



**Corso di Reti e Sistemi operativi  
(materiale di Antonio Capone  
Politecnico di Milano)**

---

## Introduzione alle reti di telecomunicazione

1



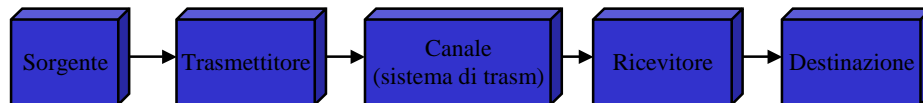
## Reti e Trasmissione

---

- Cos'è una rete di telecomunicazione?
  - Una rete di telecomunicazione è definibile come l'insieme di dispositivi, canali trasmissivi e procedure mediante le quali due dispositivi d'utente, remoti ed attaccati alla rete, possono scambiarsi dell'informazione
  - Lo scambio di informazione tra due utenti coinvolge una lunga serie di aspetti spesso complessi che occorre analizzare partendo da semplici modelli

2

## Reti e Trasmissione



3

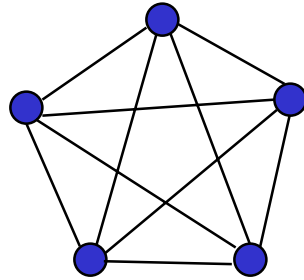
## Problematiche

- generazione del segnale
  - segnali adatti al mezzo
  - segnali analogici e segnali digitali
- vincoli del mezzo trasmissivo: capacità del canale (bit/s)
- errori di ricezione
  - rumore, disturbi, interferenza
- sincronismo di simbolo
- semantica dei messaggi
- messaggi di servizio (segnalazione)

4

## Collegamento tra più utenti

- N utenti

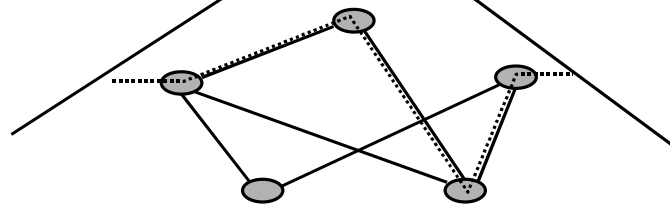
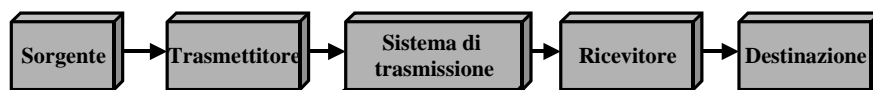


$N(N-1)/2$   
collegamenti

- **necessità di condividere le risorse**

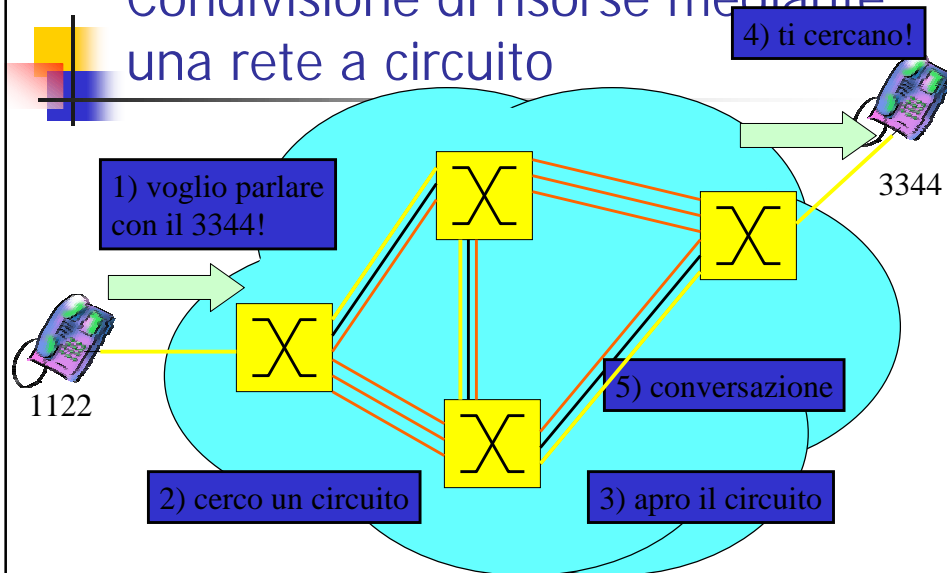
5

## mediante una rete a circuito



6

## Condivisione di risorse mediante una rete a circuito



7

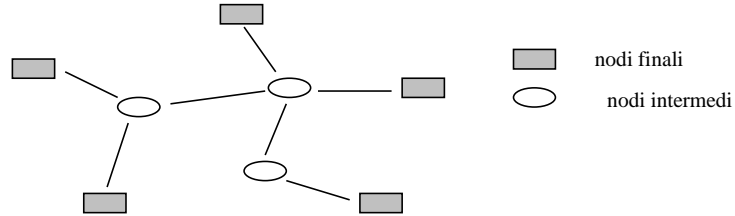
## Funzionalità di una rete



- segnalazione utente-rete
  - instradamento
  - segnalazione di rete
  - commutazione
  - fasi
    - instaurazione del collegamento
    - trasferimento dati
- ➡ commutazione di circuito

8

# Sistemi finali e nodi di commutazione

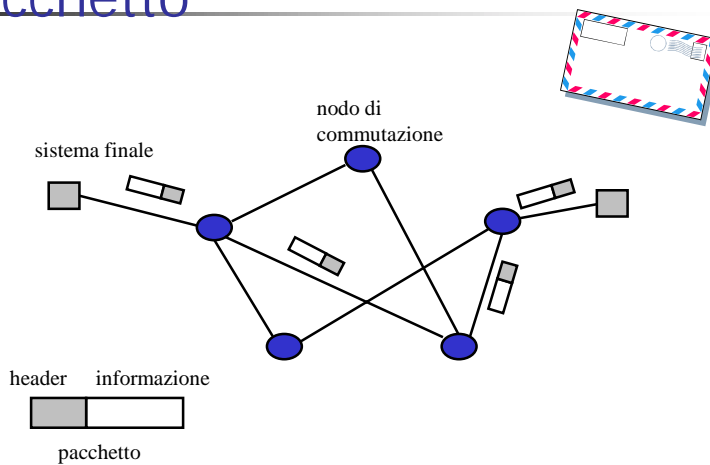
- sistemi finali (end-systems)
- nodi di commutazione (switching nodes)



- canali half-duplex 
- canali full-duplex 

9

# Condivisione mediante il pacchetto



10

## Classificazioni delle reti

- reti a circuito
- reti a pacchetto

- **reti pubbliche**
- **reti private**

- **reti telefoniche**
- **reti dati**

- **LAN**
- **MAN**
- **WAN**

11

## Tematiche

- conversione dell'informazione in segnali
- studio delle caratteristiche dei segnali
- trasferimento di segnali attraverso un mezzo trasmissivo
- studio del rumore e dei suoi effetti



**Comunicazioni Elettriche**

12

## Tematiche

- organizzazione dell'informazione in unità informative
- instaurazione di un percorso nella rete
- procedure e regole di colloquio tra dispositivi
- procedure per la condivisione delle risorse da parte di più flussi informativi
- ecc.



**Reti di telecomunicazione**

13

## Modelli funzionali

- La struttura coinvolge una complessa serie di aspetti
- la descrizione e l'analisi viene semplificata dalla formalizzazione in modelli



14

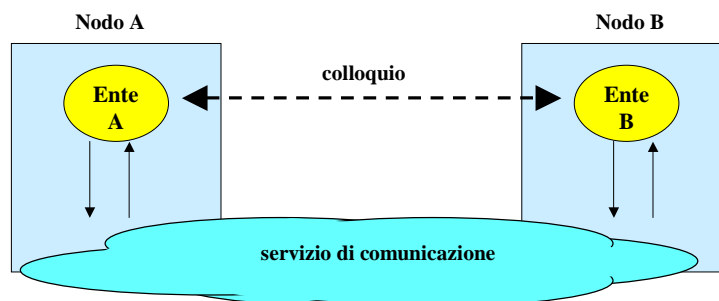
## Modelli funzionali

- i modelli aiutano a descrivere in modo formale i sistemi e le loro funzionalità
- *a che livello avviene un colloquio?*
  - colloqui
    - utente-utente
    - utente-rete
    - colloqui per trasferimento di informazione
    - colloqui per segnalazione
    - ecc.

