

Corso di
RETI DI CALCOLATORI
(9 CFU)

a.a. 2020-2021
II anno / II semestre

Reti di calcolatori Prof. Gianni Fenu

1

Il Livello di Collegamento II - 2

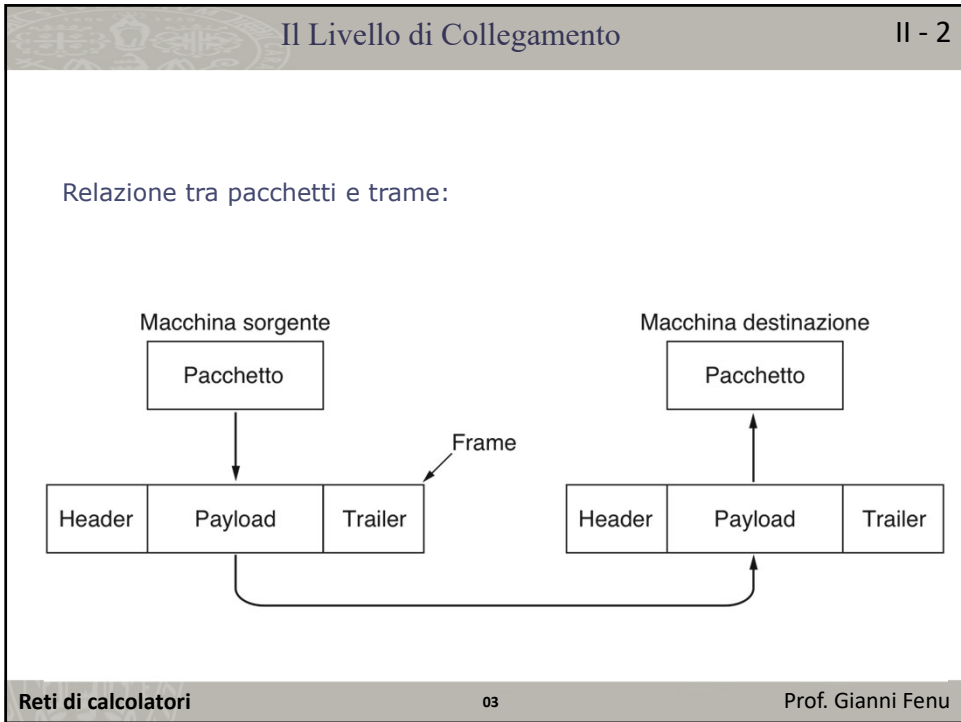
Il Livello di Collegamento

Principi di progettazione del livello data link

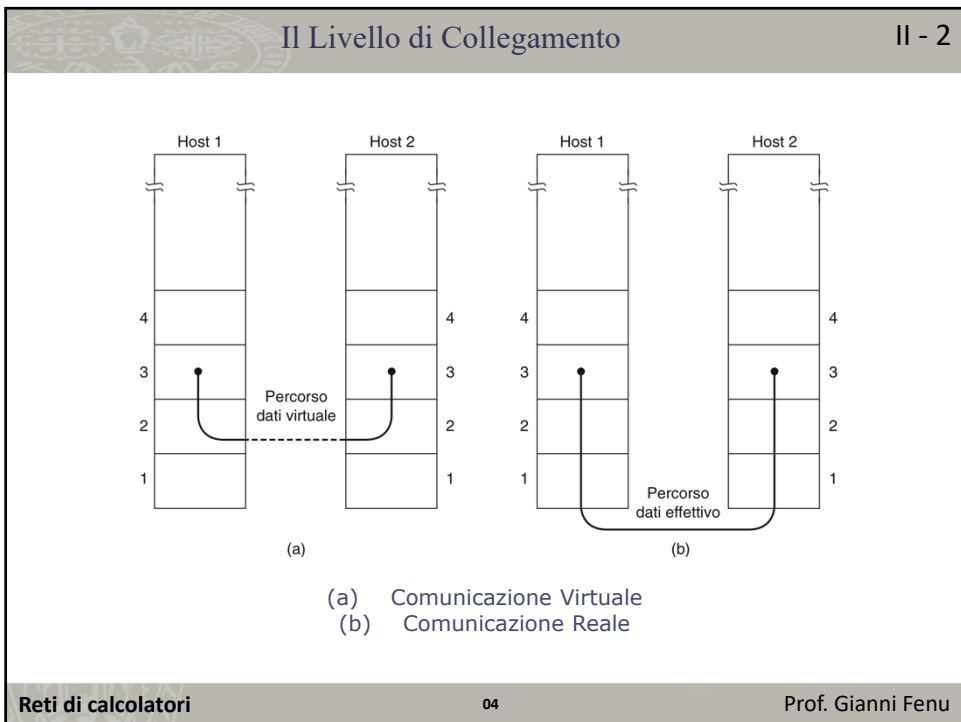
Servizi forniti al livello di rete

Reti di calcolatori 02 Prof. Gianni Fenu

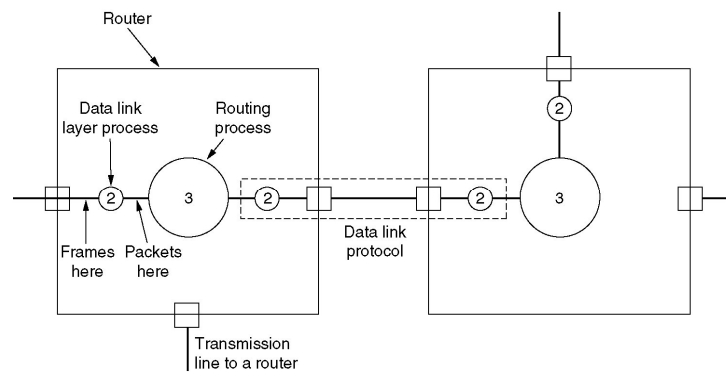
2



3



4



Posizione del protocollo data link

servizi offerti dal livello:

- servizio senza conferma e senza connessione (sistemi affidabili (Ethernet) o real-time)
