



Università di Bergamo

*Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e
Metodi Matematici*

Architetture e Protocolli per Internet

Jocelyne Elias



Università di Bergamo

*Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e
Metodi Matematici*

1 - Introduzione al corso

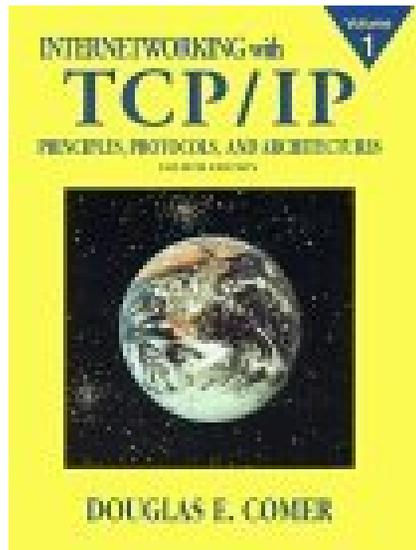
Architetture e Protocolli per Internet

Il docente

- **Jocelyne Elias**
- **Ufficio:**
 - **Laboratorio di Informatica**
- **Tel: (035205) 2004**
- **E-mail: jocelyne.elias@unibg.it**
- **Orario di ricevimento**
(previo appuntamento via mail):
 - **Mercoledì 15:30-17:30**

Materiale didattico

- **Libro consigliato:**
- **Douglas E. Comer, *Internetworking with TCP/IP*, volume 1, Prentice Hall.**



Quarta Edizione

Tuttavia, anche edizioni precedenti (di cui esistono traduzioni in italiano, disponibili presso la nostra biblioteca) vanno benissimo

“Internetworking con TCP/IP: principi, protocolli e architetture”, 2^a ed. italiana, Milano, Addison Wesley, 2002

4

Materiale didattico

- **Lucidi del corso**
- **Altro materiale suggerito durante il corso**
- **Internet**

- **Pagina Web del corso:**

<http://cs.unibg.it/elias/indexArchitettura.html>

o in alternativa:

<http://193.204.253.55/elias/indexArchitettura.html>

Modalità d'esame

- **Prova scritta**
- **Tipologia dell'esame**
 - **esercizi**
 - **domande (a risposta aperta o a risposta multipla)**

Scopo del corso

- Fornirvi le basi della tecnologia di

INTERNET



*Nessun ingegnere
dell'area della
Information Technology
può oggi fare a meno di
queste conoscenze*

Scopo del corso

Noi ci occuperemo:

- ◆ **Dei protocolli usati per i colloqui a tutti i livelli**
- ◆ **Delle architetture di rete necessarie al funzionamento di INTERNET**

te

emote

**usano un rete:
INTERNET**



Molti software applicativi colloquiano con software remoti



I colloqui sono soggetti a regole (protocolli)

Programma

- **Introduzione alle reti TCP/IP**
- **Indirizzamento e inoltro dei pacchetti**
- **Relazione tra indirizzi IP e indirizzi fisici**
- **ICMP**
- **La configurazione automatica degli host**
- **Il protocollo UDP**
- **Il protocollo TCP (controllo d'errore, di flusso e di congestione)**

Programma

- **I protocolli applicativi (DNS, HTTP, FTP, SMTP)**
- **L'instradamento (RIP, OSPF, BGP, Multicast)**
- **Evoluzione di IP: IPv6 e MPLS**

Argomenti propedeutici

- **Architetture a strati**
- **Reti locali (Ethernet)**
- **Apparati e meccanismi di interconnessione (repeater, bridge)**

Argomenti propedeutici: Domande di verifica

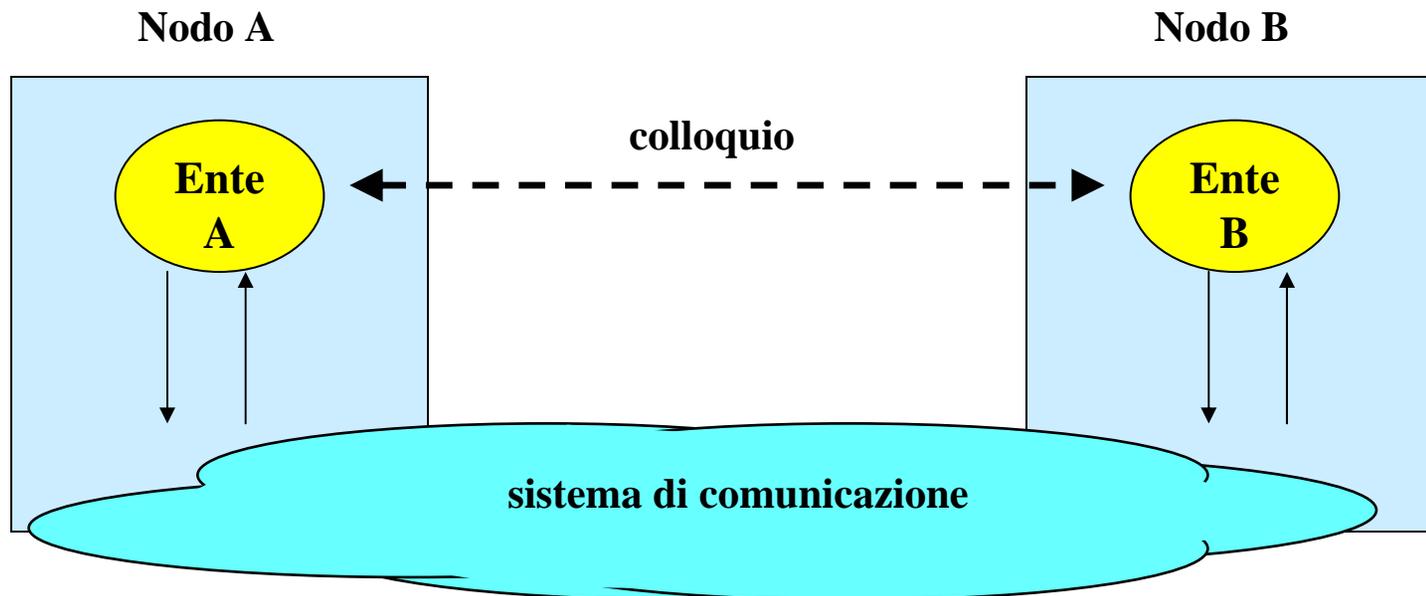
- Che cos'è un servizio di comunicazione?
- Che cos'è una primitiva di servizio?
- Date due entità che colloquiano mediante un servizio di comunicazione, cosa si intende per entità di livello superiore?
- Che cos'è un protocollo?
- Cos'è una Packet Data Unit (PDU)?
- In cosa consistono le funzioni di instradamento e inoltro delle PDU?

Paura di non sapere le risposte?

Vediamo insieme brevemente questi argomenti

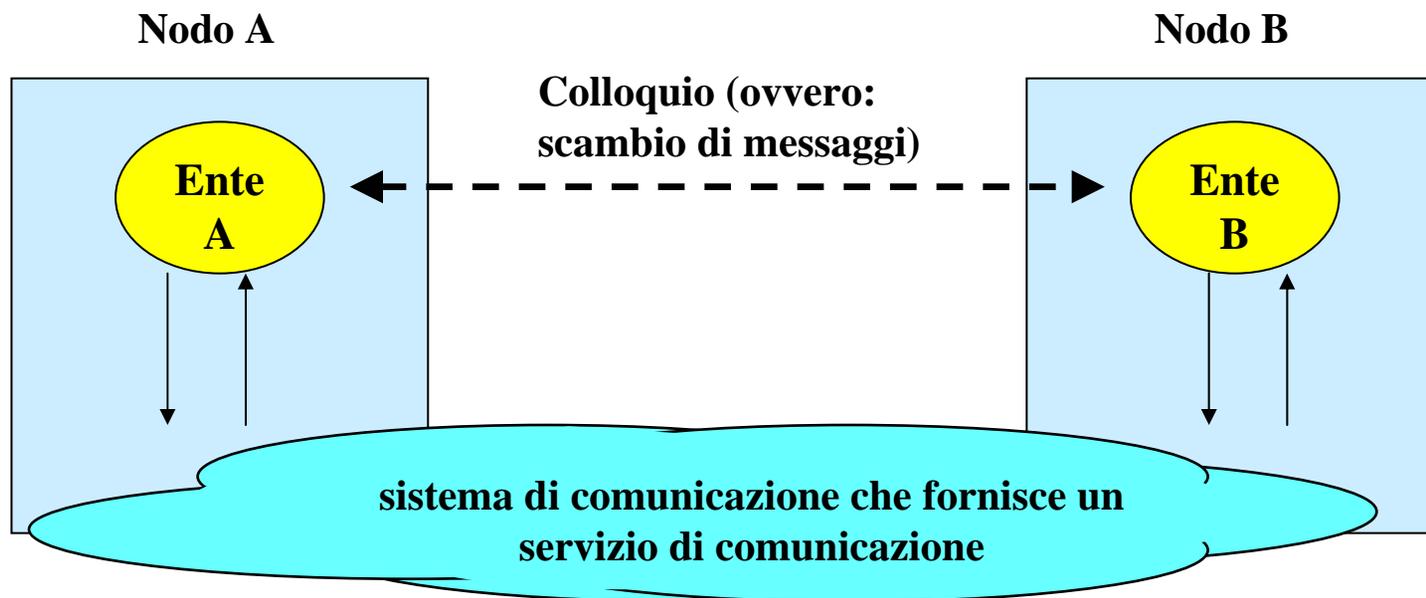
Modello Funzionale di Colloquio tra Sistemi

- Accenneremo ora brevemente ad un modello funzionale di colloquio tra sistemi
- Questo modello consente di introdurre in modo formale le problematiche associate al trasferimento di informazione