15

## Il servizio di comunicazione

- due o più entità (nodi)
- sistema di comunicazione per scambio di messaggi  
il sistema di comunicazione si può modellare come un  
*"fornitore del servizio di trasporto dell'informazione"*

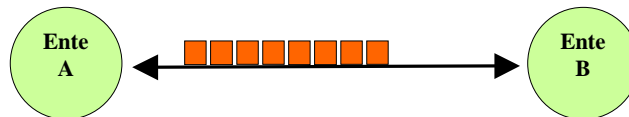


16



## Il servizio di comunicazione

- ◆ E' basato sul servizio di trasporto, ossia lo scambio di informazione fra due "entità"
- ◆ è visto come un servizio di trasferimento di unità informative
  - bit
  - gruppi di bit (trame o pacchetti)
  - files
  - flussi multimediali



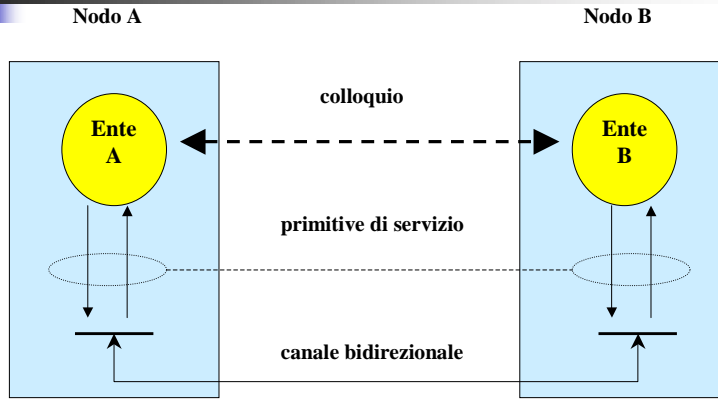
17

## Il servizio di comunicazione

- il servizio di comunicazione può essere descritto mediante delle *chiamate di servizio* dette primitive di servizio
- le primitive di servizio servono a descrivere il servizio, a richiederlo e a ricevere informazioni sul servizio dal fornitore
- le primitive di servizio sono caratterizzate da parametri tra cui:
  - informazione da trasferire
  - indicazione del destinatario
  - caratteristiche del servizio richiesto
  - ecc.

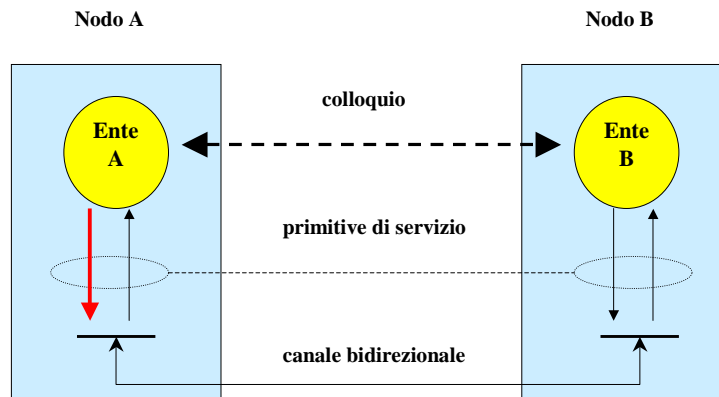
18

# Entità colloquanti tramite primitive



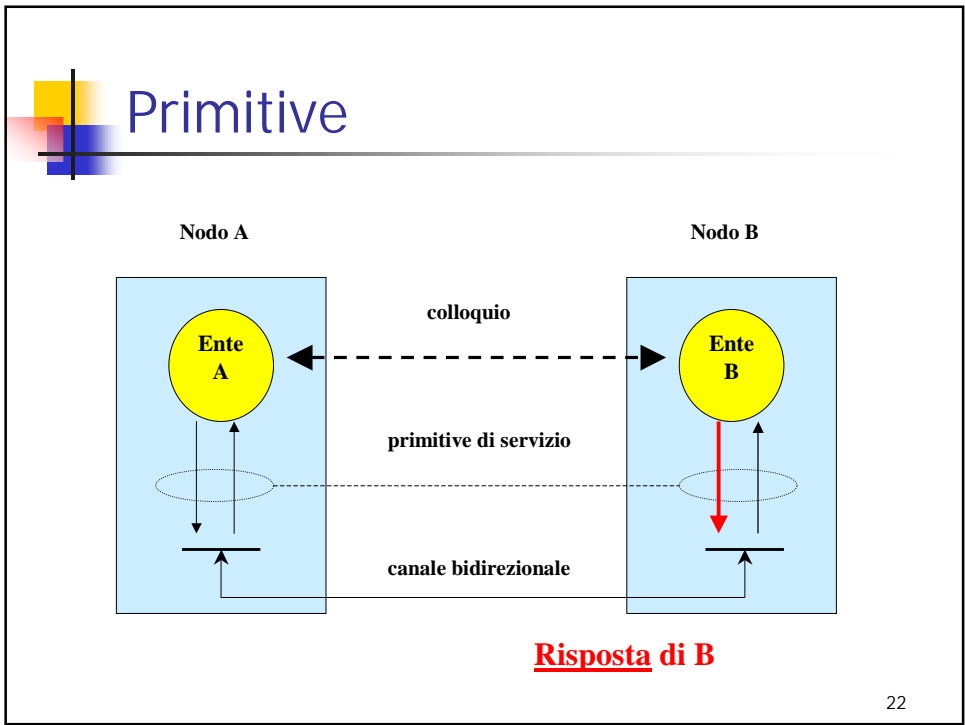
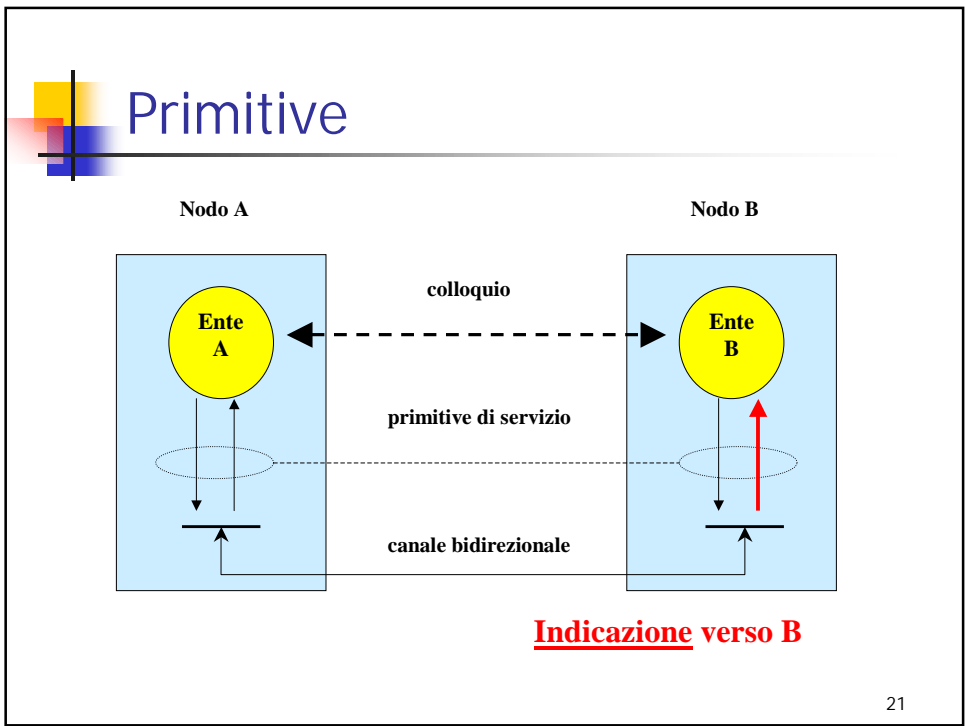
19