- servizio con conferma e senza connessione (sistemi wireless)
- servizio con conferma e orientato alla connessione (stabilisce una connessione prima del trasferimento dati)

dipendenza dal mezzo fisico per la scelta del servizio

Impacchettamento (framing)

flusso di bit

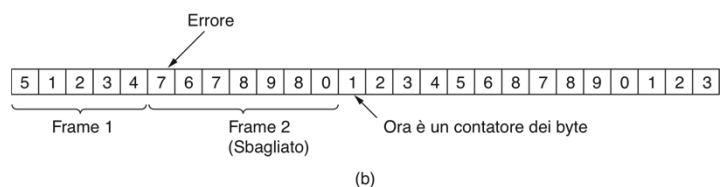
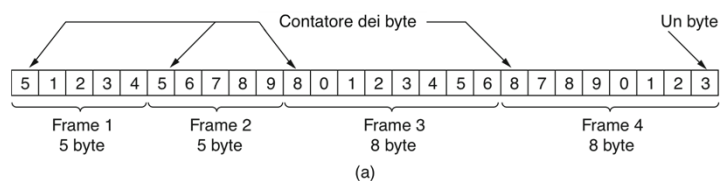
suddivisione del flusso ed algoritmo di controllo (checksum)

metodi di suddivisione:

1. conteggio dei caratteri (o byte)
2. flag byte con byte stuffing (ex: Start TeXt (STX) End TeXt (ETX))
3. indicatori (sequenze di bit) di inizio e fine, con bit stuffing
4. violazioni della codifica del livello fisico

