

Rete: livello fisico e collegamento dati

Indice

1. Livello fisico
 - 1.1 Definizioni
 - 1.2 Rete telefonica pubblica commutata
 - 1.3 Altre tipologie di rete
2. Livello del collegamento dati
 - 2.1 Servizi
 - 2.2 Protocolli
3. PPP

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 300

Rete: livello fisico

Definizioni - 1

- **Baud**: velocità del segnale → numero di configurazioni rappresentabili per unità di tempo (1 s.)
 - La codifica di ciascuna configurazione (il segnale) determina il numero di *bit* trasmessi per 1 s.
 - Segnale 0/1 → 1 *bit* → **baud** = *bit rate*
 - Segnale 0..7 → 3 *bit* → **bit rate** = 3 **baud**
 - Dato un **baud** b, l'invio di N *bit* richiede N/b s (bps)
- **Decibel (dB)**: $10 \log_{10}$ volte il rapporto tra la potenza del segnale **S** e quella del disturbo **N**
 - $S/N = 10 \rightarrow 10 \text{ dB}$; $S/N = 1000 \rightarrow 30 \text{ dB}$
- **Teorema di Shannon**: la massima capacità di un canale dati disturbato è $= \phi \log_2 (1+S/N)$ bps
 - Con ϕ frequenza trasmissiva (banda) del canale
 - $\phi = 3 \text{ kHz}$; $30 \text{ dB} \rightarrow \sim 30 \text{ kbps}$

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 301

Rete: livello fisico

Definizioni - 2

- **Twisted pair (TP)**: due sottili fili di rame isolati legati in configurazione ad elica (*twisted*) per ottenere minima interferenza
 - Tipica applicazione: linee telefoniche
- **Cavo coassiale**: anima di rame avvolta in materiale isolante
 - Banda larga, segnale analogico, amplificato, 2 cavi paralleli per bidirezionalità
- **Fibra ottica**: sorgente che emette luce, fibra vetro di come veicolo trasmissivo, rilevatore
 - Singola fibra per singolo (flusso di) *bit*
- Senza fili (**wireless**): diffusione (**broadcast**) di onde elettromagnetiche

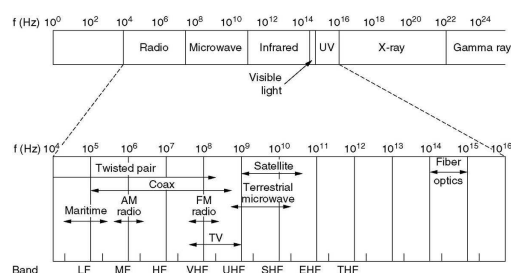
Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 302

Rete: livello fisico

Lo spettro elettromagnetico

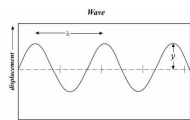


Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

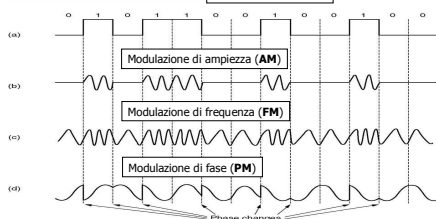
Pagina 303

Esempi di modulazione



L'altezza verticale da un riferimento dato è detta **ampiezza** (*amplitude*)
La distanza tra 2 massimi successivi è detta **lunghezza d'onda** (*wavelength*)

La **modulazione** è una tecnica di rappresentazione dell'informazione su un mezzo trasmissivo (nel caso, a propagazione di onde)



Livello fisico e di collegamento dati

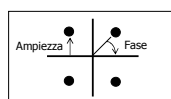
Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 304

Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 1

- **Ramo locale (local loop)**, connessione **TP**, analogica, tra terminale utente e nodo locale
 - Immissione e ricezione mediante dispositivo di **modulazione/demodulazione (modem)** che effettua conversione digitale ↔ analogico
 - L'uso combinato di più modulazioni permette di emettere più *bit* per **baud**



L'uso combinato di **AM** e **PM** dà luogo a 4 possibili configurazioni di segnale (= 2 *bit*) per **baud**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 305

Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 2

- **Connessione a pagamento (toll connecting trunk)** digitale tra nodo locale e nodo centrale (**toll office**) con registrazione dei costi
 - Centrali organizzate gerarchicamente per ampiezza crescente di area controllata
 - La medesima linea portante (**trunk**) viene condivisa (**multiplexed**) per più conversazioni simultanee
 - A **divisione di frequenza (FDM)**, tecnologia analogica
 - A **divisione di tempo (TDM)**, ricava dal segnale analogico codici numerici ad 8 bit campionati a 125 μ s $\rightarrow$ **codec**
 - La **trama (frame)** ottenuta su 1 periodo di campionamento viene suddivisa in 24 canali da 8 bit (7 dati, 1 controllo) ciascuno
 - Ne risulta una capacità trasmissiva di $7 \times (1 \text{ s.} / 125 \mu\text{s}) = 56.000 \text{ bps}$ **per canale**

