

## RETI DI CALCOLATORI

Prof. PIER LUCA MONTESSORO

Facoltà di Ingegneria  
Università degli Studi di Udine

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

1

## Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze (detto nel seguito slide) è protetto dalle leggi sul copyright e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i copyright relativi alle slides (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo) sono di proprietà dell'autore prof. Pier Luca Montessoro, Università degli Studi di Udine.

Le slide possono essere riprodotte ed utilizzate liberamente dagli istituti di ricerca, scolastici ed universitari afferenti al Ministero della Pubblica Istruzione e al Ministero dell'Università e Ricerca Scientifica e Tecnologica, per scopi istituzionali, non a fine di lucro. In tal caso non è richiesta alcuna autorizzazione.

Ogni altro utilizzo o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti magnetici, su reti di calcolatori e stampe) in toto o in parte è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte dell'autore.

L'informazione contenuta in queste slide è ritenuta essere accurata alla data della pubblicazione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. L'autore non assume alcuna responsabilità per il contenuto di queste slide (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).

In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste slide.

In ogni caso questa nota di copyright e il suo richiamo in calce ad ogni slide non devono mai essere rimossi e devono essere riportati anche in utilizzi parziali.

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

2

## Lezione 25

## Il livello di trasporto, TCP, UDP

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

3

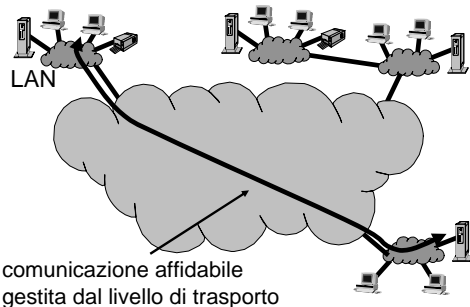
## Lezione 25: indice degli argomenti

- Servizi forniti ai livelli superiori
- Indirizzi del livello di trasporto
- Creare e chiudere le connessioni
- Gestire le connessioni
- TCP
- UDP
- Imbustamento multiplo: visione d'insieme

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

4

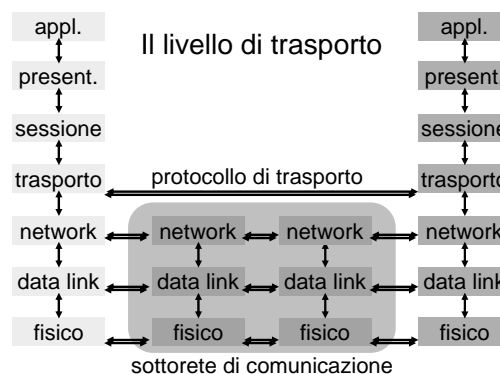
## Il livello di trasporto



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

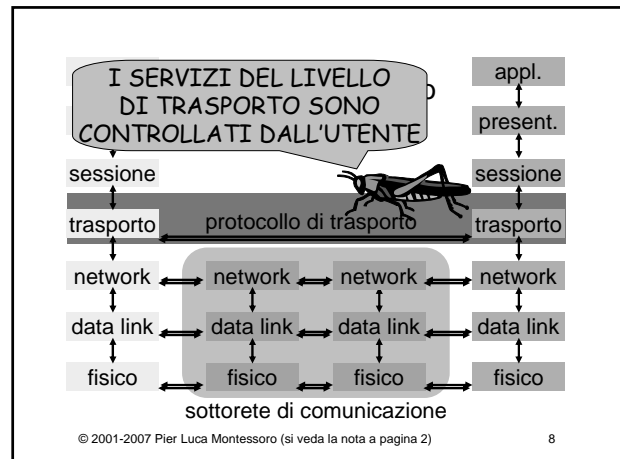
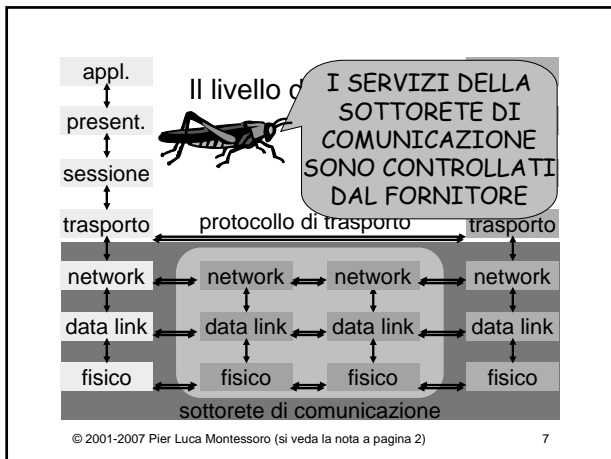
5