7

1. Conteggio dei caratteri: un campo dell'intestazione riporta il totale dei caratteri



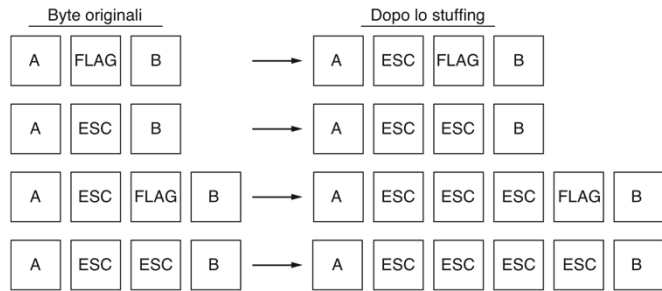
Flusso di caratteri. (A) senza errori. (B) con un errore

8

2. indicatori di inizio e fine, con riempimento di byte (flag byte):



(a)



(b)

- (A) Frame delimitato dai byte di flag
- (B) Quattro esempi di sequenze di byte prima e dopo il byte stuffing

3. indicatori di inizio e fine, con riempimento di bit (bit stuffing):

- viene introdotto il byte indicatore (sequenza speciale) 01111110 con il quale inizia la trama.
- quando il livello data link del sorgente incontra cinque bit 1 consecutivi ne fa seguire uno 0 (bit di riempimento).
- quando il livello data link del destinatario sorgente incontra cinque bit 1 seguiti da uno 0, elimina quest'ultimo.

Così la trasmissione di 01111110, avverrà con 011111010, ma sarà registrata alla stazione di arrivo come 01111110

(a) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(b) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0

Bit sottoposti a stuffing

(c) 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0

(il controllo prevede l'analisi di tutta la sequenza ricevuta)

4. violazioni della codifica del livello fisico:

codifica nelle LAN che associano ad un bit due bit fisici (due transizioni);

ad esempio: se 1 è rappresentato dalla coppia alto-basso e 0 è rappresentato dalla coppia basso-alto, la delimitazione del frame potrà essere rappresentata dalla coppia alto-alto o basso-basso.

Controllo degli errori:

tipico delle trasmissioni con conferma (positiva/negativa)

timer della trama (con ack di riscontro prima dello scadere)

numeri progressivi delle trame (evita duplicazioni al liv.rete)

Controllo del flusso:

trasmissione veloce  ricezione lenta

criterio di autorizzazione alla trasmissione da parte del destinatario:

- Controllo di flusso tramite feedback (retroazione)
- Controllo di flusso tramite limitazione velocità (meccanismo contenuto all'interno del protocollo)

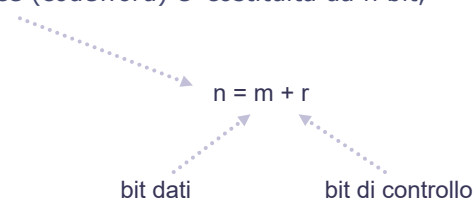
Rilevazione e correzione degli errori

1. Codici di correzione degli errori
2. Codici di rilevamento degli errori

1. Codici di correzione degli errori (o correzione d'errore in anticipo):

Nel messaggio inviato e ricevuto esistono sufficienti informazioni per correggere l'eventuale errore;

parola di codice (codeword) e' costituita da n bit,



Si dice che due stringhe hanno **distanza di Hamming d** quando saranno necessari d errori di singoli bit per convertire l'una nell'altra:

codeword iniziale	10001001	
codeword finale	<u>10110001</u>	
(impiego dell'OR esclusivo)	00111000	$d=3$

la proprietà di un codice di rilevare e correggere gli errori e' funzione della distanza di Hamming (per rilevare d errori la distanza di Hamming sara' almeno $d+1$)

bit di parita' (pari o dispari):

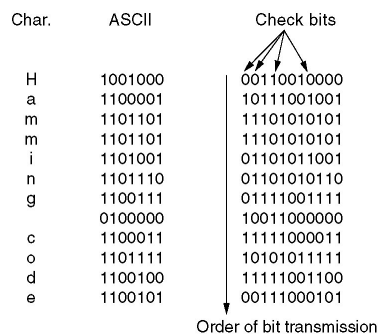
es. (parita' pari)	10110101	101101011
es. (parita' dispari)	10110101	101101010

un codice con un bit singolo di parita' ha distanza $d=2$ poiche' ogni errore di un singolo bit produce una parola con la parita' sbagliata

correzione di errori a raffica:

anziché inviare una singola parola per volta con bit da destra a sinistra, vengono inviate intere colonne da sinistra a destra e ricostruite e verificate all'arrivo

i bit potenza di 2 sono i bit di controllo (posizioni 1, 2, 4, 8,.....)



