Controllo di congestione: Slow Start

- Regola l'emissione dei segmenti ad ogni ripartenza (all'inizio della connessione e dopo ogni situazione di congestione)
- Ha lo scopo aumentare il ritmo di emissione sino al raggiungimento del limite di congestione
  - **provocando così una nuova ripartenza**
- Si considera una Congestion Window (*cwin*) che tende ad aumentare progressivamente
  - ***cwin* varia con multipli di MSS**
  - ***cwin* viene incrementata di un MSS per ogni segmento trasmesso e confermato da un ACK**
    - *cwin=min(MAXwin, cwin+1MSS)*
      - MAXwin è il massimo valore della Congestion Window

Controllo di congestione: Slow Start (cont.)

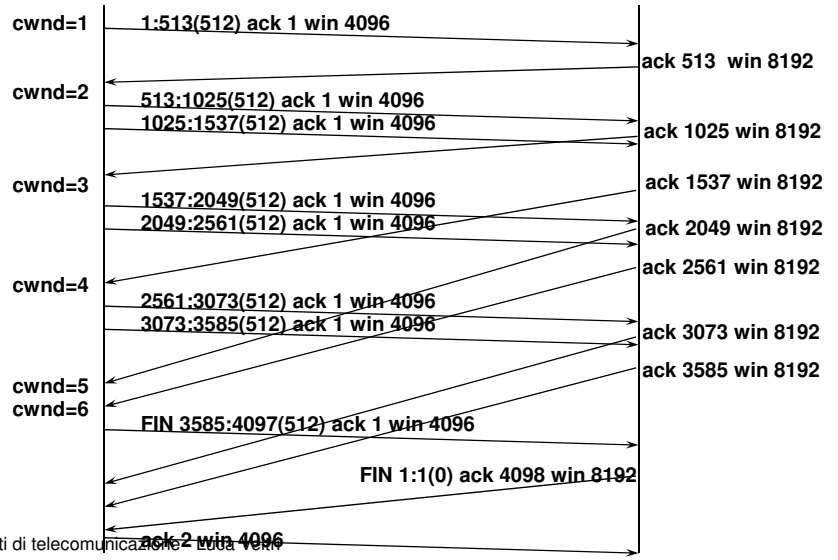
- La crescita di cwin risulta di tipo esponenziale
  - **inizialmente *cwin=1***
    - può essere inviato 1 segmento
  - **circa all'istante t=1 RTT, viene ricevuto 1 ACK, *cwin=2***
    - possono essere inviati sino a 2 segmenti
  - **circa all'istante t=2 RTT, vengono ricevuti 2 ACK, *cwin=4***
    - possono essere inviati sino a 4 segmenti
  - **circa all'istante t=n RTT, vengono ricevuti $N=2^{(n-1)}$ ACK, *cwin=cwin+N=*2^n**
    - si possono inviare sino a 2^n segmenti
- In caso di scadenza del RTO
  - **Il segmento è considerato perso e viene ritrasmesso (funzione di recupero di errore)**
  - **la viene inizializzata di nuovo a *cwin=1***

Controllo di congestione: Slow Start (cont.)



- Riassunto
  - **L'ampiezza della finestra (twin) di trasmissione in segmenti è:**
    - twin = min(fwin , cwin)
      - fwin: numero di crediti concessi dalla flow window nell'ultimo ACK (in segmenti)
      - cwin: numero di crediti concessi dalla congestion window
  - **per il primo segmento si ha:**
    - cwin=1
  - **per ogni segmento riscontrato:**
    - cwin=min(MAXwin, cwin+MSS)

Esempio: Slow start



Controllo di congestione: Congestion Avoidance

- Osservazione:
  - **in caso di ritrasmissione (congestione) si riparte da *cwin=1* con la procedura "Slow Start"**
  - **una procedura di incremento come la "Slow Start" è molto aggressiva**
- La procedura di Congestion Avoidance riduce la crescita della *cwin* dopo ogni ripartenza
- Riducendo la crescita della *cwin* si riduce il flusso in modo da
  - **consentire l'esaurimento della congestione**
  - **evitare successivamente un nuovo sovraccarico**
- Si procede in *Slow Start* sino al raggiungimento di una soglia limite (sstresh), superata tale soglia la *cwin* cresce linearmente