## Il livello di trasporto



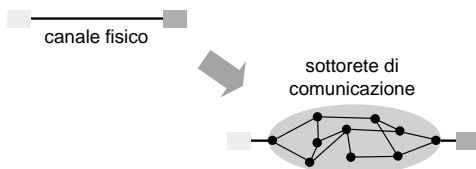
© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

6



### Problemi generali del livello di trasporto

- Simili a quelli del livello data link, ma il canale fisico è in questo caso l'intera sottorete di comunicazione



### Problemi generali del livello di trasporto

- Alcune conseguenze:
  - l'altra estremità della connessione può non esistere (a differenza dei canali fisici, che al limite possono essere guasti) senza che lo sappiamo
  - sono possibili ritardi di decine di secondi
  - i pacchetti possono seguire strade diverse e arrivare in ordine diverso da quello di trasmissione

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

10

### Servizi forniti ai livelli superiori

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

11

### Servizi forniti ai livelli superiori

- Fornisce un servizio efficiente, affidabile e conveniente alle applicazioni (o al livello sessione)
  - i servizi possono essere connessi o non connessi, proprio come al livello di rete
- Mette a disposizione funzioni di libreria per i programmi applicativi
- Gestisce il multiplexing del traffico di rete tra le varie applicazioni

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

12

### Socket (Berkeley UNIX)

- Interfaccia verso i programmi applicativi
- Si basano su un insieme di primitive per
  - rendere disponibile un punto di accesso al servizio per i client remoti
  - aprire/chudere una connessione (TCP)
  - scambiare dati (TCP e UDP)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

13

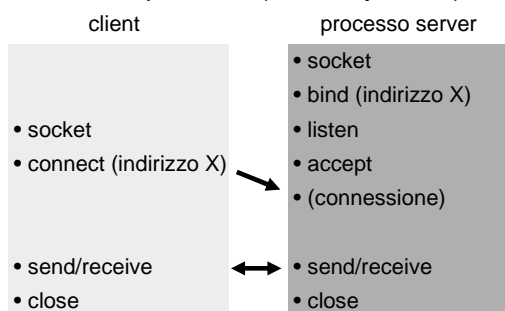
### Socket (Berkeley UNIX)

socket	crea un punto finale di comunicazione
bind	associa un indirizzo locale a un socket
listen	si rende disponibile ad accettare connessioni
accept	si blocca nell'attesa di una connessione
connect	tenta di stabilire una connessione
write	invia dati sulla connessione
read	riceve dati dalla connessione
close	chiude la connessione
sendto	invia dati mediante UDP
recvfrom	riceve dati mediante UDP

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

14

### Socket per TCP (Berkeley UNIX)



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

15

### Indirizzi del livello di trasporto

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

16

### Indirizzi del livello di trasporto

- TSAP: Transport Service Access Point
- In Internet:
  - coppie <indirizzo IP, porta locale>
  - esempio:
    - 158.110.1.2:23 (porta 23: telnet)
- Definiscono punti di accesso presso cui i processi possono attendere le connessioni

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

17

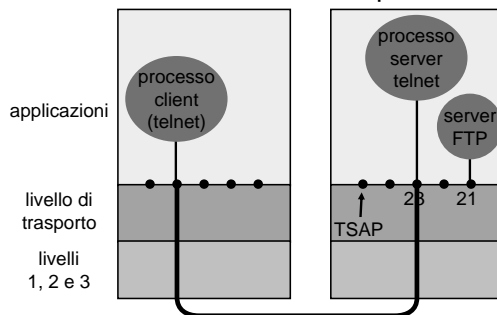
### Indirizzi del livello di trasporto

- Come conscerli?
  - noti a priori (le "well known ports" di TCP)
  - elencati in un "name server" o "directory server"

