



Università degli studi di Bergamo

*Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
e Metodi Matematici*

Fondamenti di Reti e Telecomunicazione

prof. Fabio Martignon

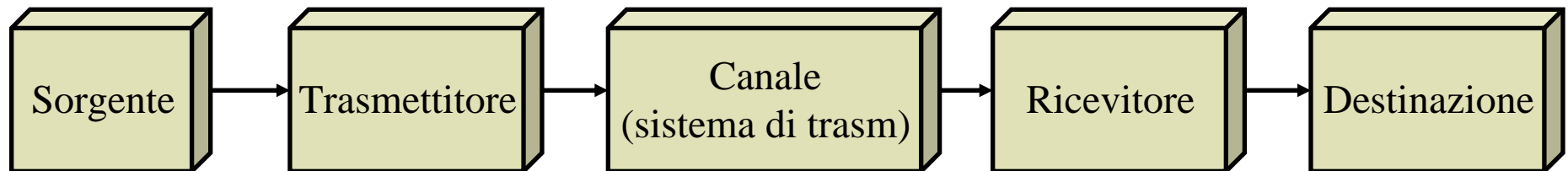
1- Introduzione alle Reti di Telecomunicazione

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 (ad es. telefoni, PC...), 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**

Reti e Trasmissione

- **Modo più semplice per far comunicare due utenti: collegamento mediante un canale trasmissivo diretto**



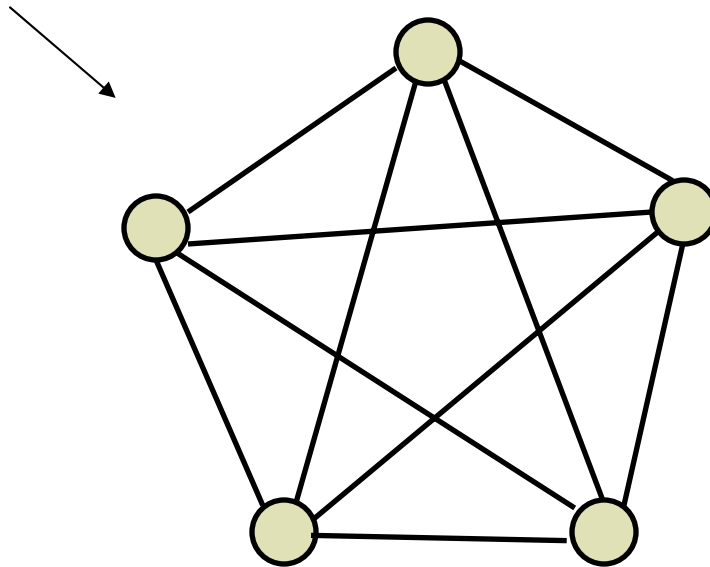
- **Sorgente: genera informazione (voce, video, dati...)**
- **Trasmettitore: converte l'informazione in segnali elettrici (ottici) che possono essere inviati sul Canale**
- **Il Ricevitore interpreta tali segnali e ricostruisce l'informazione, passandola alla Destinazione**

Problematiche Tecniche

- **In Trasmissione (ovvero: il Trasmettitore):**
 - generazione del segnale
 - i segnali devono essere adatti al mezzo
 - segnali analogici e segnali digitali
- **Vincoli imposti dal mezzo trasmissivo: capacità del canale (bit/s)**
- **In ricezione:**
 - errori di ricezione
 - rumore, disturbi, interferenza
- **Sincronismo di simbolo: ritmo effettivo di trasmissione**
- **Scambio di messaggi di servizio (segnalazione)**

Collegamento tra più utenti

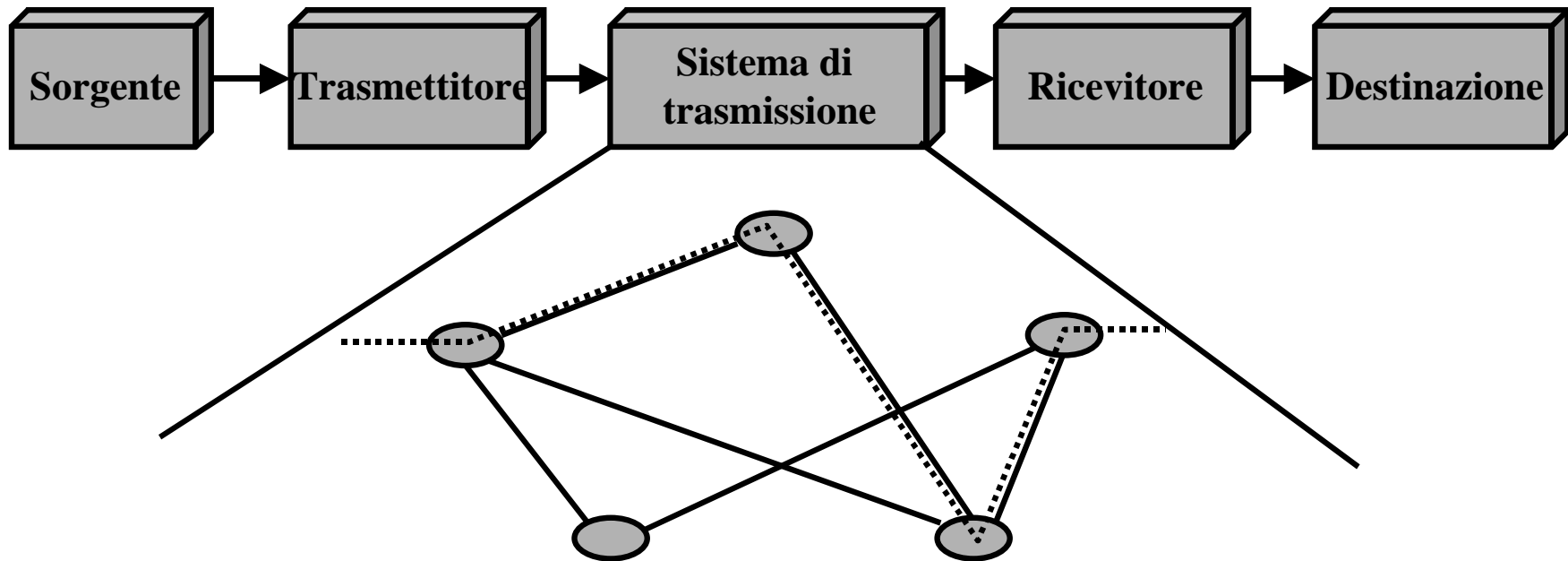
- Supponiamo di avere N utenti (nella figura sotto, N=5)
- Rete a maglia completa



Per collegare tali nodi sono necessari $N(N-1)/2$ collegamenti bidirezionali

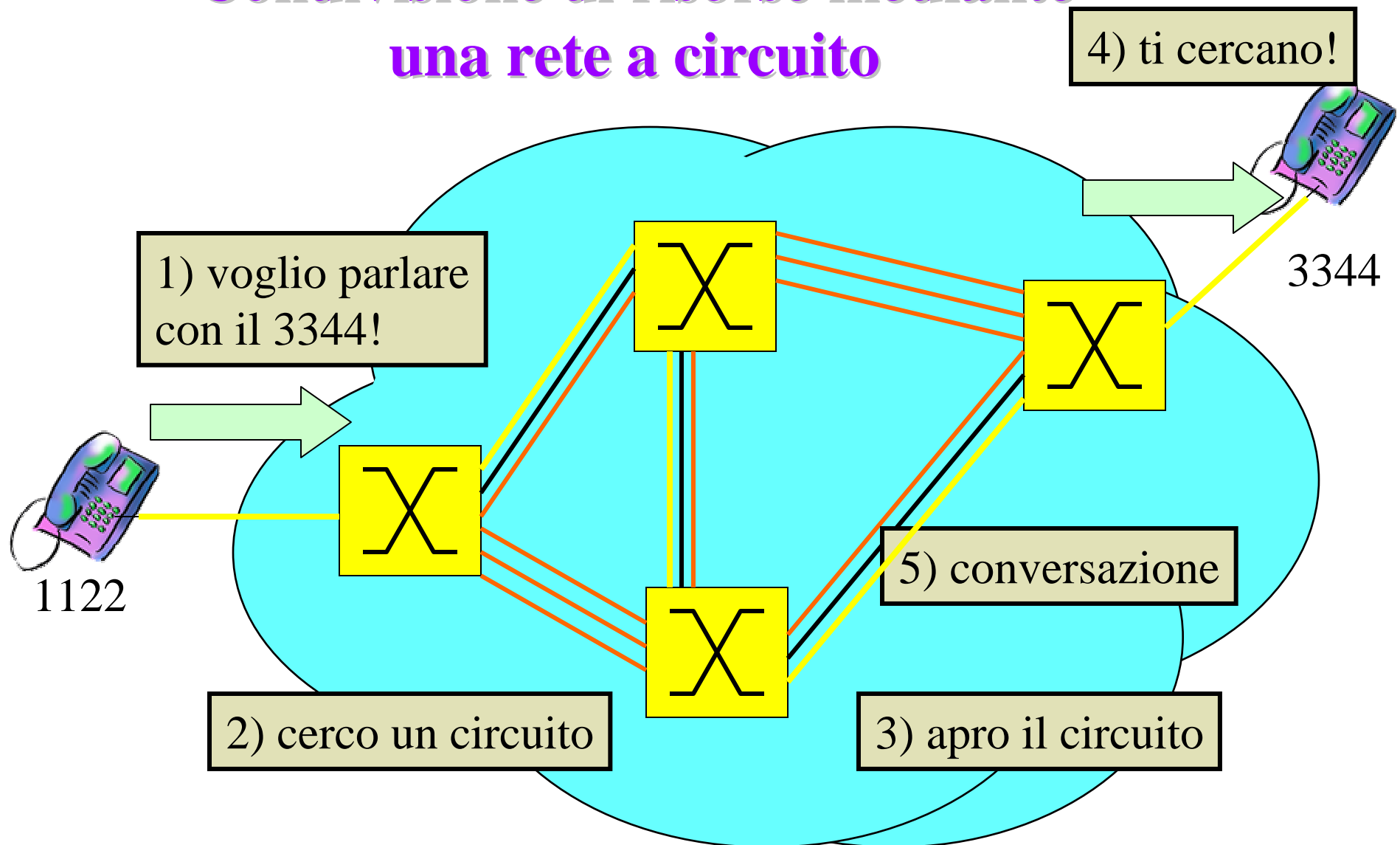
- Può verificarsi uno scarso utilizzo delle risorse (collegamenti poco utilizzati)
- Necessità di condividere le risorse

Condivisione di risorse mediante una rete a circuito



- Il canale diretto dell'esempio precedente è sostituito da una rete di telecomunicazione
- I canali sono forniti su richiesta

Condivisione di risorse mediante una rete a circuito



Funzionalità di una rete

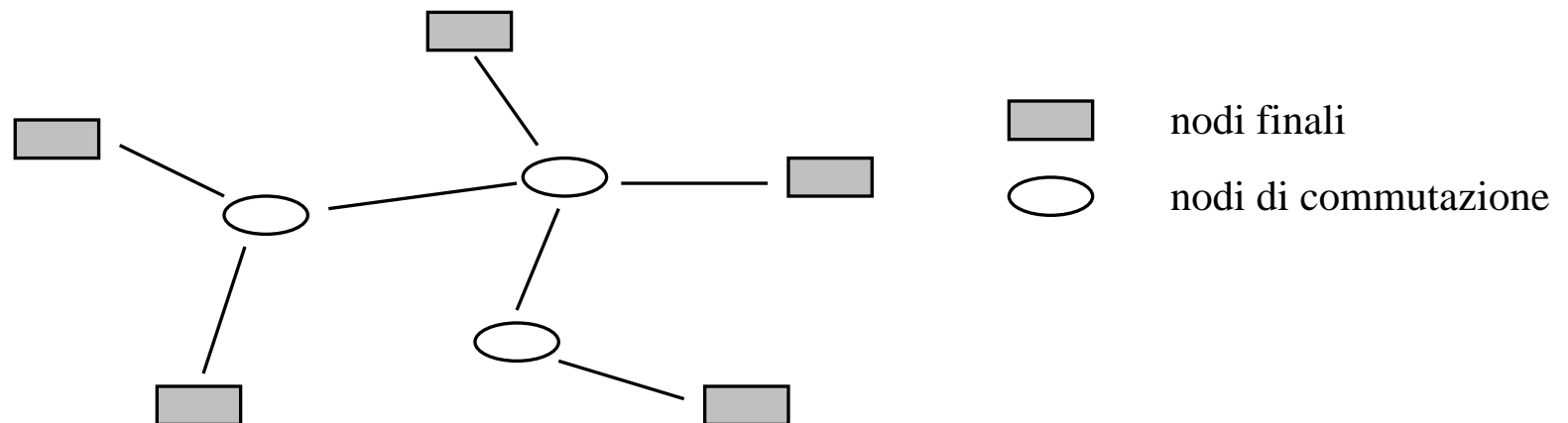
- Segnalazione utente-rete (per richiedere un collegamento)
- Instradamento (la rete trova un percorso tra i due nodi)
- Segnalazione di rete (per scambiare informazione di servizio atta a cercare e riservare tale percorso)
- Commutazione (in ogni nodo un canale d'ingresso è messo in collegamento con un canale in uscita)
- Fasi necessarie per lo scambio di informazioni:
 - instaurazione della connessione (chiamata)
 - trasferimento dati
 - chiusura della connessione (chiamata)





Commutazione di Circuito

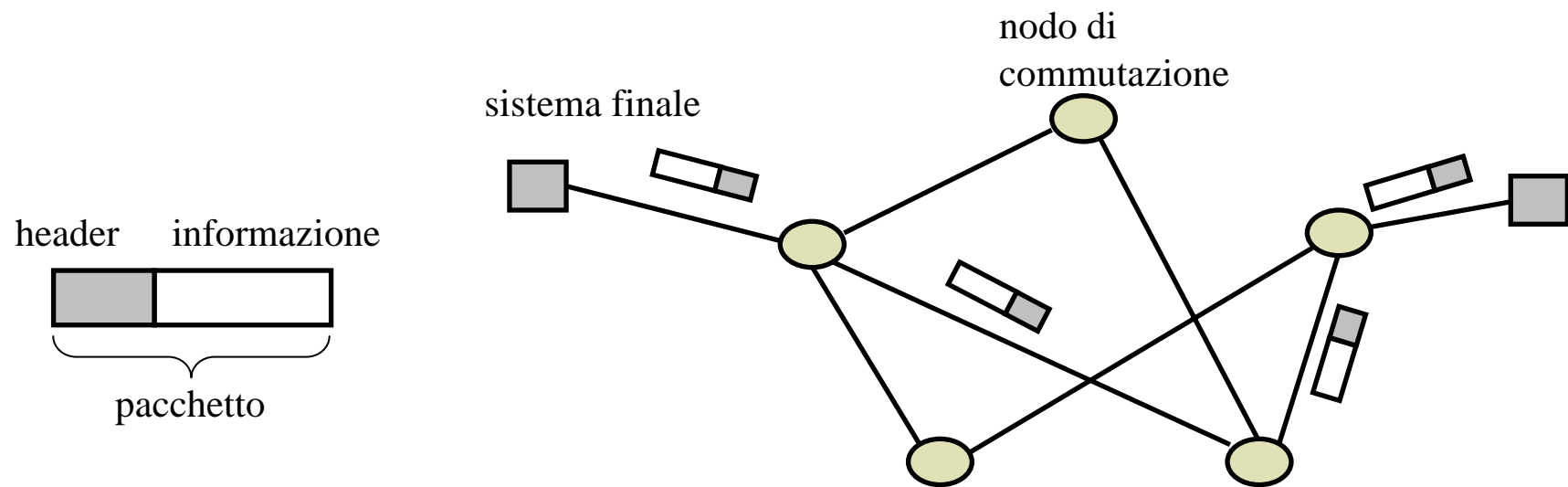
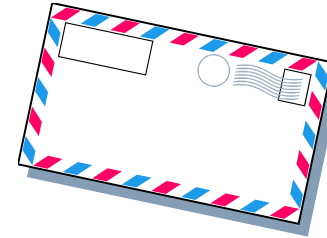
Sistemi finali e nodi di commutazione

- I nodi all'interno della rete possono dunque classificarsi in:
 - sistemi finali (end-systems), che si scambiano informazioni
 - nodi di commutazione (switching nodes)



- I canali messi a disposizione per i collegamenti possono essere:
 - canali half-duplex 
 - canali full-duplex 

Rete a Commutazione di Pacchetto



- L'informazione da trasferire viene suddivisa in *pacchetti* a cui viene aggiunta informazione di servizio (*header*)
- L'header contiene almeno l'indicazione del destinatario
- I pacchetti sono trasferiti di nodo in nodo fino alla destinazione in modo autonomo (analogia con il servizio postale)

Classificazioni delle reti

- reti a circuito
- reti a pacchetto

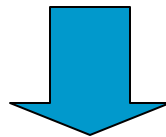
- reti pubbliche
- reti private

- reti telefoniche
- reti dati

- LAN (reti locali)
- MAN (reti metropolitane)
- WAN (reti geografiche)

Tematiche

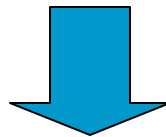
- **conversione dell'informazione in segnali**
- **studio delle caratteristiche dei segnali**
- **trasferimento dei segnali attraverso un mezzo trasmissivo**
- **studio del rumore e dei suoi effetti sul segnale**



Corso di Teoria dell'Informazione e della Trasmissione

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.**



Corsi di Reti di Telecomunicazione

Modelli funzionali

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

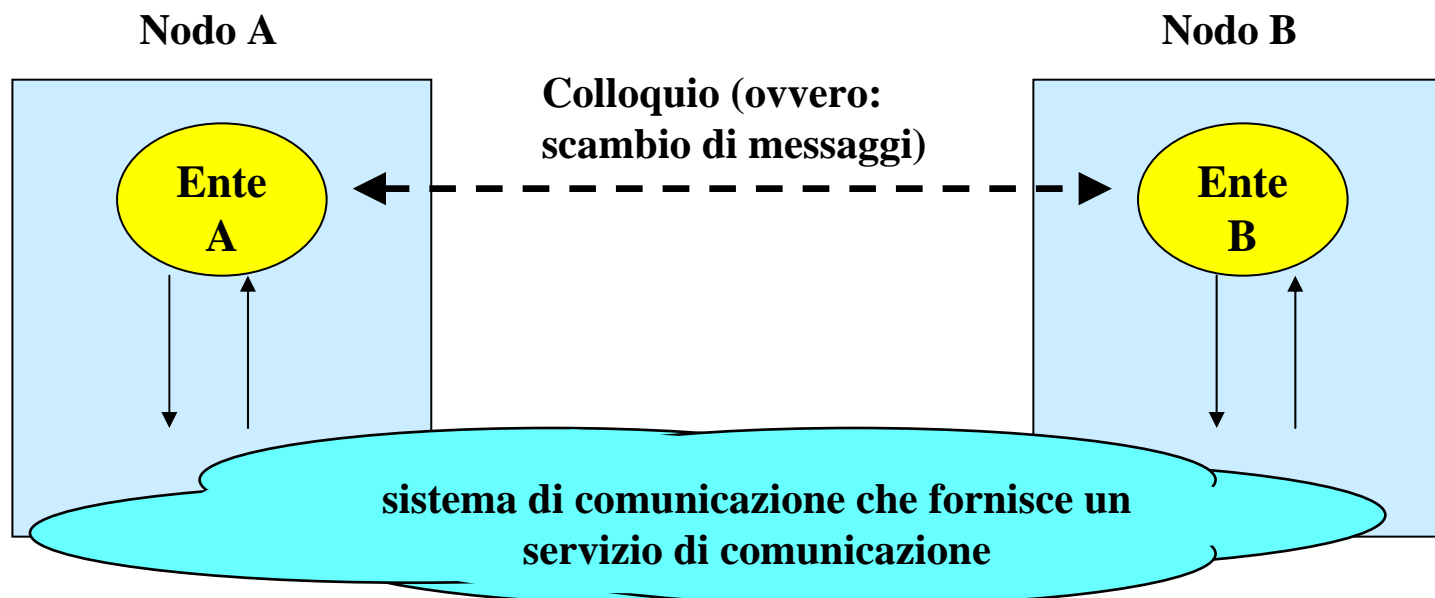


Modelli funzionali

- Accenneremo ora ad un modello funzionale di colloquio tra sistemi
- Questo modello consente di introdurre in modo formale le problematiche associate al trasferimento di informazione
- Il modello aiuta a descrivere in modo formale i sistemi e le loro funzionalità
- *A che livello avviene un colloquio?*
 - Esistono vari tipi di colloqui (scambi di messaggi)
 - utente-utente
 - utente-rete
 - colloqui per trasferimento di informazione
 - colloqui per segnalazione
 - ecc.