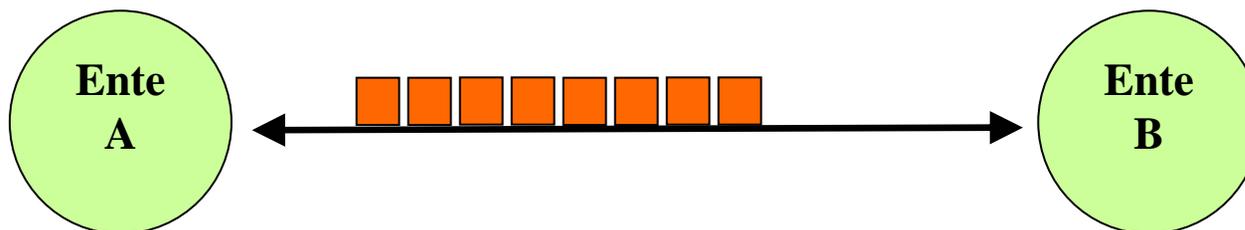
Il servizio di comunicazione

- 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



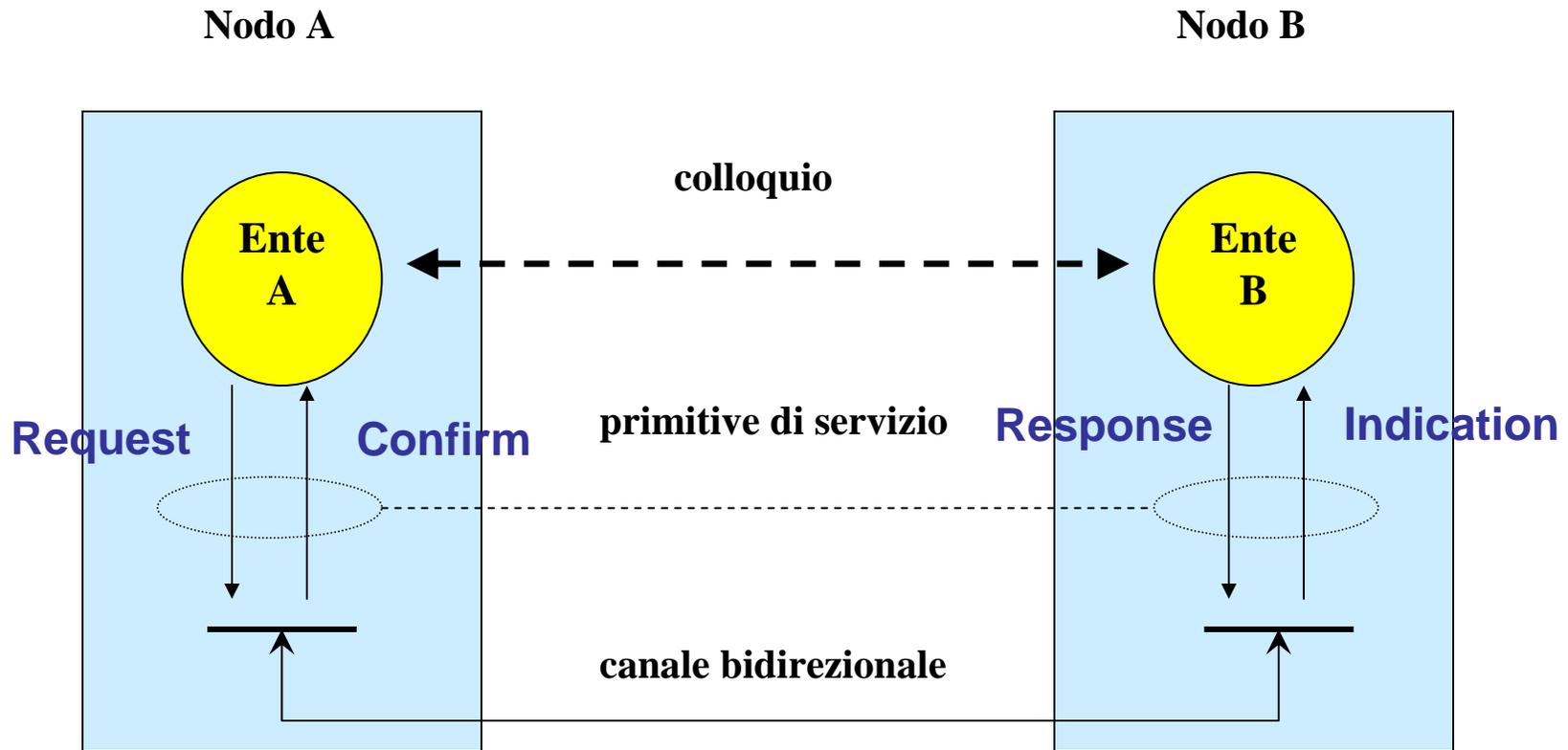
Il servizio di comunicazione

- 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)**

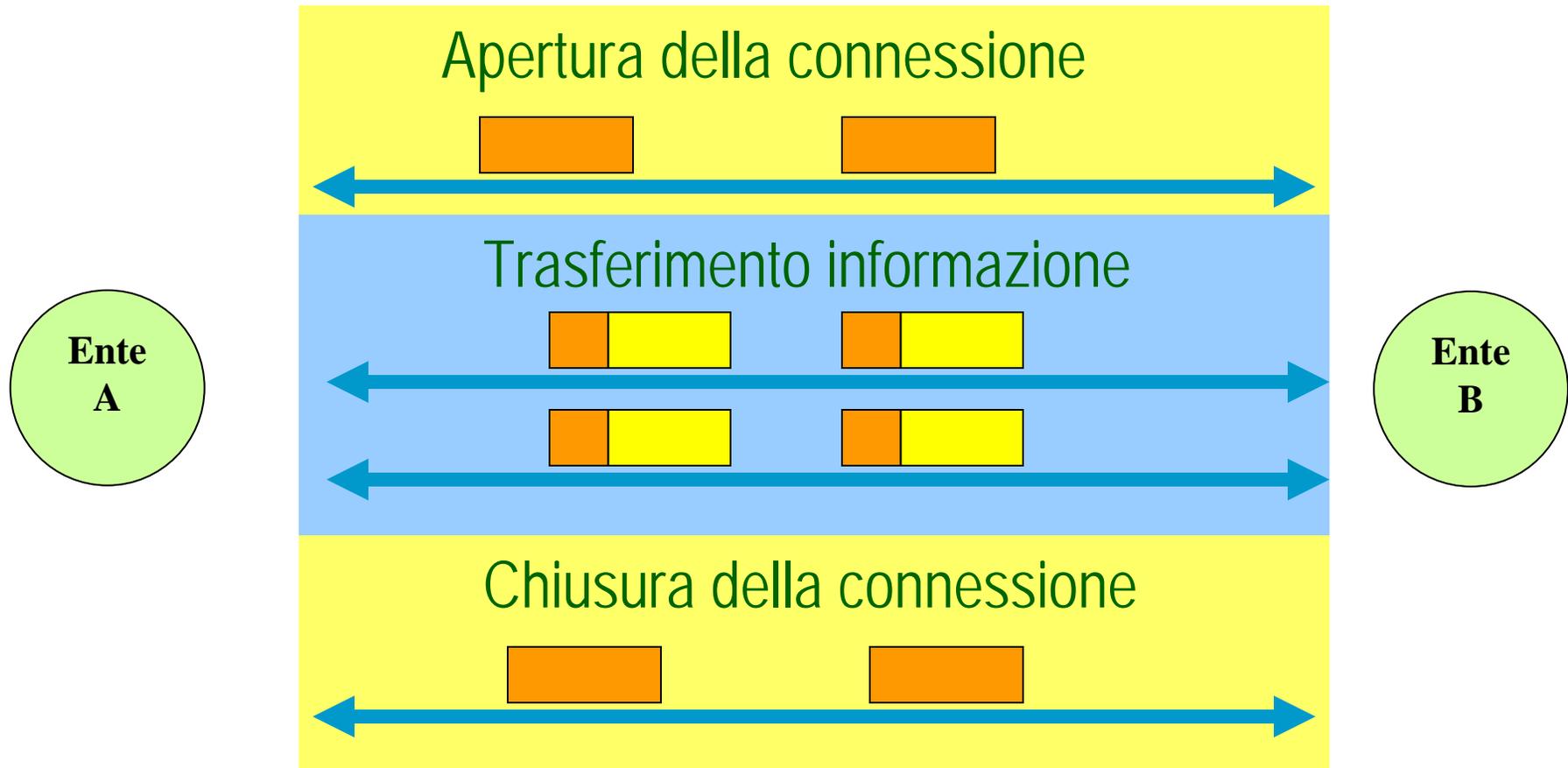
Entità colloquianti tramite primitive



Modalità di comunicazione

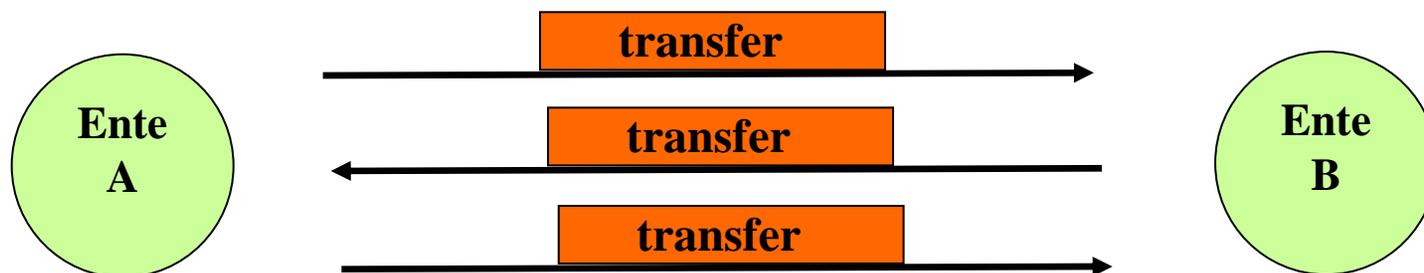
- Le modalità di comunicazione fra entità si dividono in due grandi classi
- Modalità a connessione (connection-oriented)
 - instaurazione della connessione
 - trasferimento dell'informazione
 - rilascio delle connessione
 - *Esempio: telefonata*
- Modalità senza connessione (connectionless)
 - una sola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

