

Tecniche ARQ (protocolli a finestra)

Gruppo Reti TLC
nome.cognome@polito.it
<http://www.telematica.polito.it/>

Copyright

Quest'opera è protetta dalla licenza *Creative Commons NoDerivs-NonCommercial*. Per vedere una copia di questa licenza, consultare:

<http://creativecommons.org/licenses/nd-nc/1.0/>

oppure inviare una lettera a:

Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA.

This work is licensed under the *Creative Commons NoDerivs-NonCommercial* License. To view a copy of this license, visit:

<http://creativecommons.org/licenses/nd-nc/1.0/>

or send a letter to

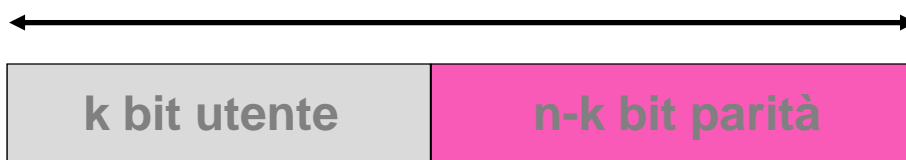
Creative Commons, 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA.

Tecniche per la protezione dagli errori di trasmissione

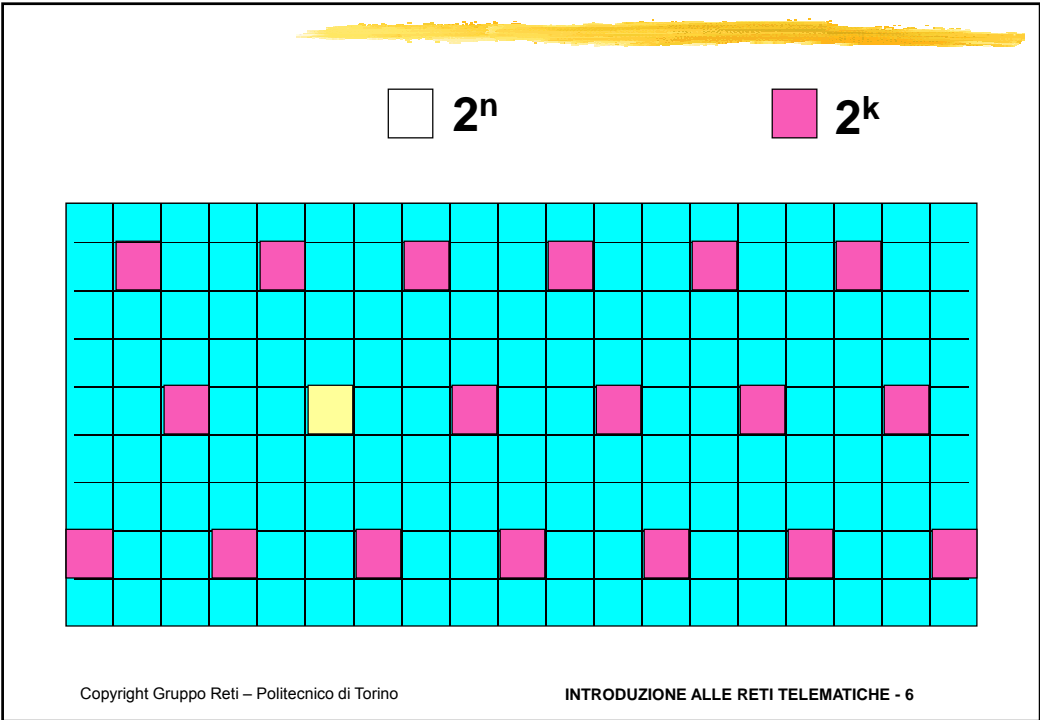
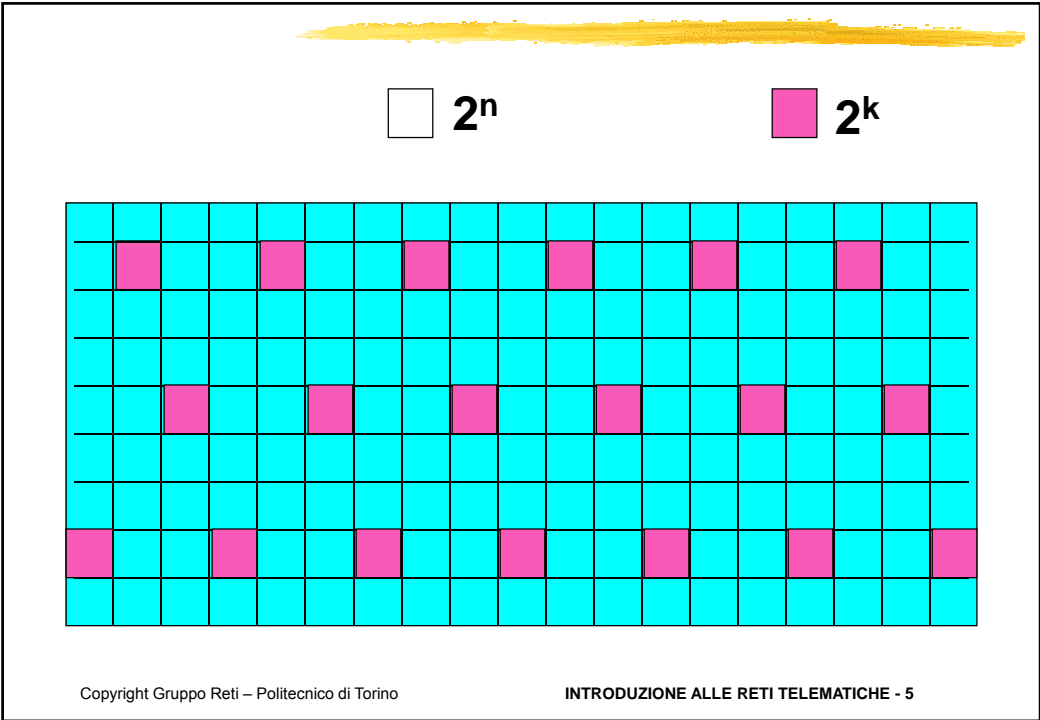
- FEC (Forward Error Correction)
- ARQ (Automatic Retransmission reQuest)