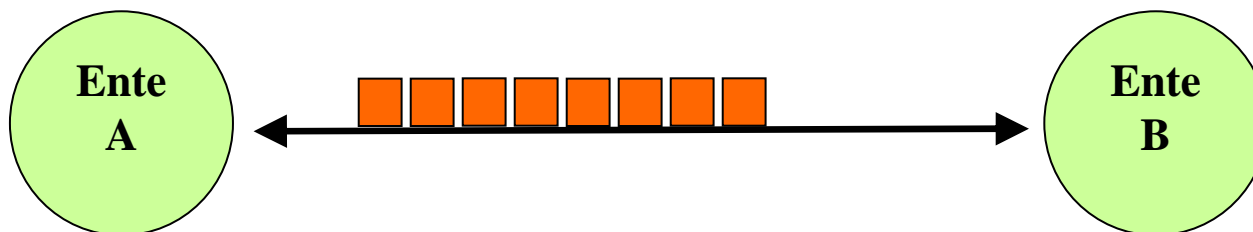
Il servizio di comunicazione

- Date due o più entità remote (ovvero residenti su nodi distinti)
- Possiamo descrivere il sistema di comunicazione che consente il colloquio (ovvero lo scambio di messaggi) fra gli enti come un *“fornitore del servizio di trasporto dell’informazione”* (ovvero: fornitore del servizio di comunicazione in senso stretto)



Il servizio di comunicazione

- ◆ E' basato sul servizio di trasporto, ossia il meccanismo di scambio di informazione fra due "entità"
- ◆ E' in generale un servizio di trasferimento di unità informative
 - bit
 - gruppi di bit (trame o pacchetti)
 - files
 - flussi multimediali



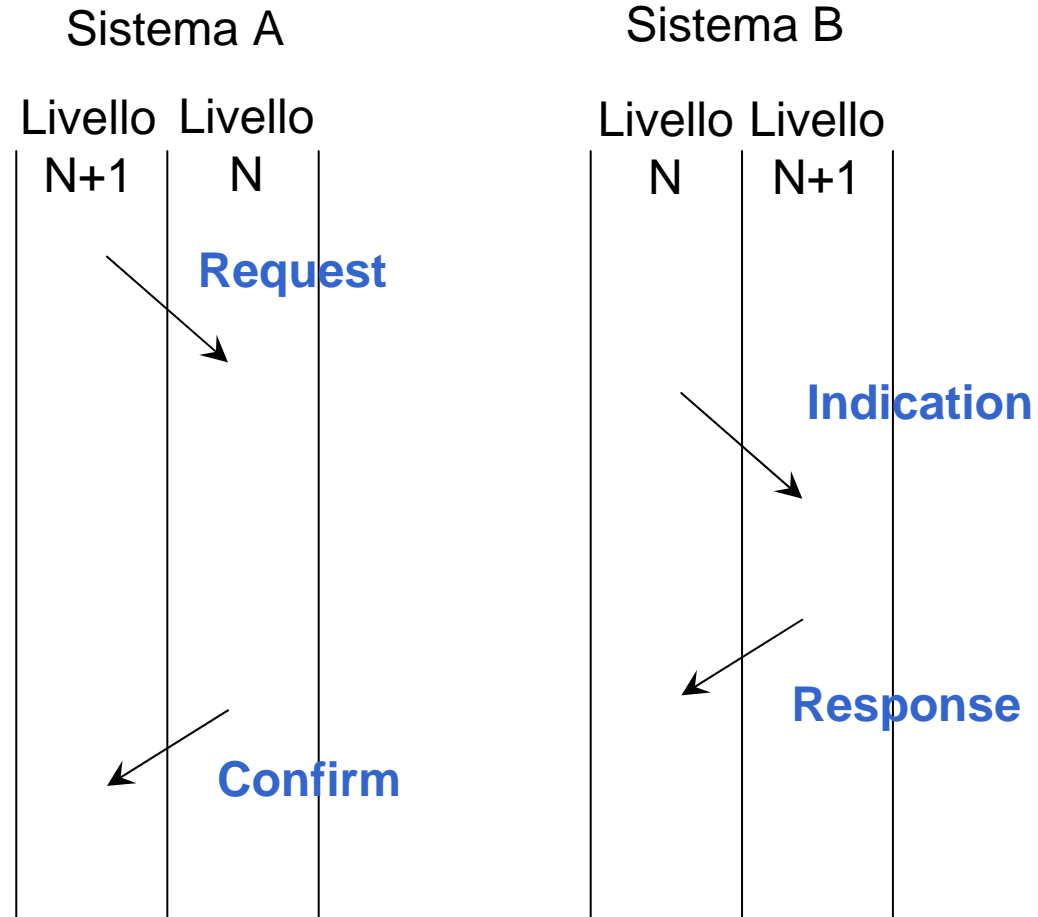
Il servizio di comunicazione

- 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.

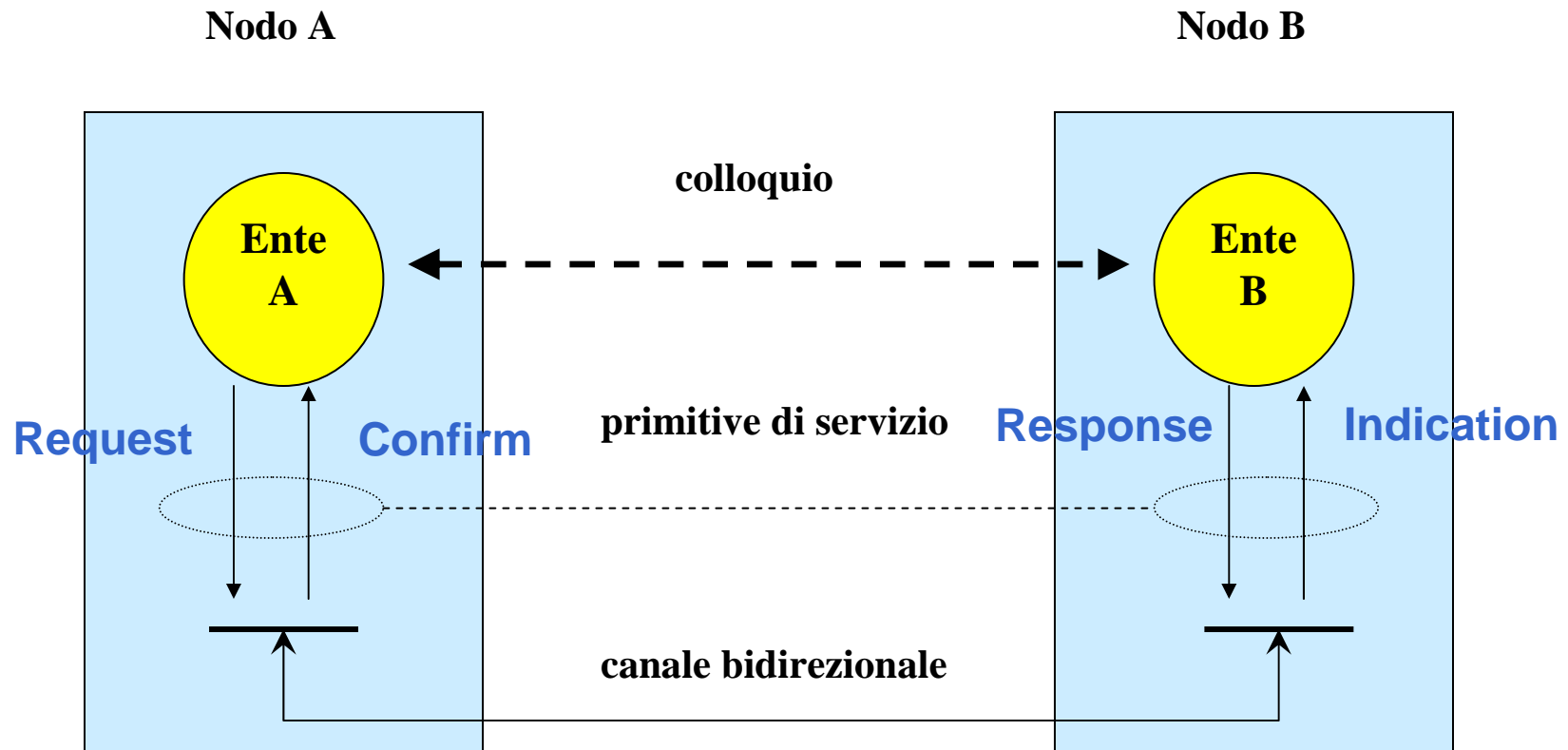
Primitive di Servizio

- **Le primitive di servizio definiscono i servizi resi dal sistema di comunicazione alle due entità estreme (A e B nel nostro esempio)**
- **Se ne individuano quattro, non tutte sempre necessarie:**
 - **Request: che richiede il servizio**
 - **Indication: indica l'avvenuta richiesta del servizio**
 - **Response (facoltativa)**
 - **Confirm (facoltativa)**