Modalità di Comunicazione a connessione



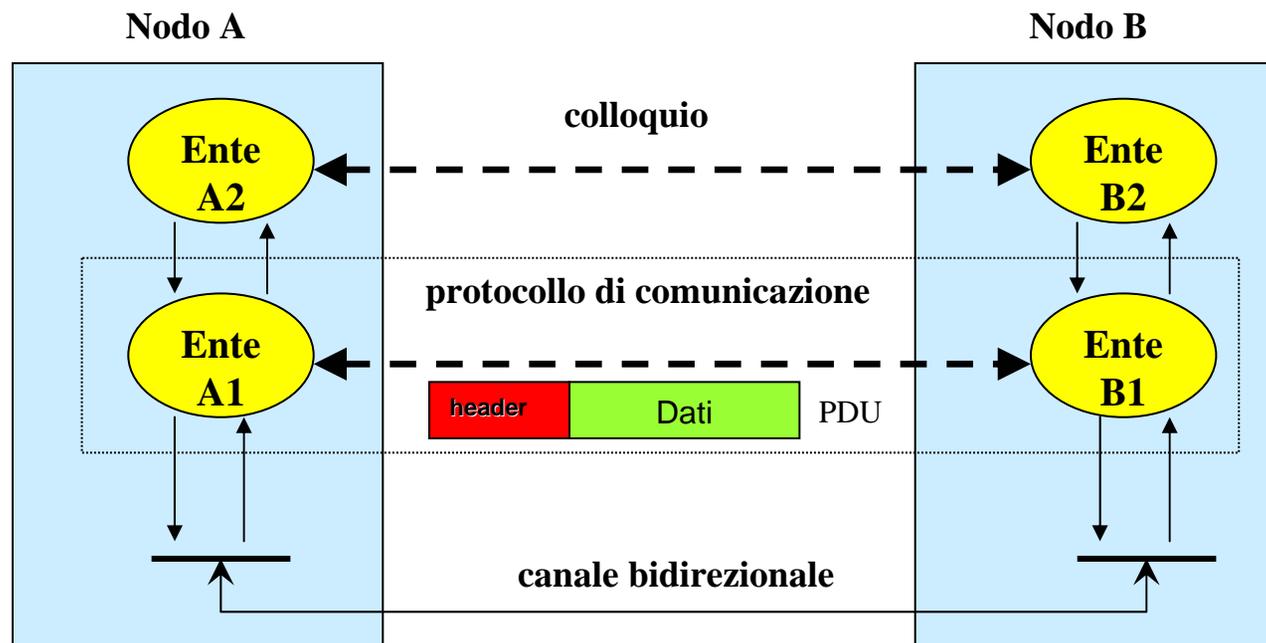
Modalità di Comunicazione senza connessione

- 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



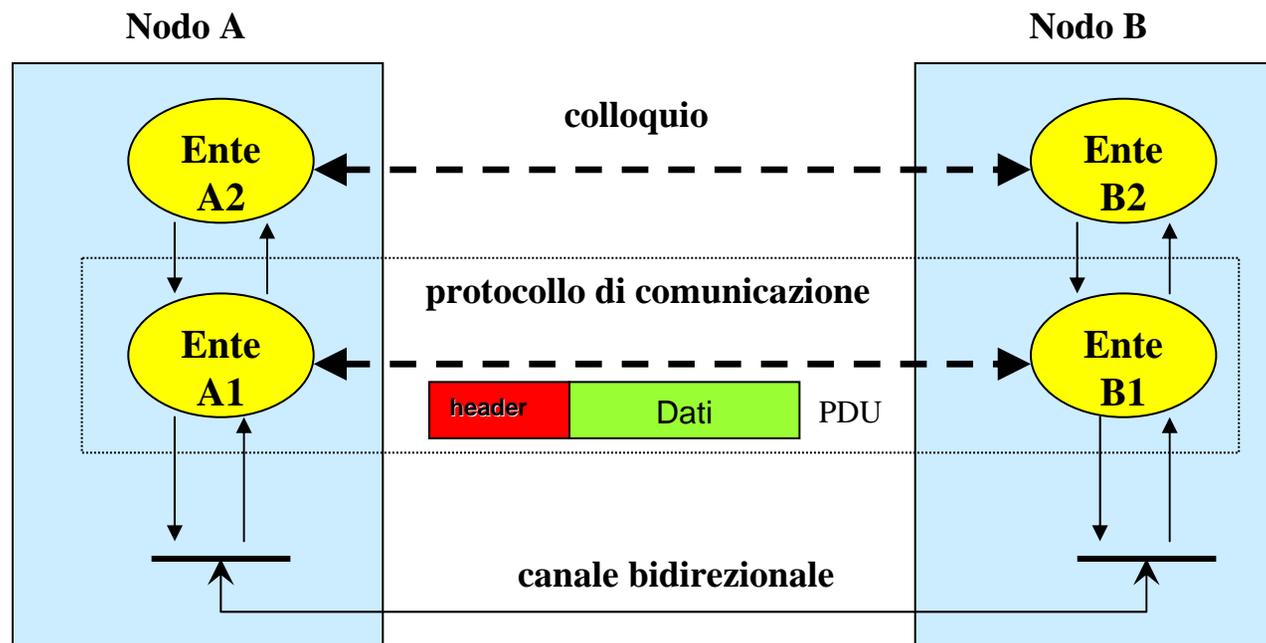
Livelli

- le entità che colloquiano in un servizio di telecomunicazione possono anche offrire un servizio di comunicazione a entità terze, situate negli stessi nodi, 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

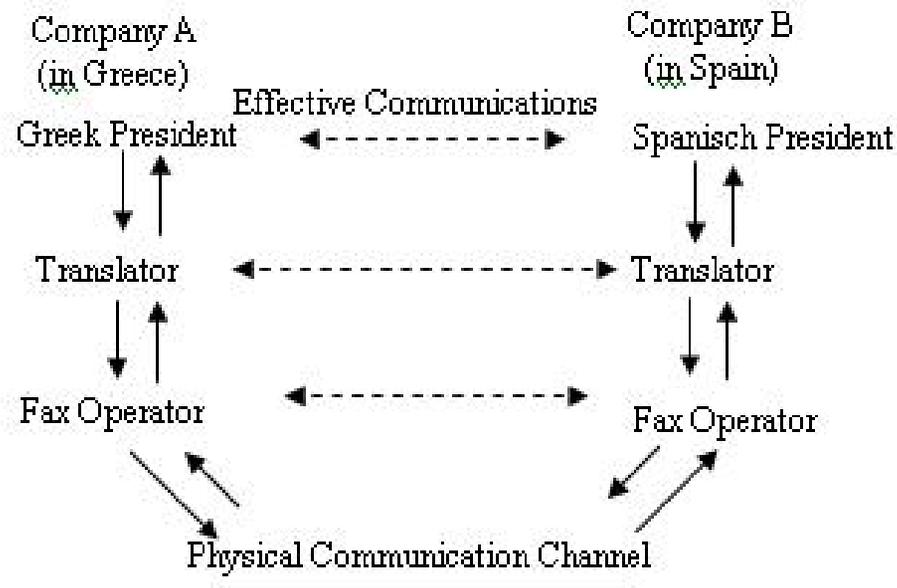
- le entità di un livello collaborano per fornire il servizio di comunicazione al livello superiore e si scambiano messaggi mediante il servizio offerto dal livello inferiore
- **Protocollo:**
 - Insieme delle regole che sovrintendono al colloquio tra entità dello stesso livello
 - ✓ formato dei messaggi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



Architettura a Strati: Esempio Introduttivo



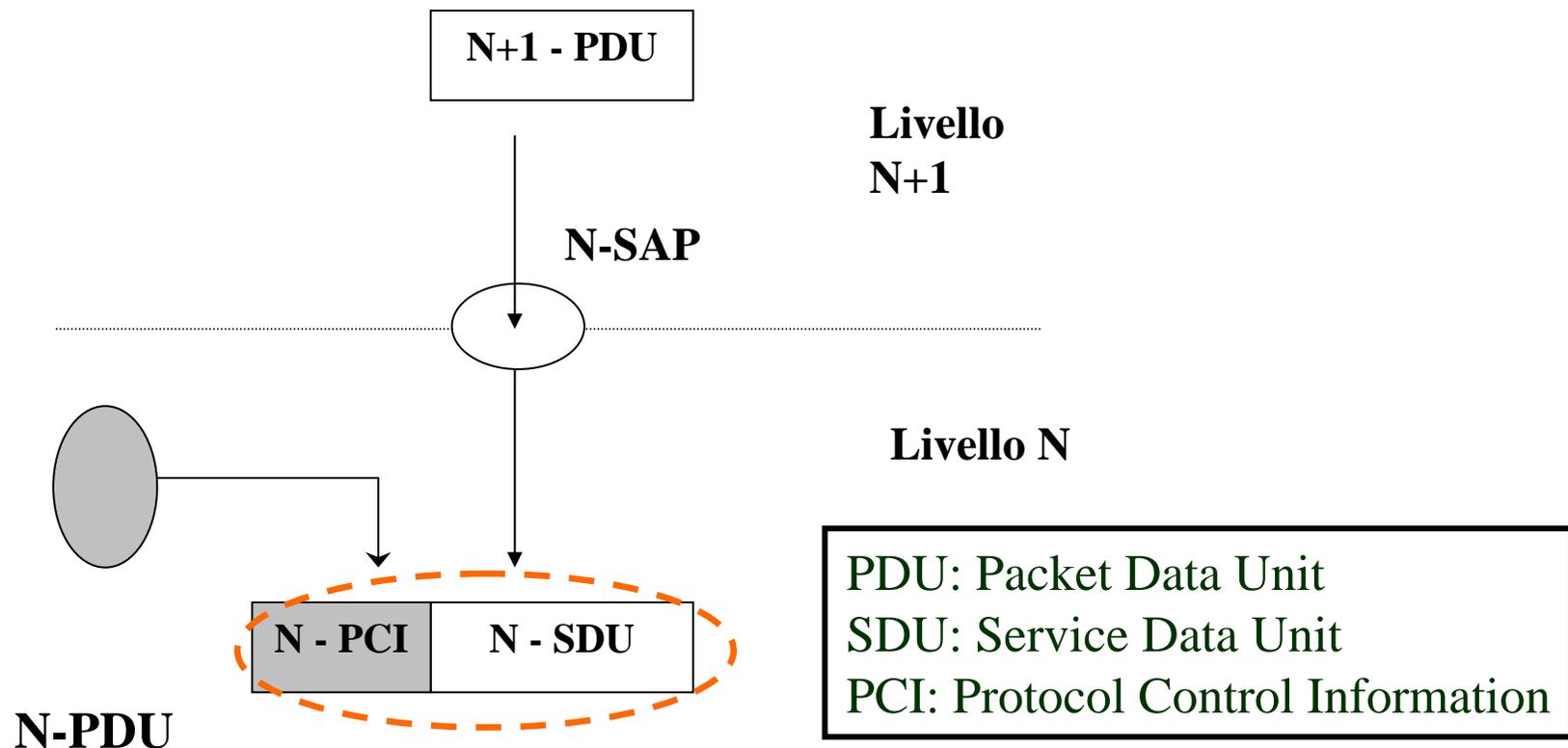
Architettura a strati

- 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 servizi complessi caratterizzati da molti parametri e funzionalità