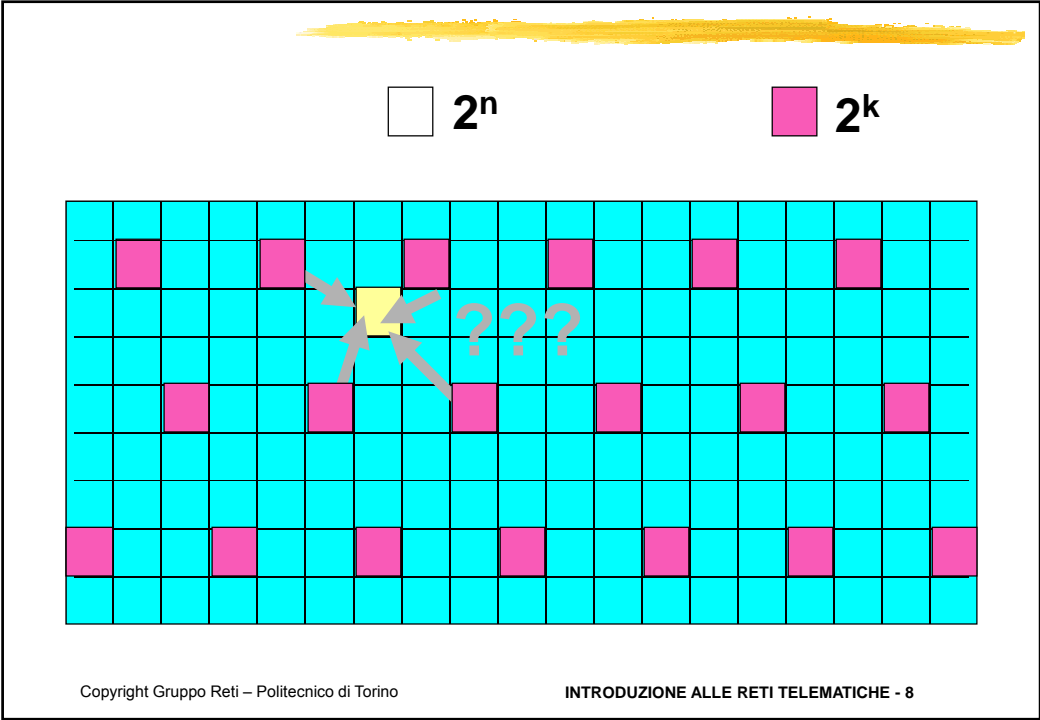
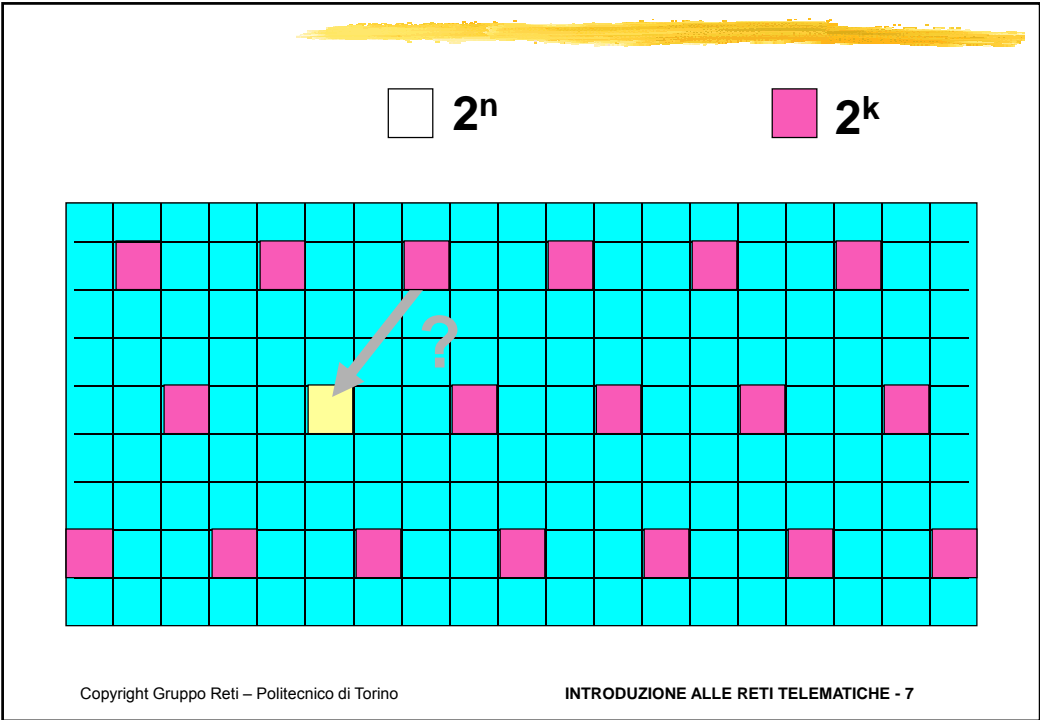
Codifica a blocco per controllo di errore

n bit



2^k possibili combinazioni





Esempi di protezione dagli errori

- bit di parità (riconosce errori in numero dispari)

0	1	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	1

- codice a ripetizione (decisione a maggioranza: permette di correggere errori)

0	1	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1	0

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 9

Esempi di protezione dagli errori

- parità di riga e colonna (consente la correzione di errori singoli)

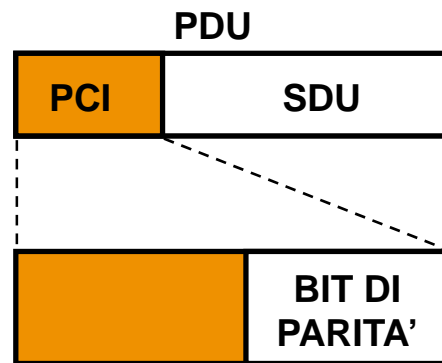
0	1	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	1	0	1
0	0	0	0	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	1	1	0

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 10

Intestazione pacchetti

- Si introducono bit di parità tra le informazioni di controllo all'interno delle PDU
- Sovente i bit di parità sono calcolati con un codice ciclico e sono detti CRC (cyclic redundancy check)

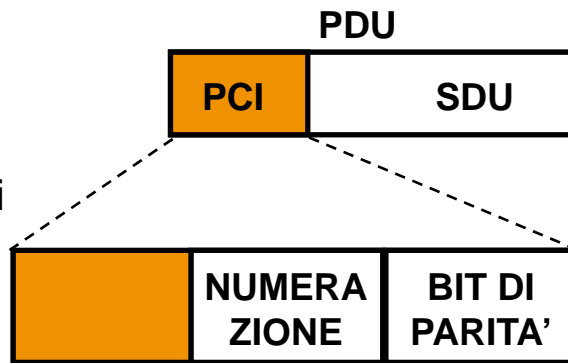


FEC e ARQ

- FEC (forward error correction): i bit di parità sono usati per cercare di correggere gli errori
- ARQ (automatic retransmission request): i bit di parità sono usati per cercare di rivelare gli errori

ARQ

- Controllo congiunto su una connessione di
 - errore
 - flusso
 - sequenza
- Si introducono bit di numerazione tra le informazioni di controllo all'interno delle PDU

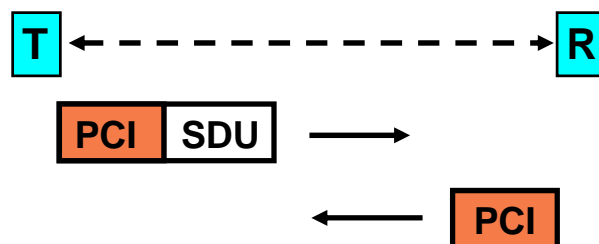


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 13

ARQ

- Tre tecniche ARQ:
 - Stop and wait (Alternating bit)
 - Go back N
 - Selective repeat
- Descriviamo le tre tecniche in un ambiente di comunicazione unidirezionale



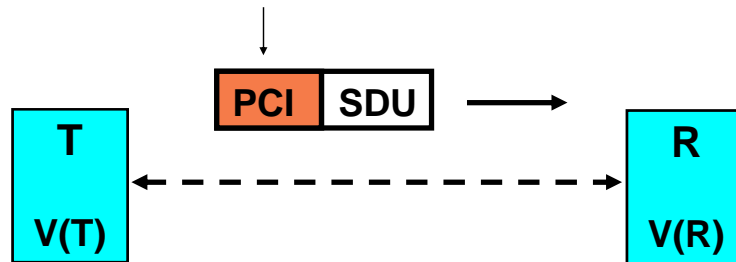
Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 14

ARQ

- Pacchetto dati:

- bit di parità per controllo errore sui dati e intestazione
- $N(T)$, numero d'ordine
- indirizzi