# Primitive

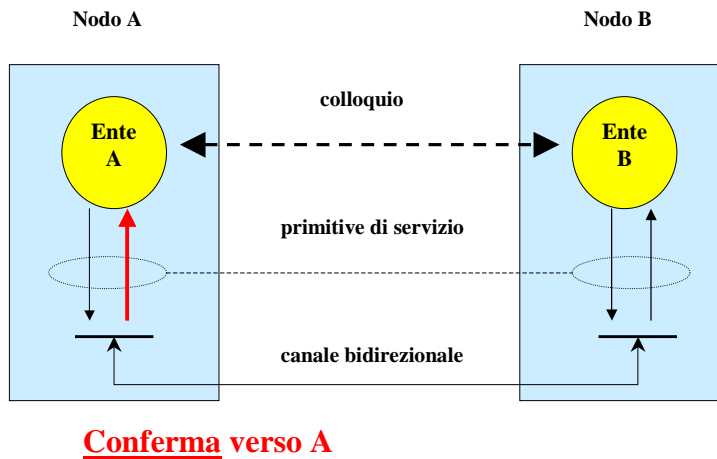


**Richiesta di A**

20



## Primitive



23

## Primitive

- servono a chiedere il servizio e essere informati dell'esito della richiesta
- hanno significato locale tra fornitore e cliente del servizio
- non sono legate direttamente al modo con il quale il fornitore effettua il servizio
- devono contenere tutte le informazioni necessarie al fornitore

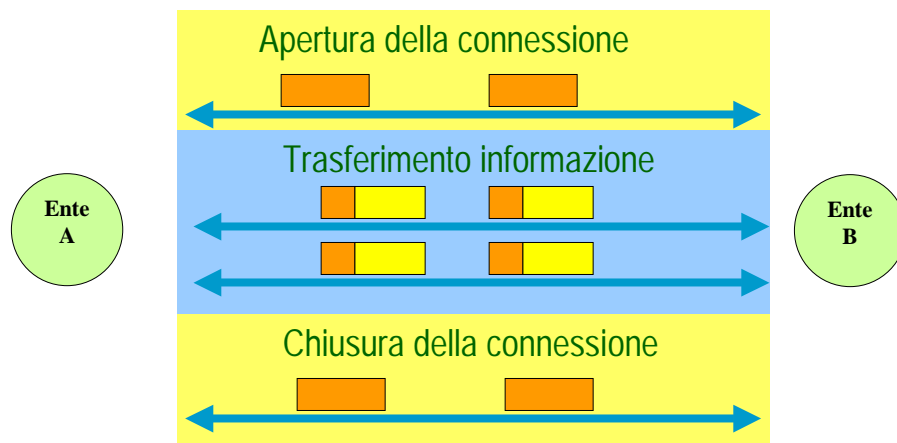
24

## Modalità di comunicazione

- modalità a connessione
  - instaurazione della connessione
  - trasferimento dell'informazione
  - rilascio delle connessione
- modalità senza connessione
  - una sola fase

25

## Servizio a connessione



26



## Servizio a connessione

---

Si distinguono 4 fasi

- ◆ chiamata
  - si instaura la sessione e ci si mette d'accordo sulle modalità di svolgimento della sessione
- ◆ trasferimento dell'informazione
- ◆ fase di rinegoziazione (anche multipla)
- ◆ abbattimento

27



## Servizio a connessione

---

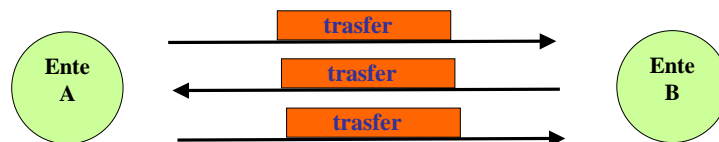
Consente l'espletamento di servizi aggiuntivi, ad esempio

- ◆ accordo sulle modalità di scambio e sugli apparati
- ◆ legame logico (numerazione) fra i dati scambiati
  - controllo d'errore
  - controllo di flusso
  - controllo della qualità
- ◆ Possono esserci più connessioni attive separatamente

28

## Servizio senza connessione

- ◆ Il trasferimento dati avviene in modo autonomo, senza preventivo accordo
- ◆ non lega fra loro i diversi trasferimenti effettuati fra gli stessi utenti
- ◆ non consente i servizi tipici del trasferimento a connessione



29

## Esempi di colloquio a connessione

- ◆ Un caso particolare è la connessione telefonica, in cui le PDU trasmesse sono i bit
- ◆ Protocolli di livello 2: HDLC, LAPB, LAPD
- ◆ Protocolli di rete: X.25, Frame Relay
- ◆ Protocollo di trasporto: TCP

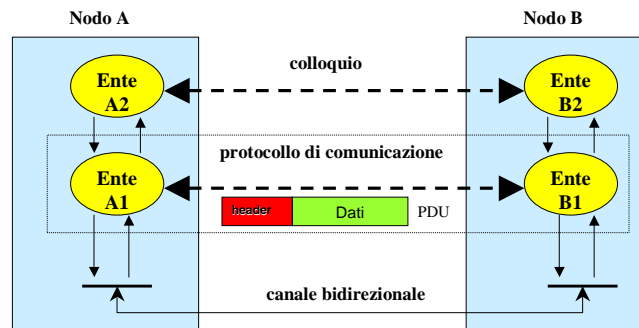
### Esempi di colloquio senza connessione

- ◆ Protocolli MAC di livello 2: Ethernet, token ring
- ◆ Protocolli di rete: IP
- ◆ Protocollo di trasporto: UDP

30

## Livelli

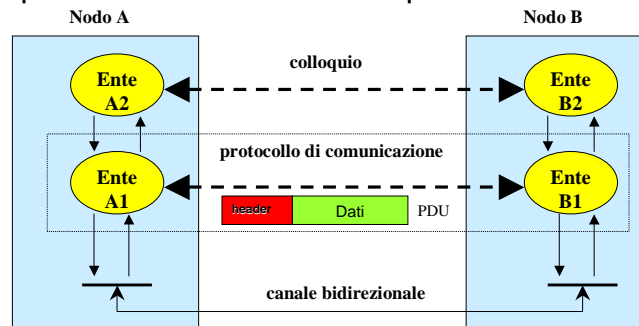
- le entità che colloquiano in un servizio di telecomunicazione possono anche offrire un servizio di comunicazione a entità terze, dette di livello superiore



31

## Livelli

- A che serve?
  - il servizio offerto alle entità di livello superiore può essere diverso da quello base



32



## Protocolli di comunicazione

- le entità di un livello collaborano per fornire il servizio di comunicazione al livello superiore e si scambiano messaggi mediante il servizio offerto dal livello inferiore
- **Protocollo:**
  - Insieme delle regole che sovrintendono al colloquio tra entità dello stesso livello
    - formato dei messaggi
    - informazioni di servizio
    - algoritmi di trasferimento
    - ecc.