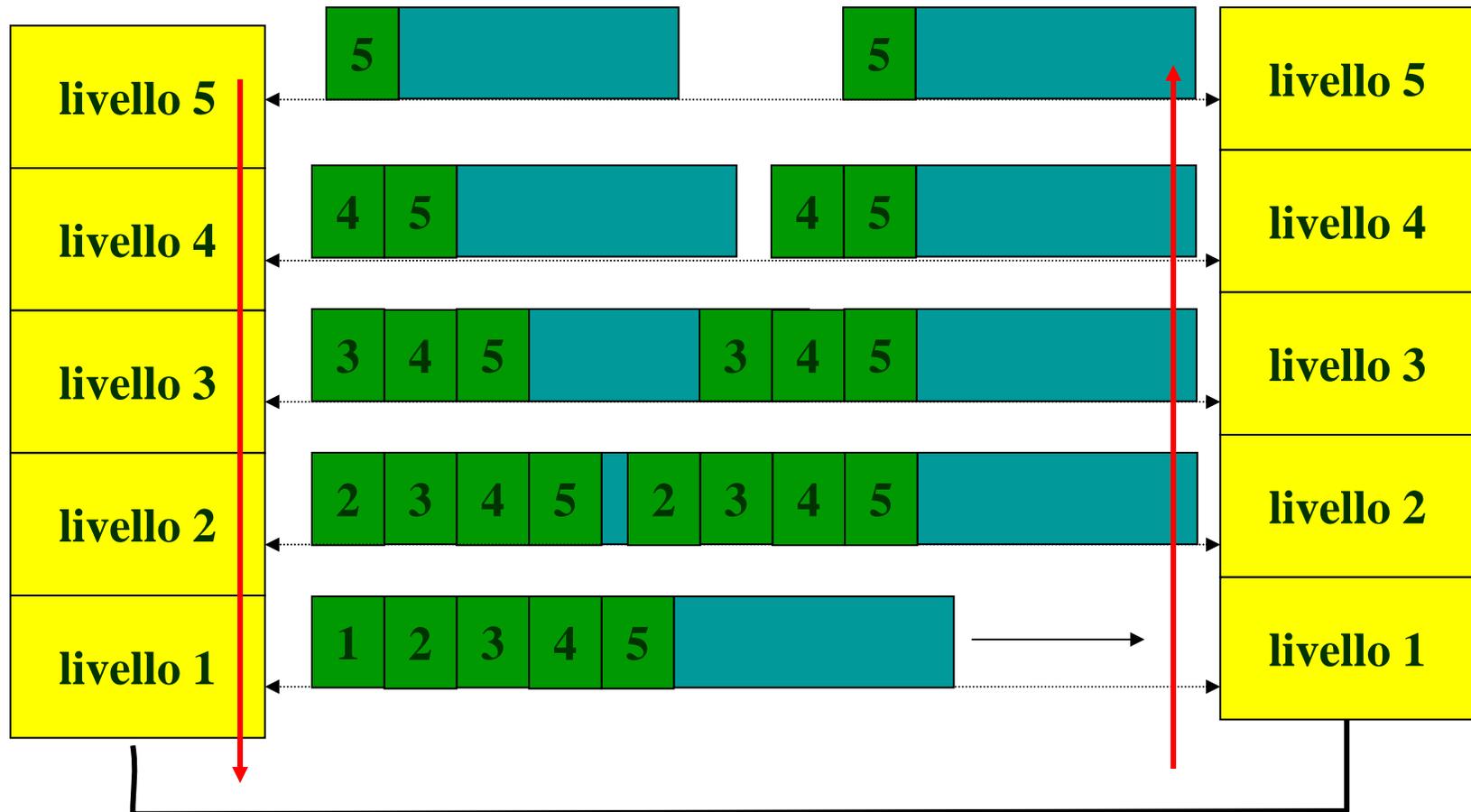


Relazioni tra i livelli

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

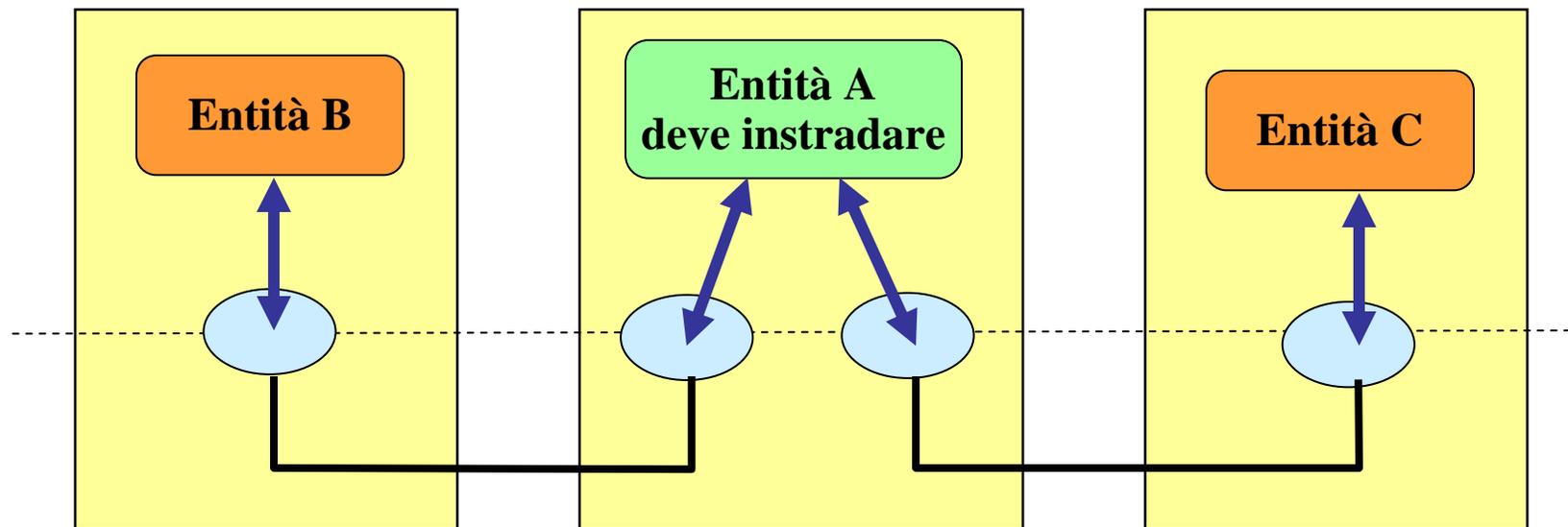


Architettura completa



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)