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

18

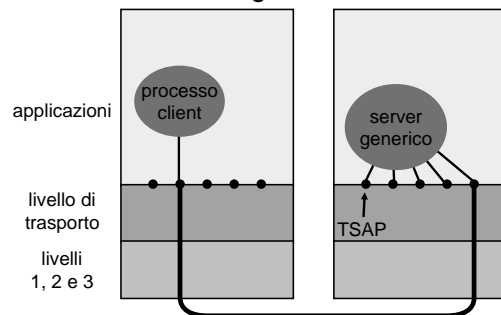
## Indirizzi del livello di trasporto



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

19

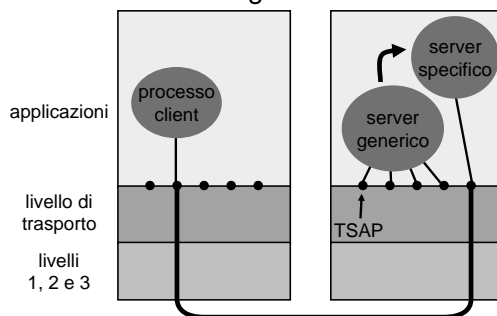
## Server generico



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

20

## Server generico



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

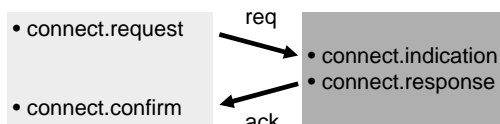
21

## Creare e chiudere le connessioni

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

22

## Creare una connessione



## • Problema:

- se gli ack non arrivano in tempo, il mittente rispedisce i pacchetti, che arrivano duplicati, aprendo una nuova connessione parallela

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

23

## Creare una connessione

- È necessario ridurre il massimo tempo di vita di un pacchetto (questo richiede un supporto da parte del livello rete, per esempio, il "time to live" di IP)
- A questo punto ogni connessione può numerare le proprie TPDU con numeri di sequenza differenti (ad esempio estratti da un orologio)
- Quando i numeri di sequenza vengono riutilizzati, le vecchie TPDU sono estinte

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

24

## Chiudere una connessione

- Chiusura asimmetrica
  - la chiusura della connessione avviene contemporaneamente in entrambe le direzioni
  - è simile a quella del sistema telefonico
  - possono essere persi dati in transito e non ancora arrivati al momento della chiusura della connessione

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

25

## Chiudere una connessione

- Chiusura simmetrica
  - ogni direzione della connessione è chiusa indipendentemente dall'altra (messaggi DISCONNECT.REQUEST indipendenti nelle due direzioni)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

26

## Chiudere una connessione

- Problema: come sapere quando l'attività è terminata?  
(una TPDU in arrivo può richiedere la trasmissione di nuovi dati)
  - decisione unilaterale → possibile perdita di dati
  - protocollo per riscontro → possibile attesa infinita (hang)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

27

## Chiudere una connessione



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

28

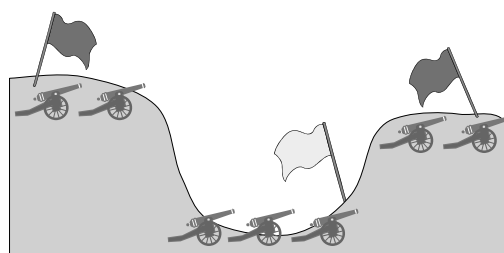
## Chiudere una connessione



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

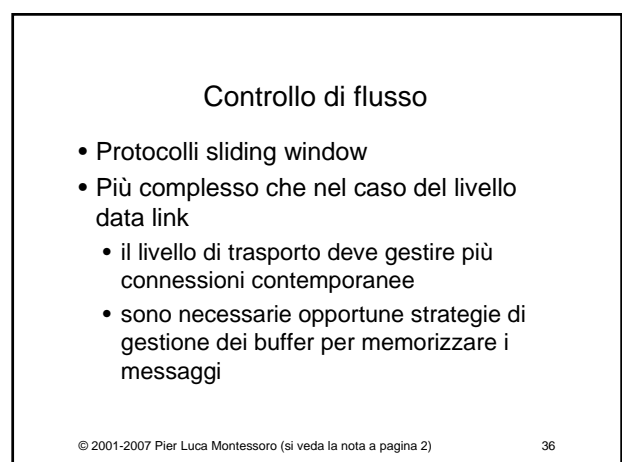
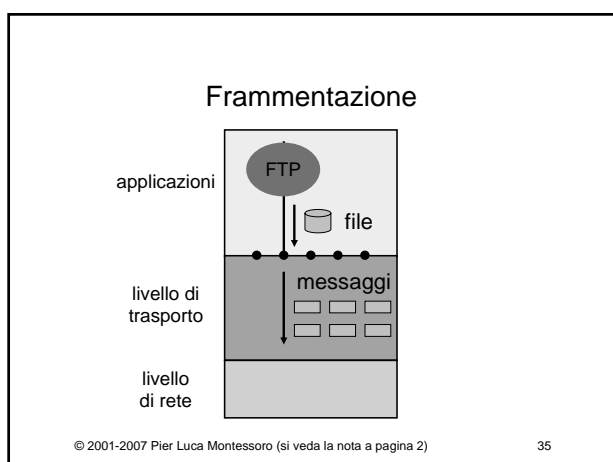
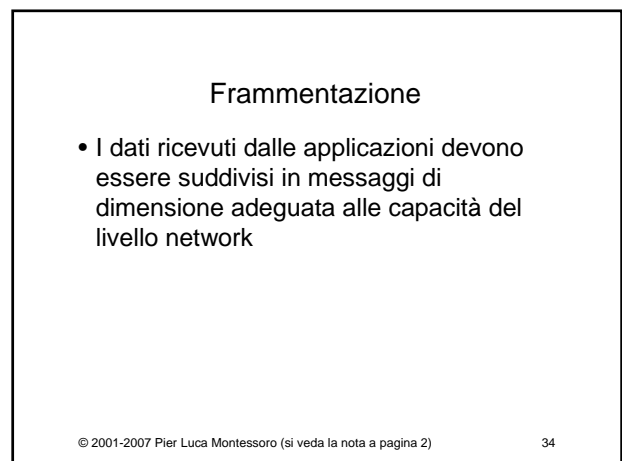
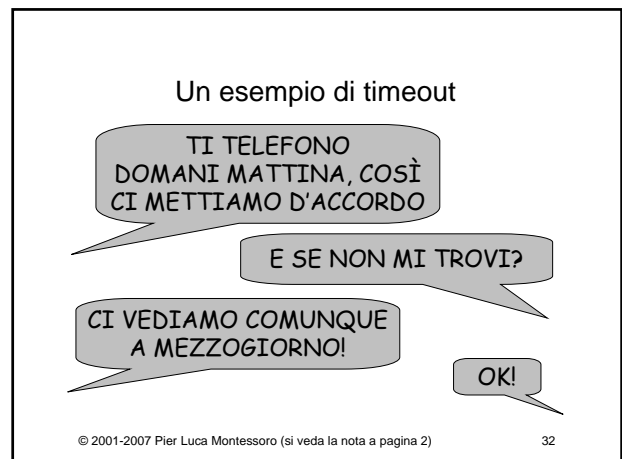
29