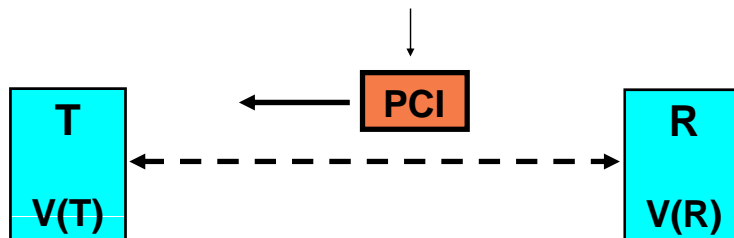
Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 15

ARQ

- Pacchetto riscontro:

- bit di parità **solo** sull'intestazione
- $N(R)$, numero d'ordine atteso
- indirizzi



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 16

Stop and wait

- Il trasmettitore:
 - invia una PDU dopo avere fatta una copia e averla memorizzata nel buffer di trasmissione
 - attiva un orologio (tempo di timeout)
 - si pone in attesa della conferma di ricezione (acknowledgment - ACK)
 - se scade il timeout prima dell'arrivo della conferma, ripete la trasmissione

Stop and wait

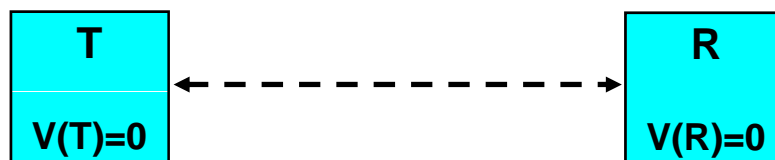
- Il trasmettitore, quando riceve un ACK:
 - controlla la correttezza dell'ACK
 - controlla il numero di sequenza
 - se l'ACK è relativo all'ultima PDU trasmessa, si abilita la trasmissione della prossima PDU
 - altrimenti ACK è ignorato

Stop and wait

- Il ricevitore, quando riceve una PDU:
 - controlla la correttezza della PDU
 - controlla il numero di sequenza
 - se la PDU è corretta, invia la conferma di ricezione
 - se la PDU è quella attesa, essa viene consegnata ai livelli superiori

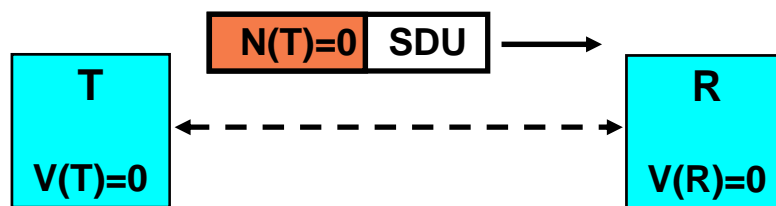
Stop and wait

- Inizializzazione:
 - $V(T) = 0$ al trasmettitore
 - $V(R) = 0$ al ricevitore



Stop and wait

- Trasmissione di una PDU con $N(T) = V(T)$
 - Avvio dell'orologio

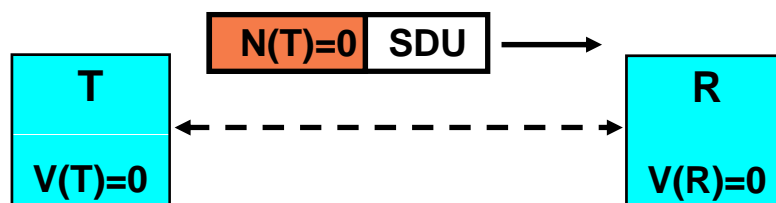


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 21

Stop and wait

- Ricezione di una PDU
 - Controllo di correttezza
 - Controllo di sequenza: $N(T) = V(R)$?

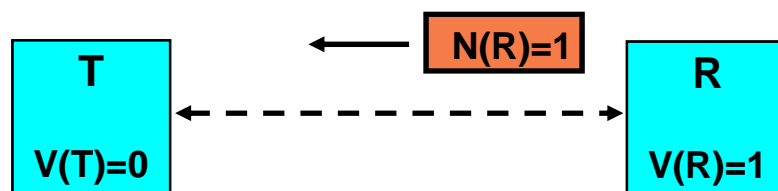


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 22

Stop and wait

- Incremento di $V(R)$
- Trasmissione di un ACK con $N(R) = V(R)$

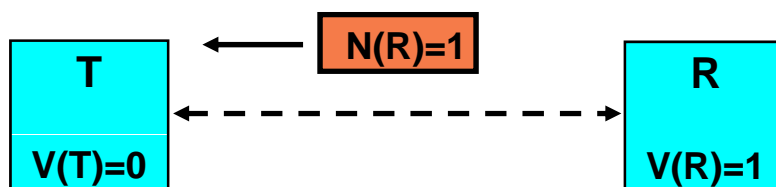


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 23

Stop and wait

- Ricezione di un ACK
 - Controllo di sequenza: $N(R) = V(T) + 1$?
 - Arresto dell'orologio
 - Cancello dal buffer di trasmissione copia della PDU

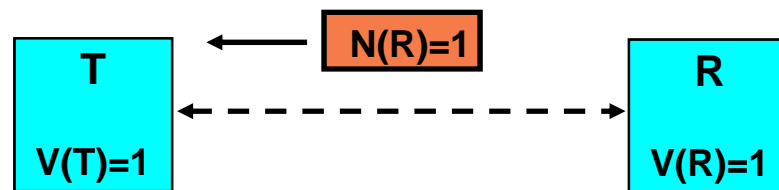


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 24

Stop and wait

- Incremento di $V(T)$

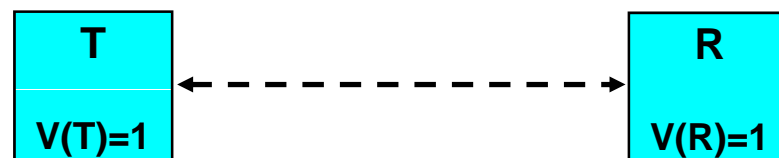


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 25

Stop and wait

- $V(T) = 1$ al trasmettitore
- $V(R) = 1$ al ricevitore

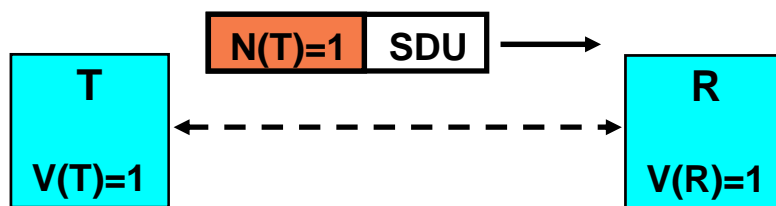


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 26

Stop and wait

- Trasmissione di una PDU con $N(T) = V(T)$
- Avvio dell'orologio

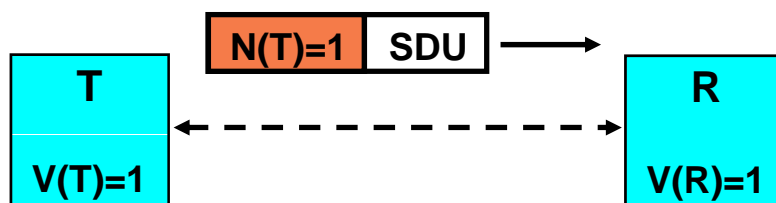


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 27

Stop and wait

- Ricezione di una PDU
 - Controllo di correttezza
 - Controllo di sequenza: $N(T) = V(R)$?