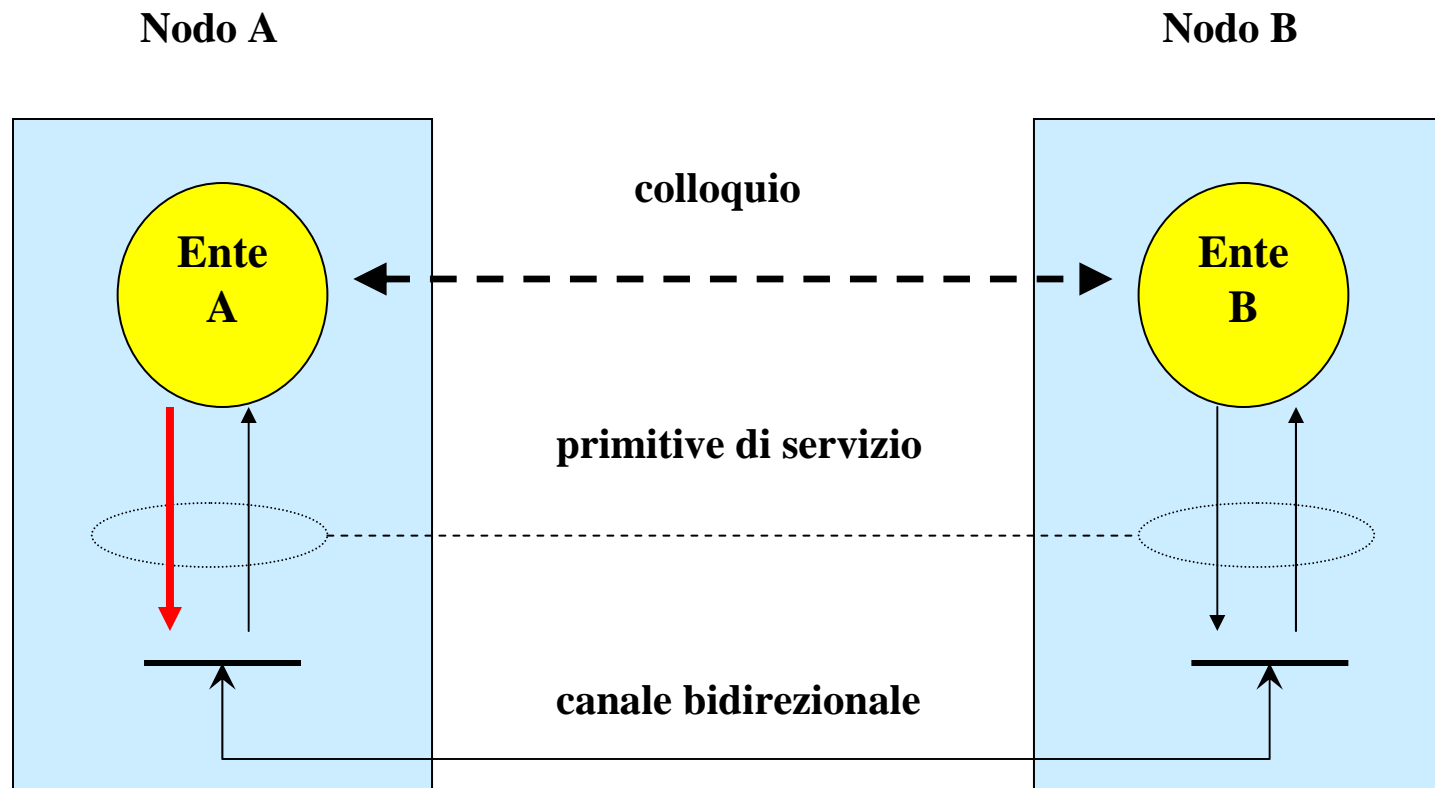
Primitive di Servizio



Entità colloquanti tramite primitive

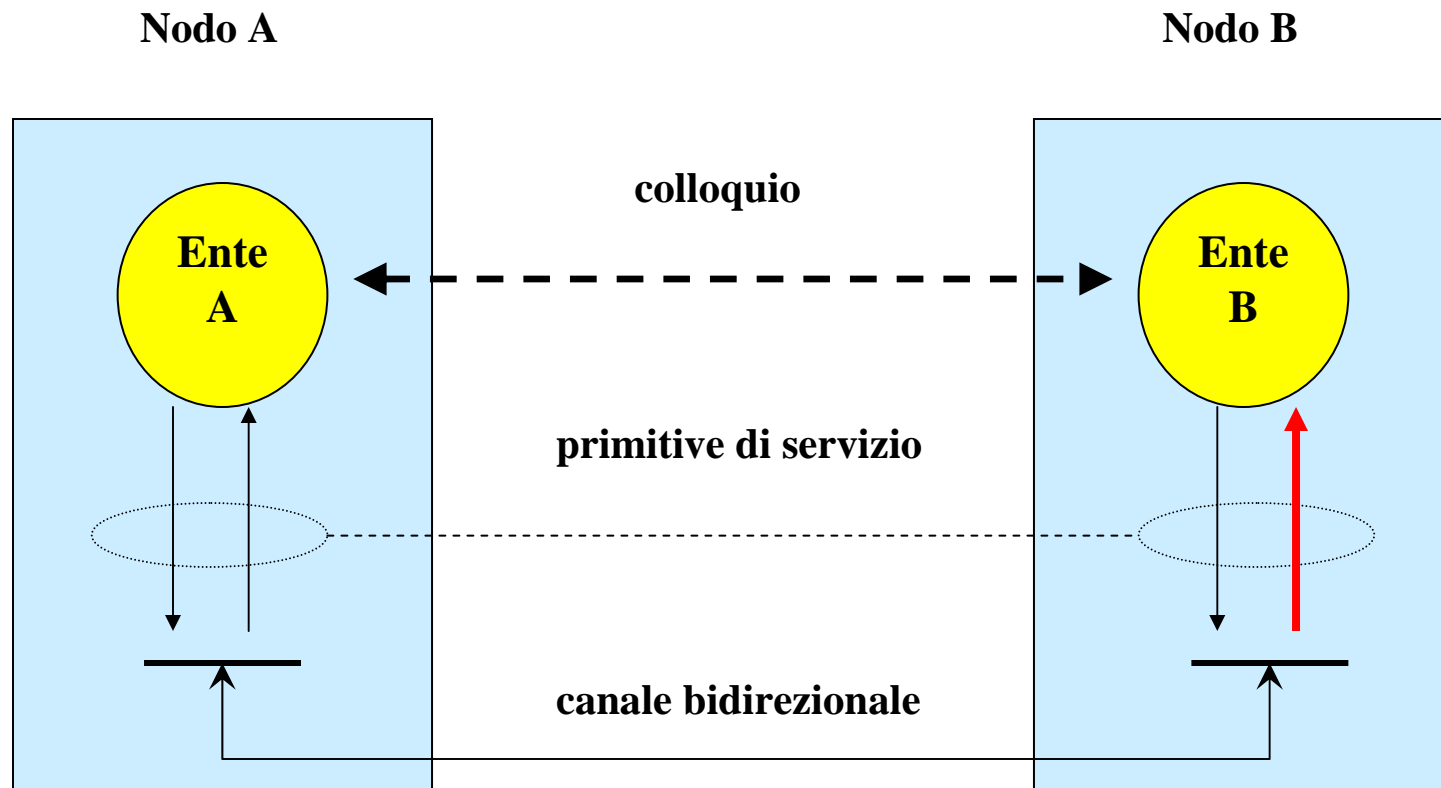


Primitive



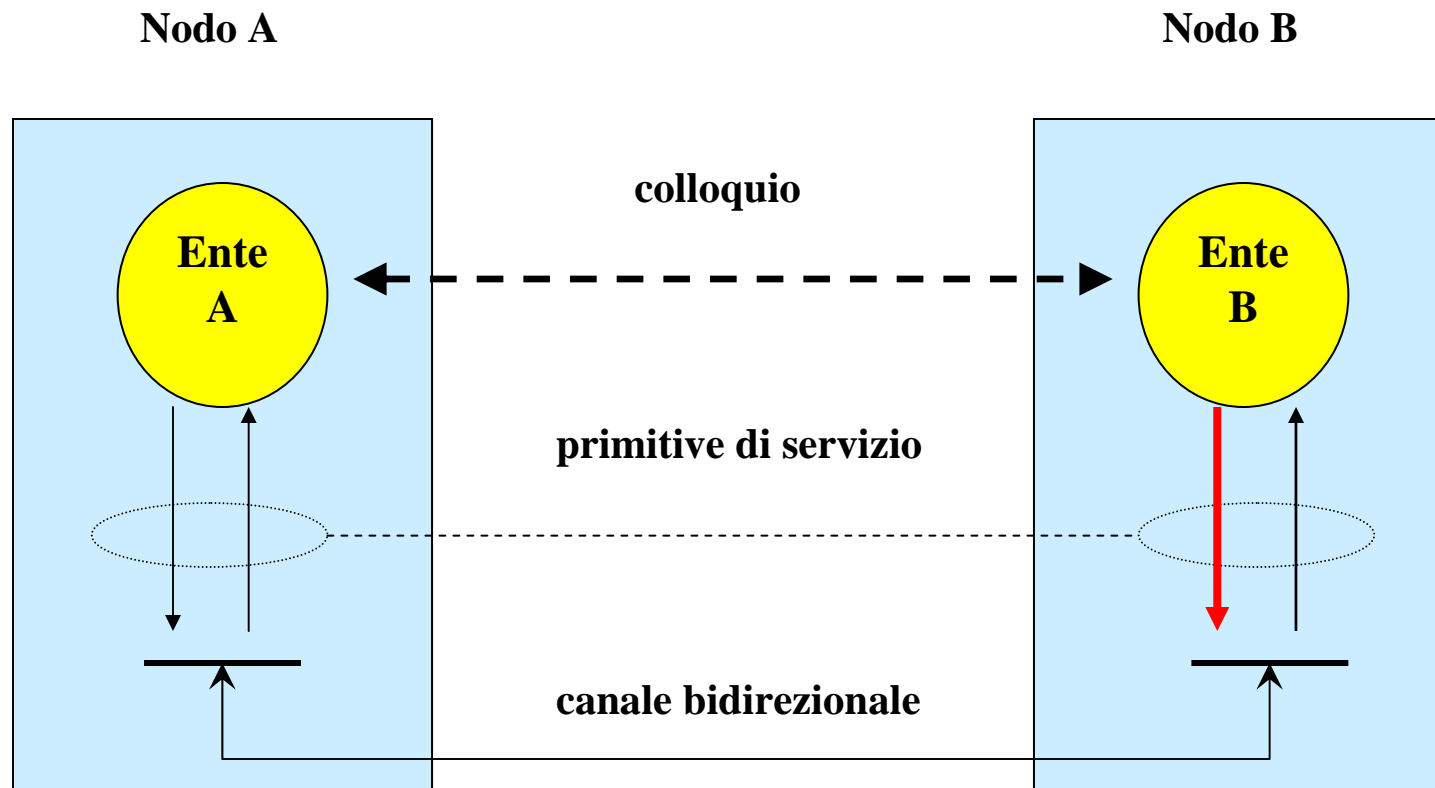
Richiesta di A

Primitive



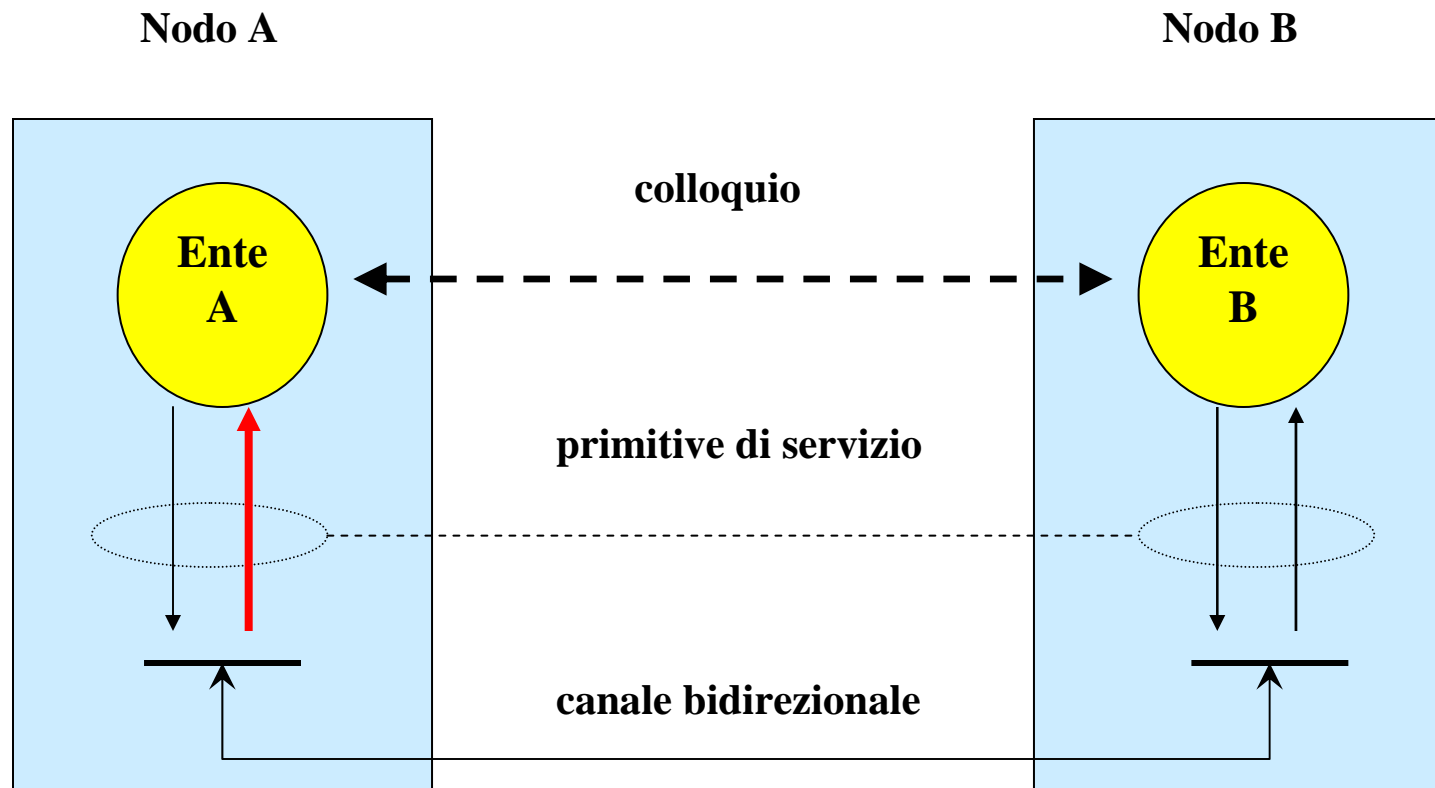
Indicazione verso B

Primitive



Risposta di B

Primitive



Conferma verso A

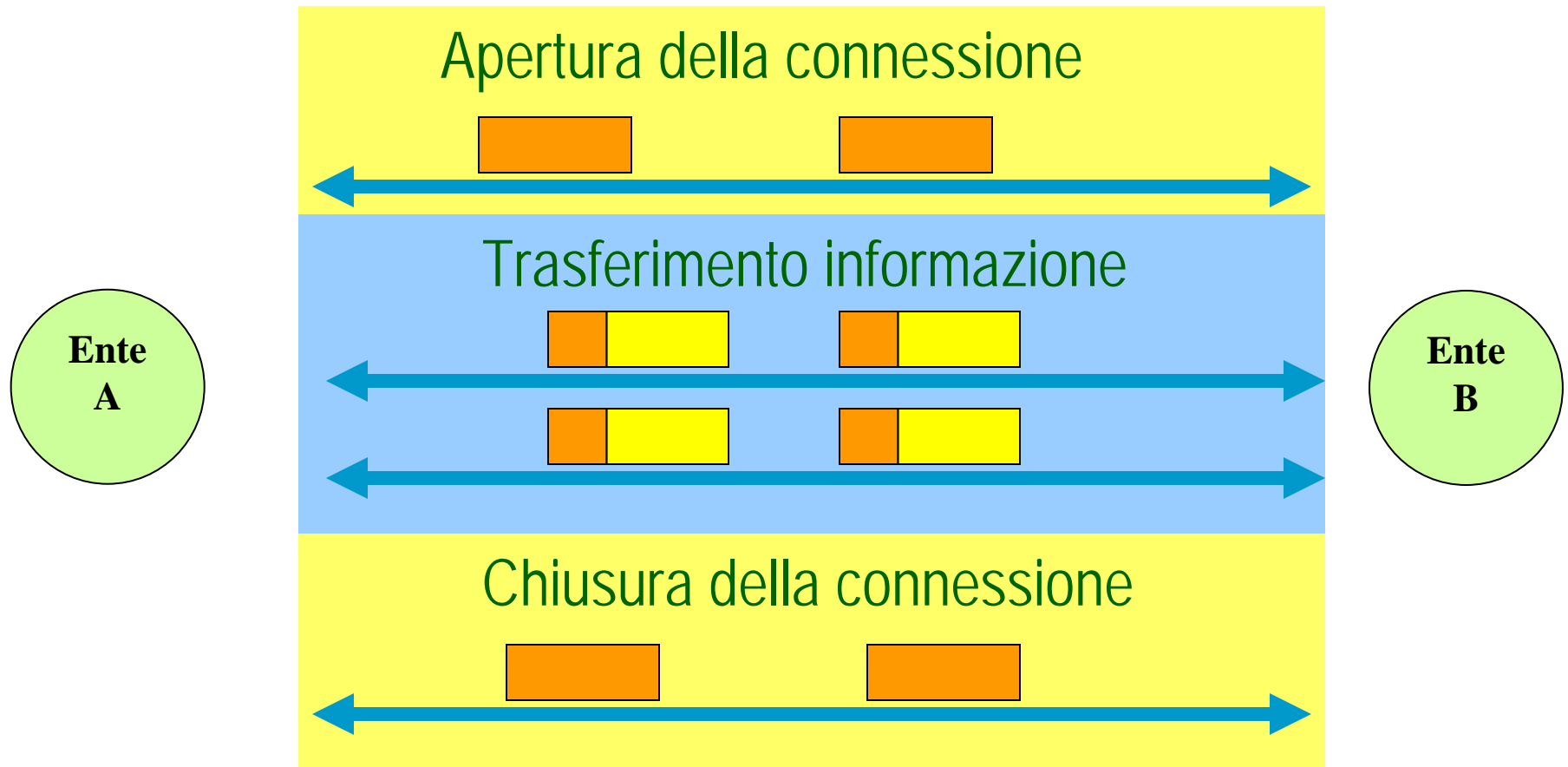
Primitive

- **servono a richiedere 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 del servizio**

Modalità di comunicazione

- Le modalità di comunicazione fra entità si dividono in due grandi classi
- Modalità a connessione (connection-oriented)
 - instaurazione della connessione
 - trasferimento dell'informazione
 - rilascio della connessione
 - *Esempio: telefonata*
- Modalità senza connessione (connectionless)
 - una sola fase
 - *Esempio: servizio postale*

Servizio a connessione



Servizio a connessione

Si distinguono 3 fasi

- ◆ **Apertura della connessione:**
 - **si instaura la sessione e ci si mette d'accordo sulle modalità di svolgimento della sessione**
- ◆ **Trasferimento dell'informazione**
- ◆ **Abbattimento (chiusura) della sessione**

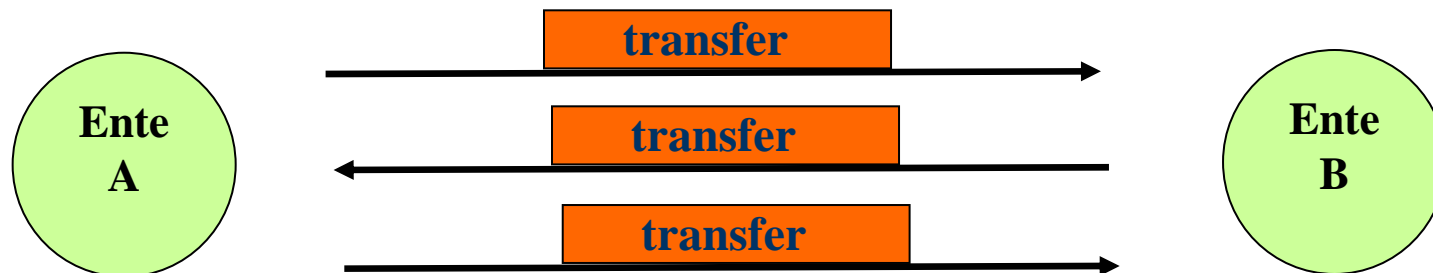
Servizio a connessione

Consente l'espletamento di servizi aggiuntivi, quali ad esempio

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

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



Esempi di colloquio a connessione

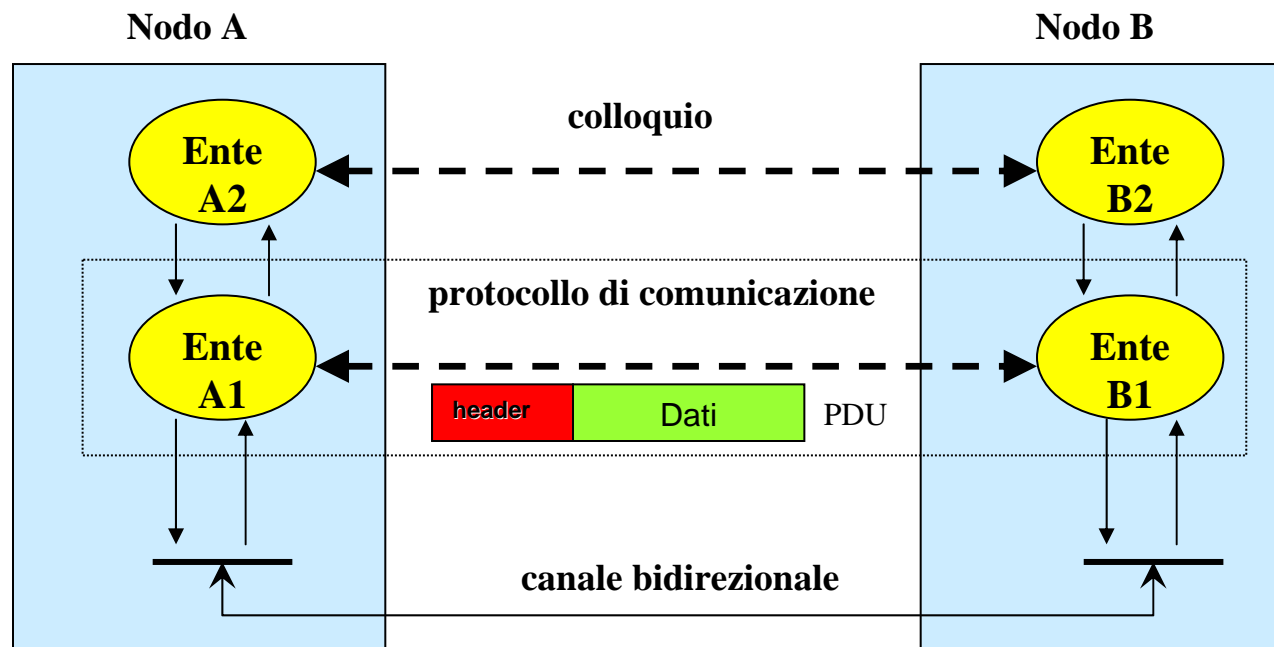
- ◆ **Un caso particolare è la connessione telefonica, in cui le PDU trasmesse sono i bit**
- ◆ **Protocolli di livello 2: HDLC, LAPB, LAPD**
- ◆ **Protocolli di rete: X.25, Frame Relay**
- ◆ **Protocollo di trasporto: TCP**

Esempi di colloquio senza connessione

- ◆ **Protocolli MAC di livello 2: Ethernet, Token Ring**
- ◆ **Protocolli di rete: IP (Internet Protocol)**
- ◆ **Protocollo di trasporto: UDP**

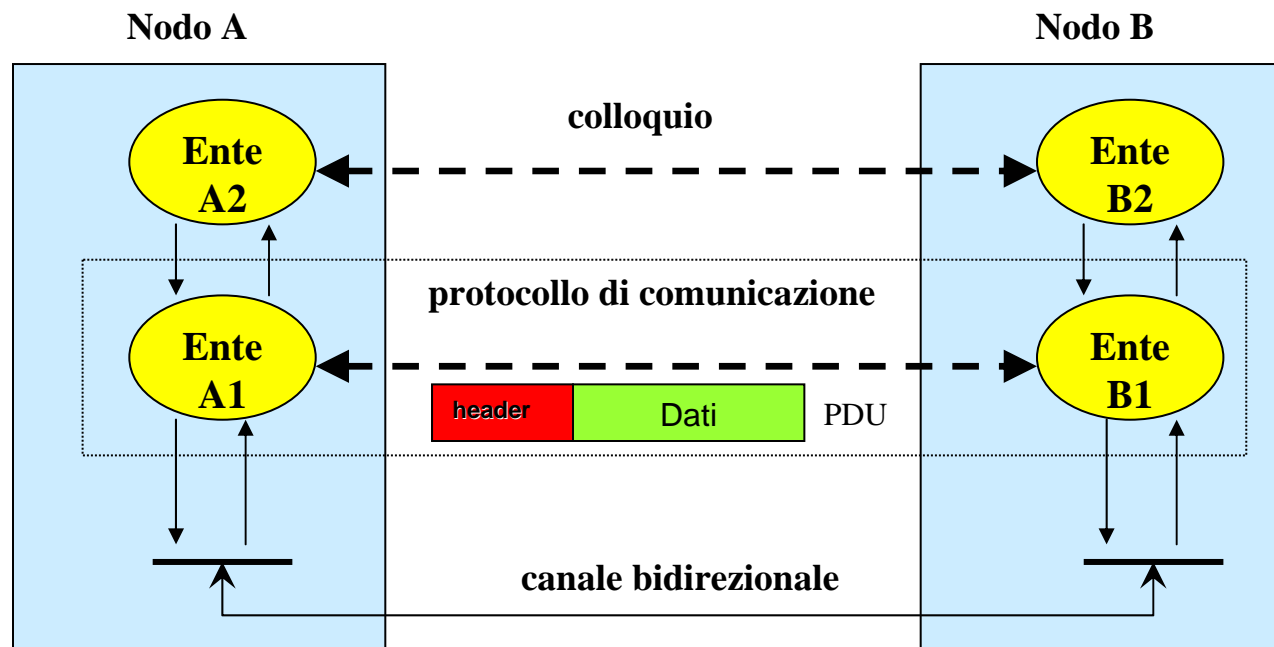
Livelli

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



Livelli

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



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.