## Il problema dei due eserciti



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

30



### Gestione dei guasti

- Perdita di pacchetti
  - gestita tramite i messaggi di riscontro, timeout e ritrasmissioni
- Guasto temporaneo dell'host di destinazione
  - quando riprende a funzionare reinizializza le tabelle e perde memoria delle connessioni
  - richiede tecniche di logging sofisticate simili a quelle dei sistemi transazionali

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

37

### Il livello di trasporto in Internet: TCP e UDP

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

38

### Porte

- Numeri interi scritti su 16 bit
- Sono i TSAP del TCP
- Definiscono i "punti" in cui i processi server attendono le connessioni e i dati
- RFC 1700 ("Assigned numbers") definisce le "well-known ports": valori inferiori a 1024 (originariamente il limite era posto a 255) che sono riservate a processi di sistema

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

39

### Esempi di well-known ports (RFC 1700)

- FTP: 21
- Telnet: 23
- SMTP: 25
- DNS: 53
- WWW-HTTP: 80
- POP3: 110
- IMAP2: 143
- SNMP: 161

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

40

### TCP Transmission Control Protocol

- Gestisce connessioni full duplex punto-punto
  - no multicast né broadcast
- Fornisce alle applicazioni un flusso di dati affidabile
  - i confini delle operazioni di scrittura del processo trasmittente non vengono conservati
- Se necessario, i dati sono divisi in segmenti