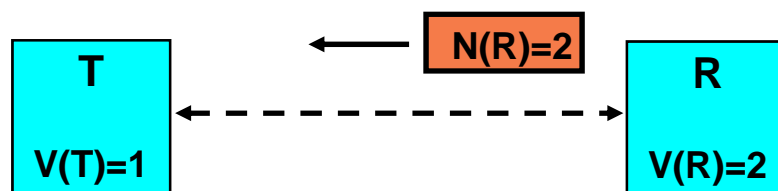


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 28

Stop and wait

- Incremento di $V(R)$
- Trasmissione di un ACK con $N(R) = V(R)$

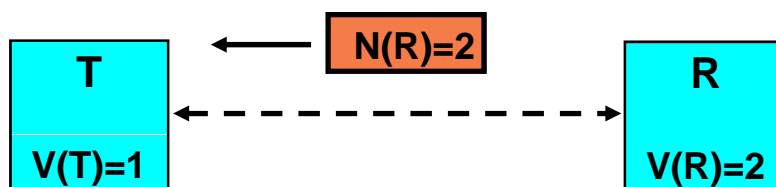


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 29

Stop and wait

- Ricezione di un ACK
 - Controllo di sequenza: $N(R) = V(T) + 1$?
 - Arresto dell'orologio

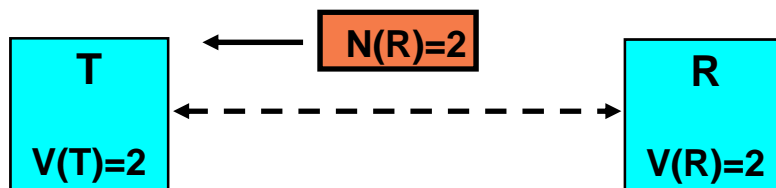


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 30

Stop and wait

- Incremento di $V(T)$

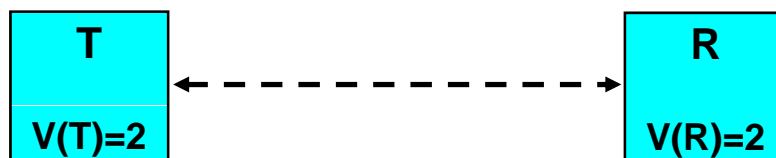


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 31

Stop and wait

- $V(T) = 2$ al trasmettitore
- $V(R) = 2$ al ricevitore

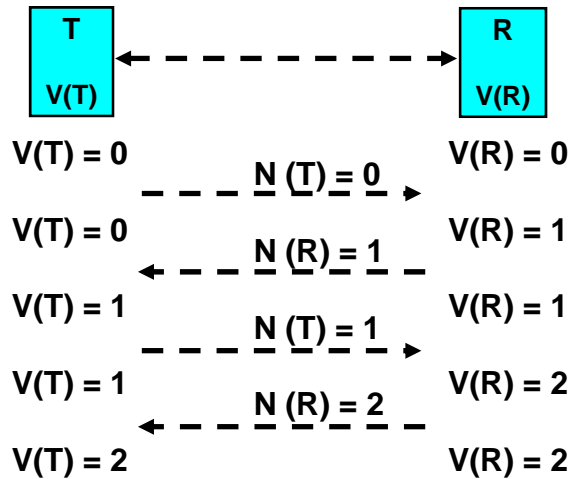


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 32

Stop and wait

- La numerazione delle PDU è:
 - indispensabile
 - ciclica (numero di bit intestazione e contatori finiti)

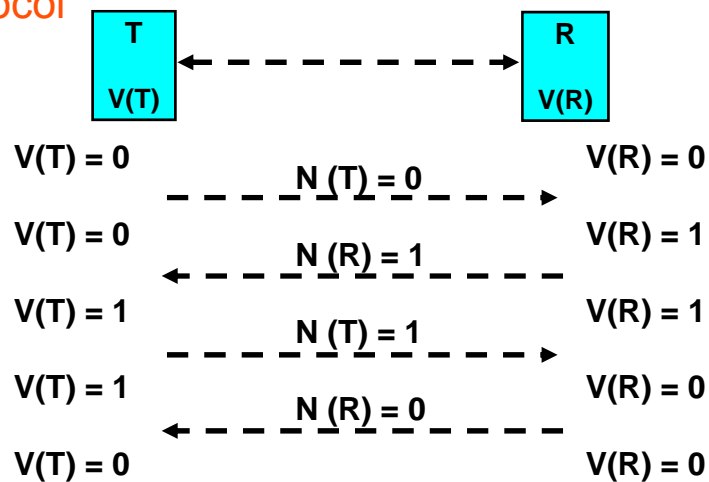


Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 33

Stop and wait

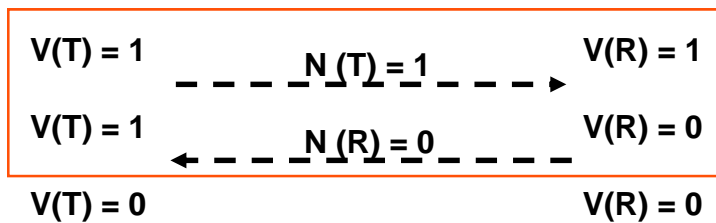
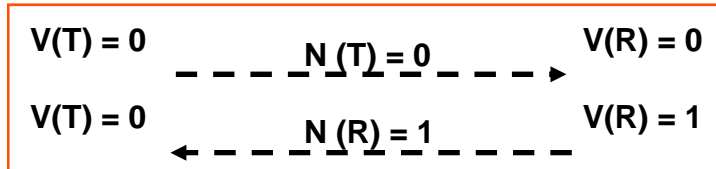
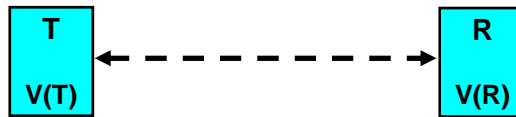
- Un solo bit per la numerazione: **Alternating bit protocol**



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 34

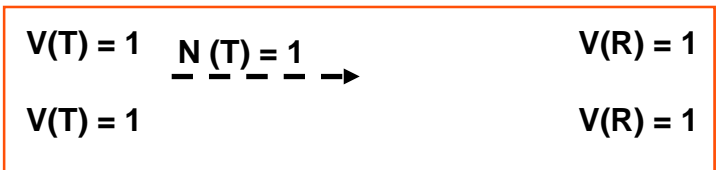
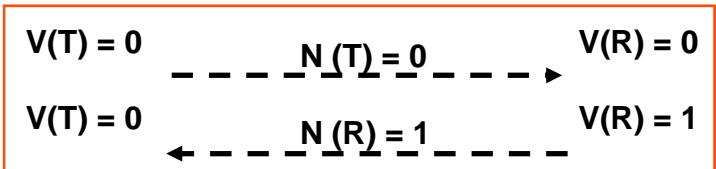
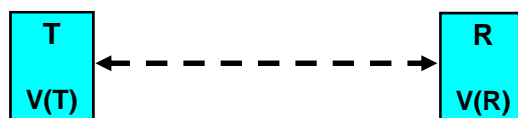
Alternating bit protocol