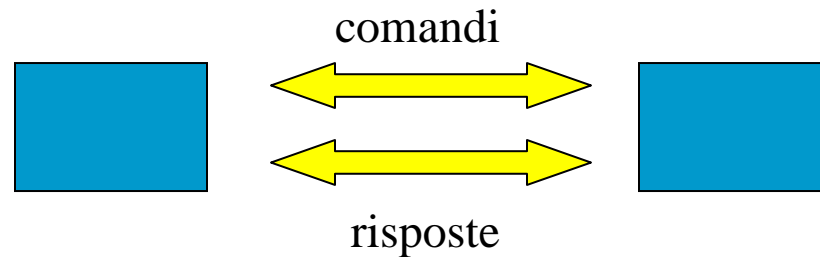
Packet Data Units (PDU)

- 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 di servizio necessaria al coordinamento tra le entità
 - informazione vera e propria ricevuta dai livelli superiori

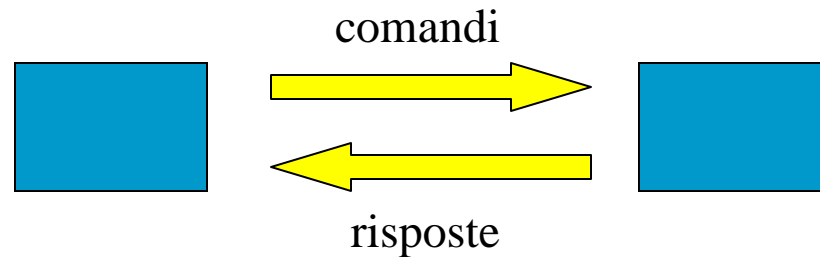


Tipi di colloquio

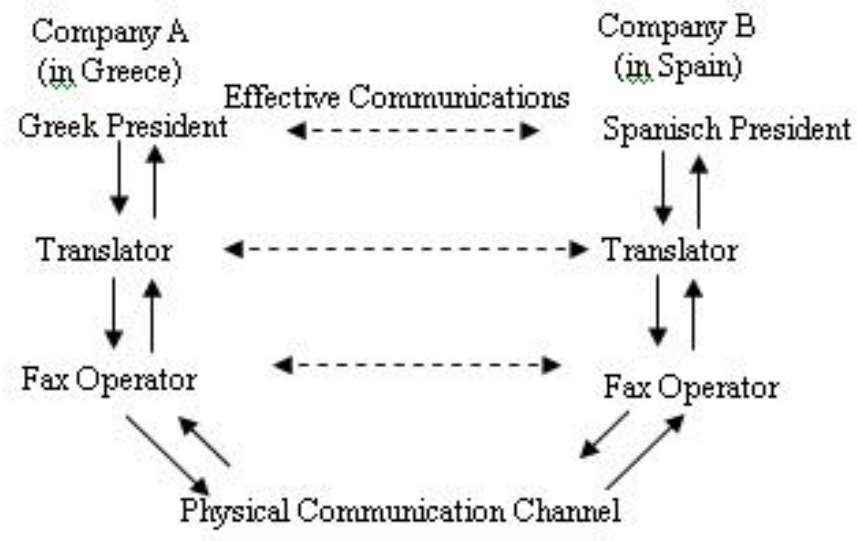
- Tra entità paritetiche (colloquio peer-to-peer)



- master-slave, o client-server



Architettura a Strati: Esempio Introduttivo



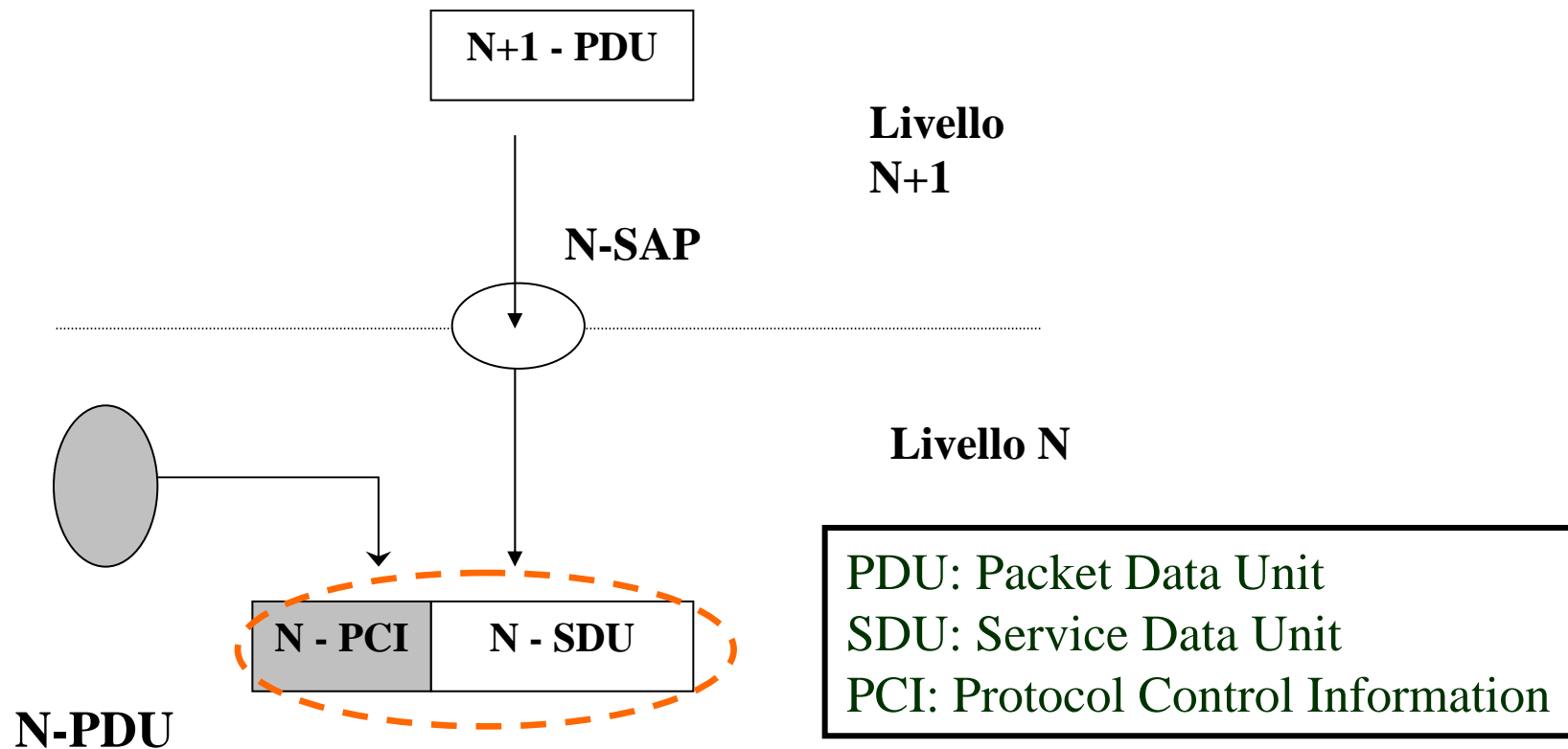
Architettura a strati

- 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 definiti complessi servizi caratterizzati da molti parametri e funzionalità

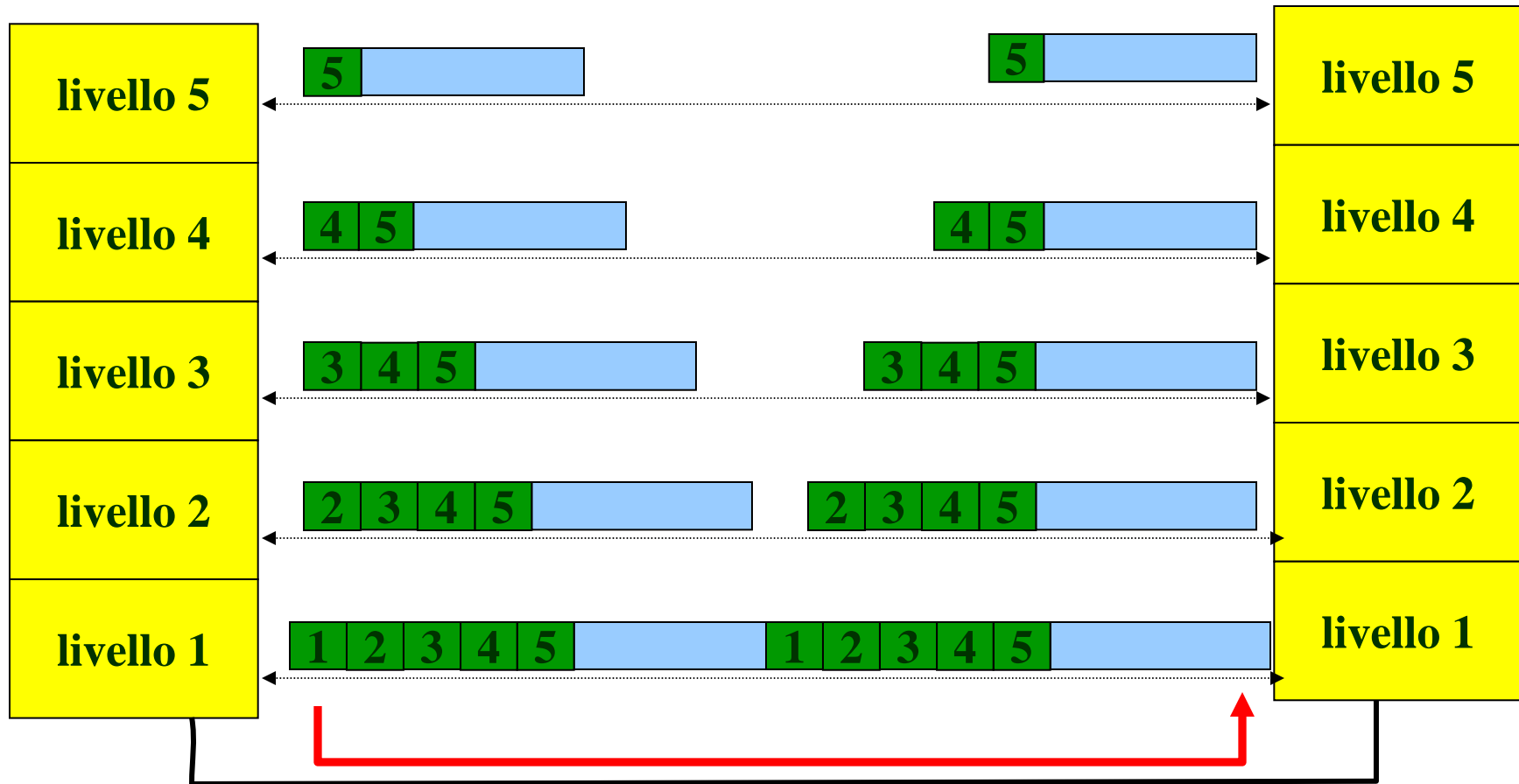


Relazioni tra i livelli

- Il servizio offerto da uno strato è rappresentato logicamente con una porta di accesso al servizio, detta Service Access Point (SAP)

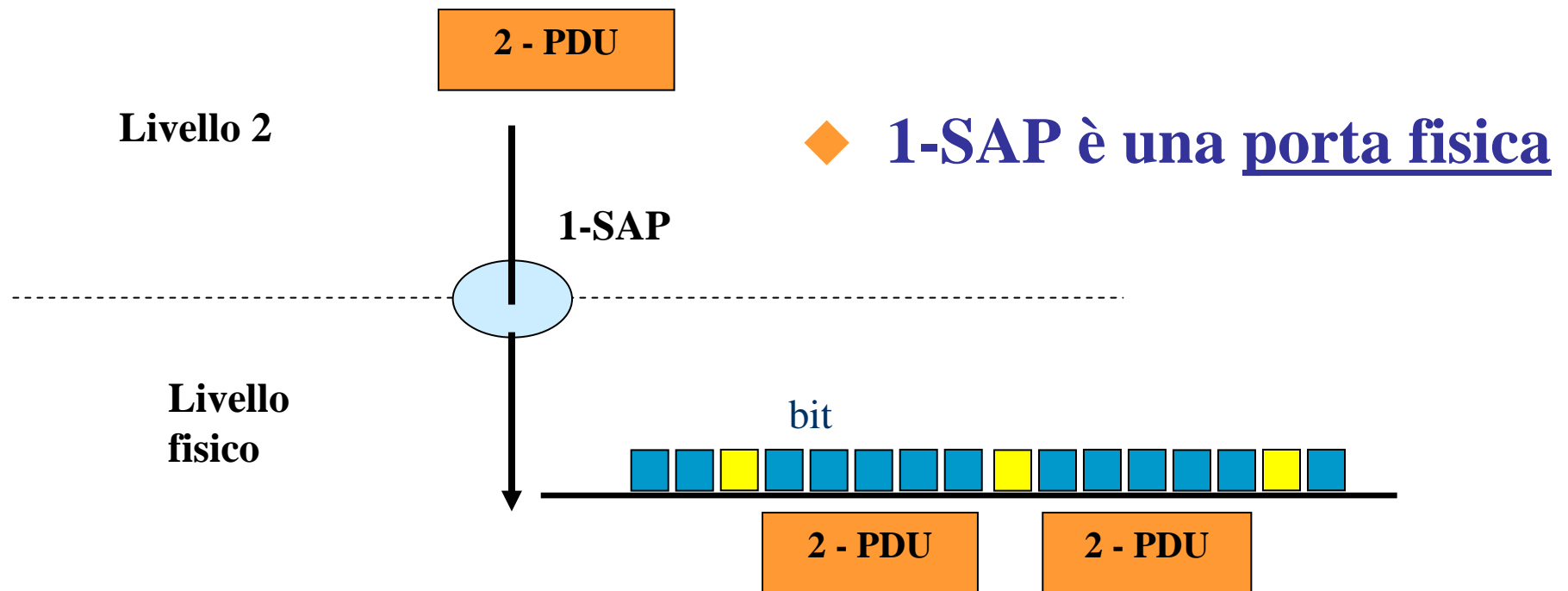


Architettura completa



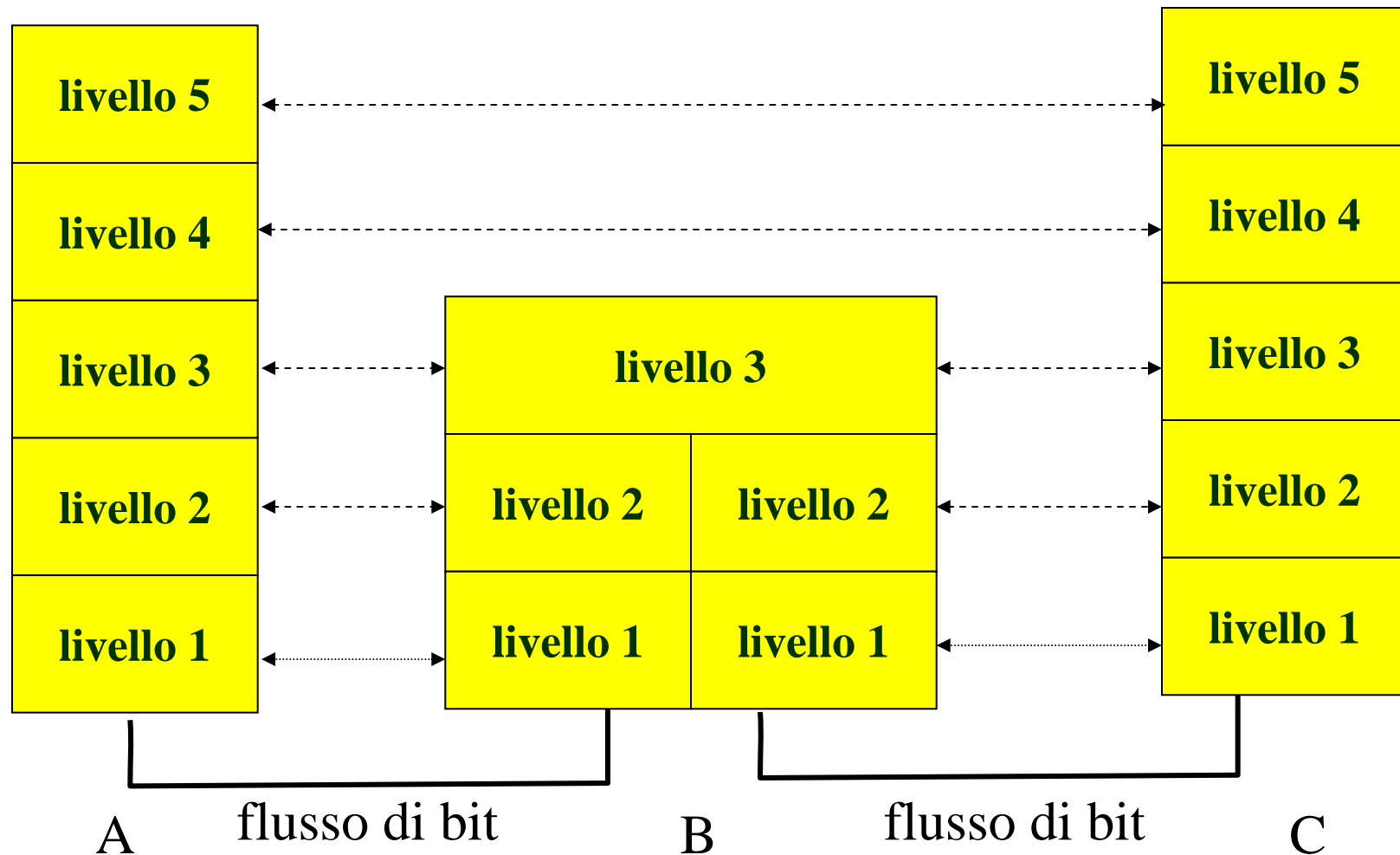
Relazioni tra i livelli

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



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

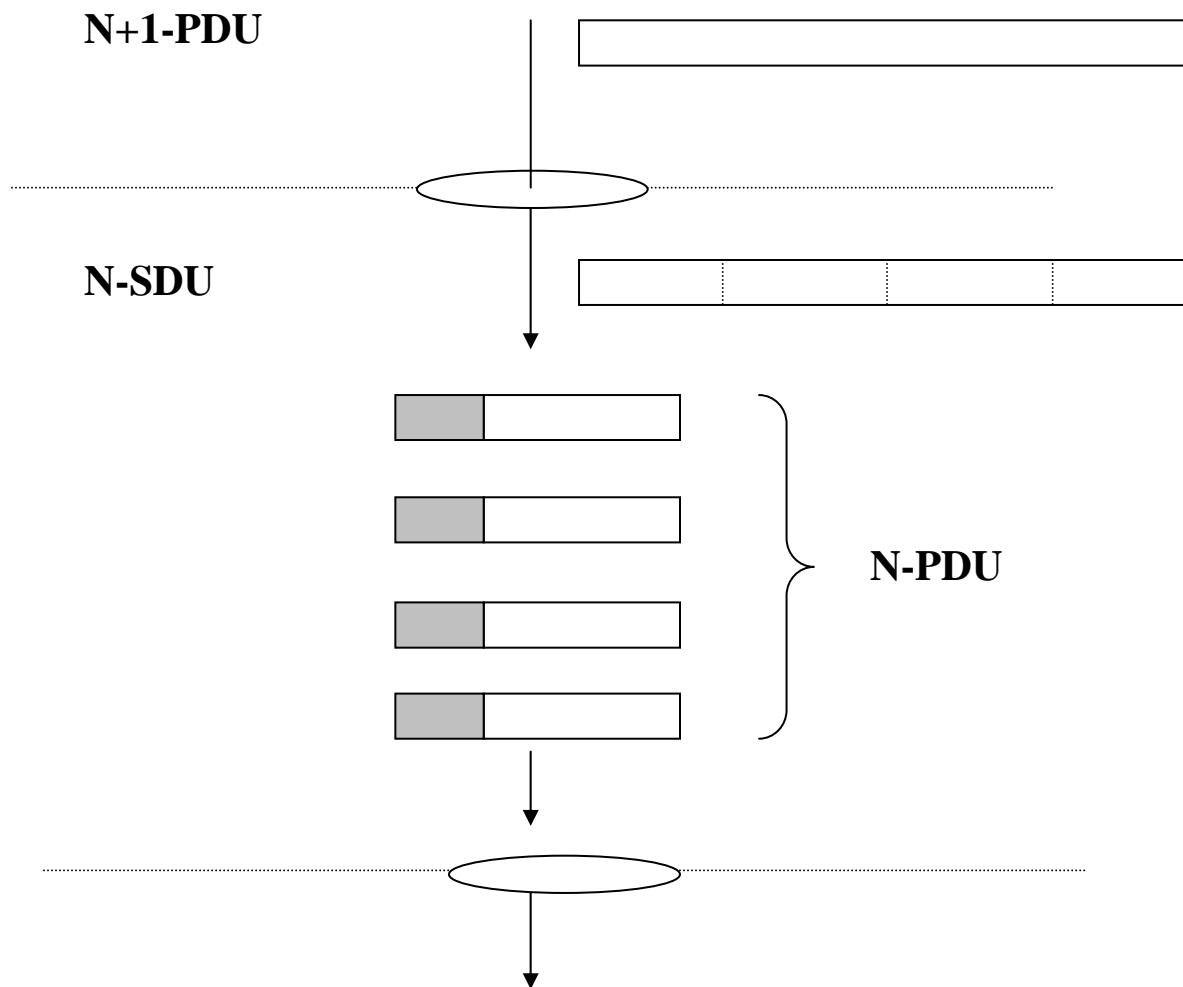
Esempio di funzionalità di una architettura completa