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 306

Esempio di commutazione a divisione di tempo (USA)

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 307

Rete: livello fisico

Rete telefonica pubblica commutata - 3

- **Centrali di smistamento (switching office)** collegate tra loro e con nodi centrali con banda molto larga
 - Connessione fissa $\forall$ comunicazione (**circuit switching**)
 - Più comunicazioni per una stessa connessione fissa, (**packet switching**) in modalità **store-and-forward**
 - Pacchetti a dimensione fissa $\rightarrow$ più facile dimensionare la memoria dei router
 - Smistamento a **matrice completa (crossbar)** $N \times N$: troppe connessioni fisiche; non scala
 - Smistamento multi-livello a **divisione di spazio**: meno connessioni fisiche; massimo numero di comunicazioni simultanee determinato dalle connessioni dei livelli interni
 - Esempio: 3 livelli : $N/n (n \times k) \rightarrow k (N/n \times N/n) \rightarrow (k \times n) N/n$
 - Smistamento a **divisione di tempo**: permutazione della frazione di informazione periodica di canale (**time slot**) di ogni trama ordinata (**frame**) di ingresso $\rightarrow$ canale in ingresso connesso a canale di uscita

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 308

Esempi di interconnessioni

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 309

Rete: livello fisico

Altre tipologie di rete

- Esistono svariate altre modalità di connessione tra i nodi di una rete di elaboratori
 - Rete mobile terrestre (p.es.: **GSM**, *Global System for Mobile Communications*)
 - Reti satellitari
 - Reti via cavo, con condivisione del canale tra TV, radio e dati
- Schemi complessi di condivisione, per lo più basati su **TDM**

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 310

Rete: livello del collegamento dati

Servizi - 1

- Veicola sul livello fisico le unità informative ricevute dal livello rete, correggendo gli eventuali errori di trasmissione fisica
 - Il livello fisico **non** offre garanzie di consegna e tantomeno di consegna corretta
 - La soluzione è inviare unità dati delimitate (**frame**) sulle quali si possa effettuare verifica di correttezza
 - Trame prefissate con # di caratteri che la compongono
 - Delimitate da simboli noti e separatori
 - Usando ridondanza eventualmente fornita dal livello fisico

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 311

Rete: livello del collegamento dati Servizi - 2

- 3 tipologie di servizio offerte al livello di rete
 - Trasmissione senza connessione e senza conferma
 - Il nodo mittente invia *frame (trame)* indipendenti su percorsi non prestabiliti, senza aspettare conferma di ricezione
 - Velocità più importante di qualità
 - Senza connessione con conferma
 - Come sopra, con conferma di ricezione per ciascuna trama
 - La conferma a questo livello è più veloce e meno onerosa che ai livelli superiori
 - Con connessione e con conferma
 - La connessione è ottenuta assegnando un ordinamento alle trame e preservandolo nella trasmissione
 - Massima affidabilità, massimo costo

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 312

Rete: livello del collegamento dati Trattamento degli errori trasmissivi - 1

- **Errore** → dato letto ≠ dato scritto
 - **Cardinalità n**: differenza in *n bit* tra letto e scritto
- Codici di **rilevazione/correzione** d'errore
 - **C (codeword)** = **D** (dati) + **P** (controllo)
 - Errore rilevato → dati scartati
 - Errore corretto → dati sostituiti
- **Distanza** → # bit differenti tra parole di uguale lunghezza
 - Determinata da XOR tra le 2 parole
 - Distanza **d** → **d** errori convertono l'una nell'altra

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 313

Rete: livello del collegamento dati Trattamento degli errori trasmissivi - 2

- **Distanza di Hamming** (1915-98)
 - Il **minimo** delle distanze tra tutte le sue configurazioni legali di un codice
 - Codice con **dH $d+1$ rileva** errori di cardinalità **d**
 - Non bastano **d** errori per cambiare una *codeword* legale in un'altra legale
 - Codice con **dH $2d+1$ corregge** errori di cardinalità **d**
 - La *codeword* illegale con **d** errori è sostituita dalla *codeword* legale a minor distanza