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 35

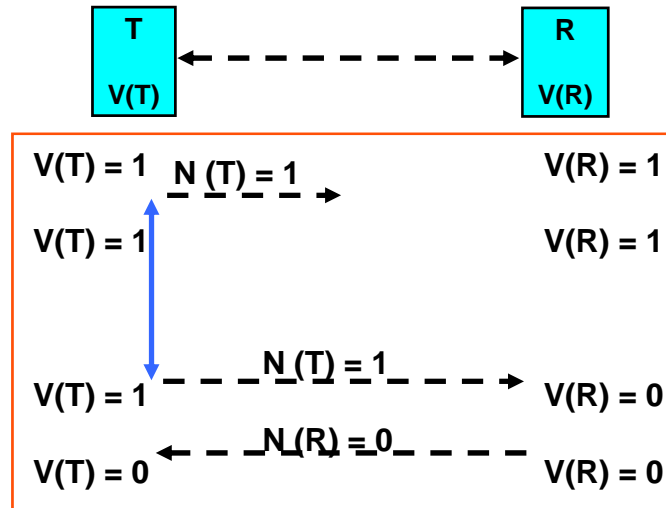
Ricezione di una PDU errata



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 36

Ricezione di una PDU errata

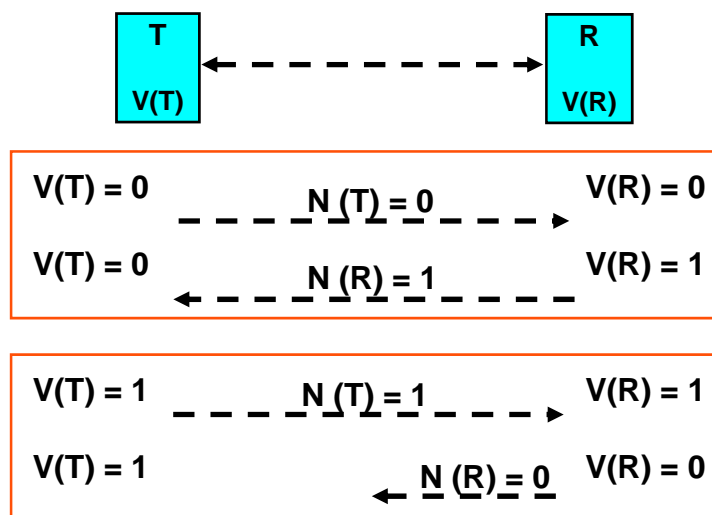


- La regolazione del timeout è delicata

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 37

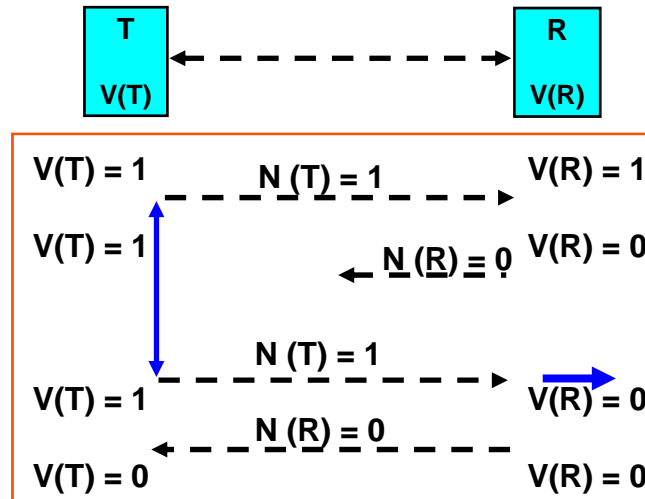
Ricezione di una conferma errata



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

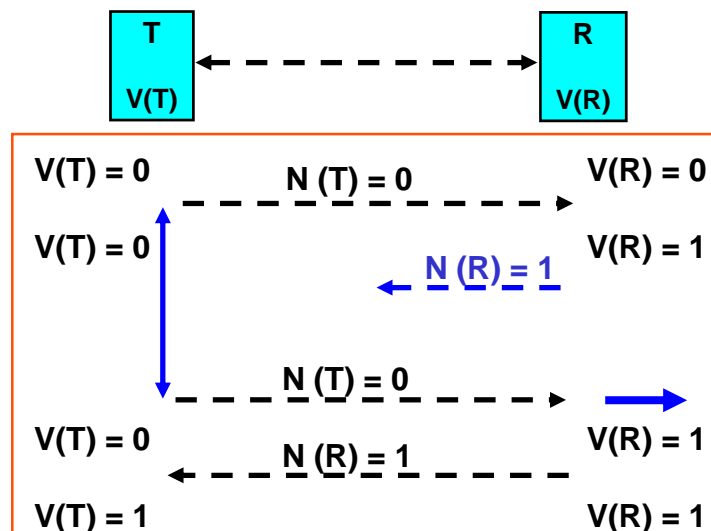
INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 38

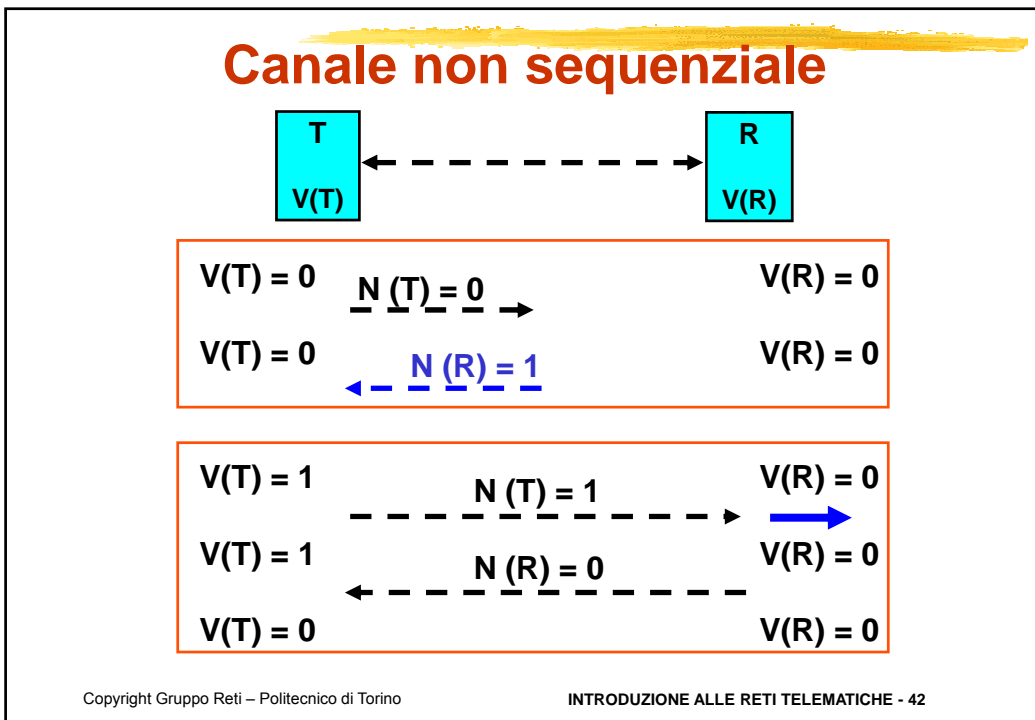
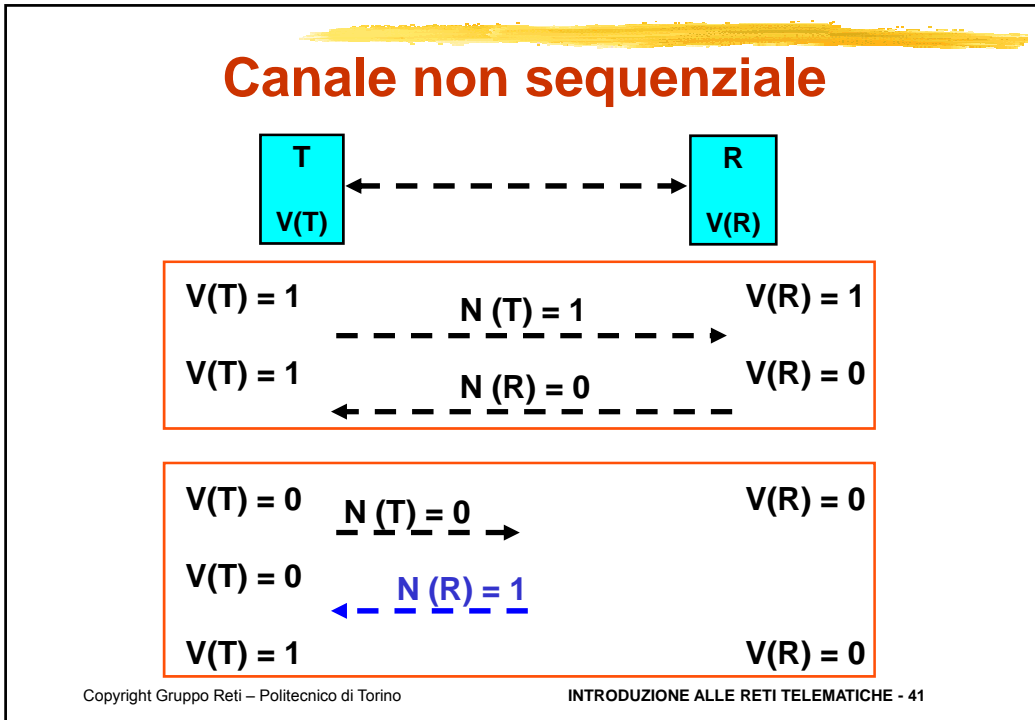
Ricezione di una conferma errata