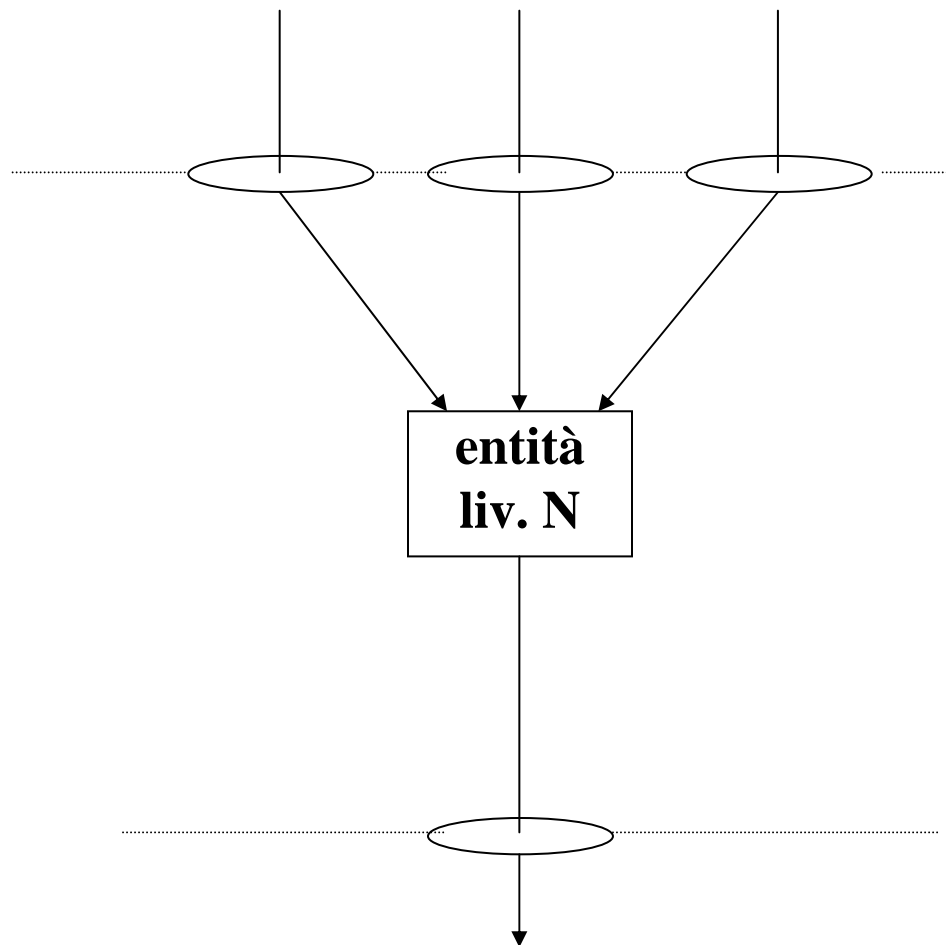
Funzioni

- **Le funzioni svolte da uno strato possono essere divise in:**
 - **funzioni di adattamento**
 - **esempi:**
 - **Moltipolazione (moltipolazione inversa)**
 - **Segmentazione (riasseblamento)**
 - **funzioni di arricchimento**
 - **esempi:**
 - **controllo d'errore**
 - **riordino trame**

Segmentazione



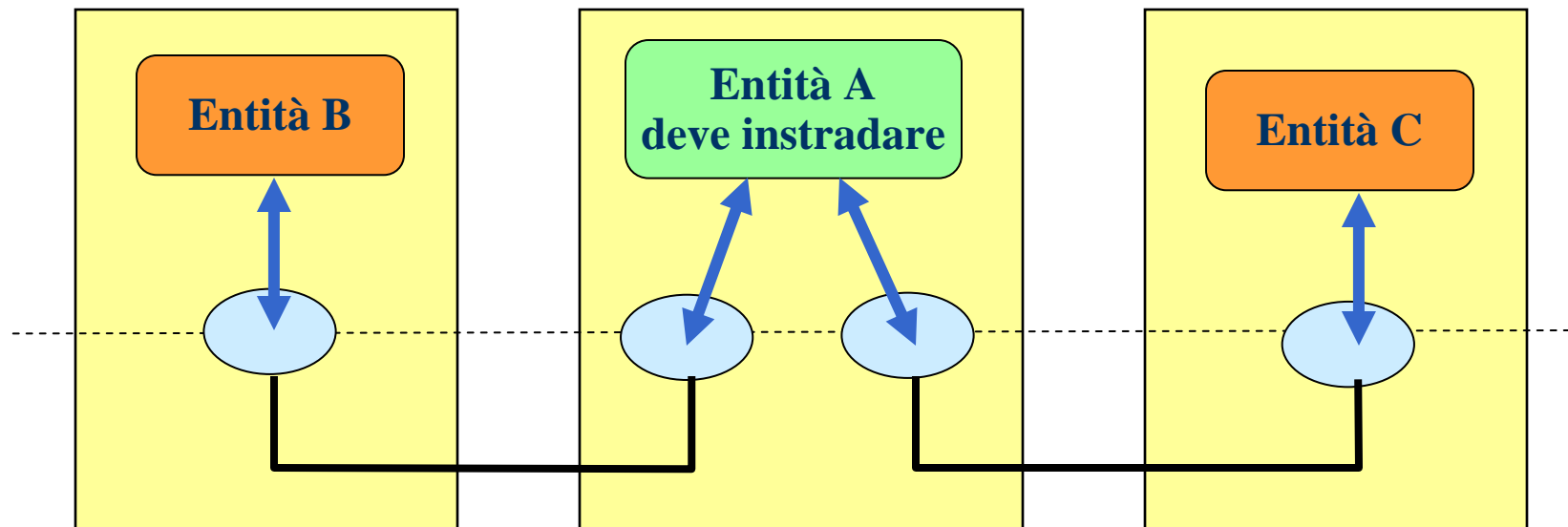
Multiplazione



- **Le SDU provenienti da SAP diversi sono convogliate in un unico SAP sottostante**
- **Ciò consente di dividere la capacità dei mezzi trasmissivi fisici per ottenere più canali di velocità più bassa, come vedremo più avanti.**

Funzione di rete

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

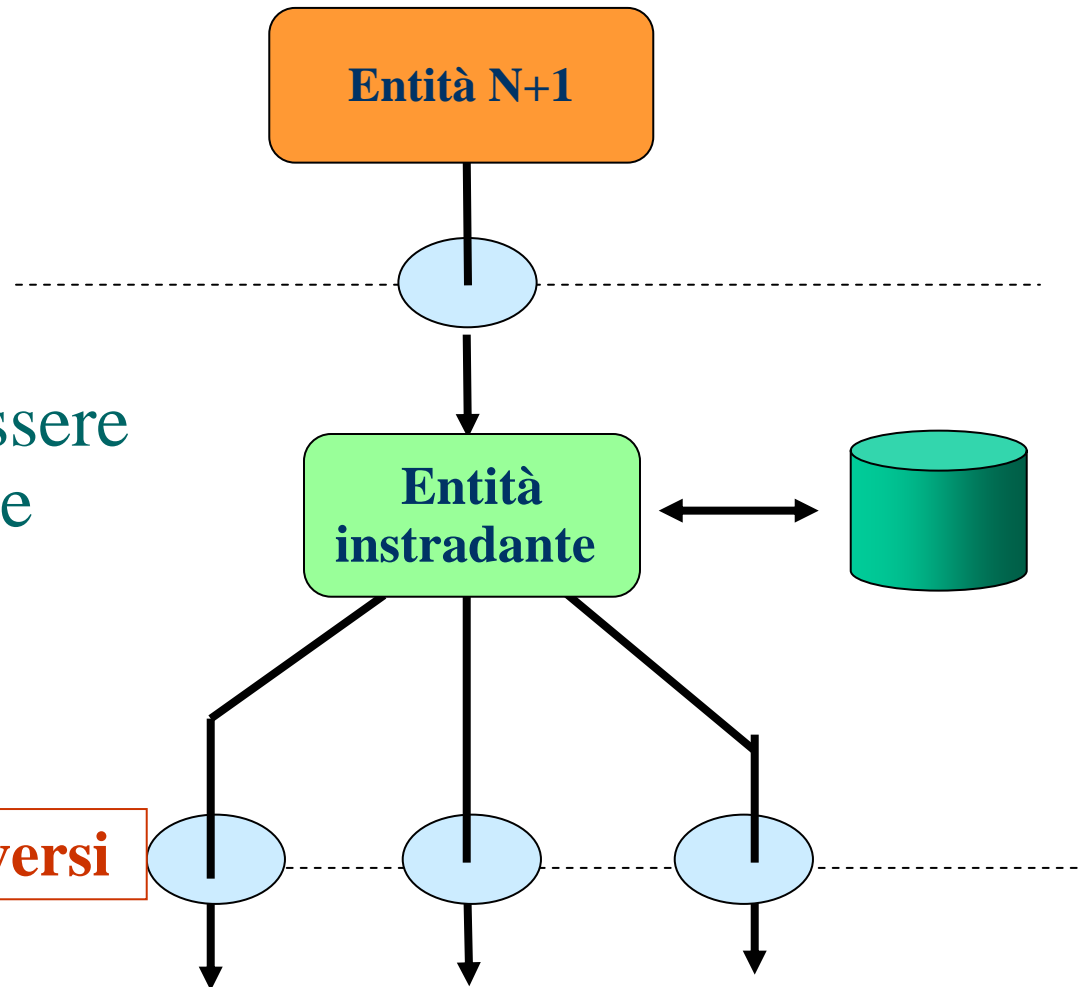


Instradamento

◆ Primo problema:
individuare il partner nel
colloquio

◆ L'instradamento può essere
effettuato se si introduce
l'**INDIRIZZAMENTO**

SAP che connettono enti diversi

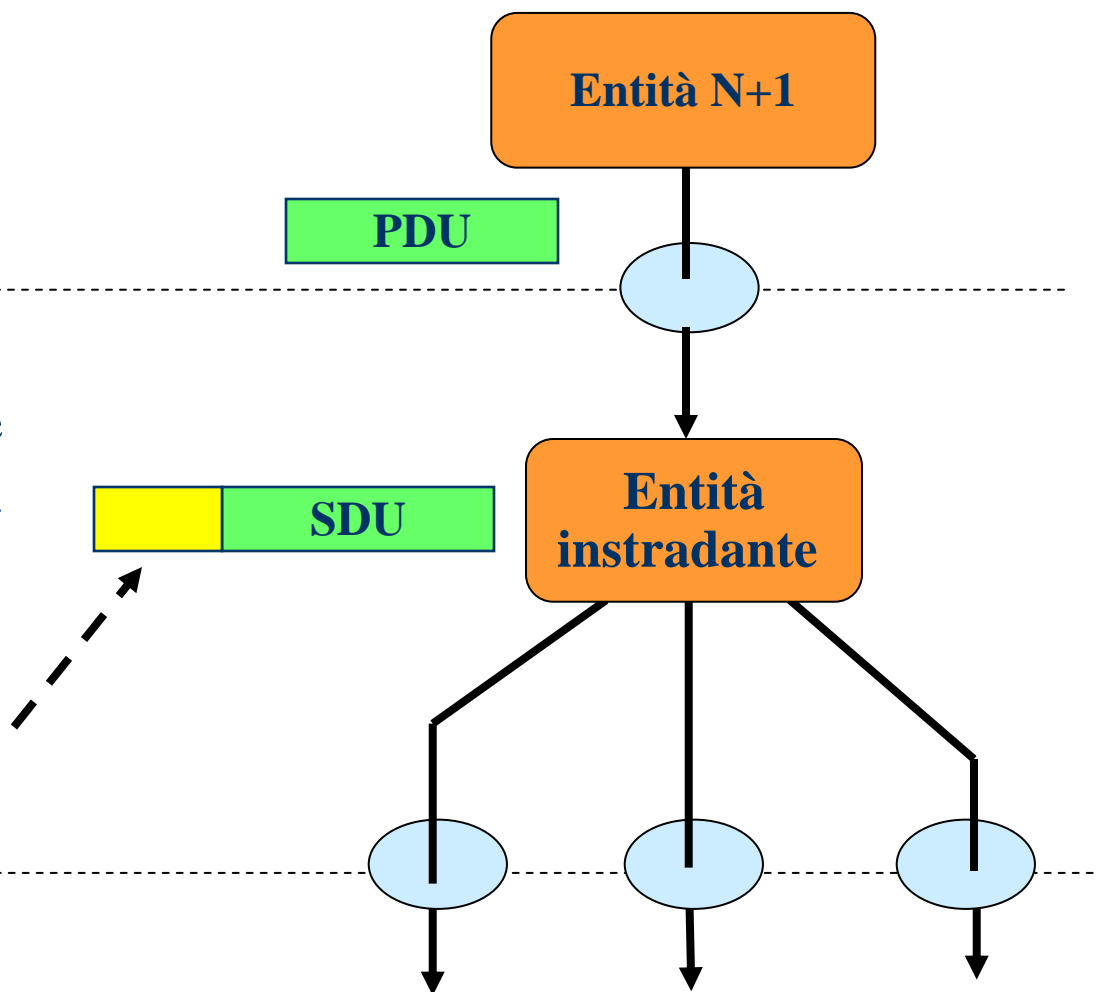


Indirizzamento & Instradamento

La PDU viene passata col parametro **INDIRIZZO**

L' **INDIRIZZO** viene usato dall'entità instradante per **instradare** (scegliere il **SAP di uscita**)

e viene incapsulato perché possa essere instradato da altri nodi



Indirizzamento

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

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

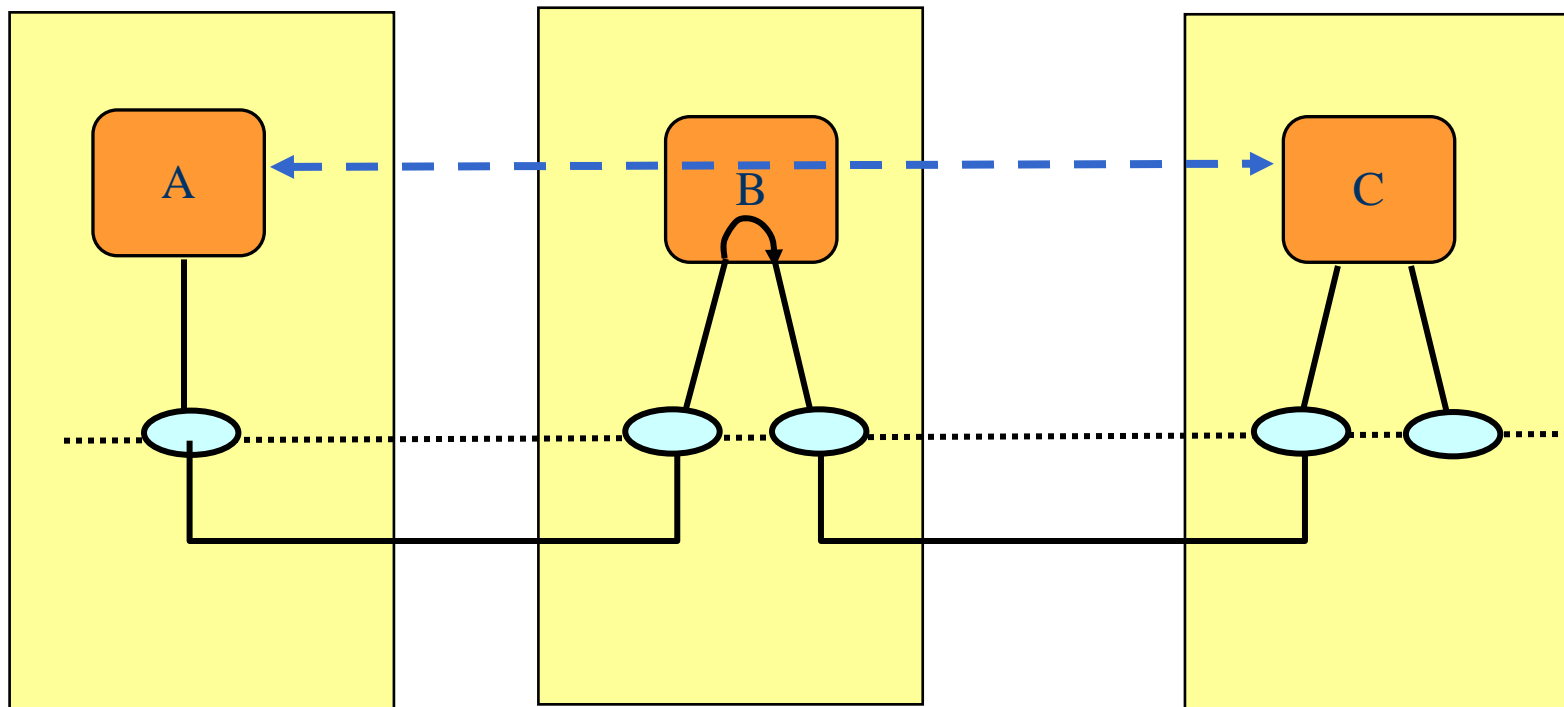


Tabelle di Instradamento

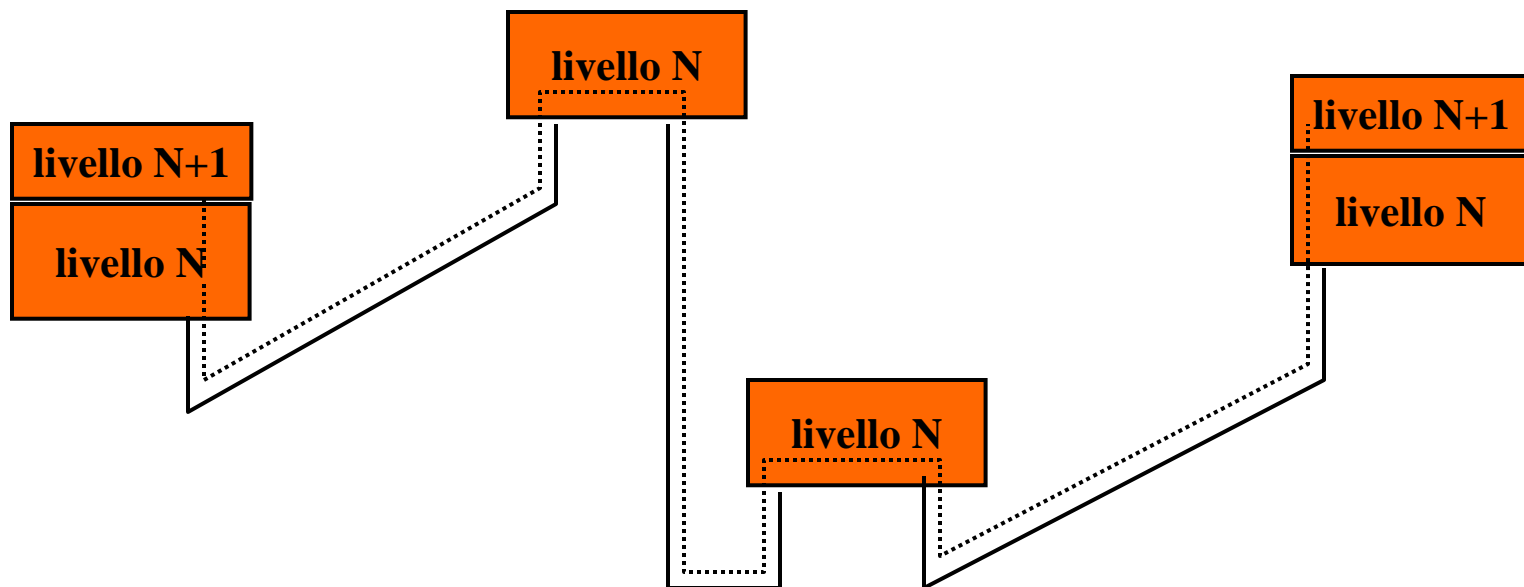
- scelta del SAP di uscita sulla base delle informazioni memorizzate