Controllo di congestione: Congestion Avoidance

- La procedura è la seguente
  - **in caso di congestione si fissata una soglia di slow start (sstresh) uguale alla metà del valore corrente della Congestion Window**

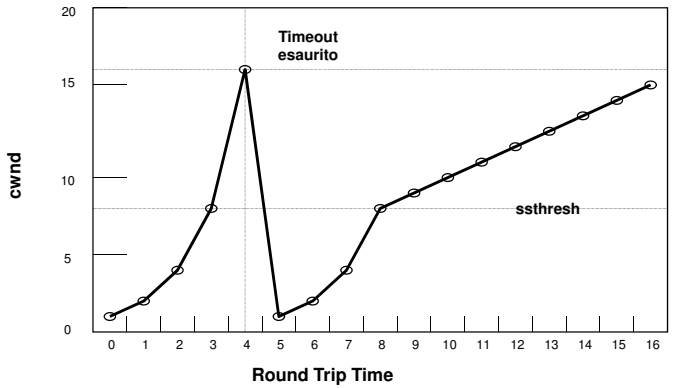
$$\text{sstresh} = \frac{\text{cwin}}{2}$$

  - **si esegue la procedura slow start fino a che**

$$\text{cwin} = \text{sstresh}$$

  - **quando *cwin* ≥ *sstresh*, *cwin* è incrementato di 1MSS ogni RTT (non più ogni segmento riscontrato)**

Controllo di congestione: Congestion Avoidance



Recupero di errore: Fast Retransmit

- Migliora le prestazioni se è perso un singolo segmento
  - **velocizza la ritrasmissione del segmento**
  - **può evitare la ritrasmissione dei segmenti successivi**
- La procedura di Fast Retransmit si basa sulle seguenti assunzioni:
  - **il ricevitore emette un ACK non appena rivela un fuori sequenza ed emette un ACK per ogni segmento successivo fuori sequenza**
    - in pratica viene emesso un ACK ogni volta che viene ricevuto un segmento
    - l'ACK fa riferimento all'ultimo segmento ricevuto in sequenza (richiedendo il byte successivo)
  - **la ricezione di tre ACK duplicati può essere sintomo di un segmento perso**
- La ritrasmissione del segmento avviene anche prima della scadenza del timeout se sono ricevuti tre ACK duplicati (quindi al quarto ACK di richiesta trasmissione)
  - **la scelta di tre ACK duplicati tende ad escludere il caso in cui il segmento sia effettivamente ritardato in rete e ricevuto successivamente fuori sequenza (e non perso)**

Controllo di congestione: Fast Recovery

- Evita l'innesco della procedura standard di Congestion Avoidance associata alla procedura di Fast Retransmission
  - **l'arrivo di ACK multipli assicura che i segmenti ricevuti sono stati ricevuti e quindi la eventuale congestione è già stata superata**
- Rispetto alla procedura di Congestion Avoidance
  - **il valore iniziale di *cwin* è maggiore e fissato a *sstresh***
  - **l'incremento di *cwin* è sempre lineare (Congestion Avoidance)**
    - si evita la fase iniziale di aumento esponenziale di *cwin* (Slow start)

Fast Recovery

- La procedura è la seguente
  - **quando sono stati ricevuti tre ACK duplicati**
    - si pone:

      sstresh = cwin/2
    - viene ritrasmesso il segmento perduto
    - per tener conto dei segmenti già ricevuti si pone