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

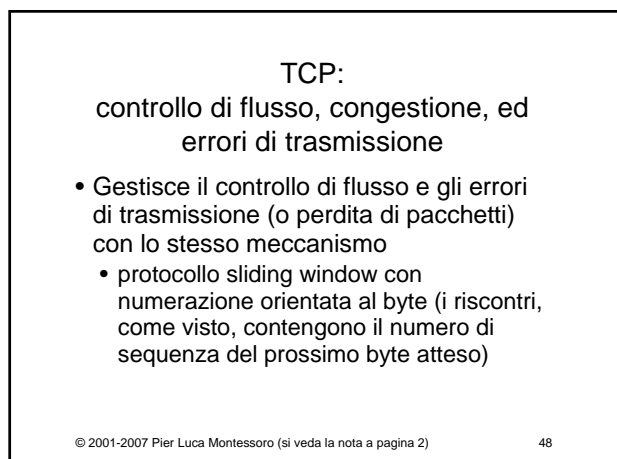
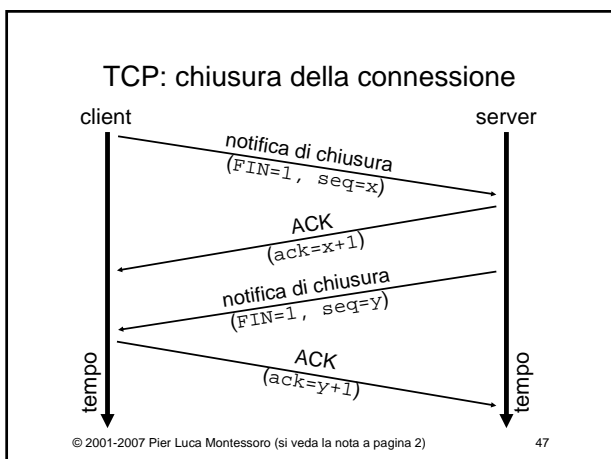
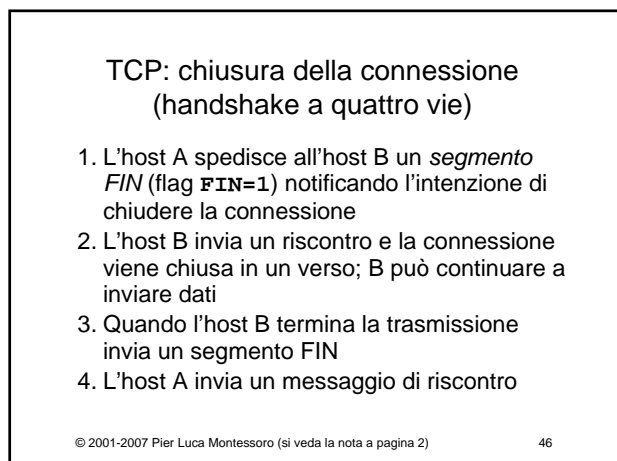
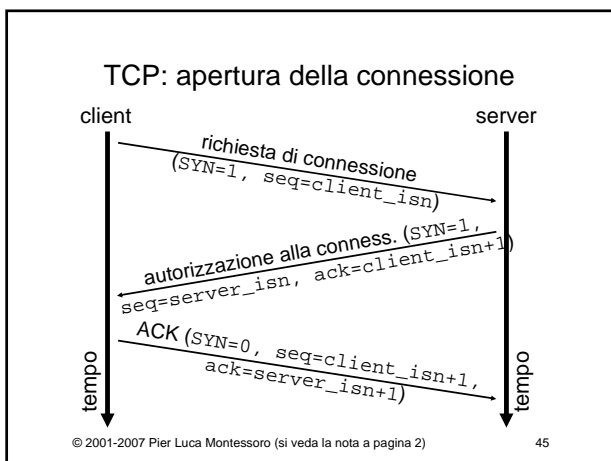
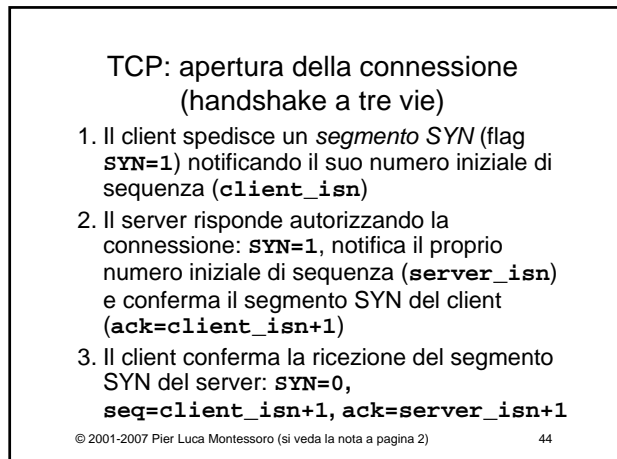
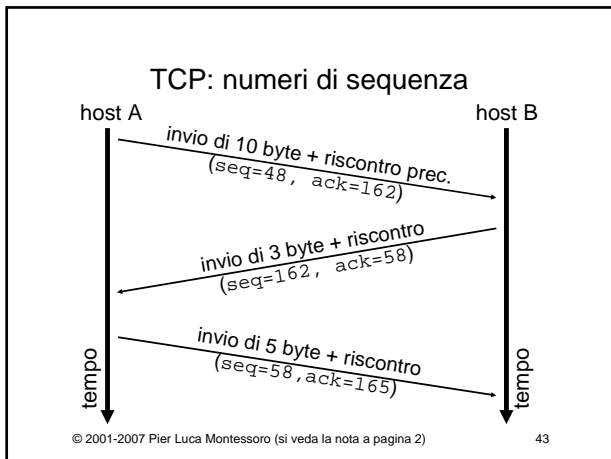
41