2. Codici di rilevamento degli errori

nel messaggio inviato e ricevuto esistono informazioni per capire se esiste un errore e chiedere la ritrasmissione

bassi tassi di errore 10^{-6} - 10^{-8} errori per bit trasmessi in funzione della tecnologia adottata

al minimo basta trasmettere un solo bit di controllo per blocco (trama)

per maggior sicurezza si impiega il:

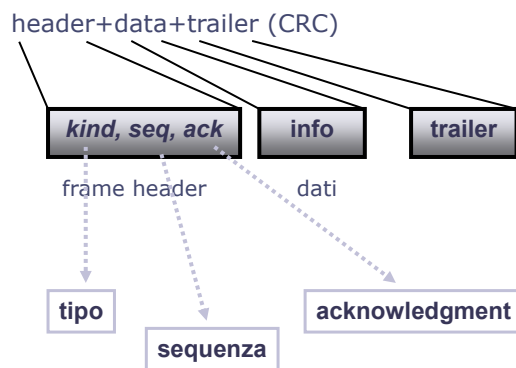
codice polinomiale o controllo ciclico di ridondanza: CRC code

una trama di k bit e' vista come un polinomio $x^{k-1} + \dots + x^0$ ovvero un polinomio di grado k-1
(addizioni e sottrazioni con impiego dell'OR esclusivo)

mittente e destinatario concordano un *polinomio generatore* $G(x)$ che determina una somma, *check-sum*, che viene attaccata in coda al pacchetto e ricontrollata all'arrivo (non dovra' dare resto)

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

Protocolli elementari del livello di collegamento



1. protocollo simplex non limitato

dati trasmessi in una sola direzione

buffer infinito

una procedura mittente e una destinatario

invia velocemente

solo campo info

si aspetta solo frame corrette

- Nei livelli fisico, data link e network, ci sono processi HW o SW indipendenti, che comunicano tra loro, ad esempio, scambiandosi messaggi.
- Quando il SW di livello data link riceve un pacchetto dal livello network, lo incapsula tra un header ed un trailer contenenti informazioni di controllo; quindi vengono calcolati la checksum ed i delimitatori (di norma a cura di un HW apposito di livello data link).
- In ricezione, l'HW di livello data link identifica i delimitatori, estrae il frame, ricalcola la checksum:
 - Se è sbagliato, il SW di livello data link viene informato dell'errore;
 - Se è corretto, il SW di livello data link riceve il frame (senza più checksum).

- Il SW di livello data link, quando riceve un frame, esamina le informazioni di controllo (header e trailer):
 - Se tutto è OK, consegna il contenuto, e solo quello, al livello network.
 - Altrimenti intraprende le azioni necessarie per ottenere un frame corretto, e non consegna pacchetto/i al livello network.

2. protocollo simplex stop and wait

non invia, comunque, velocemente

frame di riscontro dal destinatario al mittente (dummy)

il canale e' sempre occupato da una trasmissione monodirezionale:
in una direzione frame e successivamente in quella opposta ack

con buffer, senza buffer (collegamento-rete)

3. protocollo simplex per canale disturbato

danneggiamento o perdita frame

- invio corretto al destinatario che invia una conferma
- frame danneggiamento (checksum), timer scaduto, reinvio

danneggiamento di un frame di riscontro (fallimento coll. A-B)

distinzione frame già' trasmessi

numerazione della sequenza con 1 e 0 successivi, protocolli:

PAR (Positive Acknowledgement with Retransmission)

o

ARQ (Automatic Repeat reQuest)

Protocolli a finestra scorrevole (sliding window)

protocollo duplex

due canali fisici separati

due canali fisici sottoutilizzati

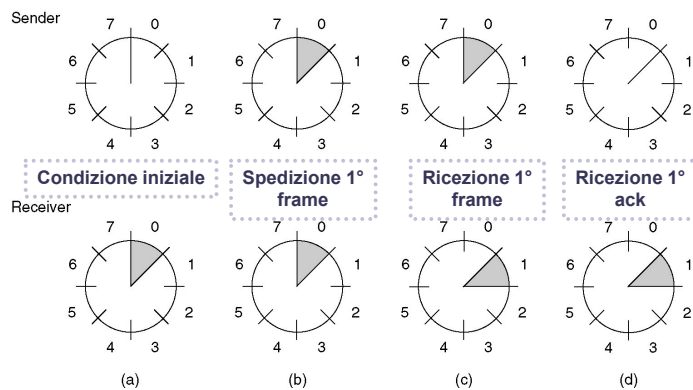
si posticipa l'invio dell'ack (campo kind) del frame pervenuto da A a B, "attaccandolo" al frame dati successivo da B a A;

tecnica di ritardo della conferma: *piggybacking*

il rischio che l'ack venga "attaccato" troppo tardi e il frame, senza conferma, reinviato; così e' a volte conveniente inviare da solo l'ack

si introduce una temporizzazione assoluta detta *sliding window* con un numero progressivo da 0 a 2^n-1 (campo di n bit di lunghezza)

Si distingue in finestra di trasmissione (sending window) e finestra di ricezione (receiving windows)



Protocollo sliding window di 1 solo bit (sliding window 1)

stop-and-wait: viene inviato un frame da A a B e A non reinvia sino all'arrivo di un ack da B

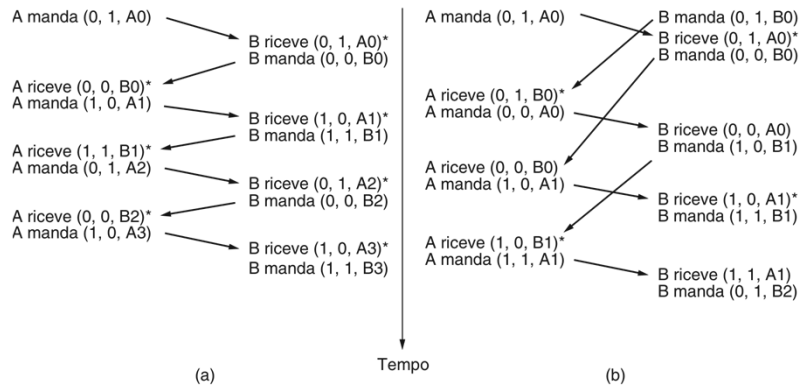
frame 0 consegnato dal liv. rete di A e inviato da A a B

frame 0 consegnato dal liv. rete di B e inviato da B a A

se il timer del frame 0 di A e' troppo corto questo verra' reinviato

(seq=0, ack=1), e B scartera' tutti quelli uguali poiche' ne attende uno con seq=1, e poiche' l'ack sara' ancora 1 e ne attende invece uno 0, non carichera' nessun frame da liv. rete

non esisteranno duplicazioni o pacchetti saltati



in (b) casi di contemporaneità dell'invio iniziale
(seq, ack, packet number)

(a) non ci sono duplicati

(b) ci sono duplicati ma senza errori di trasmissione

Protocollo go back n
Protocollo a ripetizione selettiva

si consideri un tempo limite di trasmissione

si sostituisce il concetto seq-ack con piu' frame, w, inviabili prima del blocco dell'invio per mancato pervenimento dell'ack