33

## Packet Data Units (PDU)

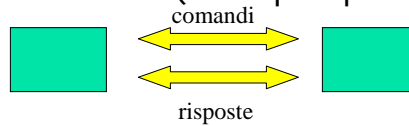
- un protocollo utilizza per il colloquio tra entità dello stesso livello delle unità di trasferimento dati dette PDU o anche trame del protocollo
- Le PDU possono contenere:
  - informazione vera e propria ricevuta dai livelli superiori
  - informazione di servizio necessaria al coordinamento tra le entità



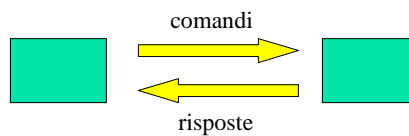
34

## Tipi di colloquio

- entità pariteriche (colloquio peer-to-peer)



- **master-slave, o client-server**



35

## Architettura a strati

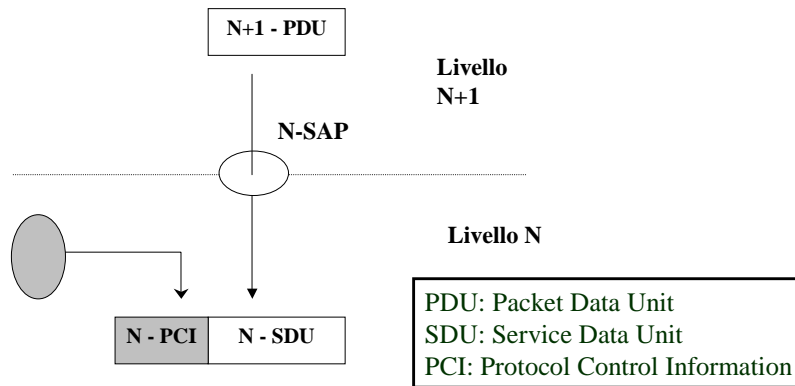
- I servizi di comunicazione complessi possono essere articolati a strati
  - da un livello che garantisce solo il trasporto dei bit
  - a un livello dove sono definite complessi servizi caratterizzati da molti parametri e funzionalità



36

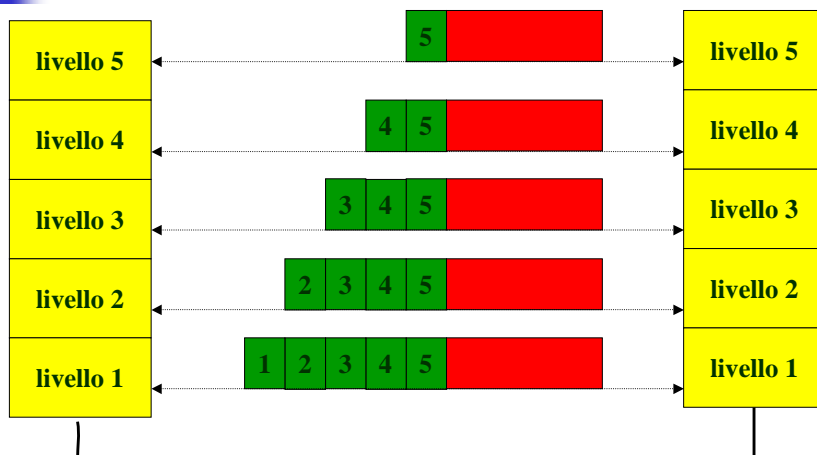
## Relazioni tra i livelli

- Il servizio offerto da uno strato è rappresentato da un Service Access Point (SAP)



37

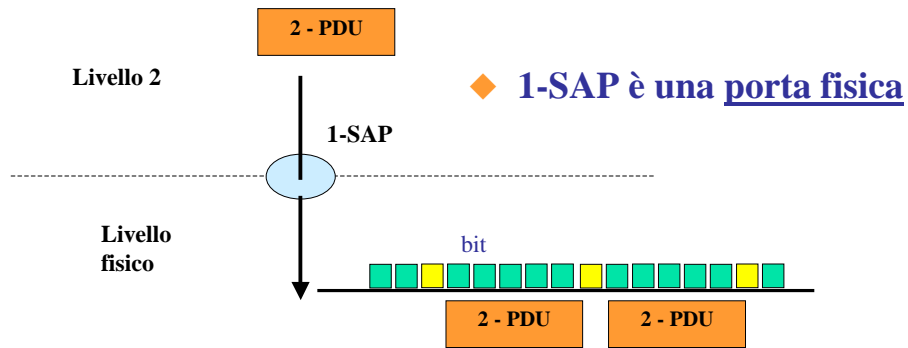
## Architettura completa



38

## Relazioni tra i livelli

- ◆ Al livello più basso che è il livello fisico, le PDU sono i flussi di bit

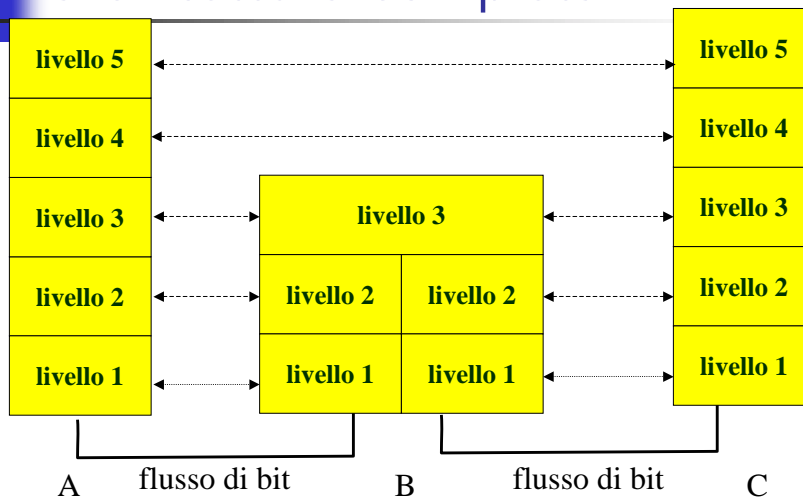


- ◆ 1-SAP è una porta fisica

- ◆ I livelli superiori arricchiscono questo servizio di comunicazione base con funzionalità anche complesse

39

## Esempio di funzionalità di una architettura completa



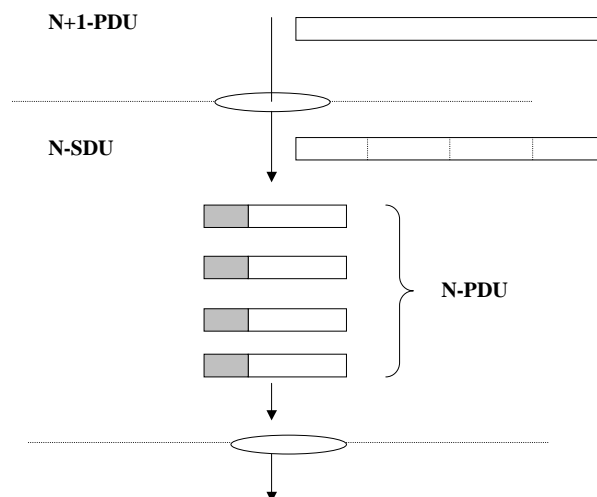
40

## Funzioni

- Le funzioni svolte da uno strato possono essere divise in:
  - funzioni di adattamento
    - esempi:
      - moltiplicazione
      - segmentazione
    - funzioni di arricchimento
      - controllo d'errore
      - riordino trame

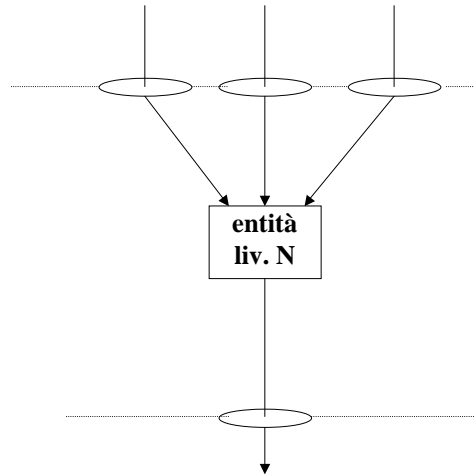
41

## Segmentazione



42

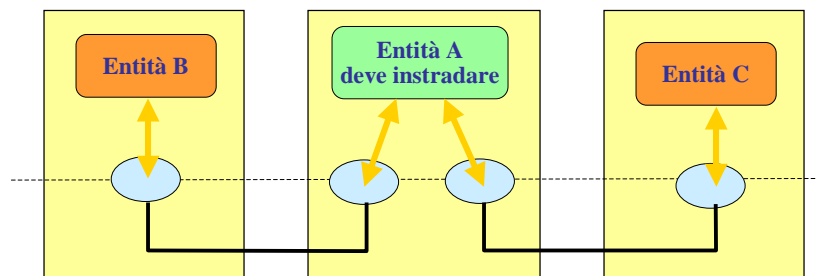
## Multiplazione



43

## Funzione di rete

- ◆ Si parla di funzioni di rete implementata in un livello quando è possibile il colloquio tra più di due entità dello stesso livello
- ◆ Viene introdotta la funzione di INSTRADAMENTO (scelta del SAP)