tabella di instradamento	
destinaz.	SAP uscita

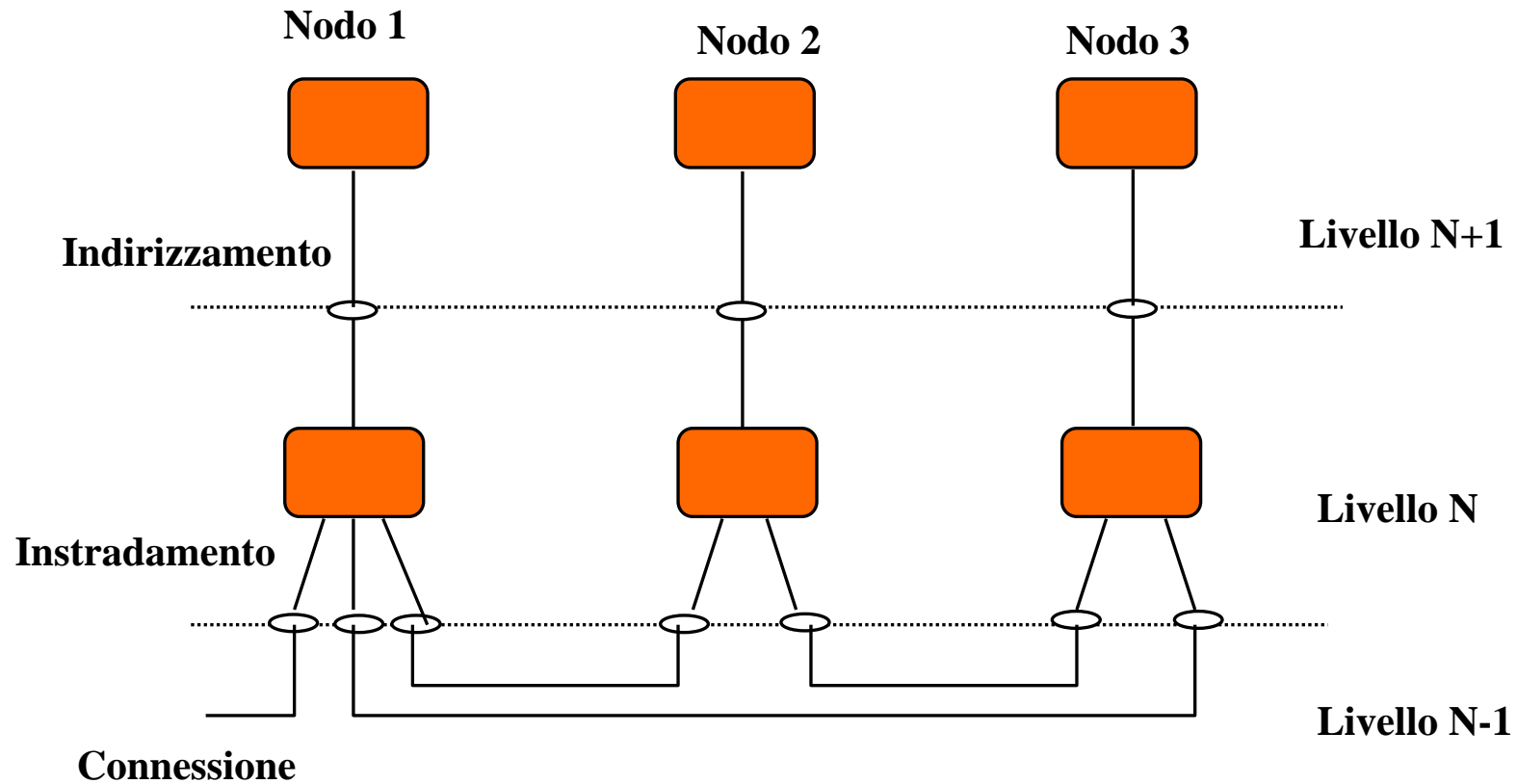
- raccolta delle informazioni mediante scambio di dati con gli altri nodi
 - protocolli di instradamento

La via verso la destinazione

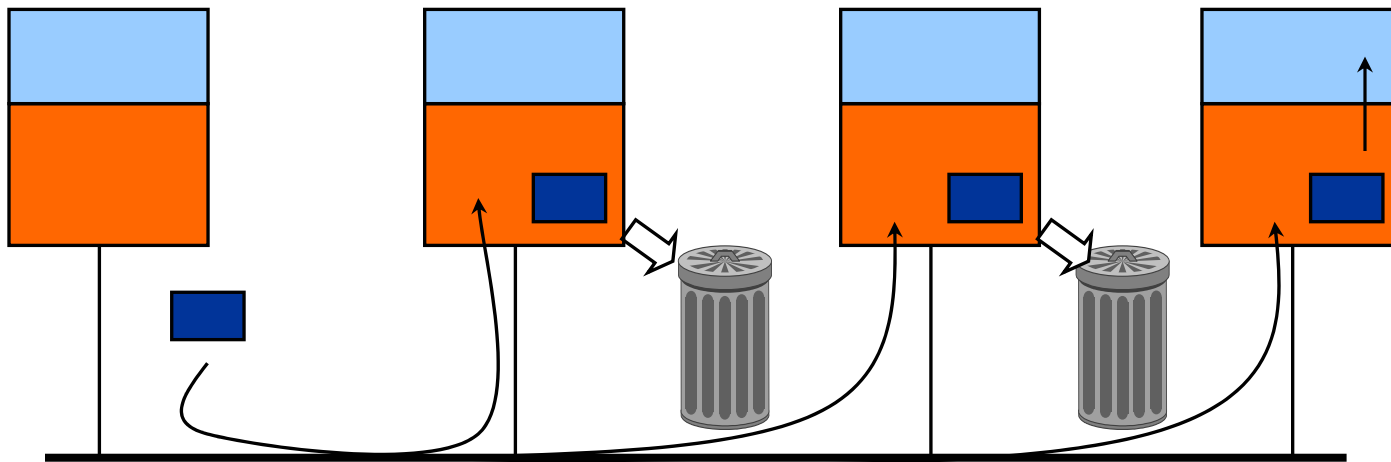
- è possibile attraversare molti nodi prima di giungere a destinazione
- alcuni nodi possono svolgere solo la funzione di relay



Funzione di rete sopra un servizio di collegamenti punto-punto



Servizio di rete sopra un collegamento broadcast

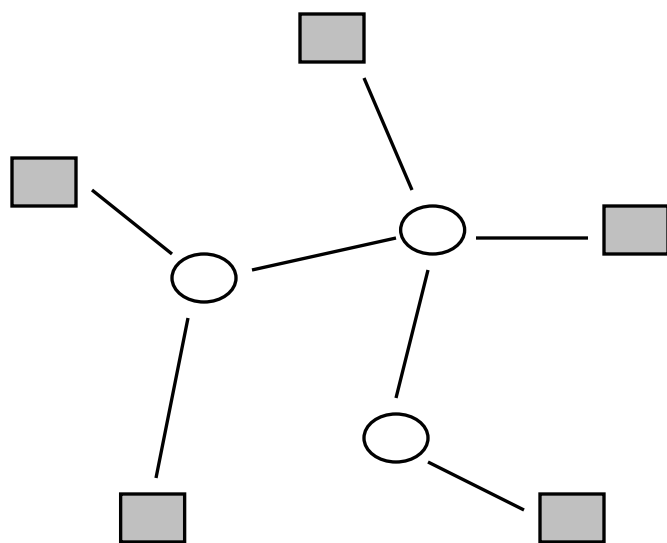


Riassunto:

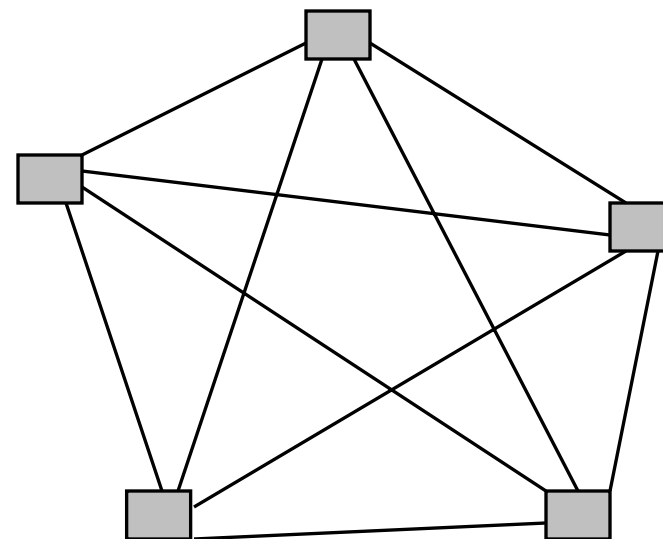
- **Indirizzo:**
 - indica il SAP da cui raggiungere l'entità di destinazione
- **Instradamento:**
 - se l'entità di rete che riceve da un SAP la PDU non riconosce l'indirizzo come proprio deve inoltrarla verso un nuovo SAP di uscita
 - scelta del SAP = instradamento
- **Forwarding o Commutazione**
 - passaggio effettivo della PDU dal SAP di ingresso a quello d'uscita

Visioni della rete a livelli diversi

- nodi finali
- nodi intermedi



livello N

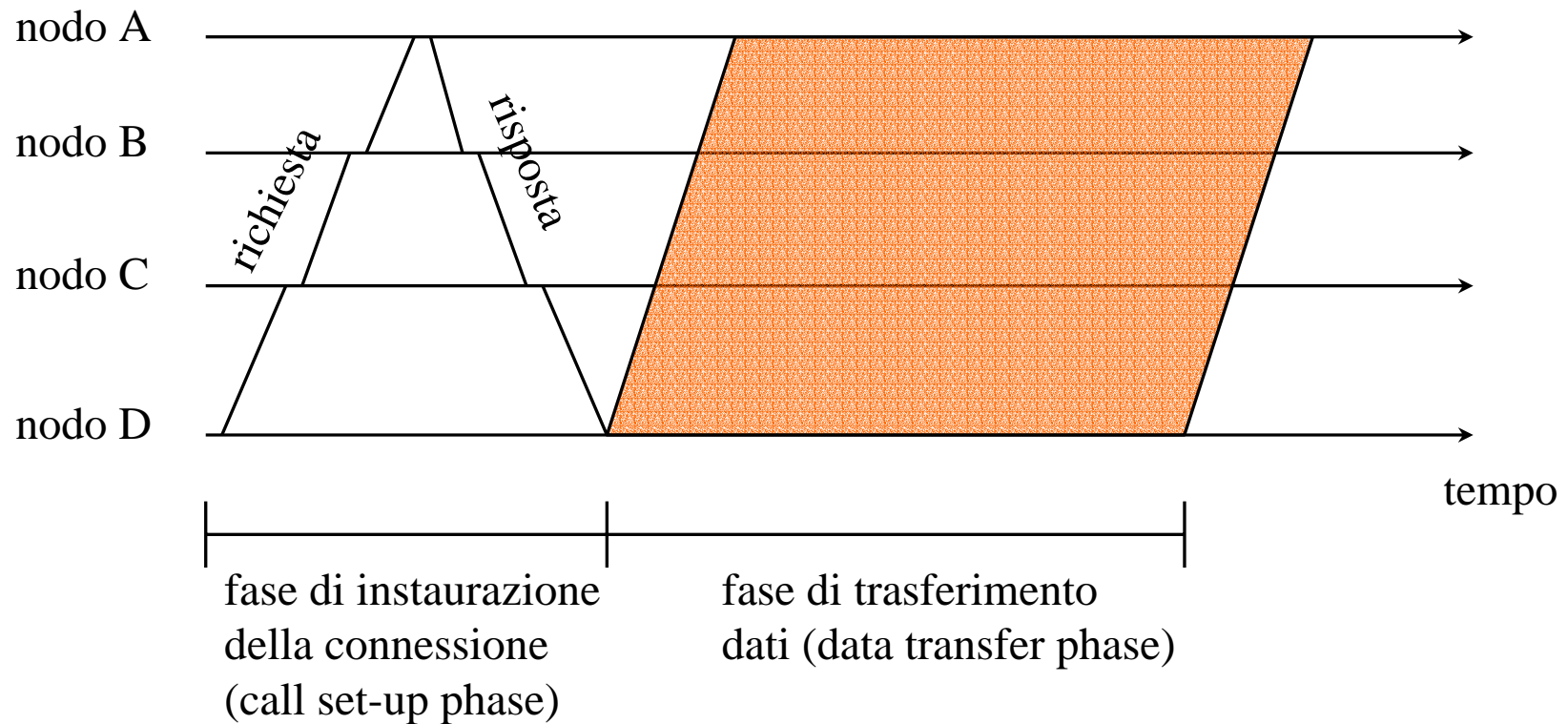
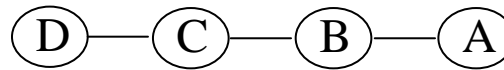


livello N+1

Instradamento e Commutazione in modalità Commutazione di circuito

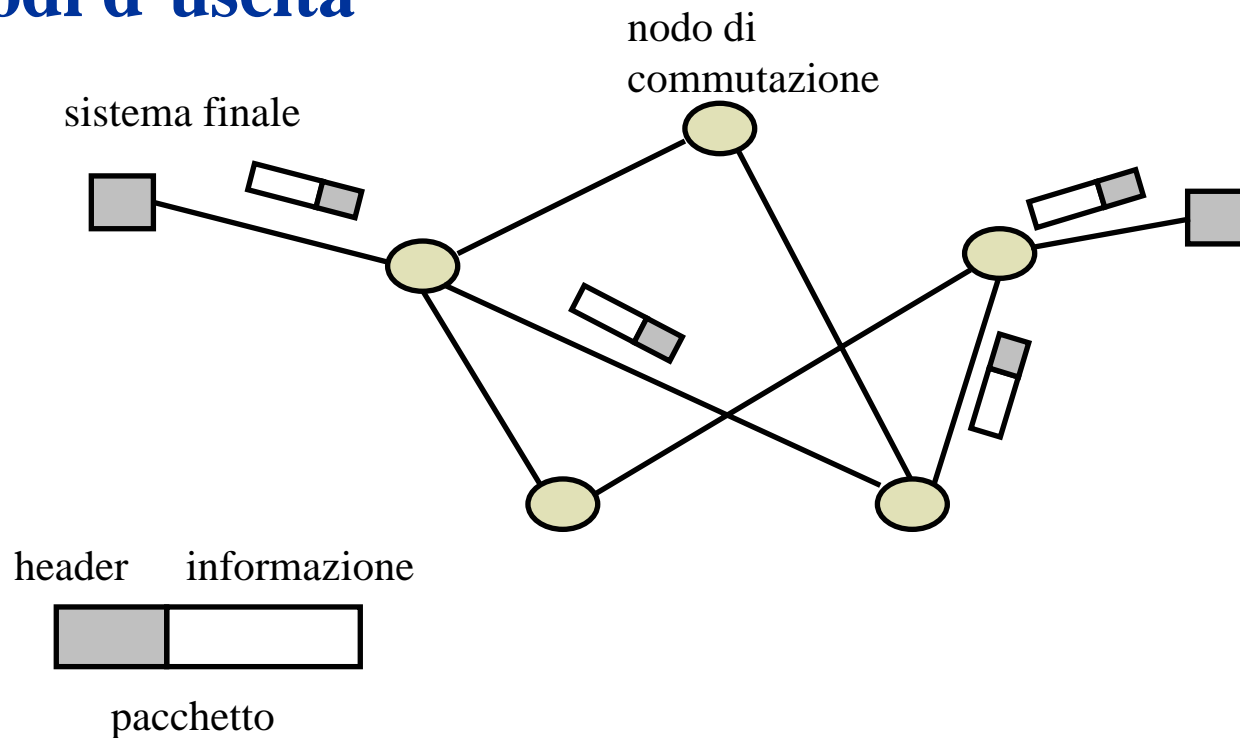
- **I nodi hanno il compito di collegare in modo stabile un SAP di ingresso con un SAP di uscita (*esempio: rete telefonica*)**
- **la funzione di instradamento (associazione SAP-ingresso SAP-uscita) avviene nella fase di setup del circuito**
- **la funzione di commutazione assicura nei nodi attraversati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

Instradamento e Commutazione in modalità Commutazione di circuito



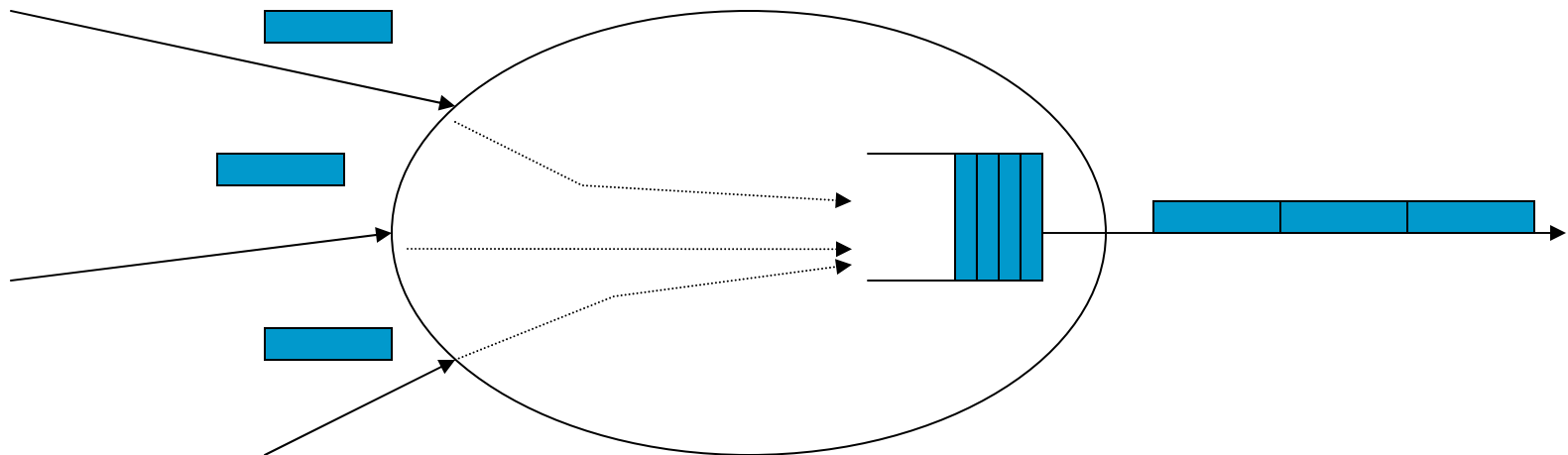
Instradamento e Commutazione in modalità Commutazione di pacchetto

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



Multiplazione 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



Commutazione di pacchetto: modalità datagram

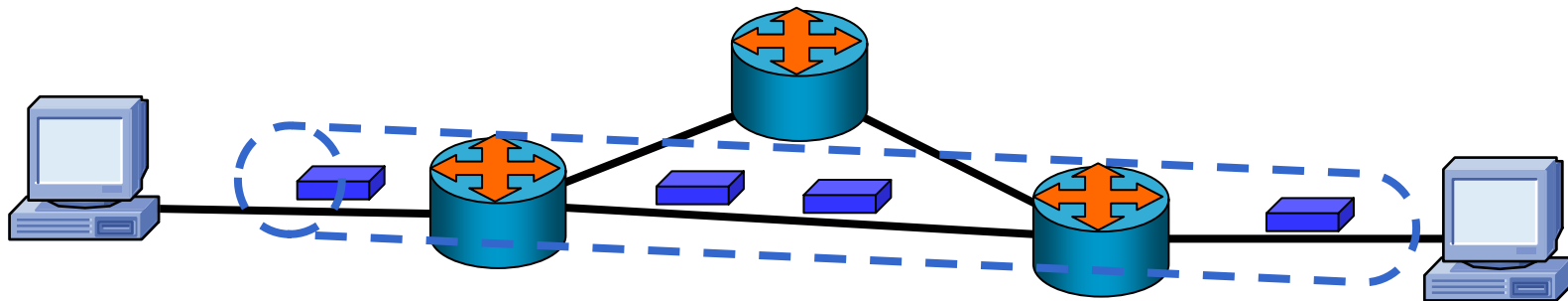
- ogni pacchetto è considerato un'entità autonoma e trasferita in rete sulla sola base dell'indirizzo di destinazione (servizio postale)
- instradamento effettuato con tabelle del tipo:

tabella di instradamento	
indirizzo dest.	porta di uscita

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

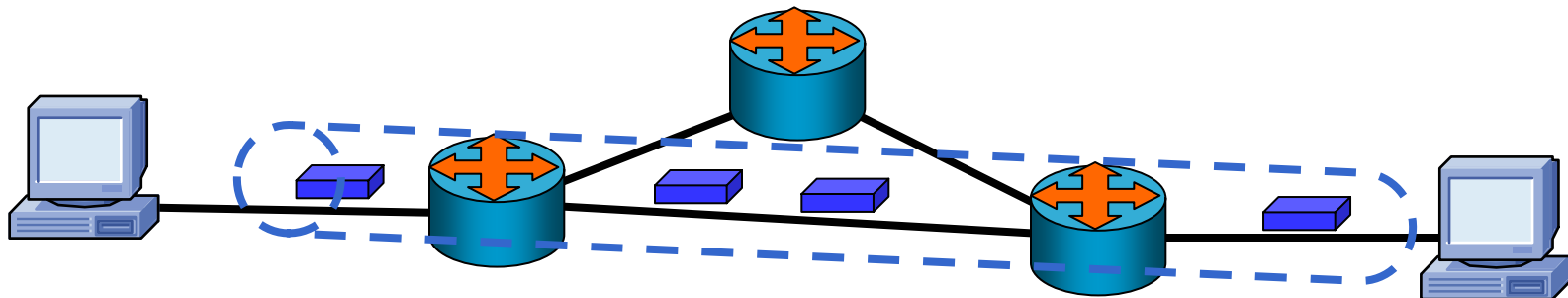
Commutazione di pacchetto: circuito virtuale