### TCP: numeri di sequenza

- La numerazione non è orientata ai segmenti, ma al byte nel flusso continuo di dati
- Il numero di sequenza di un segmento è sempre il numero di sequenza del primo byte contenuto nel campo dati
- Nei messaggi di riscontro del protocollo TCP viene sempre indicato il numero di sequenza del byte successivo che il ricevitore sta aspettando (rispetto all'ultimo ricevuto in ordine)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

42





## TCP: segmenti ricevuti fuori ordine

- Il TCP non usa messaggi espliciti di NACK
- Se riceve un segmento fuori ordine (buco nella sequenza di dati) invia un duplicato dell'ACK per l'ultimo segmento in ordine ricevuto
- Il trasmettitore, quando riceve tre ACK duplicati, li interpreta come NACK per il segmento seguente ("ritrasmissione veloce", RFC 2581)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

49

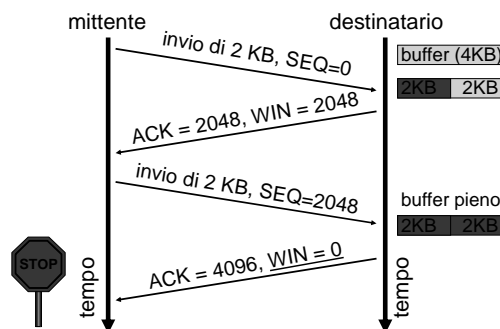
## TCP: finestra di ricezione

- La finestra di ricezione è lo spazio disponibile per ricevere e memorizzare i dati
- La dimensione è variabile: dipende dalla dimensione del buffer (fissa) e dalla quantità di dati ricevuti ma non ancora prelevati dal processo applicativo
- La dimensione della finestra di ricezione viene comunicata al trasmettitore nel campo "window size" dei segmenti inviati

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

50

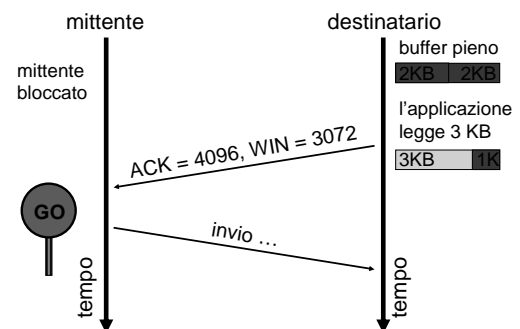
## TCP: finestra di ricezione



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

51

## TCP: finestra di ricezione



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

52

## TCP: finestra di trasmissione

- La dimensione della finestra di trasmissione viene modificata dinamicamente in funzione della capacità della rete e del ricevente

$$\text{finestra di trasmissione} = \min(\text{finestra di ricezione}, \text{finestra di congestione})$$