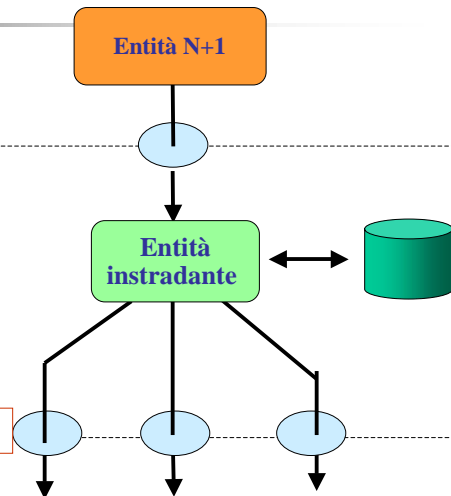
44

## Instradamento

◆ Problema: individuare il partner nel colloquio

◆ L'instradamento può essere effettuato a un livello inferiore se si introduce l'**INDIRIZZAMENTO**

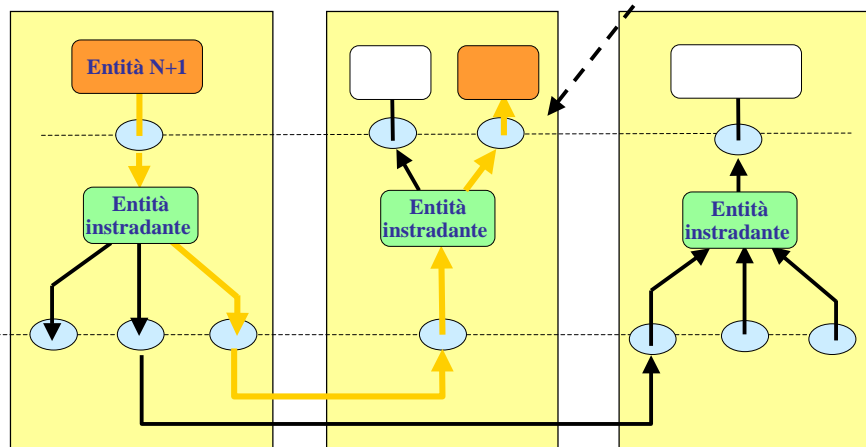
SAP che connettono enti diversi



45

## Indirizzamento

◆ Identifica il N-SAP di destinazione



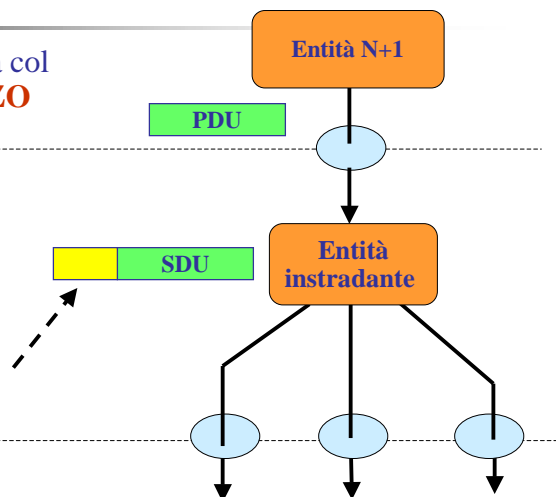
46

## Indirizzamento & Instradamento

La PDU viene passata col parametro **INDIRIZZO**

L' **INDIRIZZO** viene usato per **instradare**

e viene incapsulato perché possa essere instradato da altri nodi



47

## Indirizzamento

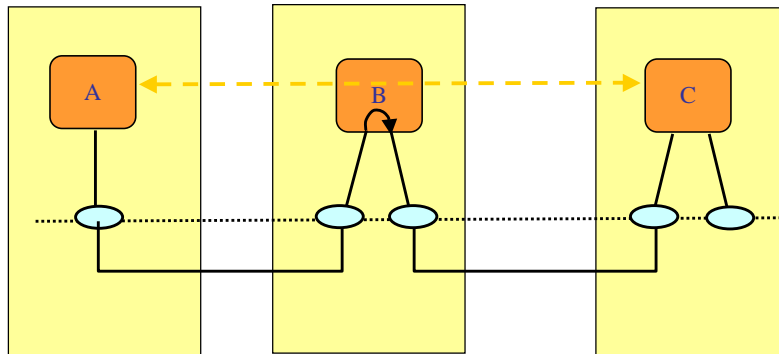
- Indirizzo: identificativo del SAP da cui raggiungere l'entità, univoco fra tutti i SAP dello stesso livello
- Tipologie di indirizzamento
  - unicast: singolo SAP
  - multicast: gruppi di SAP
  - broadcast: tutti i SAP

48



## Forwarding o commutazione

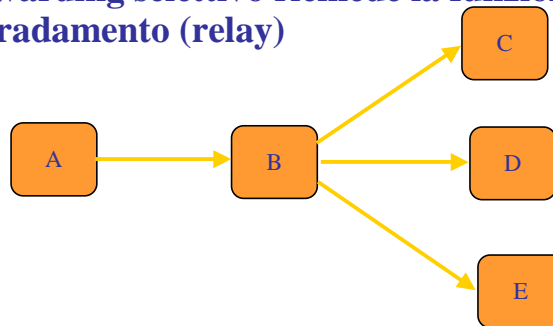
- ◆ E' il servizio di inoltro che un'entità fornisce ad altre entità allo stesso livello
- ◆ Il SAP è già scelto occorre ora effettuare il passaggio



49

## Forwarding o commutazione

- ◆ Il forwarding può essere su più porte, broadcast o selettivo
- ◆ Il forwarding selettivo richiede la funzione di instradamento (relay)



50

## Tabelle di Instradamento

- scelta del SAP di uscita sulla base delle informazioni memorizzate

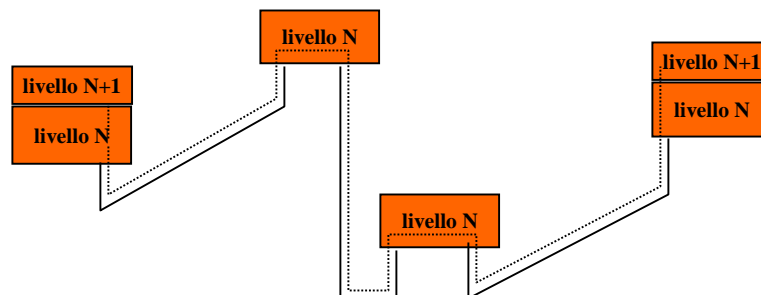
tabella di instradamento	
destinaz.	SAP uscita

- **raccolta delle informazioni mediante scambio di dati con gli altri nodi**
- **protocolli di instradamento**

51

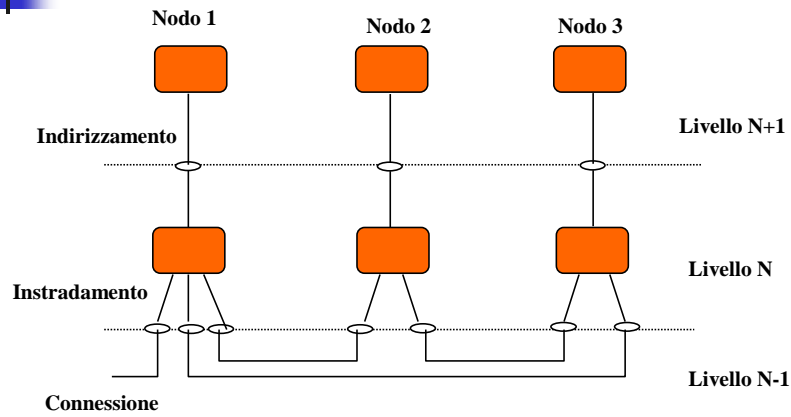
## La via verso la destinazione

- è possibile attraversare molti nodi prima di giungere a destinazione
- alcuni nodi possono svolgere solo la funzione di relay