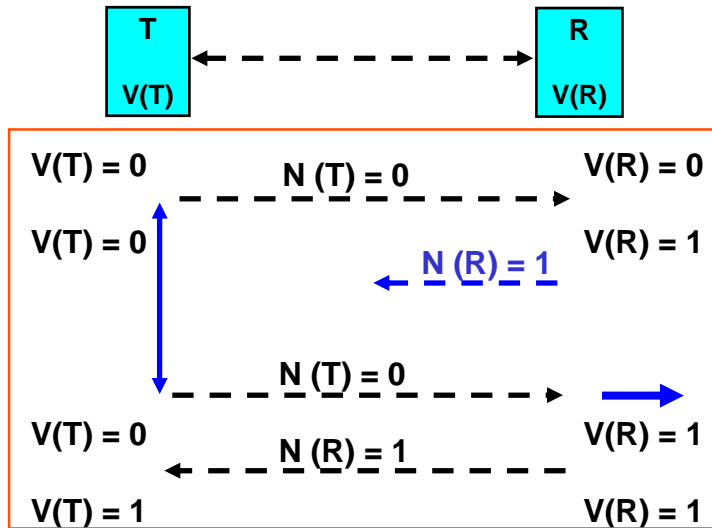
- Se non numerassi, non scarterei PDU al ricevitore

Canale non sequenziale





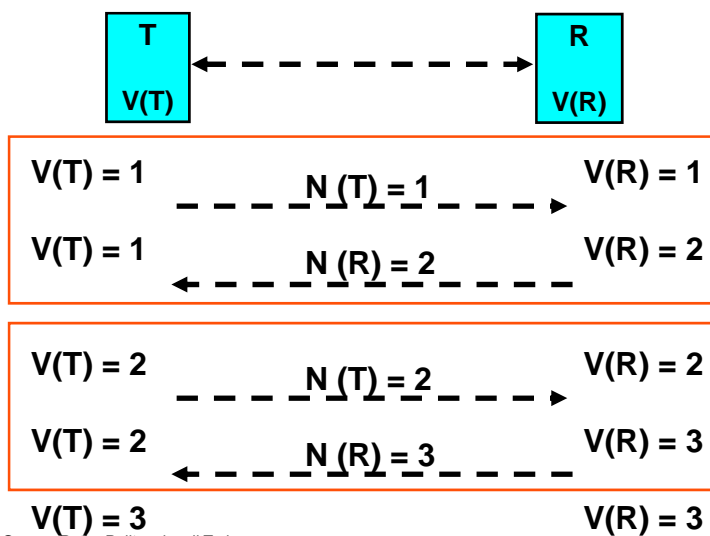
Canale non sequenziale con numerazione modulo 4



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 45

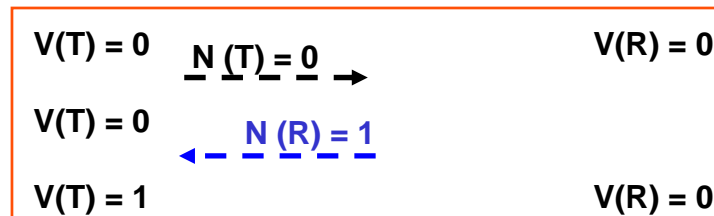
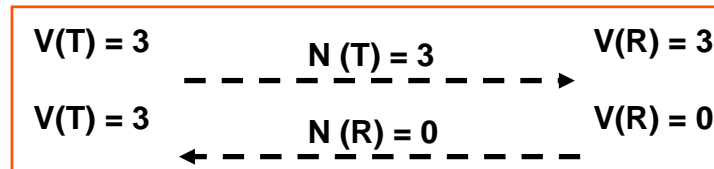
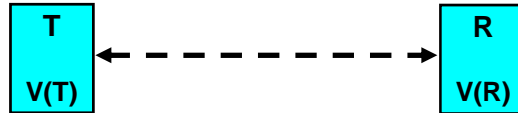
Canale non sequenziale con numerazione modulo 4



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 46

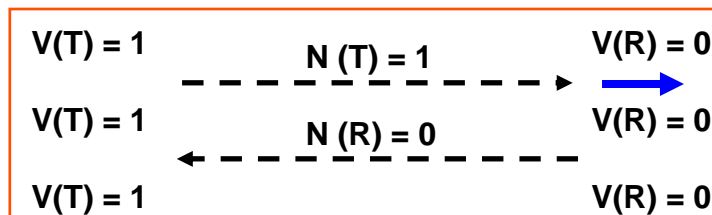
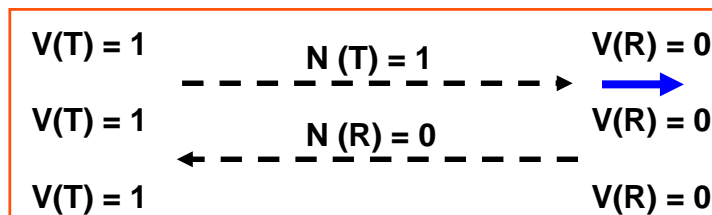
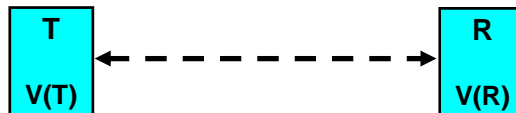
Canale non sequenziale con numerazione modulo 4



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 47

Canale non sequenziale con numerazione modulo 4



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 48

Canale non sequenziale con numerazione modulo 4

- Il protocollo si blocca: servono meccanismi per ripartire
- Si riducono le possibilità di malfunzionamento usando:
 - un maggior numero di bit per la numerazione
 - un tempo di vita massimo per le PDU e gli ACK