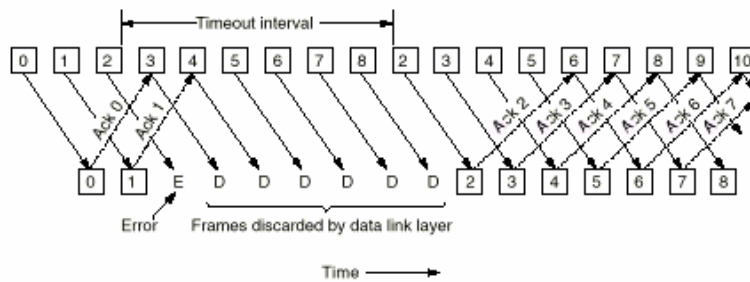
con w=10, prima dell'invio del 10⁰ frame dovra' essere pervenuto ack=0

tecnica di pipelining

e' strettamente legata alla velocita' di propagazione della linea utilizzata (aumento dell'efficienza)

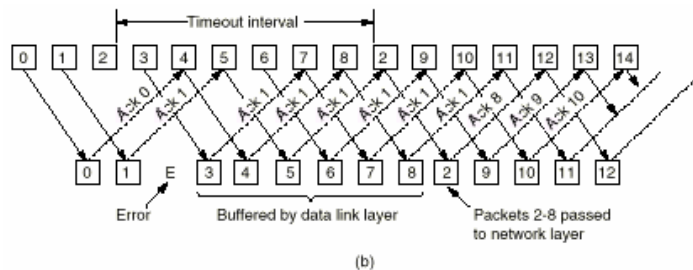
errori di trasmissione di un frame i-simo in una sequenza di w

1. si adotta la tecnica di *go back n* (indietroreggiamento) che consente di bloccare tutti gli ack da 1 in poi:



35

2. si adotta la tecnica di *ripetizione selettiva*, viene ripetuto il solo frame errato:

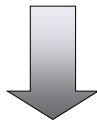


(b)

36

HDLC (High Level Data Link Control)

SDLC (Synchronuos Data Link Control)

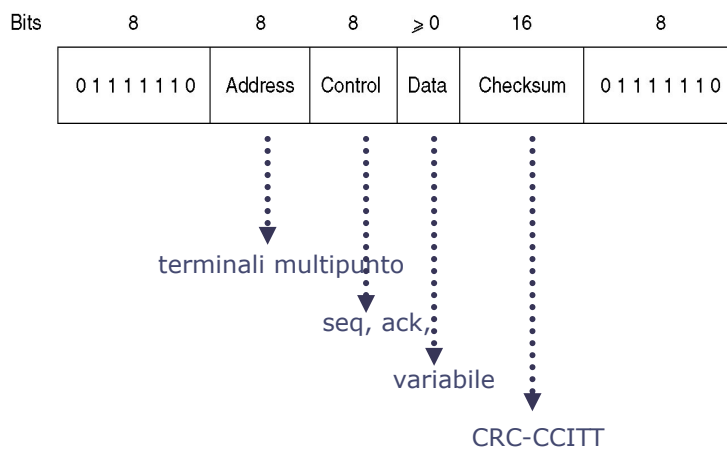


HDLC (ISO)

riempimento di bit (bit stuffing)

37

HDLC

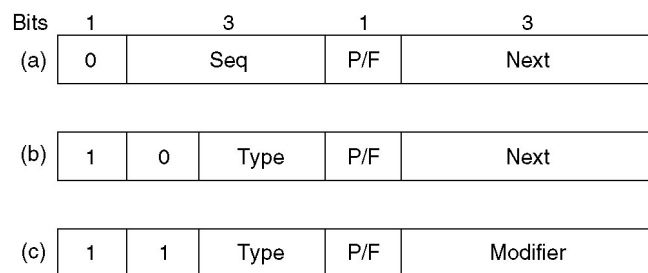


38

HDLC

campo Control a 8 bit:

- (a) Un frame di informazioni
- (b) Un frame di supervisione
- (c) Un frame senza numero