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



Commutazione di pacchetto: circuito 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



Commutazione di pacchetto: circuito virtuale

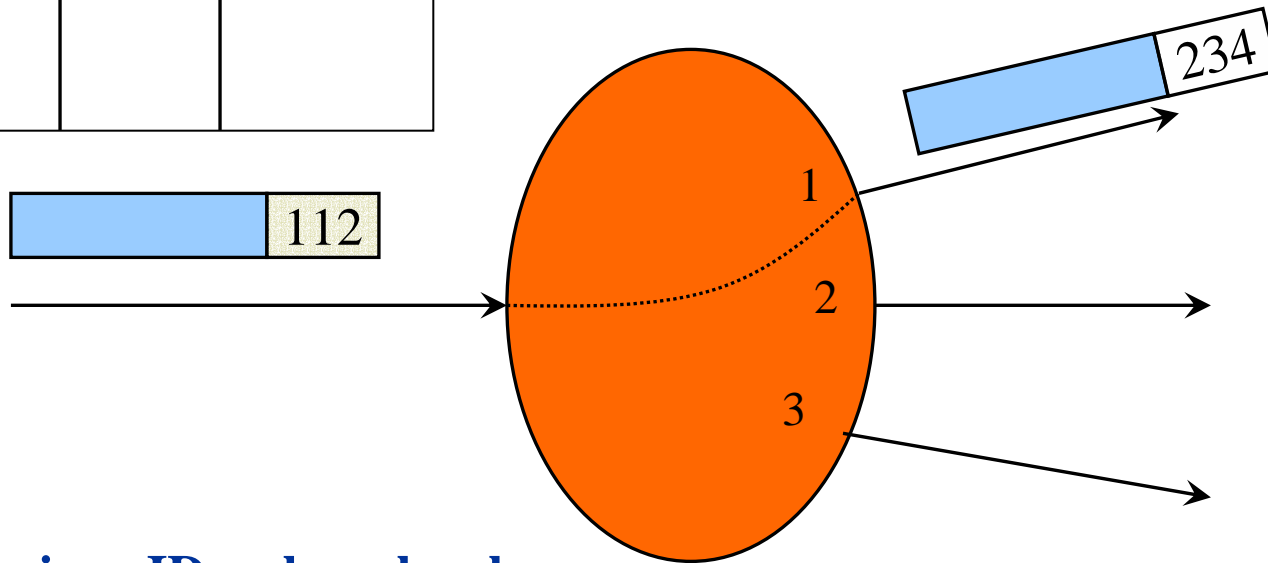
- Dopo la fase di setup i pacchetti seguono tutti lo stesso percorso in rete perché sono instradati sulla base dell'identificativo di circuito virtuale

tabella di instradamento	
label	porta di uscita

- L'assegnazione dell'identificativo di circuito virtuale può essere:
 - globale
 - locale

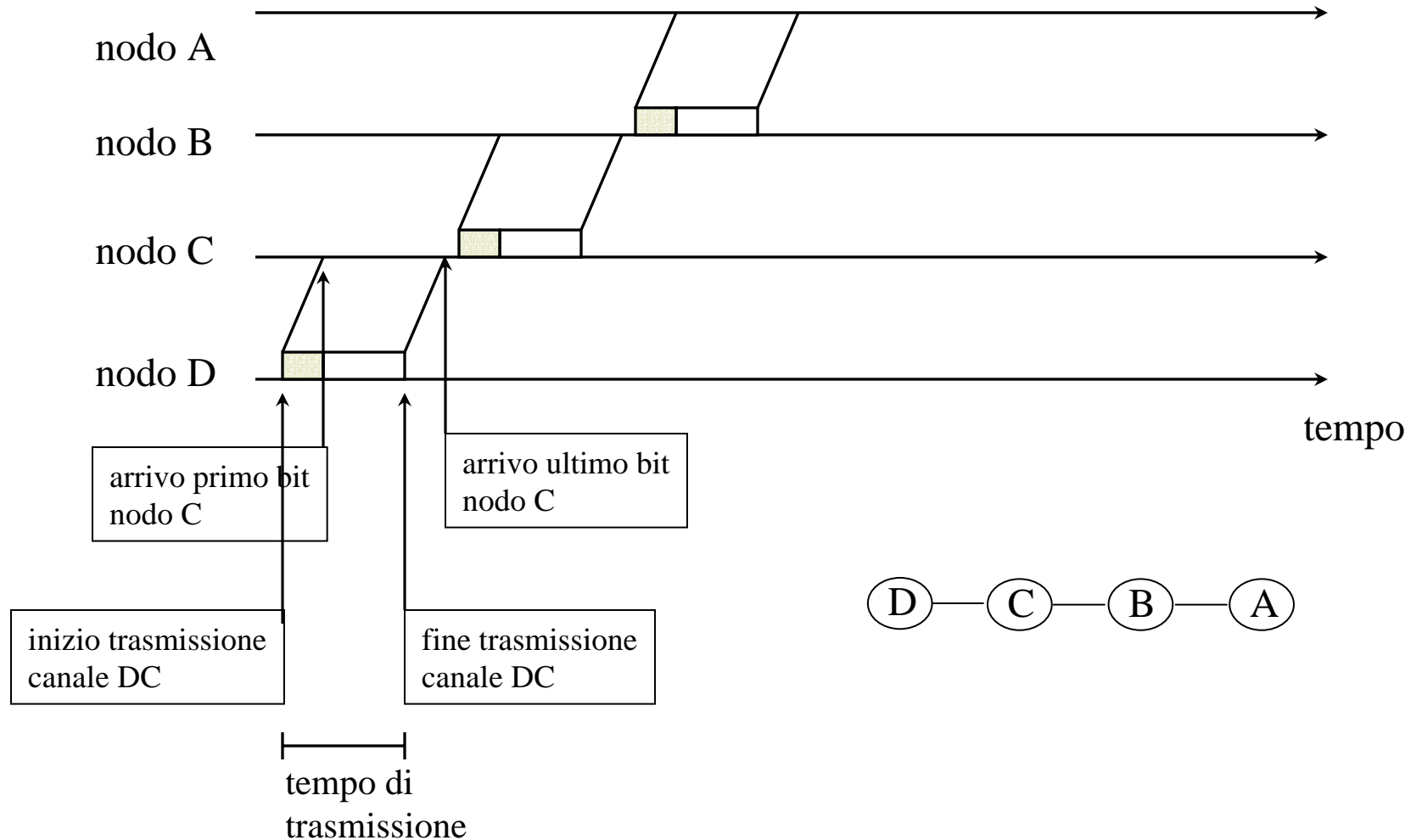
Commutazione di pacchetto: circuito virtuale

id. ingresso	uscita	id. uscita
112	1	234



- **Assegnazione ID su base locale**
 - Il pacchetto cambia identificativo nel passaggio da un canale al successivo
 - La tabella di instradamento contiene dunque sia l'indicazione del canale di uscita da utilizzare che il nuovo identificativo da utilizzare per il pacchetto stesso (nell'esempio sopra, 234)

Commutazione di pacchetto: circuitto virtuale



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]

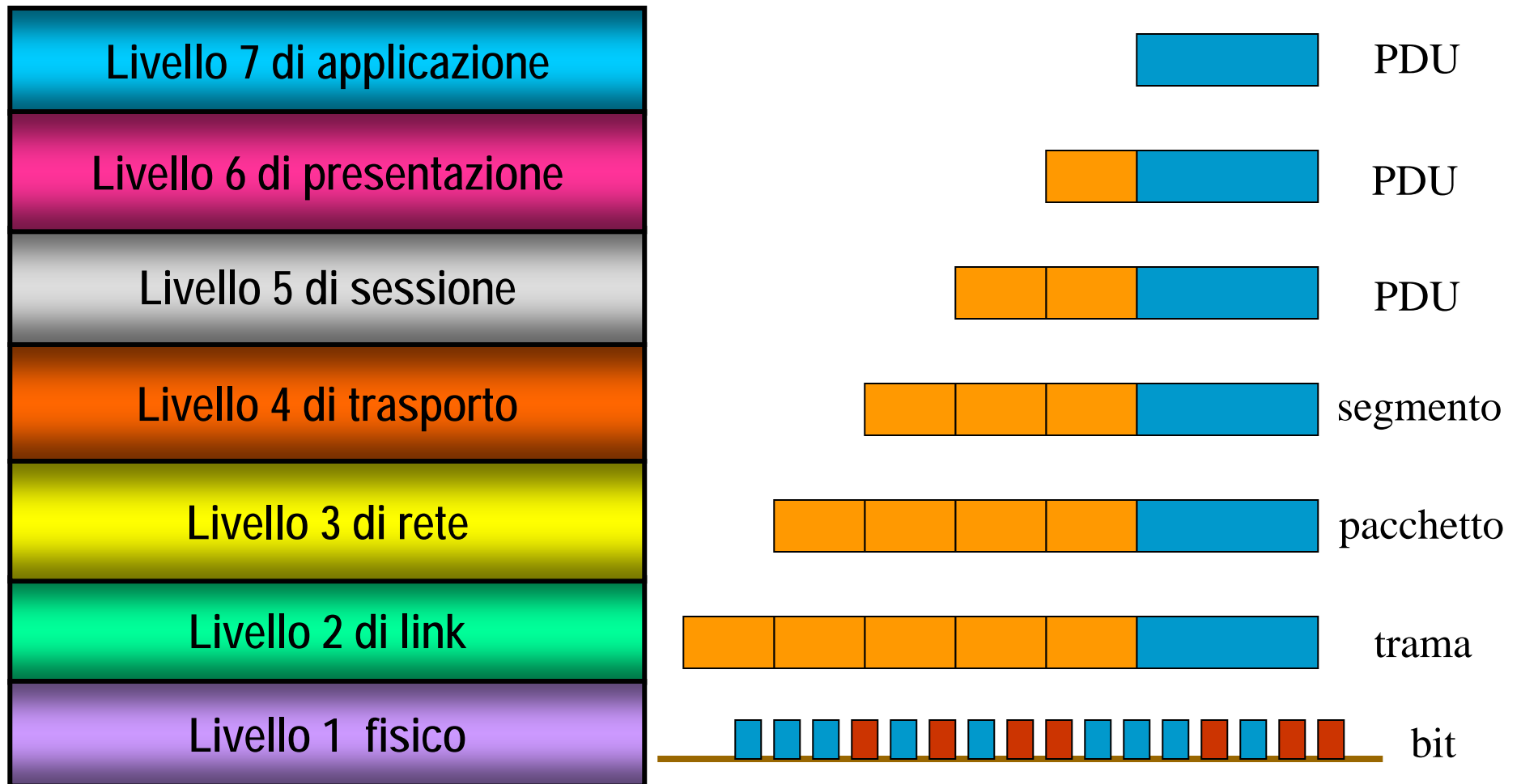
- **Tempo di elaborazione:**

- **tempo per consultare le tabelle ed instradare il pacchetto**

L'architettura a strati ISO-OSI

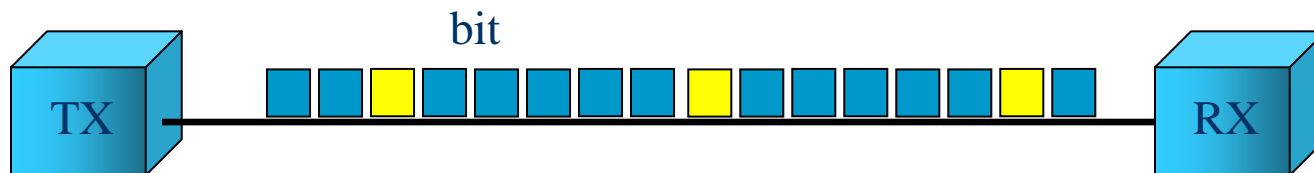
- ◆ **E' uno standard architetturale a strati**
- ◆ **per servizi di connessione in Sistemi Aperti**
- ◆ **Open System Interconnect**
- ◆ **Definisce sette livelli**
- ◆ **Obsoleto, ma ancora in gran parte utile**
- ◆ **Anche gli strati OSI vengono suddivisi in sottostrati**

Architettura a strati OSI

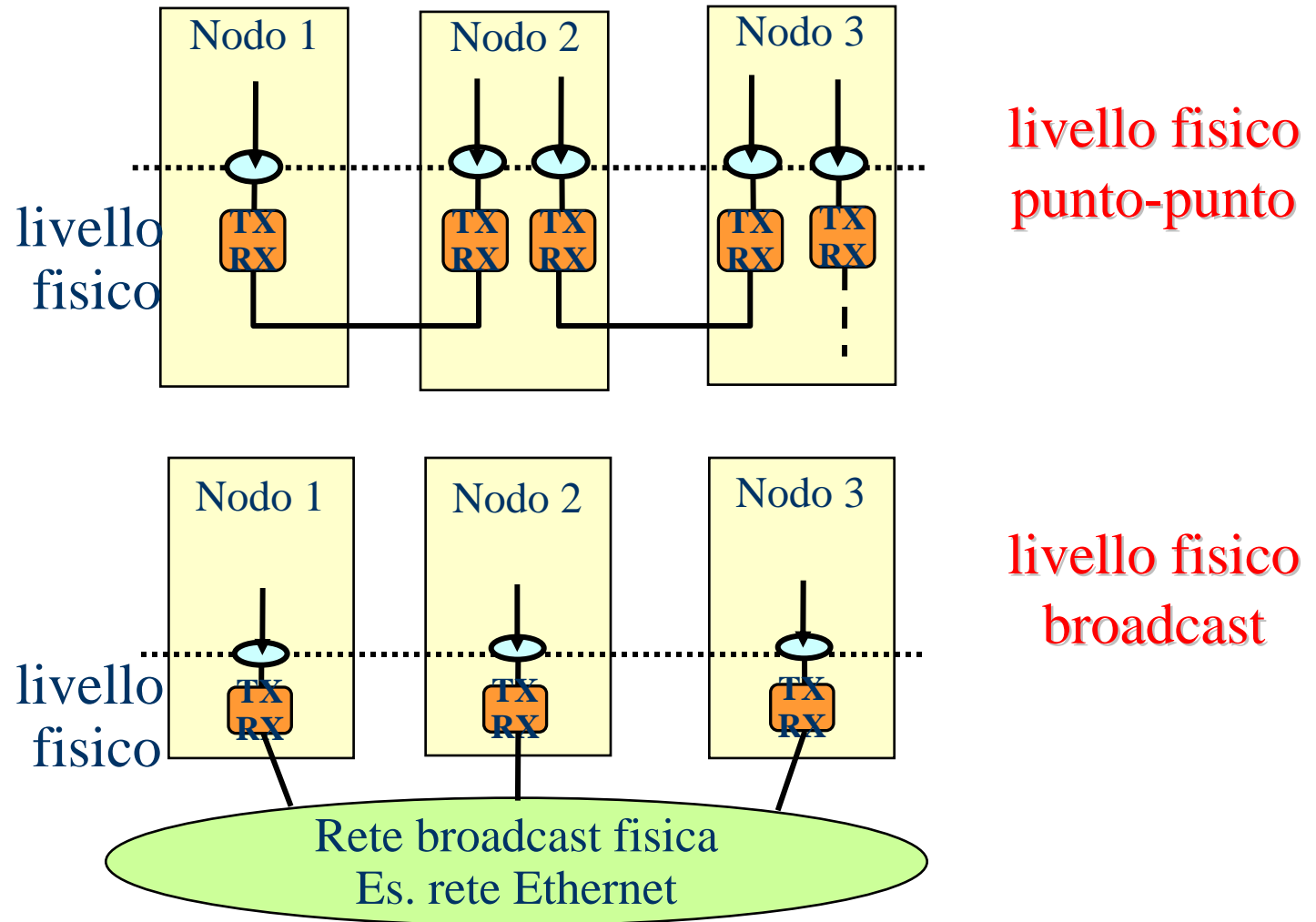


Livello fisico

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



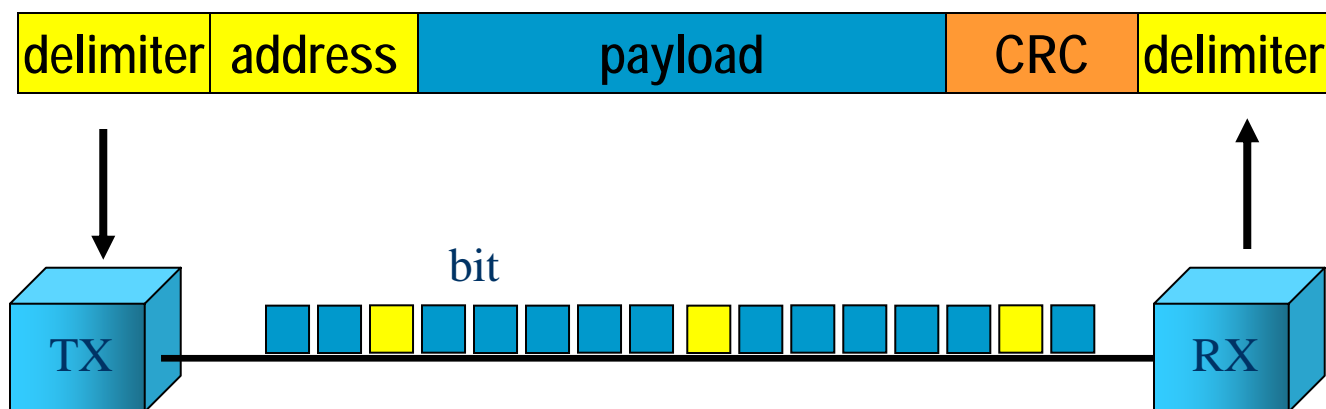
Livello fisico



Livello di linea (Data Link)