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

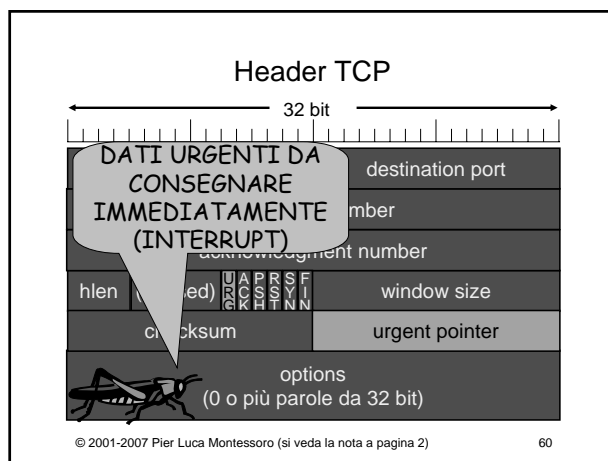
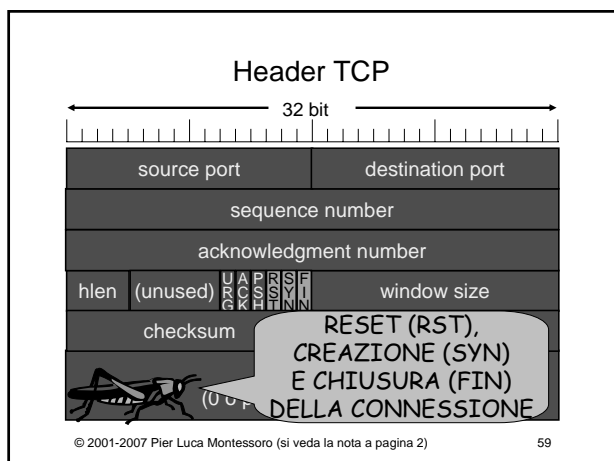
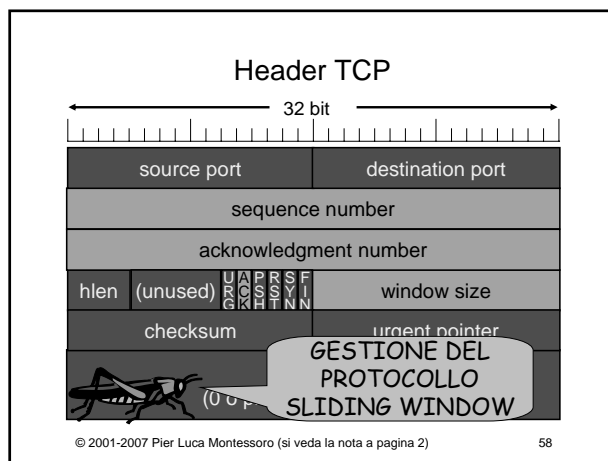
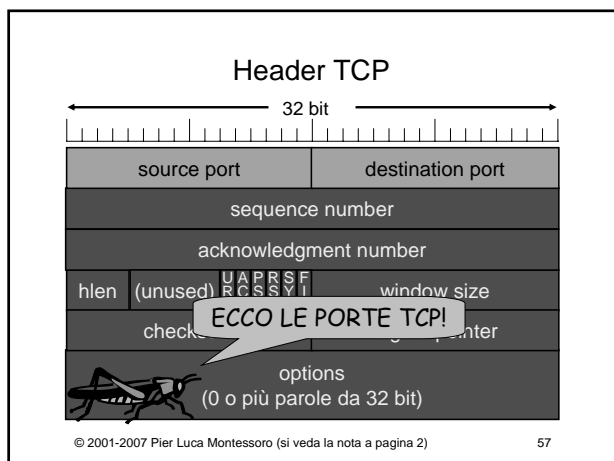
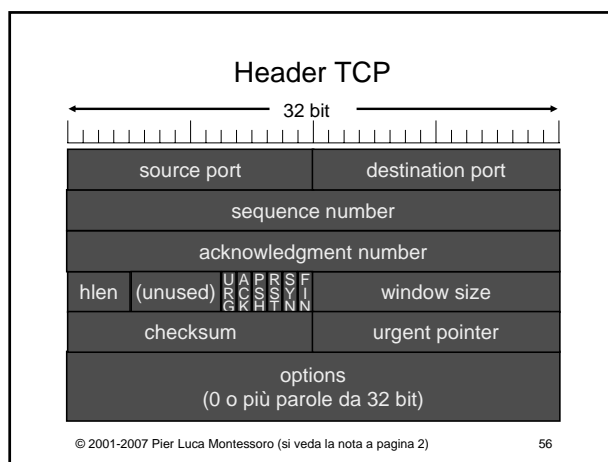
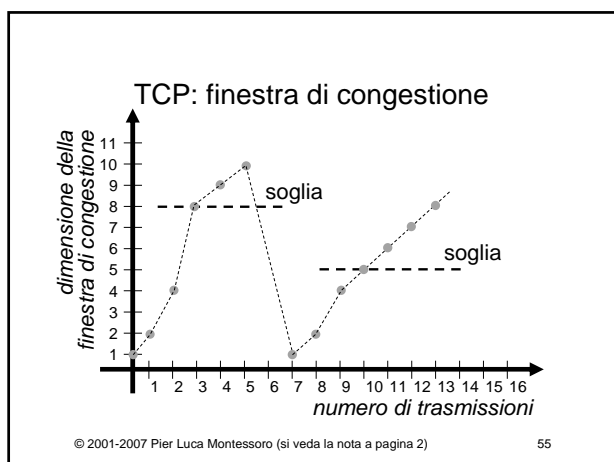
53

## TCP: finestra di congestione

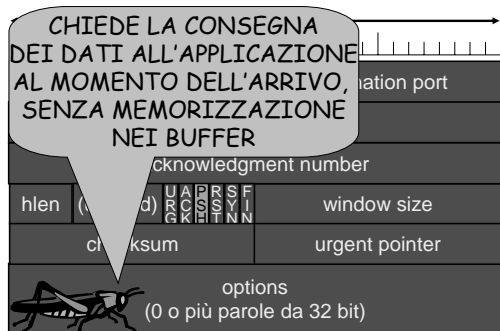
- Inizialmente a 1, man mano che arrivano riscontri cresce esponenzialmente fino ad un valore di soglia predefinito, poi linearmente)
- Se un riscontro non arriva entro il timeout, il valore di soglia viene abbassato alla metà dell'attuale valore della finestra di congestione e questa riparte da 1