HDLC

sliding window: $n=3$, ack dopo max 7 frame

(a) information frame

Seq: progressivo frame

Next: ack con piggyback (normalmente e' riempito solo per il prossimo frame atteso)

P/F (Poll/Final): computer/concentratore (dal primo frame settato P, ultimo frame settato F)

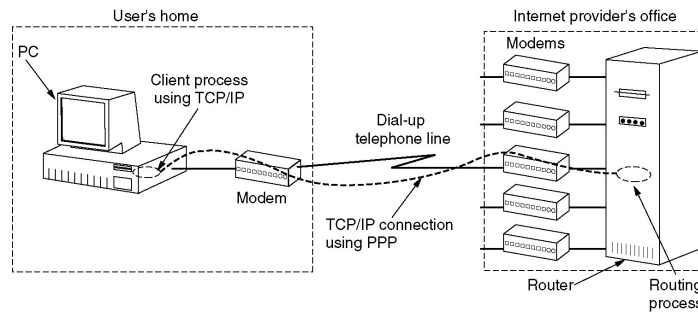
Il Livello di Collegamento		II - 2
		HDLC
(b) supervisory frame		
Type 0: RECEIVED READY, in ricezione		
Type 1: REJECT, errore di trasmissione		
Type 2: RECEIVED NOT READY, blocca la ricezione		
Type 3, SELECTIVE REJECT, ritrasmissione di particolari frame		
(c) unnumbered frame		
sono usate:		
	- per trasmissioni senza conferma	
	- per trasmissioni di controllo	
Reti di calcolatori	41	Prof. Gianni Fenu

41

Il Livello di Collegamento		II - 2
		HDLC
Comandi:		
	- DISC: disconnessione	
	- SNRM: Set Normal Response Mode (connesso in attesa, master-slave)	
	- SABM: Set Asynchronous Balanced Mode (connesso in attesa, bilanciato)	
	- FRMR: FraMe Rejected	
Reti di calcolatori	42	Prof. Gianni Fenu

42

Internet Data Link:



43

protocollo **SLIP** (RFC 1055 – RFC 1144)

- non gestisce gli errori
- supporta solo IP
- IP number assegnato (non gestisce l'assegnazione dinamica)
- non ha autenticazione

44

Il Livello di Collegamento II - 2

PPP

protocollo **PPP** (RFC 1661, 1662, 1663)

- gestisce gli errori
- supporta oltre IP anche altri protolli
- IP number assegnato dinamicamente
- permette l'autenticazione

Byte	1	1	1	1 oppure 2	Variabile	2 oppure 4	1
	Flag	Address	Control	Protocol	Payload	Checksum	Flag
	01111110	11111111	00000011		}}		01111110
					}}		

Reti di calcolatori45Prof. Gianni Fenu

45

Il Livello di Collegamento II - 2

PPP

protocollo di instaurazione, mantenimento e rilascio della linea, LCP (Link Control Protocol)