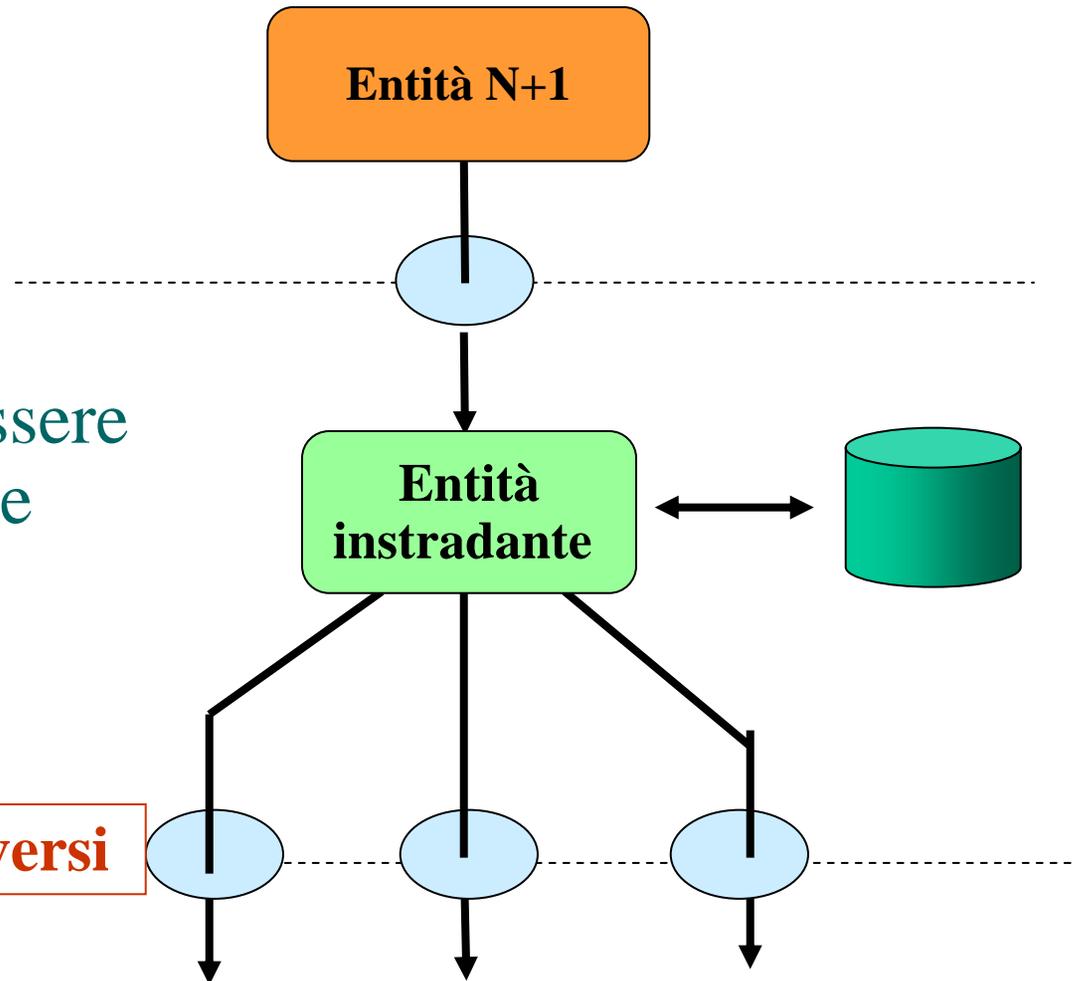


Instradamento

◆ Primo problema:
individuare il partner nel
colloquio

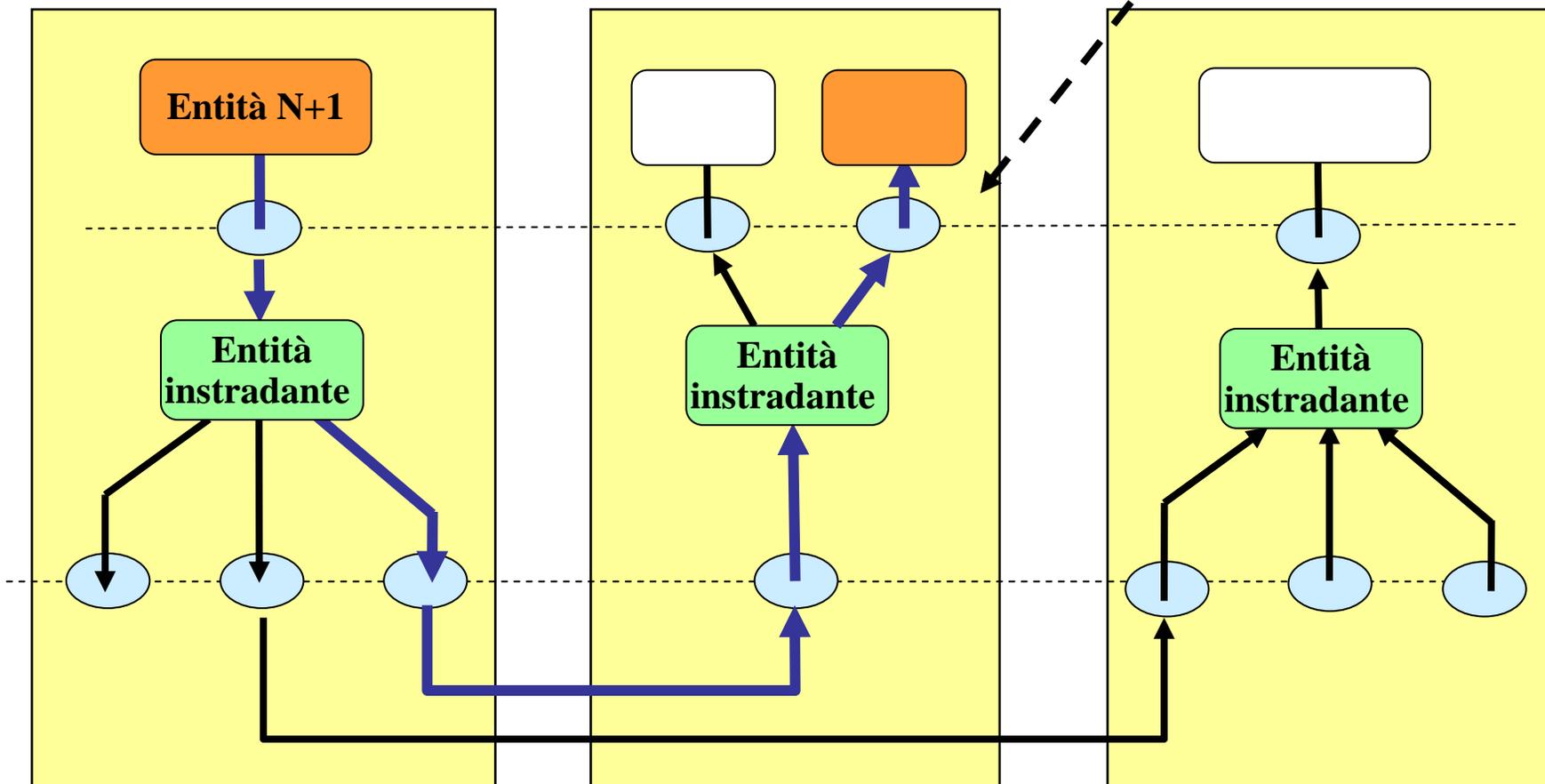
◆ L'instradamento può essere
effettuato se si introduce
l'**INDIRIZZAMENTO**

SAP che connettono enti diversi



Indirizzamento

- ◆ Identifica il N-SAP di destinazione

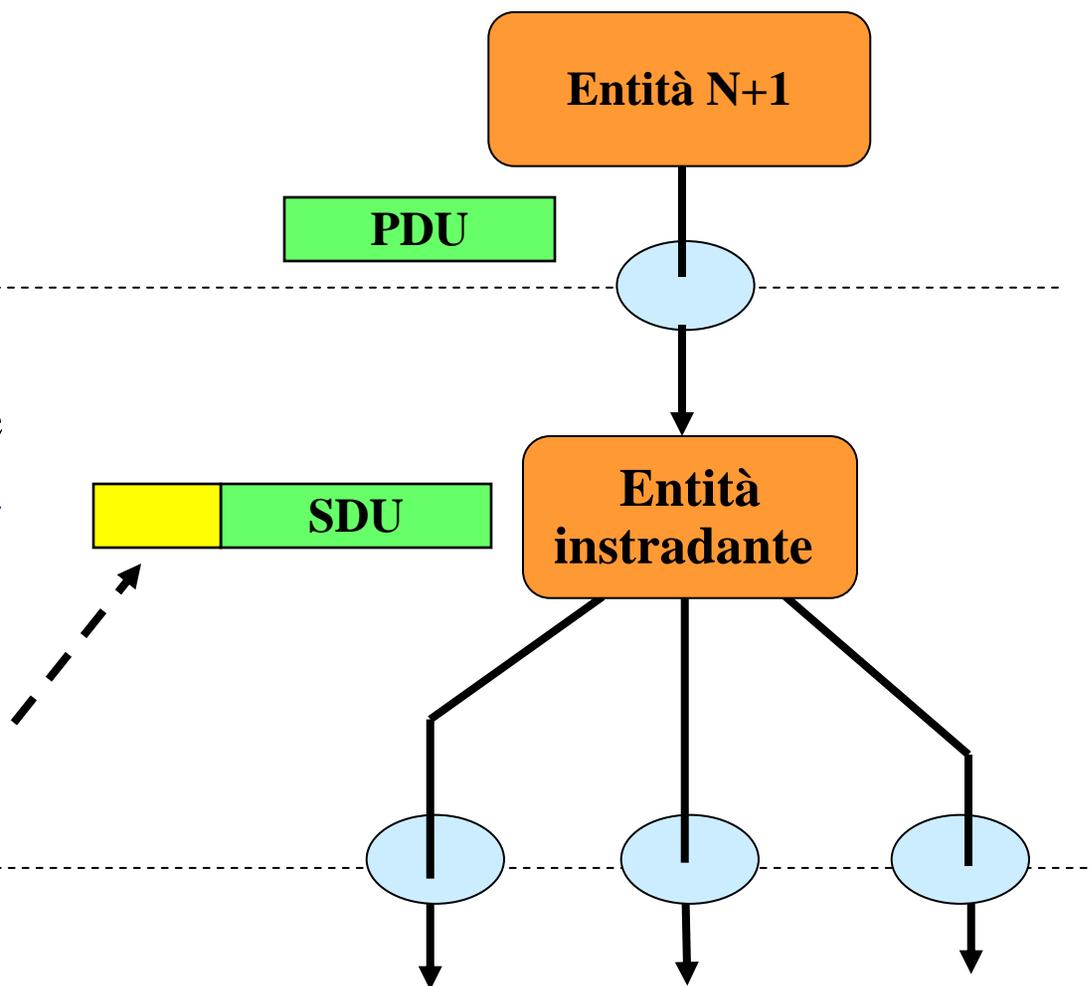


Indirizzamento & Instradamento

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

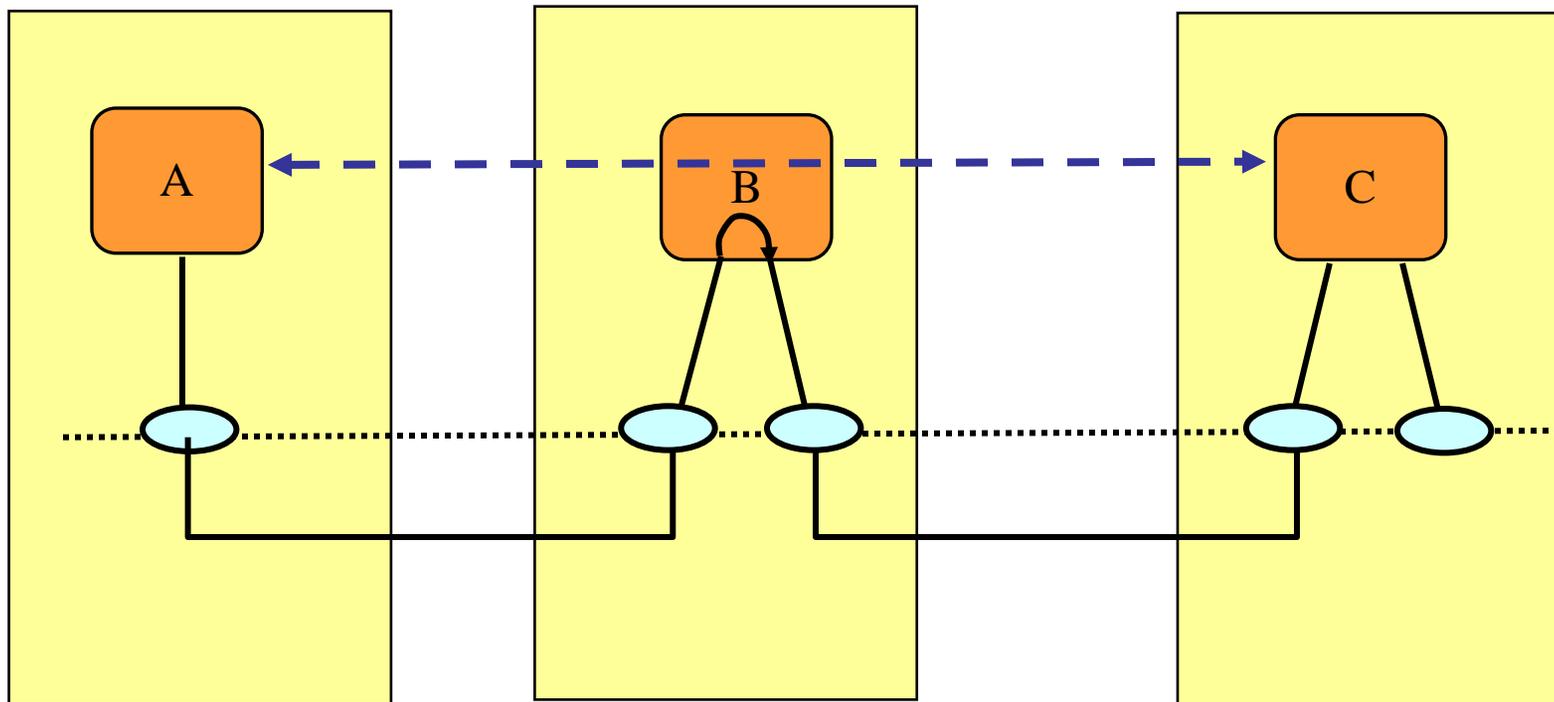


Indirizzamento

- **Indirizzo: identificativo del SAP da cui raggiungere l'entità, 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