Go Back N

- Il protocollo Stop and wait può essere poco efficiente a causa di elevati ritardi di attesa delle conferme
- Permettere la trasmissione di più di una PDU prima di fermarsi in attesa delle conferme migliora le prestazioni: **Go Back N**

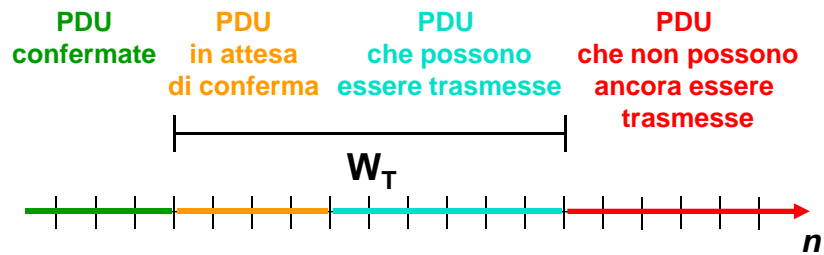
Finestra di trasmissione

- La finestra di trasmissione W_T rappresenta la quantità massima di PDU in sequenza che il trasmettitore è autorizzato ad inviare in rete senza averne ricevuto riscontro (ACK)
- Dimensione della finestra limitata dalla quantità di memoria allocata
- Rappresenta anche il massimo numero di PDU contemporaneamente presenti sul canale o in rete

Finestra di ricezione

- La finestra di ricezione W_R determina la sequenza di PDU che il ricevitore è disposto ad accettare in un dato istante di tempo
- Dimensione della finestra limitata dalla quantità di memoria allocata

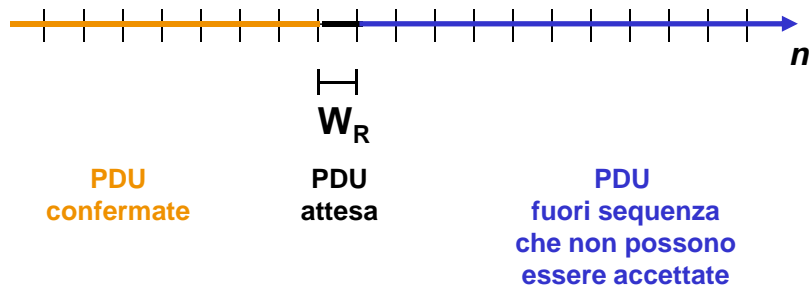
Finestra di trasmissione



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 53

Finestra di ricezione unitaria



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 54

Go Back N

- Il trasmettitore con finestra N:
 - invia fino ad $N = W_T$ PDU, facendo di ognuna una copia
 - attiva un solo orologio per le N PDU (che viene resettato ad ogni trasmissione di PDU)
 - si pone in attesa delle conferme di ricezione (ACK)
 - se scade il timeout prima dell'arrivo delle conferme, ripete la trasmissione di tutte le PDU non ancora confermate

Go Back N

- Il ricevitore, quando riceve una PDU:
 - controlla la correttezza della PDU
 - controlla il numero di sequenza
 - se la PDU è corretta invia la conferma di ricezione
 - se la PDU contiene il primo numero di sequenza non ancora ricevuto, viene consegnata ai livelli superiori

Semantica dei pacchetti di riscontro

- La semantica associata al pacchetto di riscontro può essere:
 - **ACK individuale (o selettivo)**: si notifica la corretta ricezione di un pacchetto particolare.
ACK(n) significa “ho ricevuto il pacchetto n ”
 - **ACK cumulativo**: si notifica la corretta ricezione di tutti i pacchetti con numero di sequenza inferiore a quello specificato nell'ACK.
ACK(n) significa “ho ricevuto tutto fino ad n escluso”
 - **ACK negativo (NAK)**: si notifica la richiesta di ritrasmissione di un singolo pacchetto.
NAK(n) significa “ritrasmetti il pacchetto n ”
- Trasmettitore e Ricevitore si devono accordare preventivamente sulla semantica degli ACK

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 57

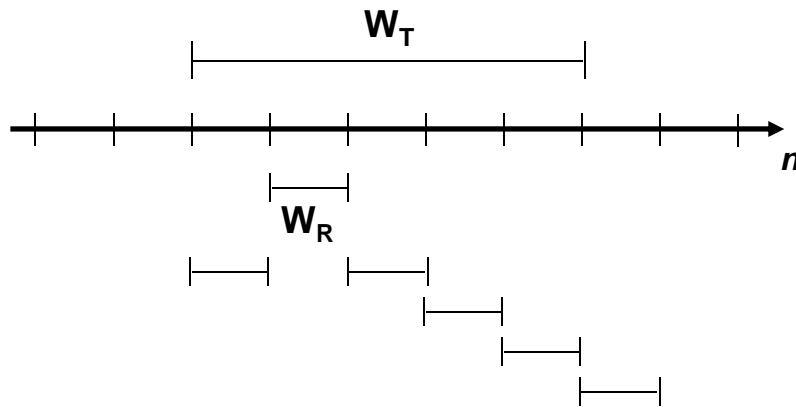
Piggybacking

- Nel caso di flussi di informazione bidirezionali, è sovente possibile scrivere l'informazione di riscontro (ACK) nella intestazione di PDU di informazione che viaggiano nella direzione opposta.

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 58

Posizioni relative corrette tra W_T e W_R



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

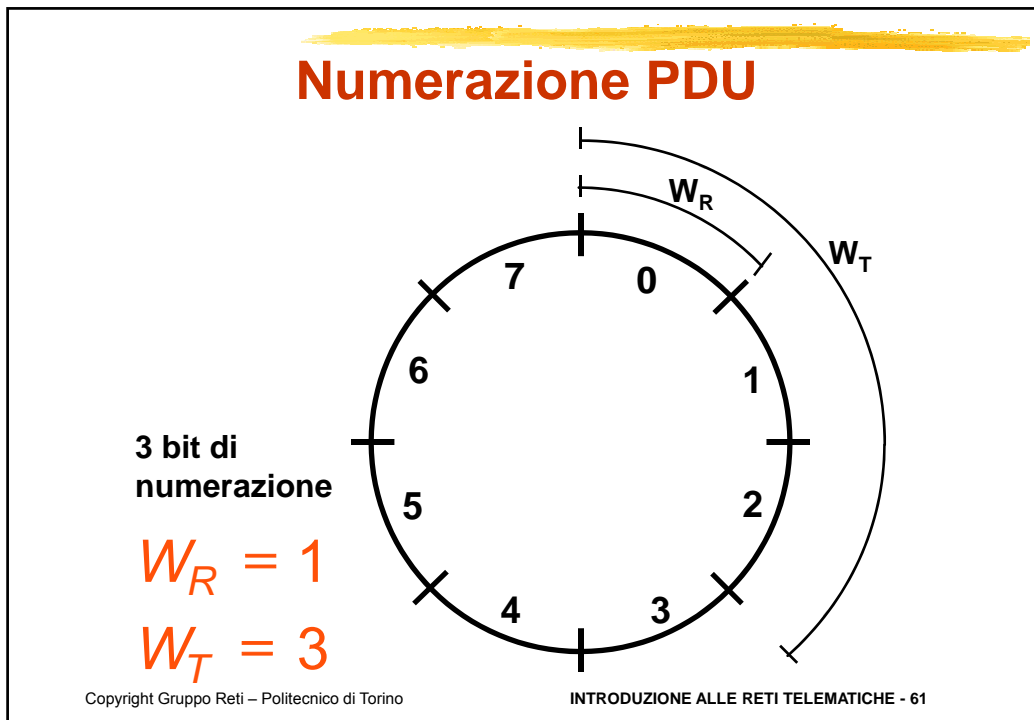
INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 59