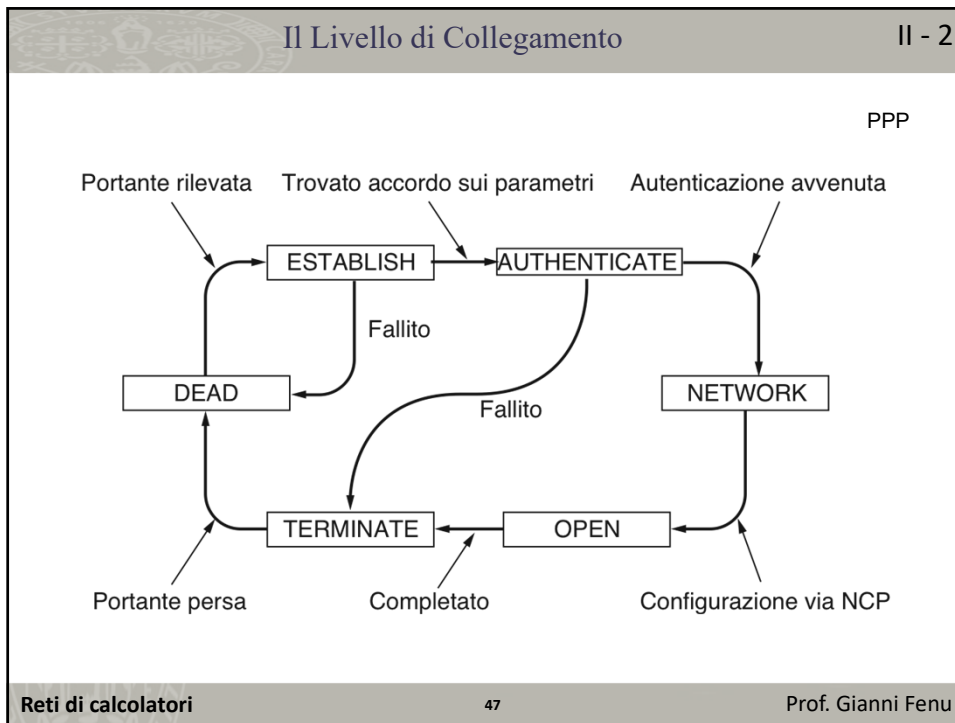
protocollo di negoziazione verso il livello rete diverso per singolo host, NCP (Network Control Protocol)

orientato al byte e non al bit come HDLC

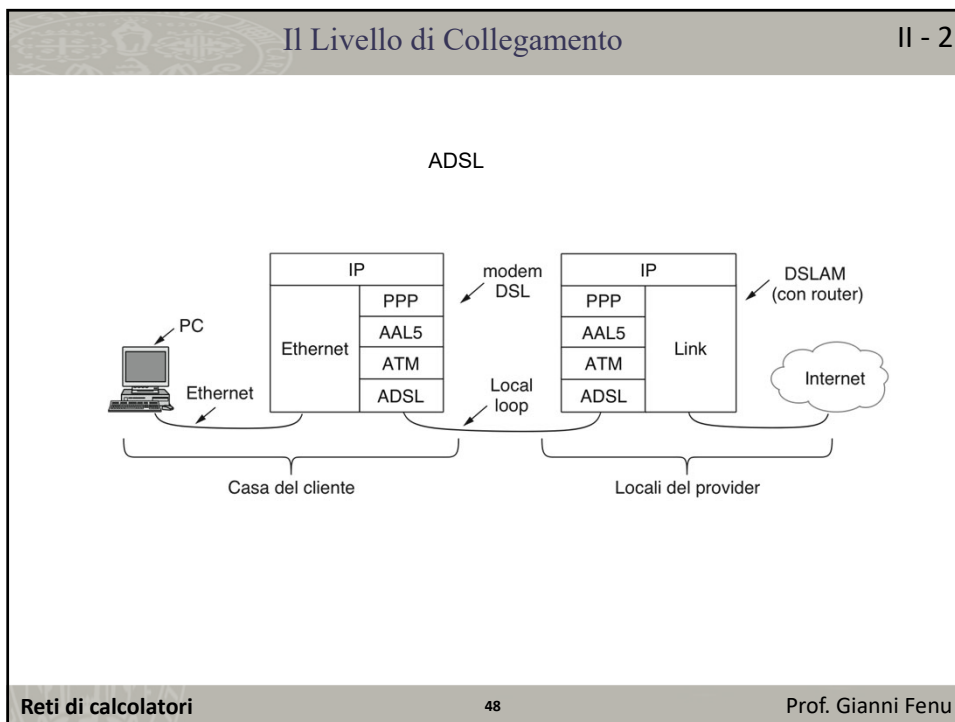
Byte	1	1	1	1 oppure 2	Variabile	2 oppure 4	1
	Flag	Address	Control	Protocol	Payload	Checksum	Flag
	01111110	11111111	00000011		}}		01111110
					}}		

Reti di calcolatori46Prof. Gianni Fenu

46



47



48