Tablelle di Instradamento

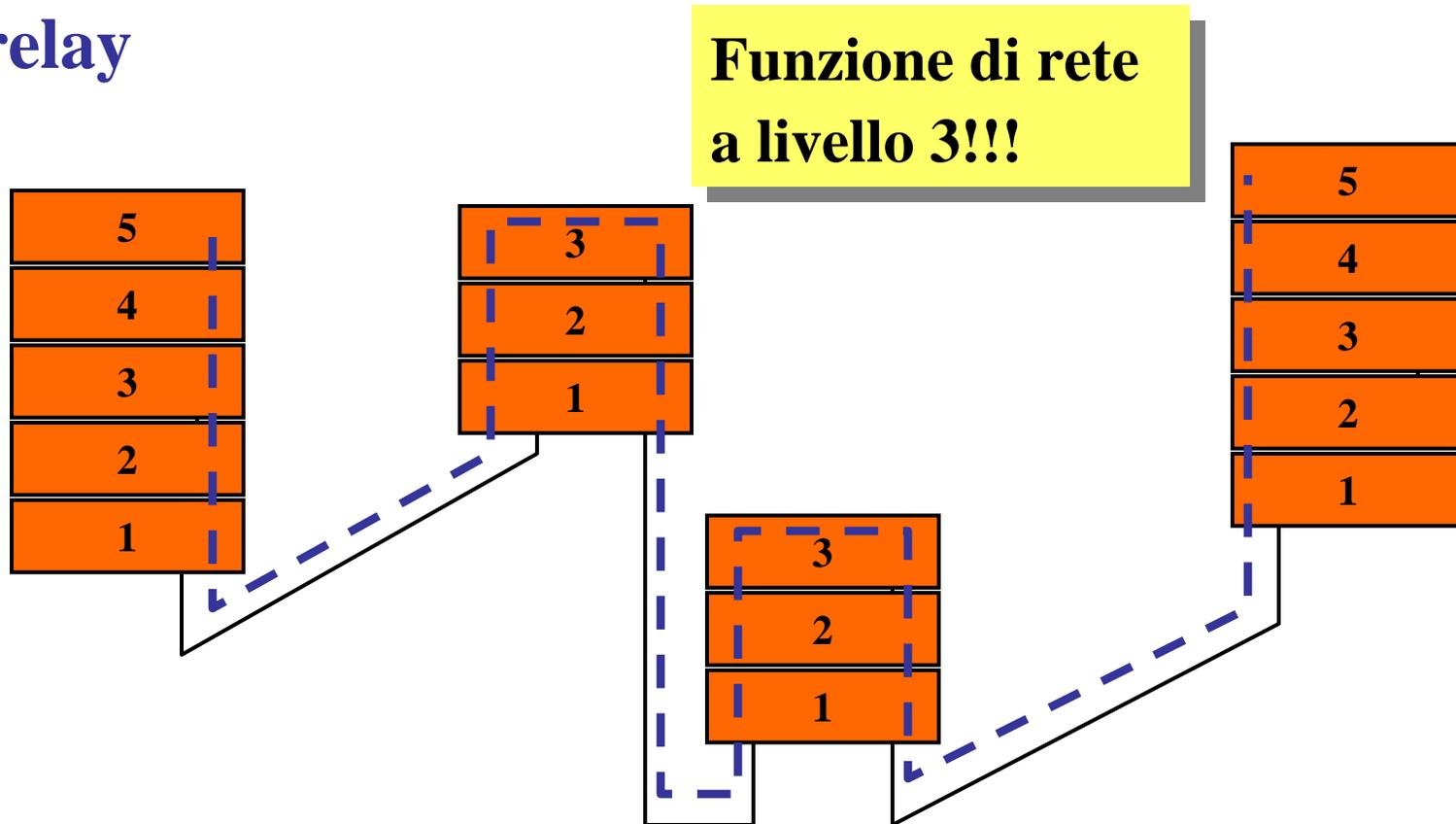
- scelta del SAP di uscita sulla base delle informazioni memorizzate

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



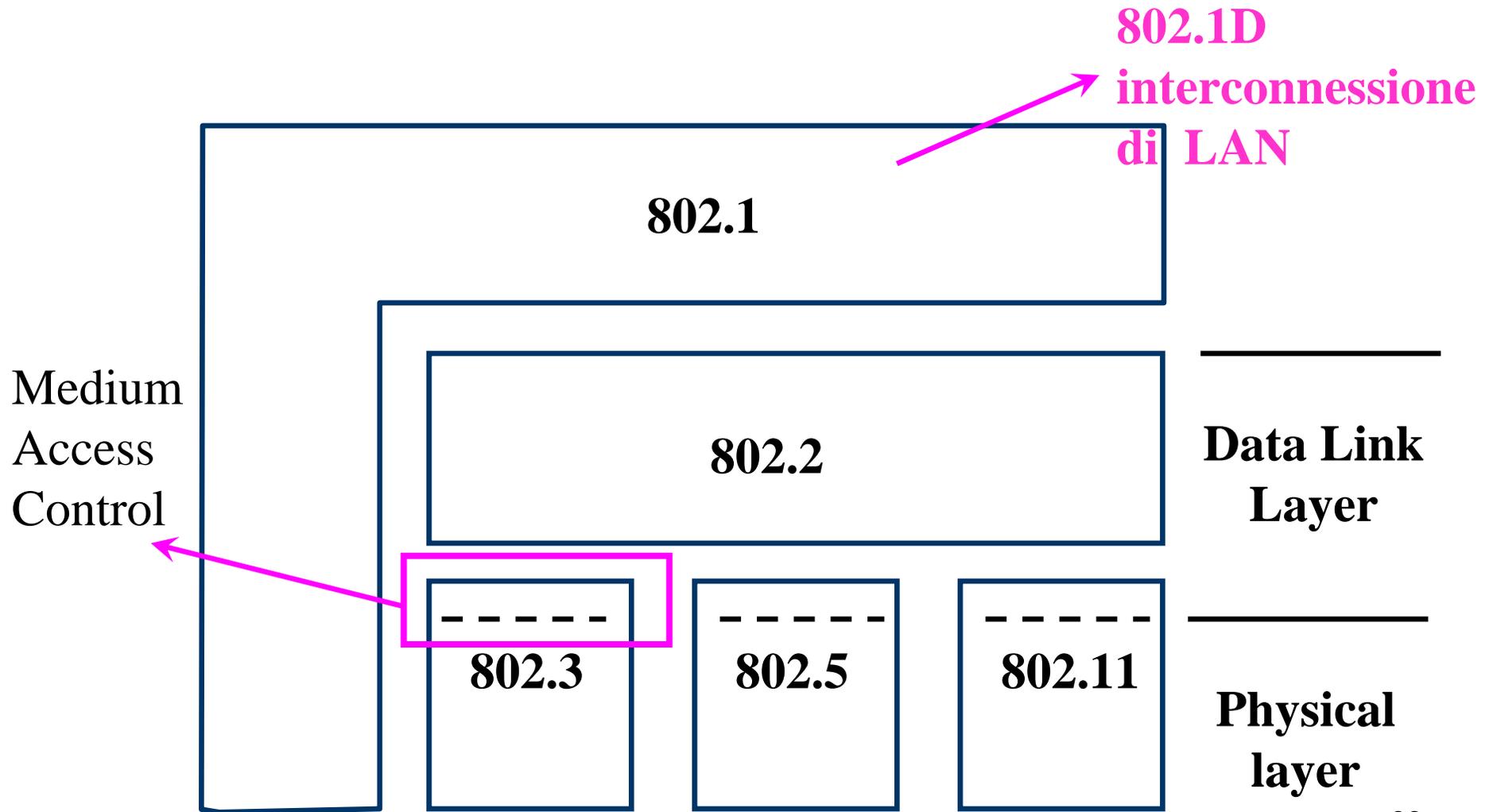
Argomenti propedeutici:

Domande di verifica

- **Cos'è una rete locale (LAN)?**
- **Come funziona il meccanismo di accesso delle LAN Ethernet?**
- **Cos'è un Repeater?**
- **Cos'è un Bridge (o Layer 2 switch)?**
- **Come funziona il meccanismo di bridging trasparente?**

Standardizzazione delle reti locali

- Comitato di standardizzazione IEEE 802

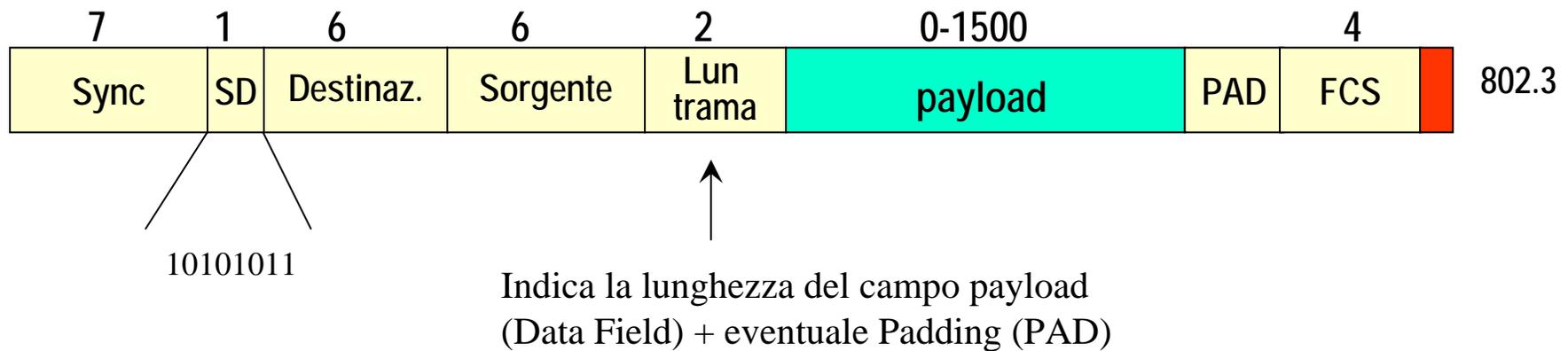


Protocollo Ethernet - IEEE 802.3 (CSMA/CD)