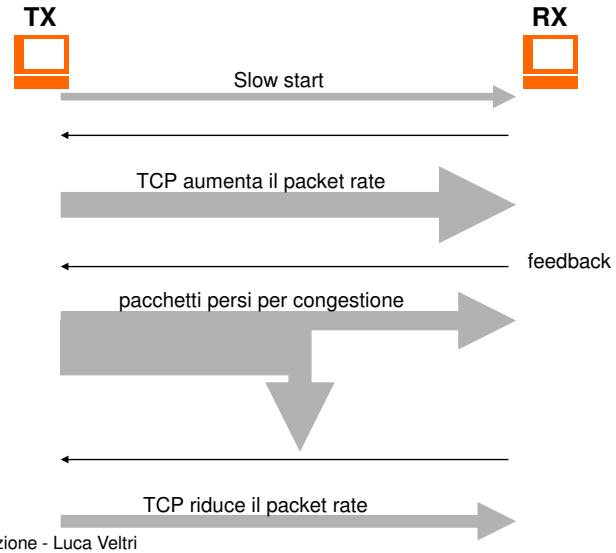
      cwin = sstresh + 3MSS
    - ogni volta che arriva un ulteriore ACK duplicato, il valore di *cwin* viene incrementato di 1MSS e trasmesso (se possibile) un altro segmento
  - **quando viene ricevuto un ACK (riscontro cumulativo)**
    - si pone

      cwin = ssthresh

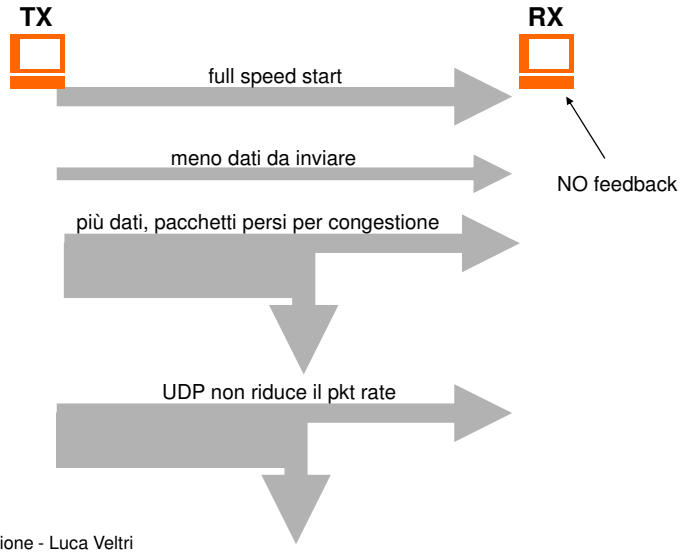
Confronto fra TCP ed UDP

- TCP fornisce una comunicazione a flussi (stream-oriented), UDP fornisce comunicazione a messaggio (message-oriented)
- TCP è con connessione (connection-oriented), mentre UDP è senza connessione (connection-less)
- TCP è affidabile, UDP no
  - **TCP recupera eventuali errori trasmissivi ed effettua controllo di flusso e di congestione**
- TCP introduce maggior overhead rispetto ad UDP
- TCP consente esclusivamente connessioni punto-punto, mentre UDP supporta broadcast e multicast