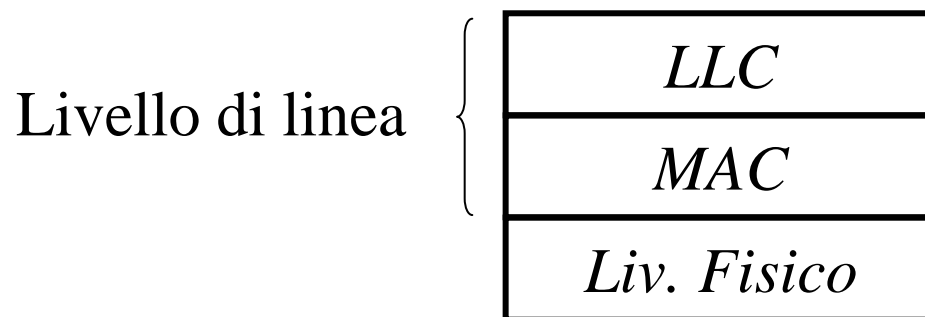
- Si occupa del trasferimento di unità logiche di bit (trame) su un collegamento
 - raggruppamento dei bit in trame
 - controllo d'errore e protocolli di ritrasmissione (ad es. Automatic Repeat reQuest, ARQ)
 - controllo di flusso

Esempio di trama



Livello di linea per reti broadcast

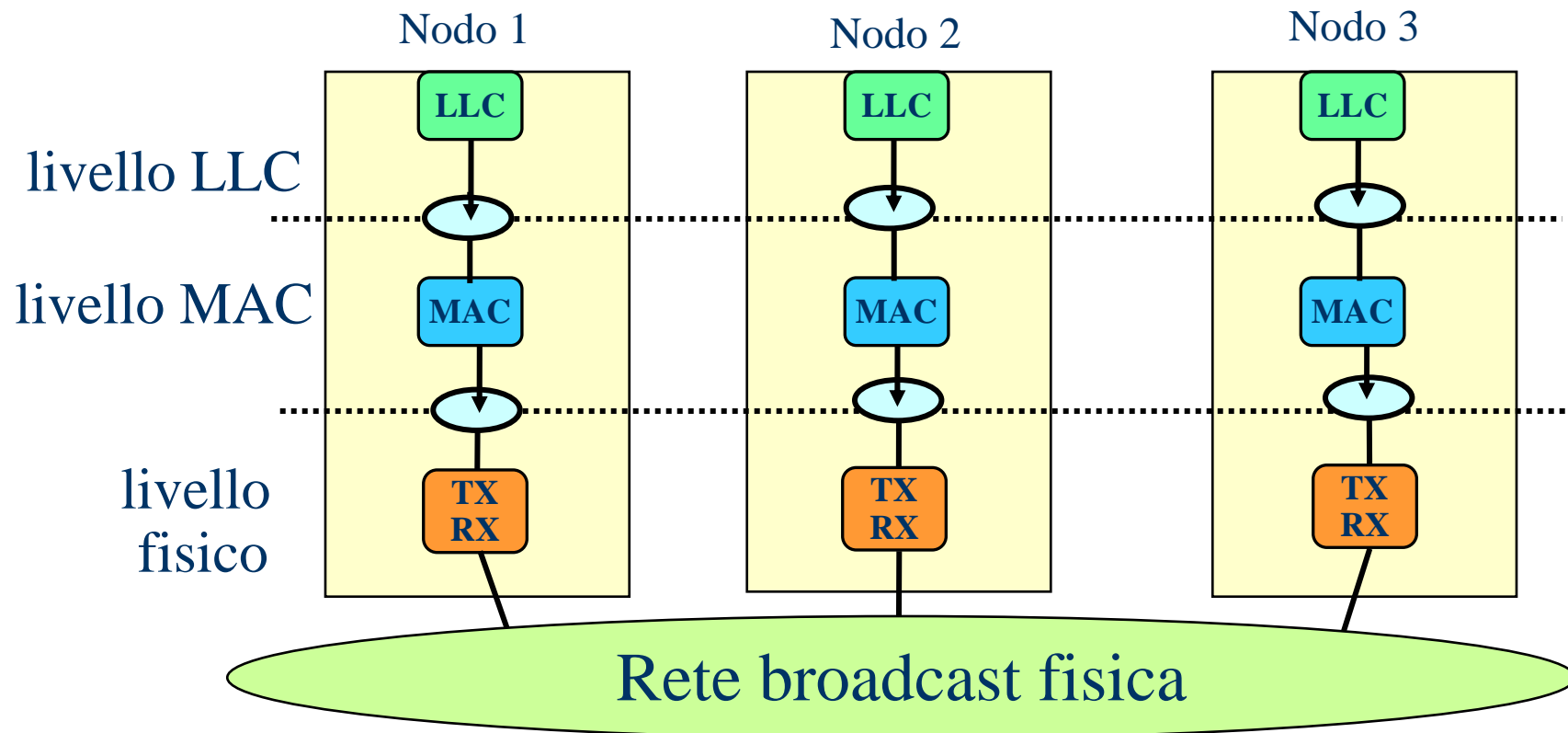
- ◆ Per fronteggiare le problematiche introdotte dai canali fisici *broadcast*, il livello di linea è stato suddiviso in due sottolivelli:
 - ◆ il più basso è chiamato Medium Access Control (MAC)
 - ◆ il più alto Logical Link Control (LLC).



- ◆ Vedremo più avanti in dettaglio questa tematica parlando delle reti Ethernet e Token Ring

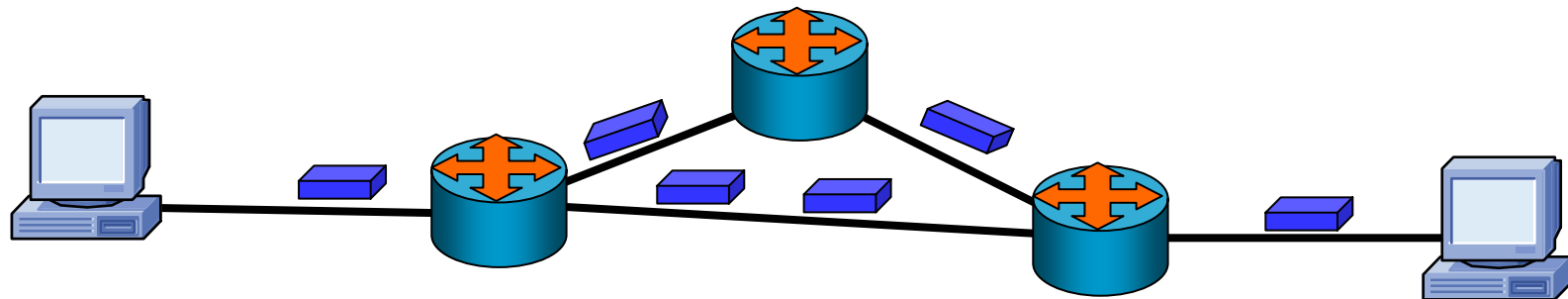
Livello di linea per reti broadcast

◆ Esempio di livello di linea su rete broadcast



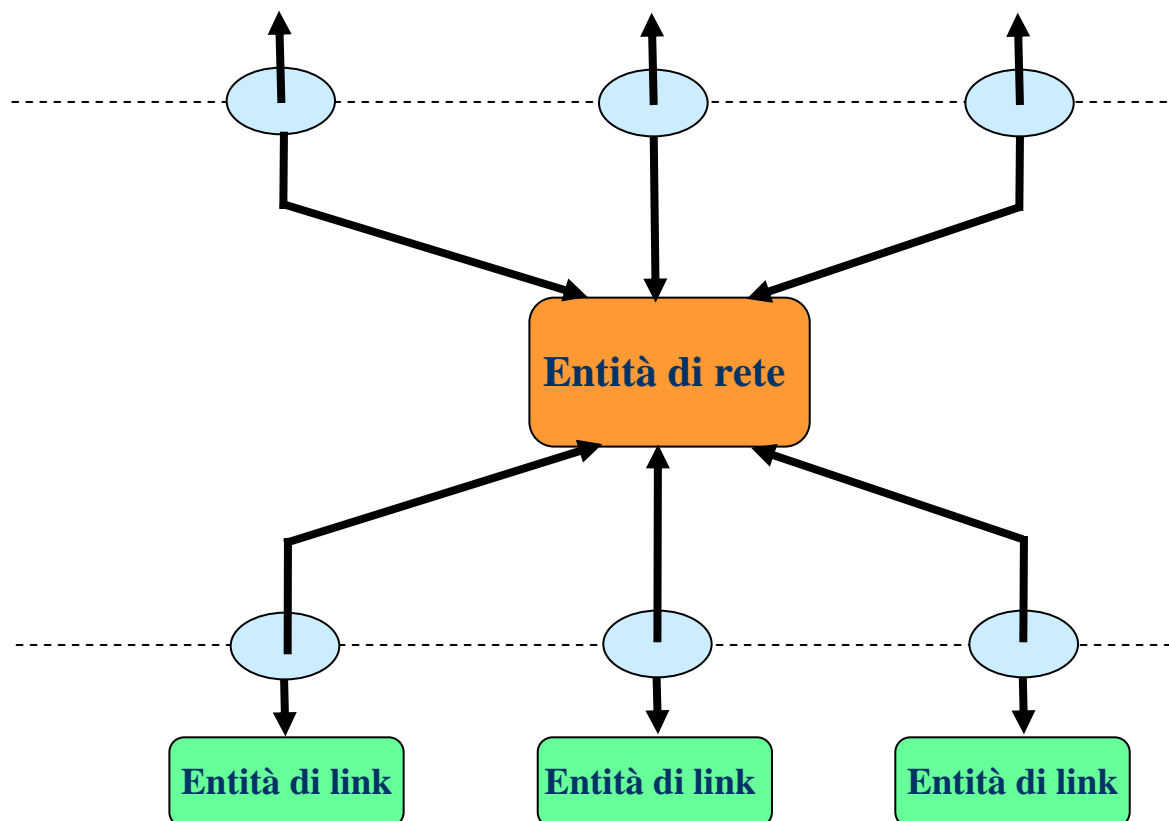
Livello di rete

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



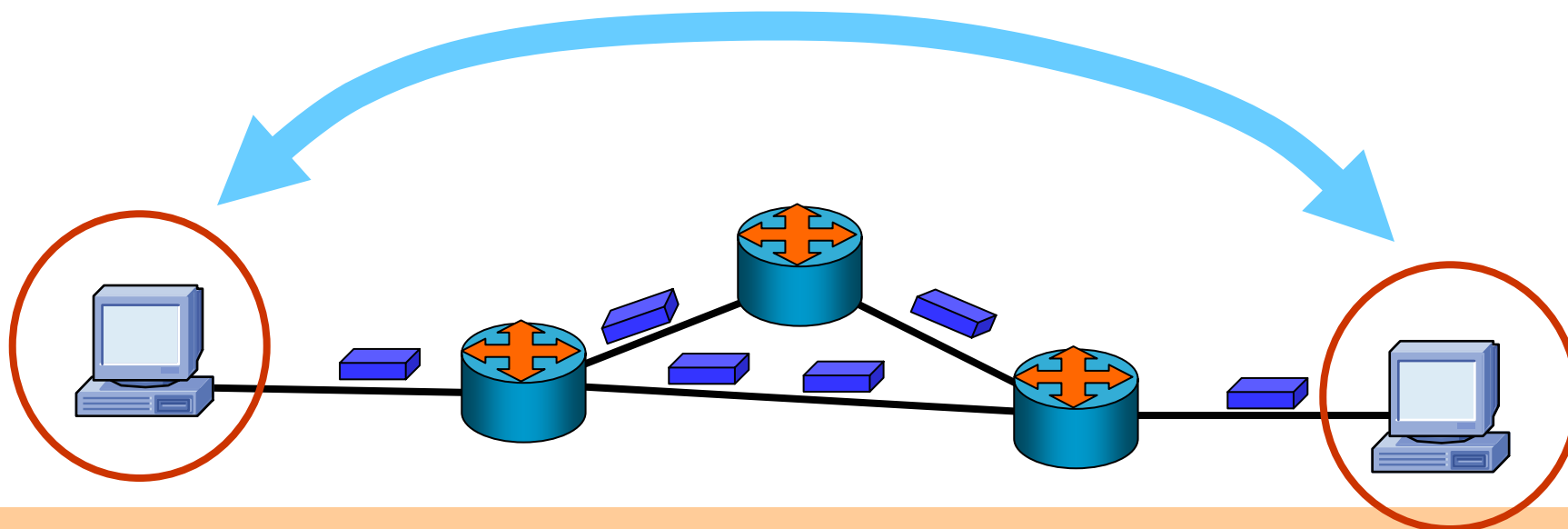
Livello di rete

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



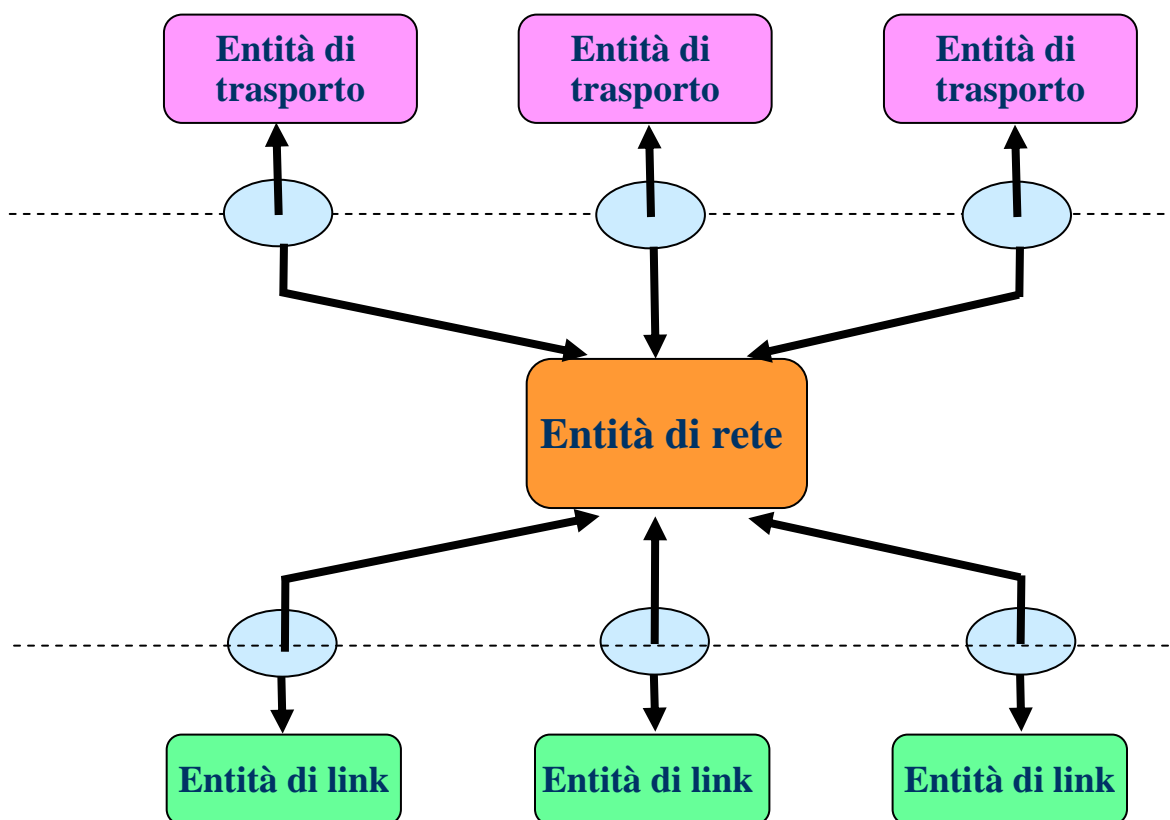
Livello di trasporto

- 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



Livello di trasporto

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



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

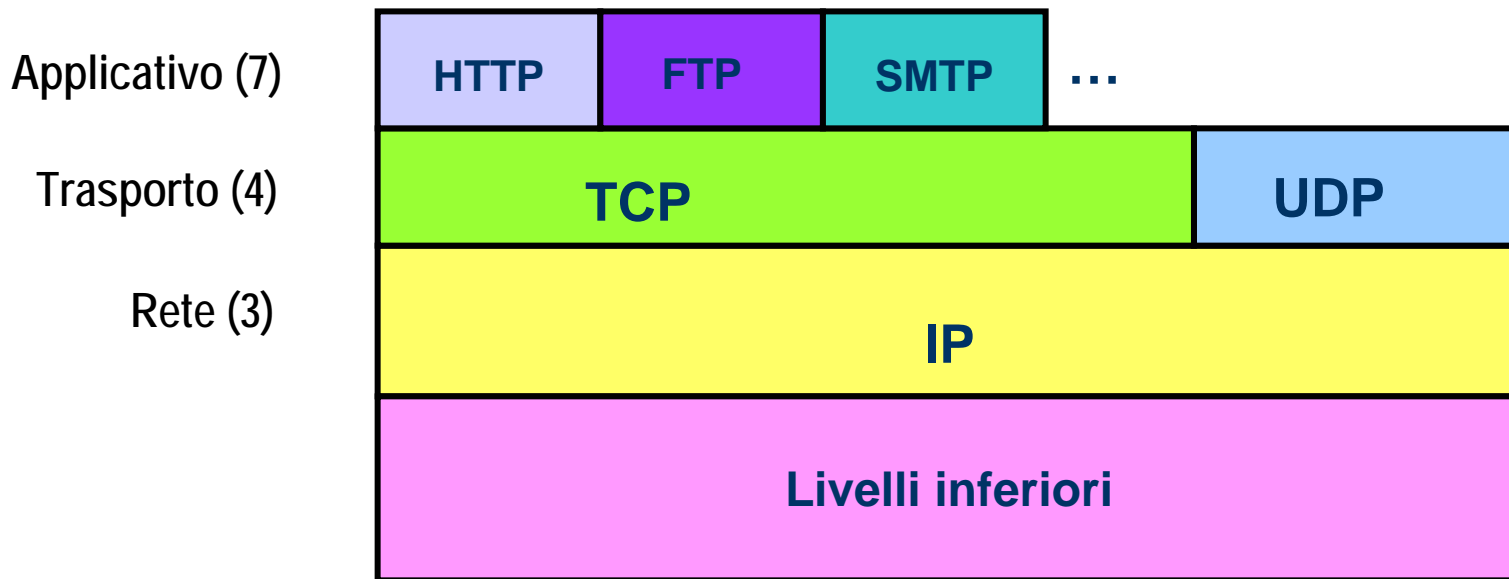
Livello di Presentazione

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

Livello di Applicazione

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

Architettura a strati TCP/IP



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**

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**

Verifica contenuti

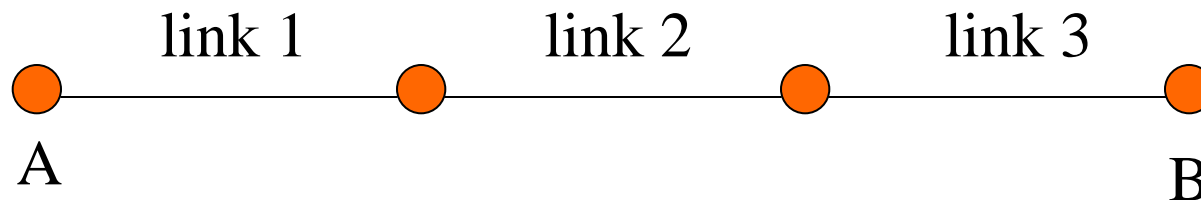
- 15. Che ruolo svolge l'indirizzamento nella funzione di rete**
- 16. Che cosa indica esattamente l'indirizzo**
- 17. I livelli superiori a quello che svolge la funzione di rete possono non essere implementata nei nodi di rete ma solo nei sistemi finali. Perché**
- 18. Che cos'è la modalità di commutazione 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**

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 datagram e nel caso di circuito virtuale**
- 26. Cos'è la multiplazione statistica nella modalità a pacchetto**

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

Verifica contenuti

- 30. Quante 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. Quante entità di livello 3 esistono in un nodo (una sola architettura a strati)**
- 33. Il livello di rete è implementato in tutti i nodi?**
- 34. Quali sono le funzioni principali del livello di trasporto nel modello OSI**
- 35. Il livello di trasporto è implementato in tutti i nodi?**