- ◆ Se al momento del comando di trasmissione il canale è sentito libero, si trasmette effettivamente
- ◆ Se al momento della trasmissione il canale è sentito occupato, si attende la fine e poi si trasmette (1-persistent)
- ◆ Se si scopre la collisione, la trasmissione viene abortita, non prima di aver trasmesso altri 32 bit (jamming sequence) per essere sicuri che tutte le stazioni coinvolte siano in grado di riconoscere la collisione
- ◆ A seguito di una collisione la trasmissione viene ritentata dopo X time slots (1 time slot scelto circa pari a 2τ)
- ◆ X è scelto fra 0 e $2^{\min(K, 10)}$, con K numero di collisioni consecutive, $K \leq 16$ (exponential binary backoff)
- ◆ Sono consentiti fino a 16 tentativi dopo i quali la trama viene eliminata

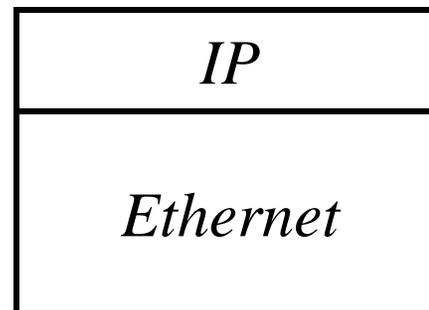
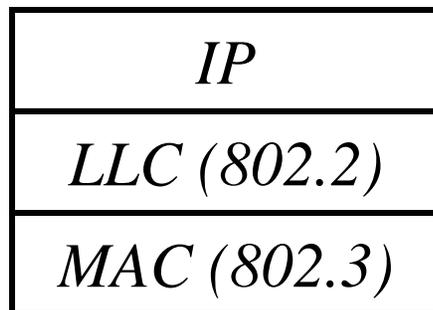
Protocollo Ethernet (IEEE 802.3)

◆ La trama ethernet



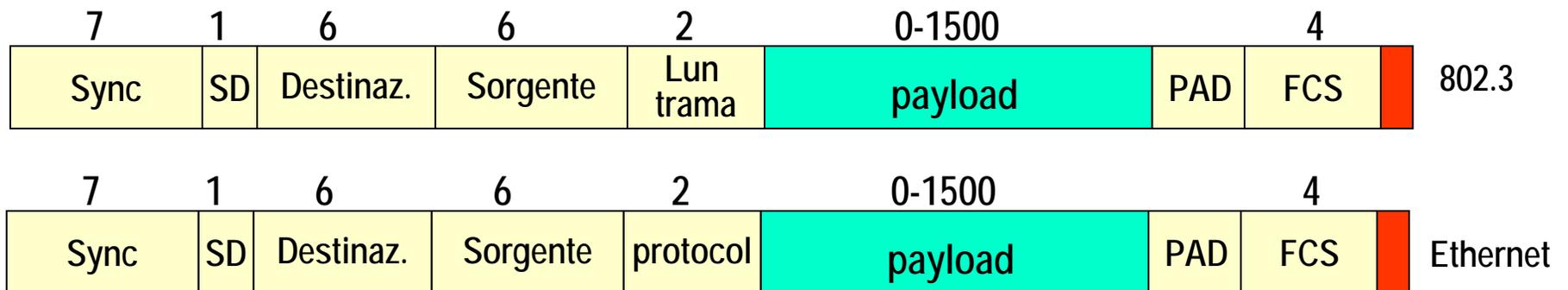
802.3 o Ethernet

- In realtà non sono la stessa cosa:
- l'802.3 usa un livello LLC (802.2)
- Ethernet colloquia direttamente con i livelli di rete
- ad esempio nel caso di IP:



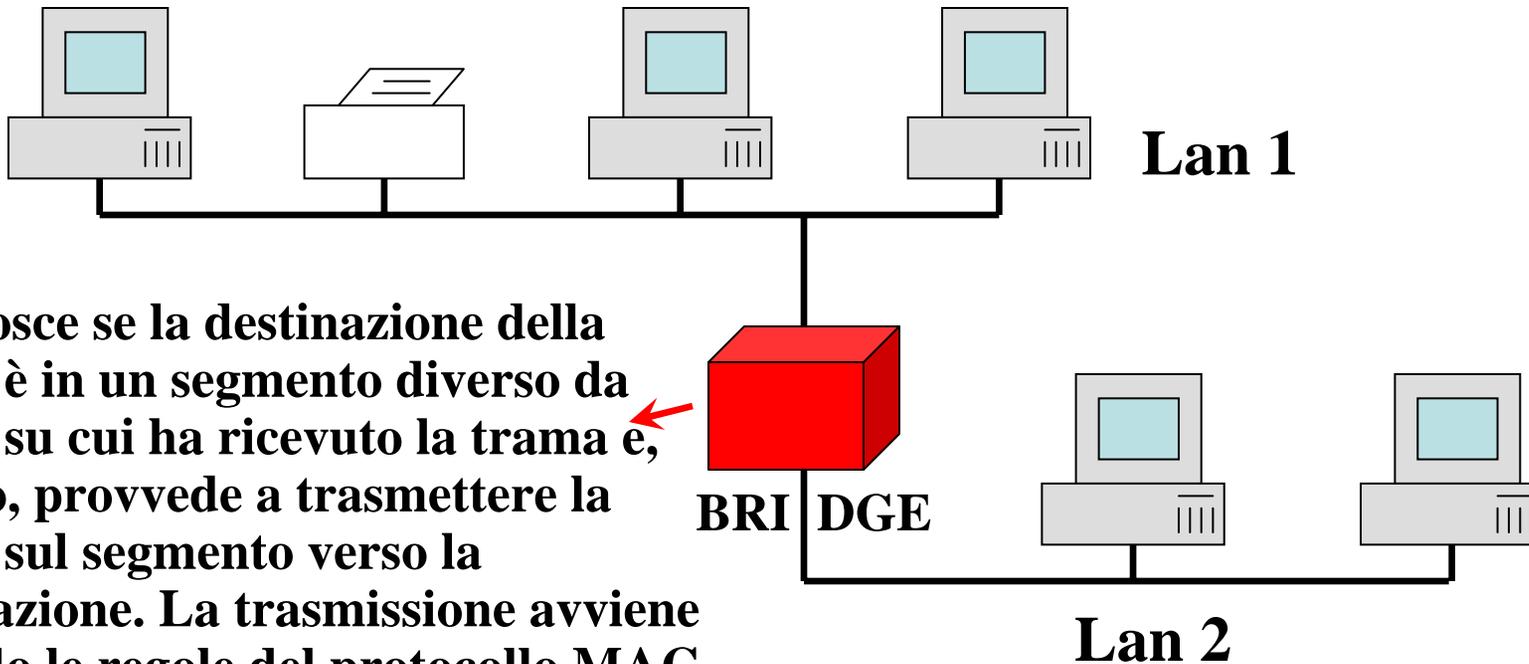
802.3 o Ethernet

- Nell'Ethernet il campo *protocol* serve ad indirizzare il SAP verso i livelli di rete
- In molte LAN le due reti convivono. Come?
- il campo *lunghezza trama* può assumere valori 0-1500
- il campo *protocol* valori >1500 (per la precisione lo standard dice ">1536" in decimale, ovvero 0600 in esadecimale)



Nota: in questo secondo caso lo standard dice che è il *MAC client protocol* (ad es. IP, IPX o comunque il livello rete che usa Ethernet) che si deve preoccupare di operare correttamente nel caso ci sia Padding operato dal livello MAC (si demanda dunque al livello superiore la responsabilità della corretta operazione).

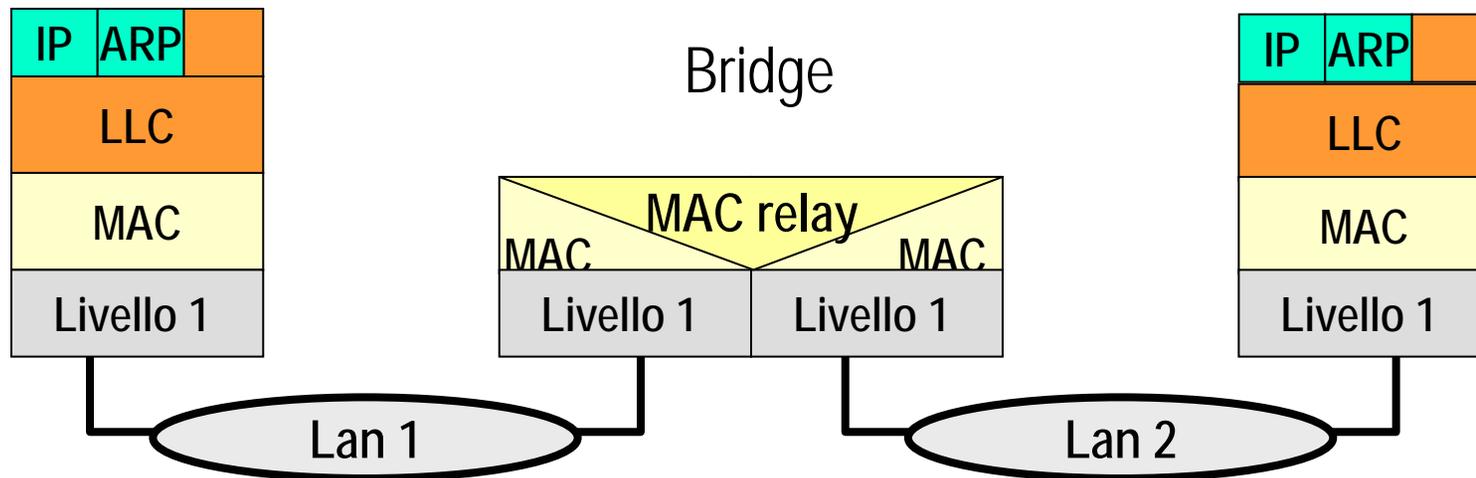
Interconnessione di reti locali



Riconosce se la destinazione della trama è in un segmento diverso da quello su cui ha ricevuto la trama e, in caso, provvede a trasmettere la trama sul segmento verso la destinazione. La trasmissione avviene secondo le regole del protocollo MAC usato sul segmento.