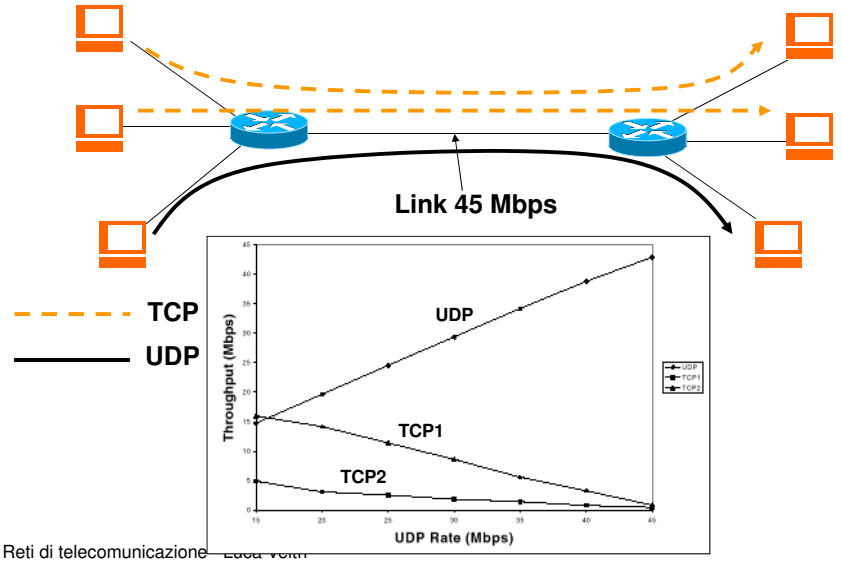
Andamento della trasmissione con TCP



Andamento della trasmissione con UDP



TCP vs. UDP sulla stessa rete: Esempio



Network Address Translation

Network Address Translation (NAT)

- RFC 2663 - “NAT Terminology and Considerations”
  - **Network Address Translation is a method by which IP addresses are mapped from one address realm to another, providing transparent routing to end hosts**
  - **There are many variations of address translation that lend themselves to different applications**

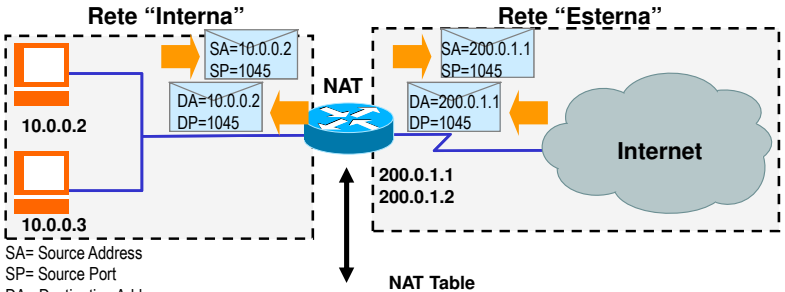
Quando si usa il NAT

- Un nodo NAT si usa quando si vuole:
  - **instradare verso la rete Internet del traffico proveniente da una rete interna (intranet) in cui si fa uso di indirizzamento privato**
    - lo scambio dei pacchetti deve essere bidirezionale
  - **semplificare lo spostamento (migrazione) di una rete (e.g. aziendale) da un un punto di accesso alla rete Internet ad un altro**
    - ad esempio a causa di cambio ISP
    - si vuole evitare la riconfigurazione di tutti i nodi (host e router) interni alla rete
  - **semplificare le tabelle di routing (avoidance of routing table explosion)**
    - isolando una porzione di rete dietro ad un router NAT e rendendo invisibile la sua struttura interna all'esterno
  - **nascondere l'indirizzamento utilizzato all'interno della propria rete**
  - **proteggere i nodi interni ad una rete da attacchi provenienti dall'esterno**

Tipologie di NAT: Simple NAT

- Mappaggio del tipo uno-a-uno (n indirizzi ↔ n indirizzi)
  - **ciascun indirizzo IP interno ad una rete viene tradotto in un indirizzo IP esterno distinto, appartenente ad un pool di indirizzi predeterminato**
    - alcune volte riferito col termine "simple NAT"
    - NAT statico: la corrispondenza indirizzo interno e esterno è permanente, ovvero ogni indirizzo viene mappato sempre nel medesimo indirizzo esterno
      - funziona in ambedue i versi, nel senso che i pacchetti possono iniziare a transitare sia da dentro a fuori che viceversa
    - NAT dinamico: la corrispondenza tra indirizzo interno e esterno è variabile, ovvero ogni indirizzo viene mappato in un indirizzo casuale prelevato d un insieme di indirizzi disponibili
      - funziona solo da dentro a fuori, nel senso che un nodo interno deve inviare un pacchetto prima di poterne ricevere dall'esterno