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 314

Rete: livello del collegamento dati Trattamento degli errori trasmissivi - 3

- **Rilevazione di errore** → **codice di parità**
 - **Parità pari**: il # di 1 in **C** è pari
 - **Parità dispari**: il # di 1 in **C** è dispari
 - Codice con **dH ≥ 2** → rileva ≥ 1 errori singoli
- **Esempio (D: 3 bit, P: 1 bit, dH: 2)**
 - **C** legali
 - 0000, 0011, 0101, 0110, 1001, 1010, 1100, 1111
 - **C** illegali
 - 0001, 0010, 0100, 0111, 1000, 1011, 1101, 1110

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 315

Rete: livello del collegamento dati Trattamento degli errori trasmissivi - 4

- **Correzione di errore**
 - **Esempio (C: 10 bit, dH: 5** → correzione fino a 2 errori)
 - **C₁** legali
 - 0000000000, 0000011111, 1111100000, 1111111111
 - **C_e** letto, ma illegale
 - 0000000111
 - **d** (**C_e**, **C₁**) = {**C_e** XOR **C₁**}_{i=1..4} = {3, 2, 8, 7}
 - **C₂** è il codice a distanza minore
 - Se l'errore è solo doppio, allora **C_e** può essere corretto in **C₂**, altrimenti **C** non consente correzione

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 316

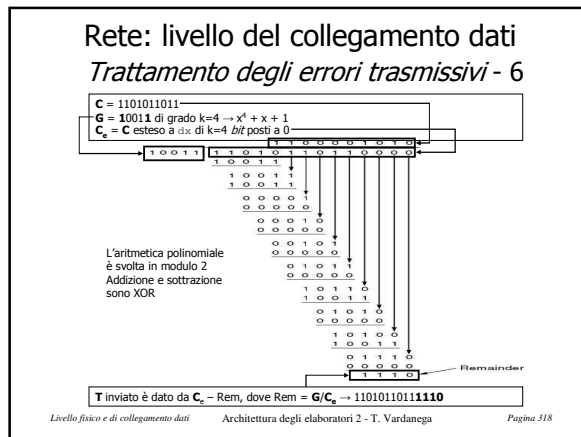
Rete: livello del collegamento dati Trattamento degli errori trasmissivi - 5

- **Codice di rilevazione di errore**
 - Quando il rapporto **D/C** è troppo oneroso si usa il metodo CRC (**cyclic redundancy code**)
 - Codice di controllo (**checksum**) aggiunto a **D**
 - **Checksum** di *k bit* calcolato come resto **R** della divisione, in aritmetica a modulo 2, di un **polinomio noto G** di grado *k* per **D** esteso a *dx* con *k bit* posti a 0
 - Il polinomio **G**, detto **generatore**, codificato come stringa di *k+1 bit* visti, da *sx* a *dx*, come i suoi coefficienti
 - Esempio di **G** standard di grado 16 (*k* = 16 + 1 bit)
 - **CRC-16** = $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1 \rightarrow 11000000000000101$
 - La trama **T** inviata è **R** sottratto da **D** esteso a *dx*
 - L'errore in ricezione apparirà come **T + E** dove **E** ha 1 per ogni *bit* invertito (mentre **T/G** = 0)

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 317



Rete: livello del collegamento dati
Protocolli - 1

- Problemi da risolvere
 - **Bilanciamento** dei flussi e delle capacità dei livelli adiacenti (rete, fisico)
 - Per non sovraccaricare alcuno e per limitare il bisogno di memoria temporanea
 - Supporto di **traffico bi-direzionale** (*full-duplex*)
 - Ogni nodo può essere simultaneamente mittente e destinatario
 - Gestione degli **errori** e delle **conferme** di ricezione
 - Arrivi ritardati e/o mancati
 - **Interallacciamento** (*interleaving*) ottimale nell'invio di trame dati e trame controllo

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 319

Rete: livello del collegamento dati
Protocolli - 2

- **SWP**: finestre scorrevoli, *sliding windows*
 - Stessa connessione fisica per invio dati (*forward*) e conferme di ricezione (*reverse*)
 - **Piggybacking**: conferma allegata alla 1^a trama dati emessa nella direzione giusta
 - Aggiunge ritardo, ma risparmia una trama
 - Il mittente che attende conferma deve tollerare il ritardo
 - Ciascuna trama in uscita ha numero d'ordine
 - Il mittente può emettere solo le trame con numero d'ordine in un intervallo (finestra) dato
 - Lo stesso vale per la ricezione del destinatario