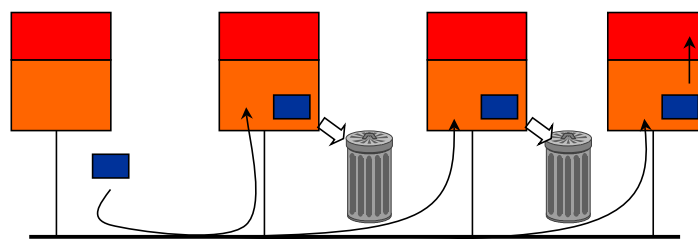
52

## Funzioni di rete sopra un servizio di collegamenti punto-punto



53

## Servizio di rete sopra un collegamento broadcast



54

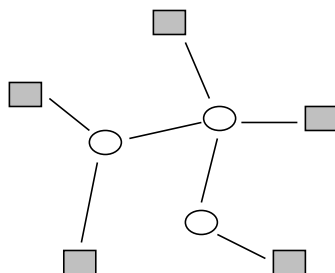
## Riassunto:

- Indirizzamento:
  - indica il SAP di con l'entità di livello superiore
- Instradamento:
  - se l'entità di rete che riceve da un SAP la PDU non riconosce l'indirizzo come proprio deve inoltrarla verso un nuovo SAP di uscita
  - scelta del SAP = instradamento
- Forwarding o commutazione
  - passaggio effettivo della PDU dal SAP di ingresso a quello d'uscita

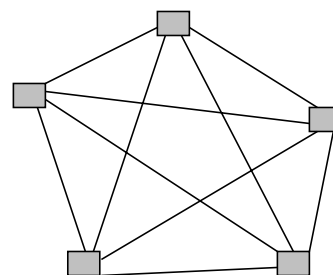
55

## Visioni della rete a livelli diversi

- nodi finali
- nodi intermedi



livello N



livello N+1

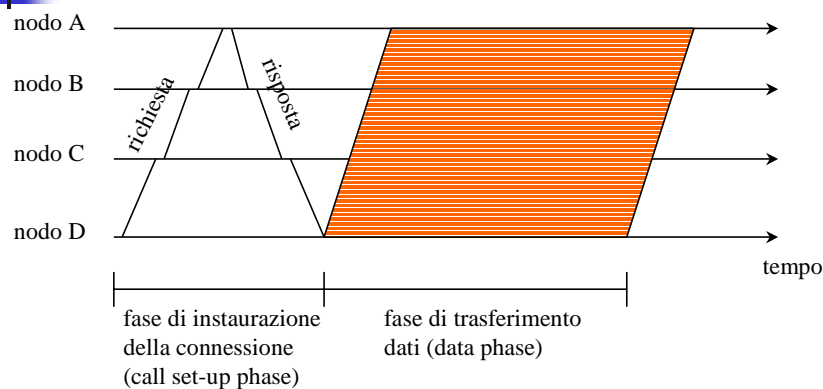
56

## Commutazione di circuito

- I nodi hanno il compito di collegare in modo stabile un SAP di ingresso con un SAP di uscita
- la funzione di instradamento (associazione SAP-ingresso SAP-uscita) avviene nella fase di setup del circuito
- la funzione di commutazione assicura nei nodi attraversati la continuità del circuito con passaggio di informazione diretto

57

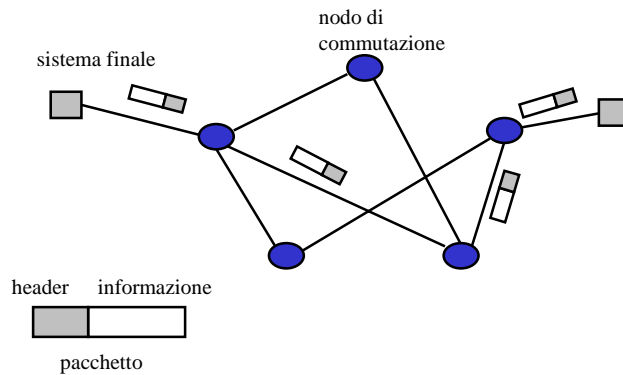
## Commutazione di circuito



58

## Commutazione di pacchetto

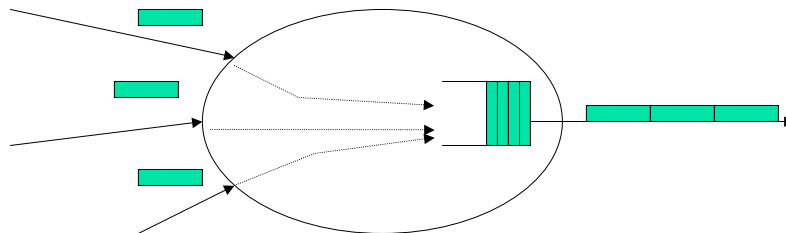
- Instradamento sulla base dell'header del pacchetto e successiva commutazione verso i nodi d'uscita



59

## Multiplexazione statistica

- al momento della commutazione verso l'uscita il pacchetto può entrare in conflitto con altri pacchetti
- prima di essere trasmesso sul canale d'uscita il nodo può attendere in coda



60

## Commutazione di pacchetto: modalità datagram

- ogni pacchetto è considerato un'entità autonoma e trasferita in rete sulla sola base dell'indirizzo di destinazione (servizio postale)
- instradamento effettuato con tabelle del tipo:

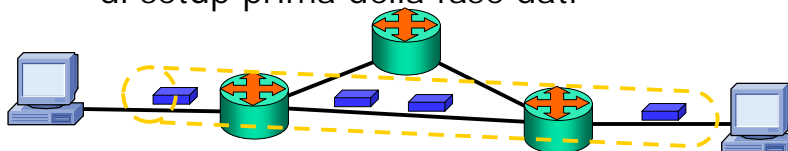
tabella di instradamento	
indirizzo dest.	porta di uscita

- pacchetti di uno stesso flusso informativo possono teoricamente seguire strade diverse nella rete

61

## Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale

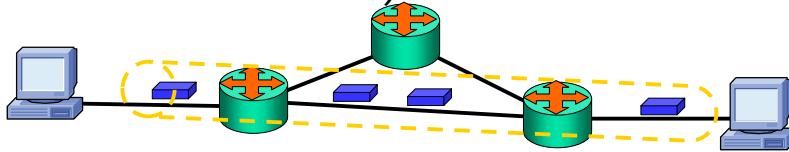
- i nodi identificano i pacchetti di un flusso informativo sulla base di un identificativo di circuito virtuale (CVI o label)
- il circuito virtuale viene instaurato in una fase di setup prima della fase dati



62

## Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale

- al contrario che nella commutazione di circuito l'associazione tra SAP d'ingresso e SAP d'uscita è solo logica (mediante una tabella di instradamento per circuito virtuale) e non fisica



63

## Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale

- Dopo la fase di setup i pacchetti seguono tutti lo stesso percorso in rete perché sono instradati sulla base dell'identificativo di circuito virtuale

tabella di instradamento	
label	porta di uscita

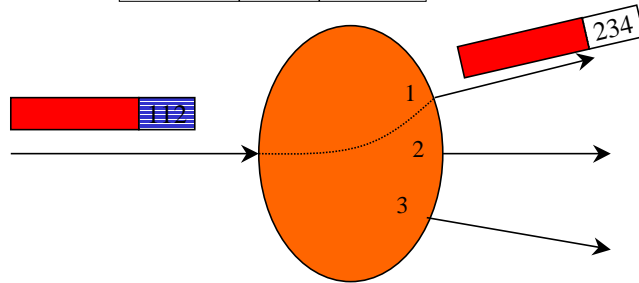
- assegnazione dell'identificativo di circuito virtuale:
  - globale
  - locale