Simple NAT



SA= Source Address
SP= Source Port
DA= Destination Address
DP= Destination Port

NAT Table

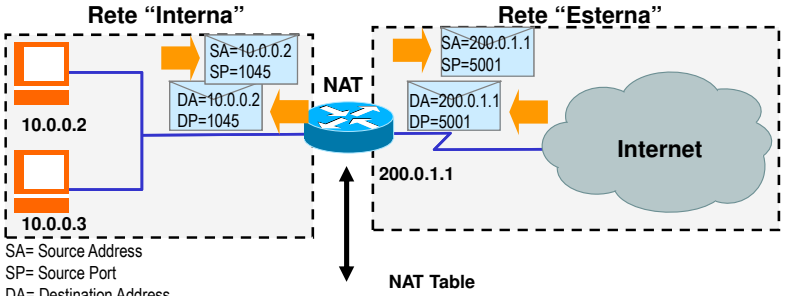
internal address	external address	remote address/port
10.0.0.2	200.0.1.1	*
10.0.0.3	200.0.1.2	*

- Funzionamento:
  - **viene tradotto il SA dei pacchetti uscenti (da sinistra a destra) da indirizzo interno a indirizzo esterno**
  - **viene tradotto il DA nei pacchetti entranti da indirizzo esterno a interno (mappaggio inverso)**
  - **tale mappaggio è mantenuto da una apposita tabella (NAT table)**

Tipologie di NAT: NAPT

- Mappaggio del tipo n↔1 (n indirizzi ↔1 indirizzo)
  - **tutti gli indirizzo IP interni ad una rete vengono tradotti in un medesimo indirizzo IP esterno**
    - per permettere il mappaggio inverso si deve far ricorso all'utilizzo delle informazioni di numero porta che vengono opportunamente modificate
    - più propriamente riferito col termine NAPT (Network Address and Port Translator)
    - funziona solo da dentro a fuori, nel senso che un nodo interno deve inviare un pacchetto prima di poterne ricevere dall'esterno
    - è il tipo di NAT più utilizzato
- In entrambi i casi gli indirizzi "interni" hanno valore solo dietro al NAT e possono essere quindi di tipo privato (RFC 1918)
  - **10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16**

NAPT



NAT Table

internal address/port	external address/port	remote address/port
10.0.0.2:1045	200.0.1.1:5001	*
10.0.0.3:2340	200.0.1.1:5002	*

- Funzionamento:
  - **tutti gli host interni utilizzano un singolo indirizzo IP pubblico esterno**
  - **vengono utlizzate le porte TCP/UDP per individuare il reale destinatario del pacchetto**
  - **nei pacchetti uscenti vengono modificate anche le S_port**
  - **nei pacchetti entranti vengono rimessi a posto sia il D_addr che il D_port**

Differenti tipi di NAPT

- Il NAT (e NAPT) non è un protocollo poiché non richiede un accordo tra due o più parti
  - **NAT opera il mappaggio nei due versi in modo trasparente agli altri nodi intermedi e terminali della comunicazione**
  - **ogni implementazione può utilizzare specifici meccanismi di mappaggio**
    - tipo di tabelle
    - informazione utilizzata per il mappaggio (e.g. solo gli indirizzi da mappare o anche l'indirizzo del host remoto)
    - supporto di eventuali protocolli applicativi che richiedono trattamento a parte (tramite appositi ALG)
- In letteratura differeti comportamenti NAPT vengono classificati:
  - **Full cone NAT**
  - **Restricted cone NAT**
  - **Port restricted cone NAT**
  - **Symmetric NAT**

Svantaggi del NAT/NAPT

- Complicato l'impiego di server all'interno della rete accessibili dall'esterno
  - **in questi casi si ricorre al "static natting" o "destination NAT" (DNAT)**
  - **vengono configurati (staticamente) mappaggi tra porte esterne e coppie indirizzo/porta interne**
  - **il mappaggio viene fatto a partire da pacchetti entranti e in base alla potta di destinazione (destination NAT)**
- Complicato il funzionamento di alcuni applicativi che non mantengono una relazione fissa client/server a livello di trasporto, e.g. FTP, H323, SIP
  - **ad esempio quando gli indirizzi IP e porte dei nodi interni vengono inviati nel payload del messaggi applicativi per poi essere usati per instaurare comunicazioni nel verso opposto**
  - **In questi casi, sono necessari degli Application Level Gateway (ALG) implementati nel nodo NAPT che modificando il contenuto dati di livello applicativo dei pacchetti**