Numerazione PDU

- La numerazione delle PDU è ciclica:
 - k bit di numerazione
 - numerazione modulo 2^k

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 60



- ## Go Back N
- Trasmettitore è significativamente più complesso rispetto al caso dello Stop and wait
 - quantità di memoria
 - gestione dell'orologio
 - algoritmi
 - Ricevitore inalterato (finestra 1)
 - Si possono usare conferme cumulative (su gruppi di PDU)
 - orologio al ricevitore
 - La finestra di trasmissione non può avere dimensioni arbitrarie: $W_T < 2^k$
- Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 62

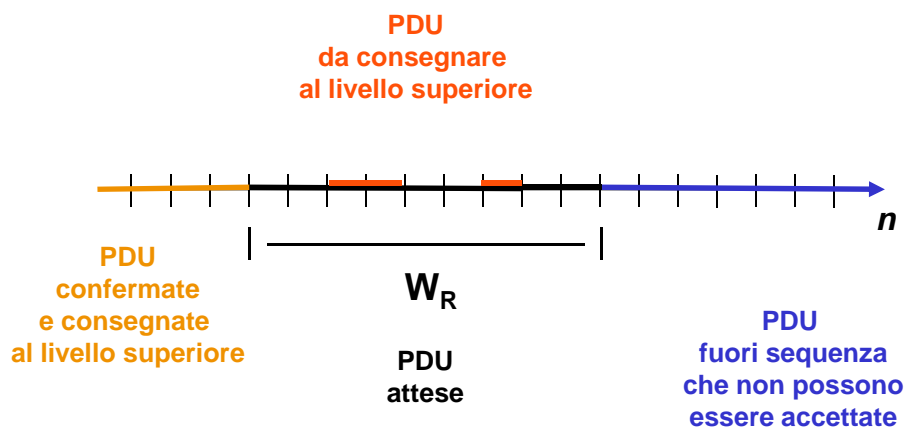
Selective repeat

- Nel protocollo Go back N il ricevitore può accettare solo PDU in sequenza
- Accettare PDU corrette, ma fuori sequenza, migliora le prestazioni: **Selective repeat**
- Il protocollo Selective Repeat usa finestra di trasmissione e finestra di ricezione di dimensioni maggiori di 1 (di solito di pari dimensione)
- Esistono diverse possibili implementazioni che si differenziano per:
 - uso di ACK selettivi o cumulativi;
 - uso di timer associati alle singole PDU o alla finestra
 - comportamenti del trasmettitore e del ricevitore
- Descriviamo caso con ACK cumulativi e timer associati alla finestra

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 63

Finestra di ricezione maggiore di 1



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 64

Selective repeat

- Il trasmettitore:
 - invia fino ad $N = W_T$ PDU, facendo di ognuna una copia
 - attiva un solo orologio per le N PDU (che viene resettato ad ogni trasmissione di PDU)
 - si pone in attesa delle conferme di ricezione (ACK)
 - se scade il timeout prima dell'arrivo delle conferme, ripete la trasmissione di tutte le PDU non ancora confermate

Selective repeat

- Il ricevitore:
 - riceve una PDU
 - controlla la correttezza della PDU
 - controlla il numero di sequenza

Selective repeat

- Il ricevitore:
 - se la PDU è corretta ed in sequenza la consegna al livello superiore (eventualmente insieme ad altre PDU ricevute in sequenza)
 - se la PDU è corretta ma non in sequenza:
 - se è entro la finestra di ricezione la memorizza
 - se è fuori dalla finestra di ricezione la scarta
 - invia un ACK relativo all'ultima PDU ricevuta in sequenza

Selective repeat - Osservazioni

- In caso di perdita singola, questa versione del protocollo si comporta come il go back N in termini di
 - velocità di trasmissione (*throughput*)
 - occupazione del canale
- Si ottengono vantaggi rispetto al go back N
 - se $RTT < \text{tempo trasmissione della finestra}$
 - nuovo ACK permette di spostare in avanti la finestra prima di completarne la ritrasmissione
 - in presenza di perdite ripetute sui dati
 - poiché si memorizza in ricezione, è sufficiente che una sola copia di ogni pacchetto sia arrivata al ricevitore
- Modificando il comportamento del trasmettitore, e vincolandolo a ritrasmettere solo il primo pacchetto (perso) nella finestra si riduce l'occupazione del canale (si recupera 1 pacchetto perso ogni RTT)
- Migliori prestazioni si hanno adottando ack selettivi

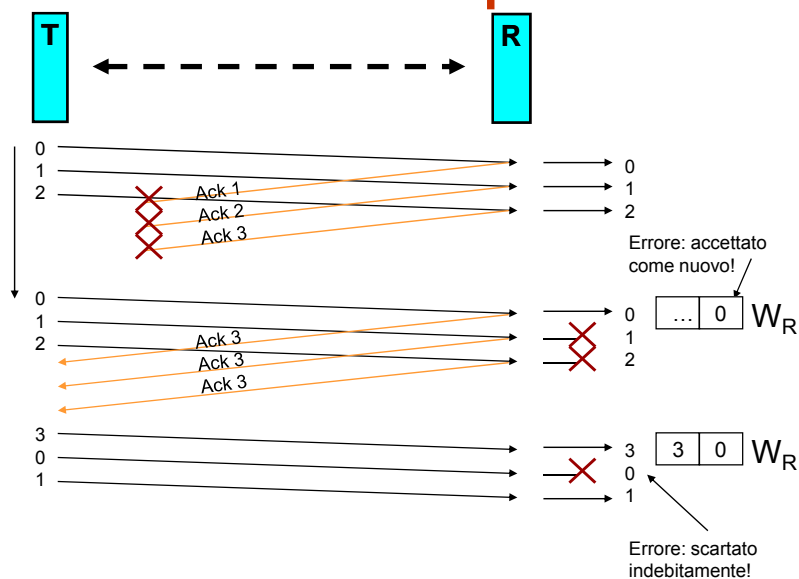
Selective repeat

- Nel protocollo selective repeat vale la relazione $W_T + W_R \leq 2^k$ che lega la dimensione delle finestre di TX e RX con i k bit di numerazione
- Nel seguente esempio, illustriamo quali problemi si possono verificare se la relazione viene violata
- Nell'esempio: $W_T = 3$, $W_R = 2$, $k = 2$
- Ipotesi: timer su finestra

Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 69

Selective repeat



Copyright Gruppo Reti – Politecnico di Torino

INTRODUZIONE ALLE RETI TELEMATICHE - 70

Risultato

- Non rispettare la relazione finestra/numerazione ha avuto come conseguenza:
 - 1 pacchetto erroneamente accettato due volte!
 - 1 pacchetto erroneamente scartato!

Velocità di trasmissione (throughput)

- Throughput di un generico protocollo a finestra in assenza di errori

$$\min \left\{ \frac{\textit{finestra_trasmissione}}{\textit{RTT}}, \textit{velocità_linea} \right\}$$

- Connessioni corte ottengono throughput maggiore a pari finestra

Velocità di trasmissione (throughput)

- Per regolare il throughput posso agire su
 - round trip time (ritardando invio di ack)
 - genero ritrasmissioni
 - dimensione finestra