64



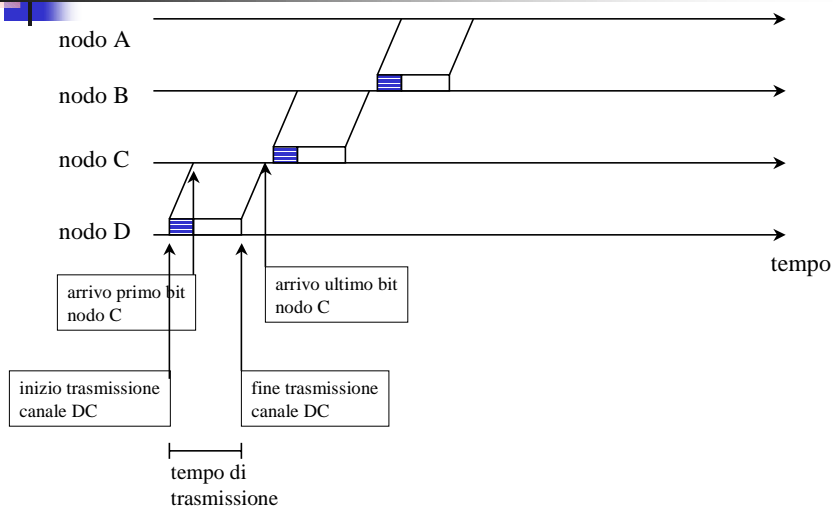
## Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale

id. ingresso	uscita	id. uscita
112	1	234



65

## Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale



66

## Commutazione di pacchetto: circuito virtuale

- Tempo di trasmissione:

$$T_t = L/C$$

L=lunghezza pacchetto [bit]

C=capacità del canale [bit/s]

- Tempo di propagazione:

$$T_p = l/V$$

l=lunghezza del collegamento [m]

V=velocità di propagazione del segnale [m/s]

- Tempo di elaborazione:

- tempo per consultare le tabelle e instradare il pacchetto

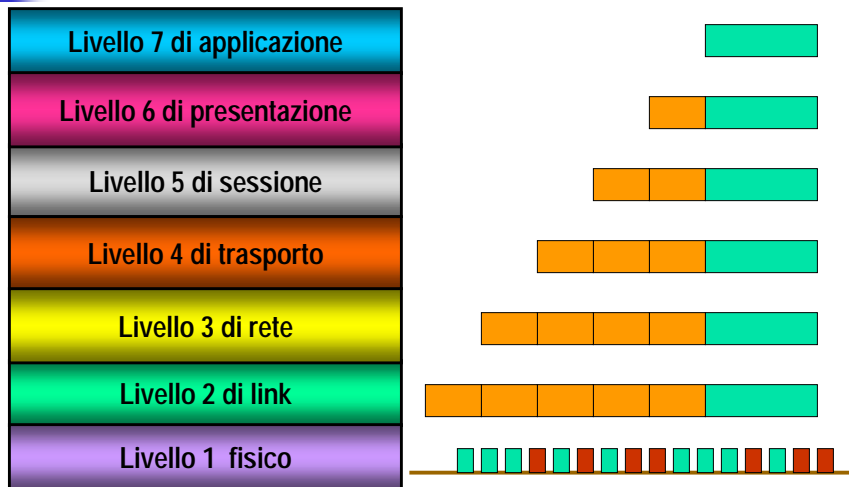
67

## L'architettura a strati ISO -OSI

- ◆ E' uno standard architetturale a strati
- ◆ per servizi di connessione in Sistemi Aperti
- ◆ Open System Interconnect
- ◆ Definisce sette livelli
- ◆ Obsoleto, ma ancora in gran parte utile
- ◆ Anche gli strati OSI vengono suddivisi in sottostrati

68

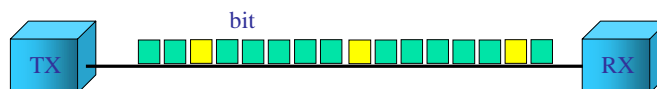
## Architettura a strati OSI



69

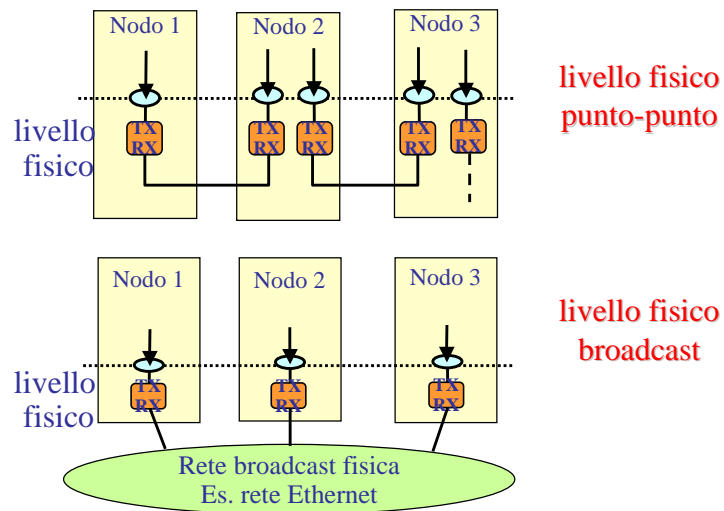
## Livello fisico

- ha lo scopo di fornire un mezzo di trasferimento da un nodo all'altro dell'unità informativa minima: il bit
- procedure per la trasformazione del flusso informativo di bit in segnali da inviare al mezzo
  - modulazione/demodulazione
  - codifica/decodifica
  - multiplazione e accesso multiplo fisico



70

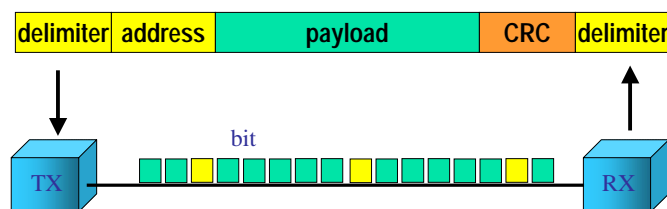
## Livello fisico



71

## Livello di linea (Data Link)

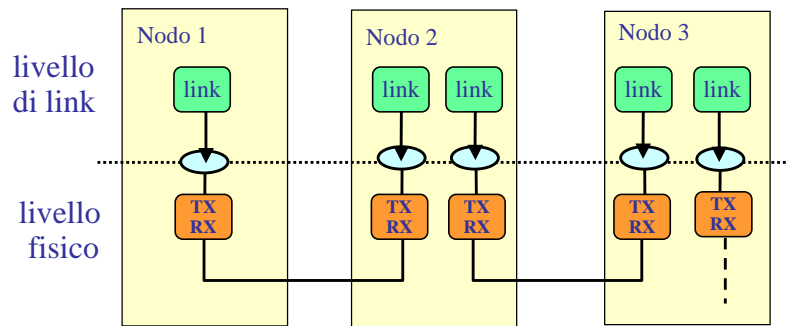
- trasferimento unita' logiche di bit (trame) su un collegamento
  - divisione delle trame
  - controllo d'errore e protocolli di ritrasmissione
  - controllo di flusso



72

## Livello di linea (Data Link)

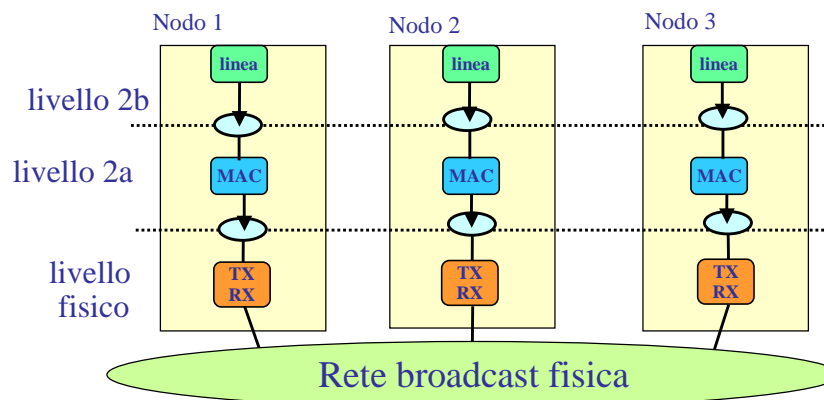
◆ nel nodo esiste un'entità di linea per ogni SAP fisico