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 320

Rete: livello del collegamento dati
Protocolli - 3

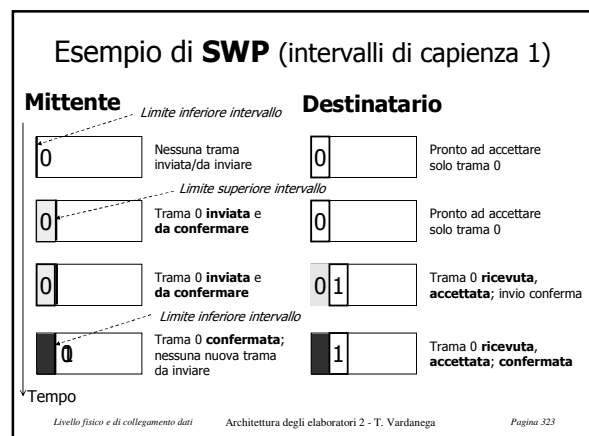
- **SWP** dal lato mittente
 - **Intervallo** = numero d'ordine di trame **consecutive** inviate/da inviare ed in attesa di conferma
 - L'intervallo è inizialmente **vuoto**, ha capacità fissata, raggiunta la quale il protocollo **blocca** il mittente
 - $\forall$ nuovo pacchetto arrivato dal livello rete, il numero d'ordine avanza di 1 e l'intervallo si amplia di 1 valore
 - $\forall$ conferma di ricezione l'intervallo si riduce di $n \geq 1$ valori, dal suo limite inferiore fino al numero d'ordine della trama confermata
 - Ogni trama di numero d'ordine compreso nell'intervallo deve essere mantenuta in memoria fino alla conferma, in previsione di un possibile reinvio
 - Ogni trama non confermata entro un tempo limite (**time-out**) deve essere rimessa

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 321

Rete: livello del collegamento dati
Protocolli - 4

- **SWP** dal lato destinatario
 - L'intervallo, sempre di massima ampiezza, racchiude il numero d'ordine delle trame accettabili
 - Ogni trama in arrivo con numero d'ordine fuori dall'intervallo viene **scartata**
 - La trama di numero d'ordine **minore** nell'intervallo viene accettata e passata al livello rete, inviando conferma al mittente e spostando di 1 in avanti il limite inferiore dell'intervallo
 - Questo **preserva** l'ordine di invio al livello rete

Livello fisico e di collegamento dati Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega Pagina 322



Rete: livello del collegamento dati

Protocolli - 5

- **SWP** con intervalli $w = 1$ forza **sincronizzazione** tra mittente e destinatario
- Il ritardo nell'arrivo della conferma può essere molto lungo, con conseguente emissione di inutili duplicati
- Meglio scegliere $w > 1$ (**pipelining**), che però richiede gestione intelligente delle ritrasmissioni
 - **Go-back-n**: il destinatario scarta tutte le trame successive alla prima in errore (corrotta o fuori ordine)
 - Equivale a $w = 1$ per il destinatario
 - Il mittente deve retrocedere alla 1a trama non confermata
 - **Selective-repeat (SRP)**: il destinatario conserva e conferma le trame successive a quella erronea fino al re-invio da parte del mittente, dopo di che le passa al livello rete
 - Richiede molta memoria per conservare trame
- Ciascuna trama ha un suo specifico **time-out**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 324

Rete: livello del collegamento dati

Protocolli - 6

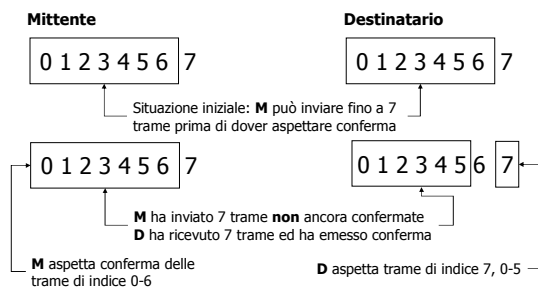
- **SRP** dal lato destinatario
 - Conferma al mittente ed invio al livello rete di **tutte le sequenze** di trame pervenute in ordine **corretto**
 - L'intervallo di ricezione avanza corrispondentemente
 - **Salvataggio** in memoria locale, senza conferma, di trame pervenute **fuori ordine** (per errori o ritardi)
 - L'intervallo di ricezione **non** avanza
 - Le trame non confermate saranno prima o poi re-inviolate dal mittente
 - $\forall$ sequenza correttamente ricostituita, conferma di tutte quelle in sequenza, consegna al livello rete ed avanzamento dell'intervallo di ricezione

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 325

Esempio di **SRP** ($w = 7$, indice di trama su 3 bit)



Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 326

Rete: livello del collegamento dati

Problematiche causate da **SRP** - 1

- **D** non può sapere se **M** abbia effettivamente ricevuto le conferme inviate
- Le conferme possono essere perse così che **M** potrebbe rimettere trame già accettate da **D**
 - Lo **stesso** indice di trama può allora assumere significato **diverso** per **M** (= ripetizione) e per **D** (= nuovo) se **D** sovrapponesse il proprio nuovo intervallo a quello precedente
 - Nell'esempio, $w(D_{prima}) \cap w(D_{dopo}) = \{0, \dots, 5\}$ così che 6 indici hanno significato **ambiguo** per **D**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 327

Rete: livello del collegamento dati

Problematiche causate da **SRP** - 2

- **D** deve saper distinguere trame ripetute e trame nuove
 - Gli indici corrispondenti devono essere in insiemi diversi
- Meglio allora che l'intervallo di ricezione di **D** abbia ampiezza $\leq$ **metà** del massimo numero d'ordine di trama
 - In questo modo, per **D**, l'intervallo delle trame confermate **non può** sovrapporsi con quello delle nuove trame accettabili

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 328

Rete: livello del collegamento dati

PPP - 1

- **Point-to-Point Protocol (PPP)**
 - La sua struttura di trama ne identifica chiaramente gli estremi e consente rilevazione di errori
 - 1 trama = N byte (caratteri) per N intero (*padding di bit*)
 - 2 protocolli interni per configurarsi alla connessione fisica in uso ed al tipo di livello rete sovrastante
 - **LCP** (*Link Control Protocol*) $\rightarrow$ connessione fisica
 - **NCP** (*Network CP*) $\rightarrow$ livello rete (IP od altro)
 - Consente connessioni non permanenti (*dial-up*)
 - Le prime e le ultime trame di ciascuna connessione trasportano informazioni di controllo **LCP** ed **NCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 329

Rete: livello del collegamento dati PPP - 2

- **Esempio:** connessione TCP/IP, via **modem**, tra PC (nodo mittente, M) ed ISP (nodo *router*, R)
 - Selezione dei parametri di configurazione della connessione PPP tra M ed R
 - Le trame contengono informazioni **LCP** di controllo
 - Assegnazione di un indirizzo IP ad M
 - Uno tra quelli disponibili ad R, assegnato solo per la connessione corrente
 - Le trame contengono informazioni **NCP** di controllo per richiedere (M) e specificare (R) l'indirizzo IP
 - Fine della connessione
 - Rilascio dell'indirizzo IP → trame con informazioni **NCP**
 - Rilascio della connessione fisica → trame con informazioni **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 330

Rete: livello del collegamento dati PPP - 3

- Trama **PPP** è suddivisa in 6 campi
 - **Delimitatore (flag)**, 2×1 B, obbligatorio, a contenuto fisso, posto in testa ed in coda alla trama
 - **Indirizzo + Controllo**
 - **Modalità non numerata** : $1+1$ B, a contenuto fisso
 - I nodi a livello 2 non hanno indirizzo, le trame non hanno numero di sequenza
 - Possono essere omessi da configurazione **LCP** (2 B di controllo risparmiati per trama)
 - **Modalità numerata** : $2 \times 1-2$ B, con identificatore di nodo
 - Le trame hanno numero di sequenza
 - **Protocollo**, obbligatorio
 - 1-2 B, definiscono il **tipo** di pacchetto trasportato, inclusi **LCP** ed **NCP**, oltre ad **IP**, **AppleTalk** ed altri
 - Può essere ridotto ad 1 B da configurazione **LCP**

Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 331

Rete: livello del collegamento dati PPP - 4

- Trama **PPP** ... (segue)
 - **Dati (payload)**, ampiezza variabile, con massimo fissato da configurazione **LCP**
 - Può richiedere *padding*
 - **Controllo (checksum)**, 2-4 B
 - Ampiezza fissata da configurazione **LCP**
- PPP è un **contenitore di protocolli** che utilizzano trame
 - Si adatta a più connessioni fisiche, a diversi livelli di rete, e consente vari formati interni

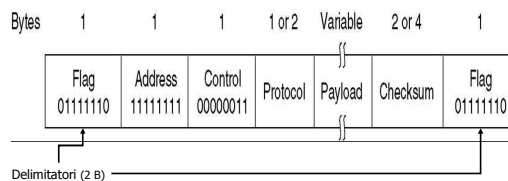
Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 332

Rete: livello del collegamento dati PPP - 5

Formato di 1 trama **PPP** completa per modalità non numerata



Livello fisico e di collegamento dati

Architettura degli elaboratori 2 - T. Vardanega

Pagina 333