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

54



## Header TCP



© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

61

## UDP

## User Data Protocol

- Protocollo non connesso
- Si limita ad aggiungere ad IP le funzionalità di:
  - multiplexing dei dati tra le diverse applicazioni (gestione delle porte)
  - generazione e verifica della checksum per l'integrità dei dati

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

62

## UDP

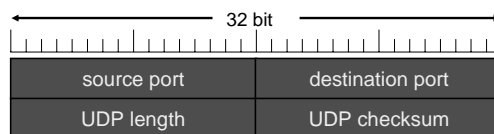
## User Datagram Protocol

- Più snello ed efficiente di TCP
- Applicabile nelle seguenti condizioni:
  - si opera su rete locale
  - l'applicazione mette tutti i dati in un singolo pacchetto
  - non è importante che tutti i pacchetti arrivino a destinazione (es. multimedia)
  - l'applicazione gestisce meccanismi di ritrasmissione

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

63

## Header UDP



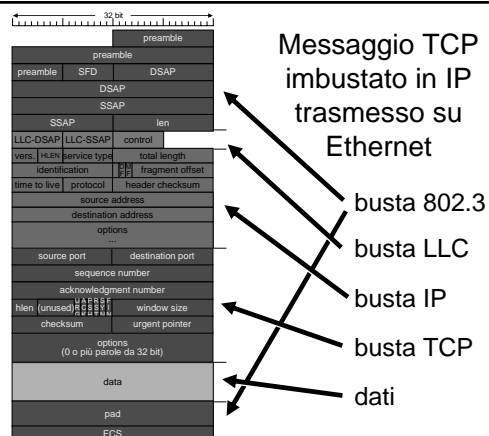
© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

64

Imbustamento multiplo:  
visione d'insieme

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

65



## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

67

## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

DLC: ----- DLC Header -----

DLC: Destination = Station 08-00-2B-00-9A-7D

DLC: Source = Station 08-00-5A-1A-60-BE

DLC: 802.3 len = 47 byte

LLC: ----- LLC Header -----

LLC: DSAP = 06 (IP), SSAP = 06 (IP)

LLC: Unnumbered frame: UI

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

68

## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

IP: ----- IP Header -----

IP: Version = 4, header length = 20 bytes

IP: Type of service = 00

IP: 000. .... = routine

IP: ...0 .... = normal delay

IP: .... 0... = normal throughput

IP: .... .0.. = normal reliability

IP: Total length = 44 bytes

IP: Identification = 22755

IP: Flags = 0X

IP: .0.. .... = may fragment

IP: ..0. .... = last fragment

IP: Fragment offset = 0 bytes

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

69

## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

IP: ----- IP Header -----

(segue)

IP: Time to live = 60 seconds/hops

IP: Protocol = 6 (TCP)

IP: Header checksum = 1853 (correct)

IP: Source address = [130.192.4.18]

IP: Destination address = [130.192.4.4]

IP: No options

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

70

## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

TCP: ----- TCP header -----

TCP: Source port = 1044

TCP: Destination port = 23 (Telnet)

TCP: Initial sequence number = 866657824

TCP: Acknowledgment number = 1449600001

TCP: Data offset = 24 bytes

TCP: Flags = 12

TCP: ..0. .... = (No urgent pointer)

TCP: ...1 .... = Acknowledgment

TCP: .... 0... = (No push)

TCP: .... .0.. = (No reset)

TCP: .... .1. = SYN

TCP: .... ...0 = (No FIN)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

71

## Esempio: telnet (apertura di connessione)

ADDR	HEX
0000	08 00 2B 00 9A 7D 08 00 5A 1A 60 BE 00 2F 06 06
0010	03 45 00 00 2C 58 E3 00 00 3C 06 18 53 82 C0 04
0020	12 82 C0 04 04 04 14 00 17 33 A8 26 20 56 67 24
0030	01 60 12 40 00 72 2D 00 00 02 04 05 AB

TCP: ----- TCP header -----

(segue)

TCP: Window = 16384

TCP: Checksum = 722D (correct)

TCP: (void urgent pointer)

TCP: Options follow

TCP: Maximum segment size = 1451

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

72

### Bibliografia

- “Reti di Computer”
  - Capitolo 6
- Libro “Reti locali: dal cablaggio all'internetworking”  
contenuto nel CD-ROM omonimo
  - Capitolo 16

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

73

### Come contattare il prof. Montessoro

E-mail: [montessoro@uniud.it](mailto:montessoro@uniud.it)  
Telefono: 0432 558286  
Fax: 0432 558251  
URL: [www.montessoro.it](http://www.montessoro.it)

© 2001-2007 Pier Luca Montessoro (si veda la nota a pagina 2)

74