73

## Livello di linea per reti broadcast

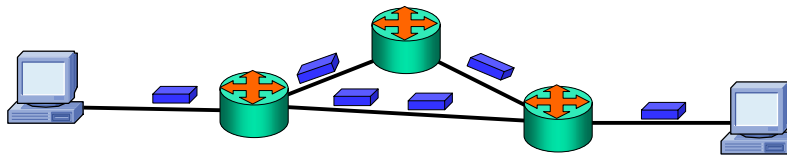
◆ al livello di linea viene aggiunta la funzionalità di accesso multiplo detta MAC (es. Ethernet, Token ring)



74

## Livello di rete

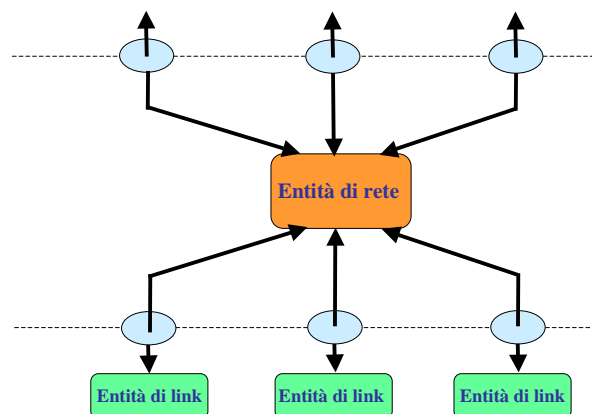
- Effettua la funzione di rete
  - Instradamento
  - Indirizzamento
- Implementato in ogni nodo di rete
- controllo di congestione
- scheduling
- controllo delle connessioni di rete (servizi orientati alla connessione)



75

## Livello di rete

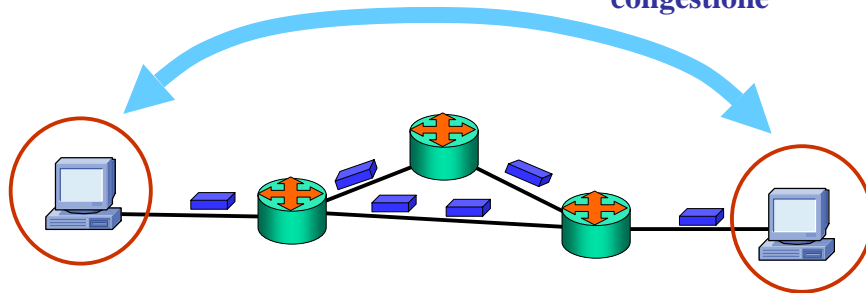
- ◆ Esiste un'unica entità di rete per l'instradamento



76

## Livello di trasporto

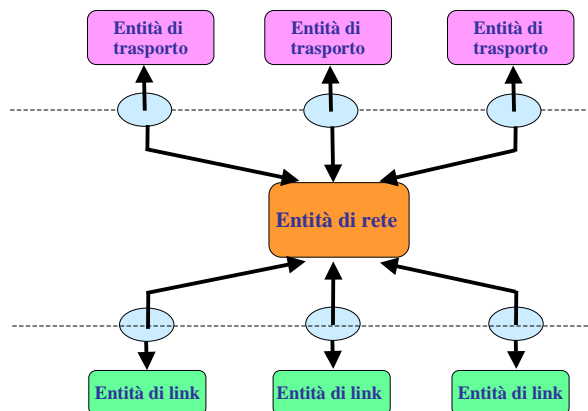
- implementato nei nodi terminali
- trasporto dei dati per il colloquio tra applicazioni residenti in sistemi remoti
- può offrire:
  - servizio di connessione
  - controllo d'errore
  - controllo di flusso
  - prevenzione della congestione



77

## Livello di trasporto

- ◆ le entità di trasporto possono essere molteplici in funzione di diversi servizi



78



## Livello di Sessione

---

- è responsabile dell'organizzazione del dialogo fra due programmi applicativi di sistemi d'utente diversi
- effettua la gestione del dialogo e la sincronizzazione degli eventi

### **Livello di Presentazione**

- **gestisce la sintassi dell'informazione da trasferire**
- **ad esempio: colloquio tra programmi di sistemi operativi differenti**

79



## Livello di Applicazione

---

- E' il livello che include le applicazioni d'utente
- Fra queste:
  - login remoto,
  - file transfer
  - servizi WWW
  - data base distribuiti
  - ecc.

80





## Verifica contenuti

---

1. Cosa si intende per servizio di comunicazione
2. Cos'è una primitiva di servizio e a cosa serve
3. Quali sono i tipi principali di primitive
4. Date due entità che colloquiano mediante un servizio di comunicazione, cosa si intende per entità di livello superiore
5. Che cos'è un protocollo
6. Che cos'è una PDU e una SDU
7. Che cosa aggiunge il livello N-esimo alla PDU ricevuta dal livello superiore, e a cosa serve

81



## Verifica contenuti

---

8. Quali sono le modalità di connessione per l'accesso ad un servizio di comunicazione
9. Quali sono le modalità di colloquio tra due entità
10. Che cos'è l'architettura a strati di un sistema di comunicazione e perché viene utilizzata
11. In che cosa consiste la funzione di segmentazione
12. In che cosa consiste la funzione di moltiplicazione
13. In che cosa consiste la funzione di rete e in quali sotto-funzioni viene divisa comunemente
14. Che differenza c'è tra la funzione di instradamento e quella di commutazione

82



## Verifica contenuti

15. Che ruolo svolge l'indirizzamento nella funzione di rete
16. Che cosa indica esattamente l'indirizzo
17. I livelli superiori a quello che svolge la funzione di rete possono non essere implementata nei nodi di rete ma solo nei sistemi finali. Perché
18. Che cos'è la modalità di commutazione di circuito
19. Quali sono le fasi coinvolte nel colloquio in modalità a circuito
20. Che cos'è la segnalazione utente-rete nella commutazione di circuito

83



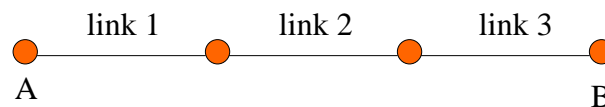
## Verifica contenuti

21. Che cos'è la segnalazione di rete nella commutazione di circuito
22. Che cos'è la commutazione di pacchetto
23. Che differenza c'è tra modalità datagram e circuito virtuale
24. Come può avvenire l'assegnazione degli identificativi di circuito (label) nella modalità a circuito virtuale
25. Come sono fatte le tabelle di instradamento nel caso di datagram e nel caso di circuito virtuale
26. Cos'è la moltiplicazione statistica nella modalità a pacchetto

84

## Verifica contenuti

27. Quanto impiega un pacchetto lungo  $L$  ad andare dal nodo A al nodo B conoscendo le lunghezze fisiche di tutti i link  $l_x$  e le loro capacità  $C_x$  ( $x=1, 2, 3$ )



28. Quali sono le funzioni principali del livello fisico nel modello OSI
29. Quali sono le funzioni principali del livello di linea nel modello OSI

85

## Verifica contenuti

30. Quanti entità di livello 2 esistono in un nodo per ciascun SAP fisico
31. Quali sono le funzioni principali del livello di rete nel modello OSI
32. Quanti entità di livello 3 esistono in un nodo (una sola architettura a strati)
33. E' il livello di rete implementato in tutti i nodi
34. Quali sono le funzioni principali del livello di trasporto nel modello OSI
35. E' il livello di trasporto implementato in tutti i nodi

86