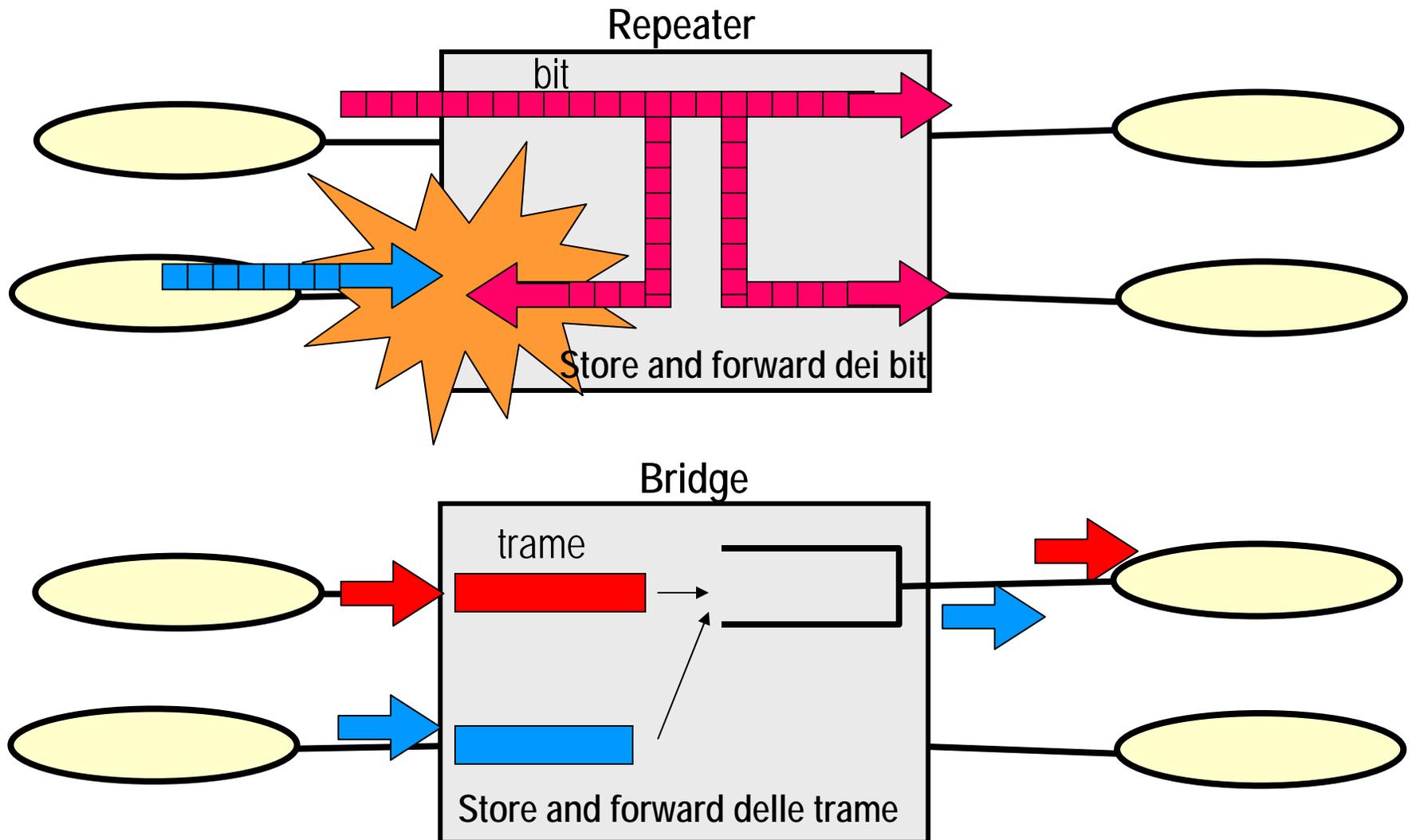
L'interconnessione di LAN tramite bridge è un dominio di broadcast ma non un dominio di collisione (solo trasmissioni contemporanee sullo stesso segmento causano una collisione)

Bridge



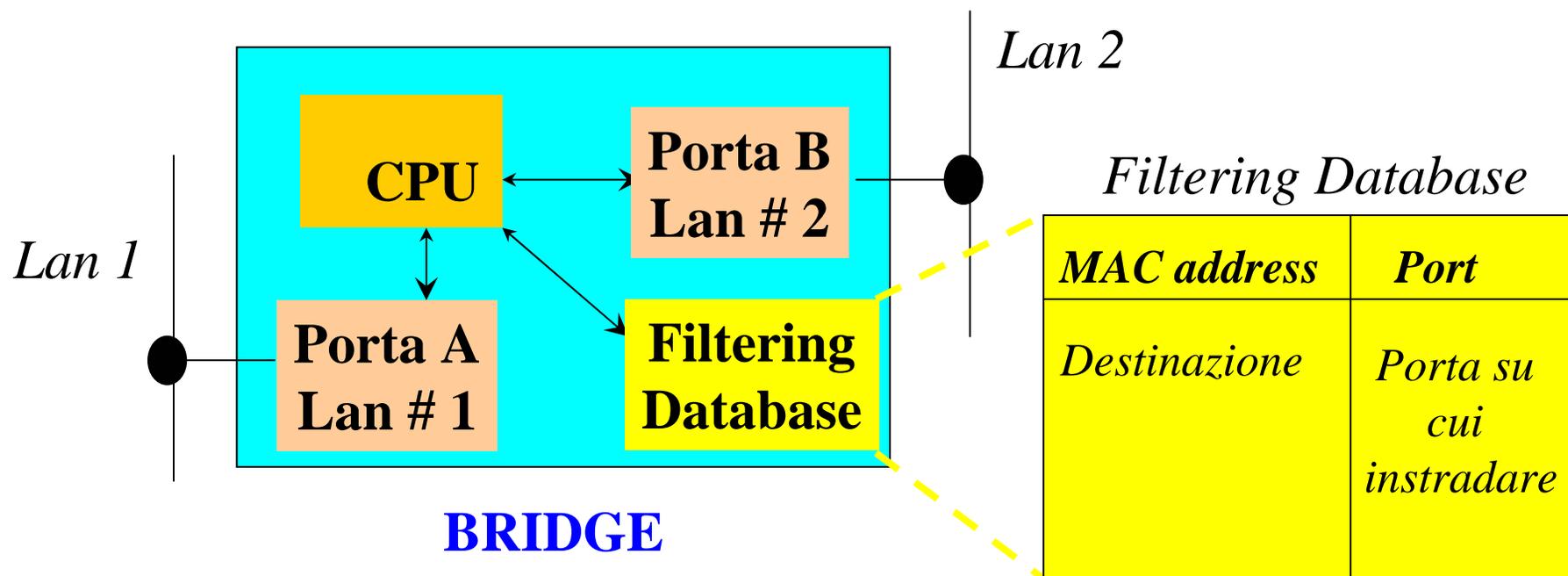
- **Espleta funzioni di**
 - **Filtering:** se una trama ricevuta da Lan 1 è indirizzata ad una stazione di Lan 1.
 - **Relay:** se una trama ricevuta da Lan 1 è indirizzata ad una stazione di Lan 2 la trama viene trasmessa su Lan 2 secondo le regole del protocollo MAC corrispondente.

Differenza fra Repeater e Bridge

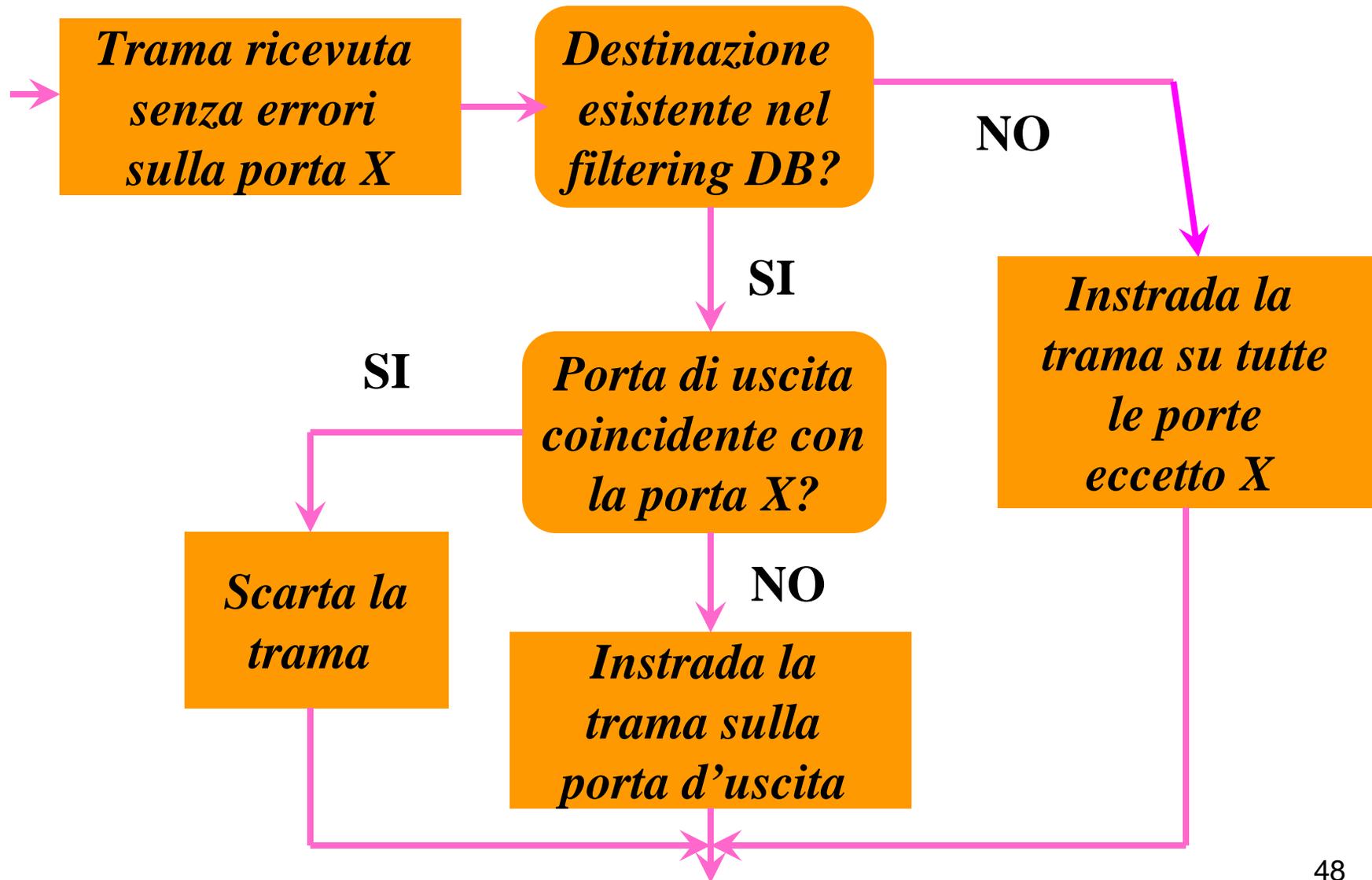


Architettura di un bridge

- Per stabilire se filtrare/instradare una trama si consulta una tabella di instradamento locale chiamata Forwarding (o Filtering) Data Base (FDB)

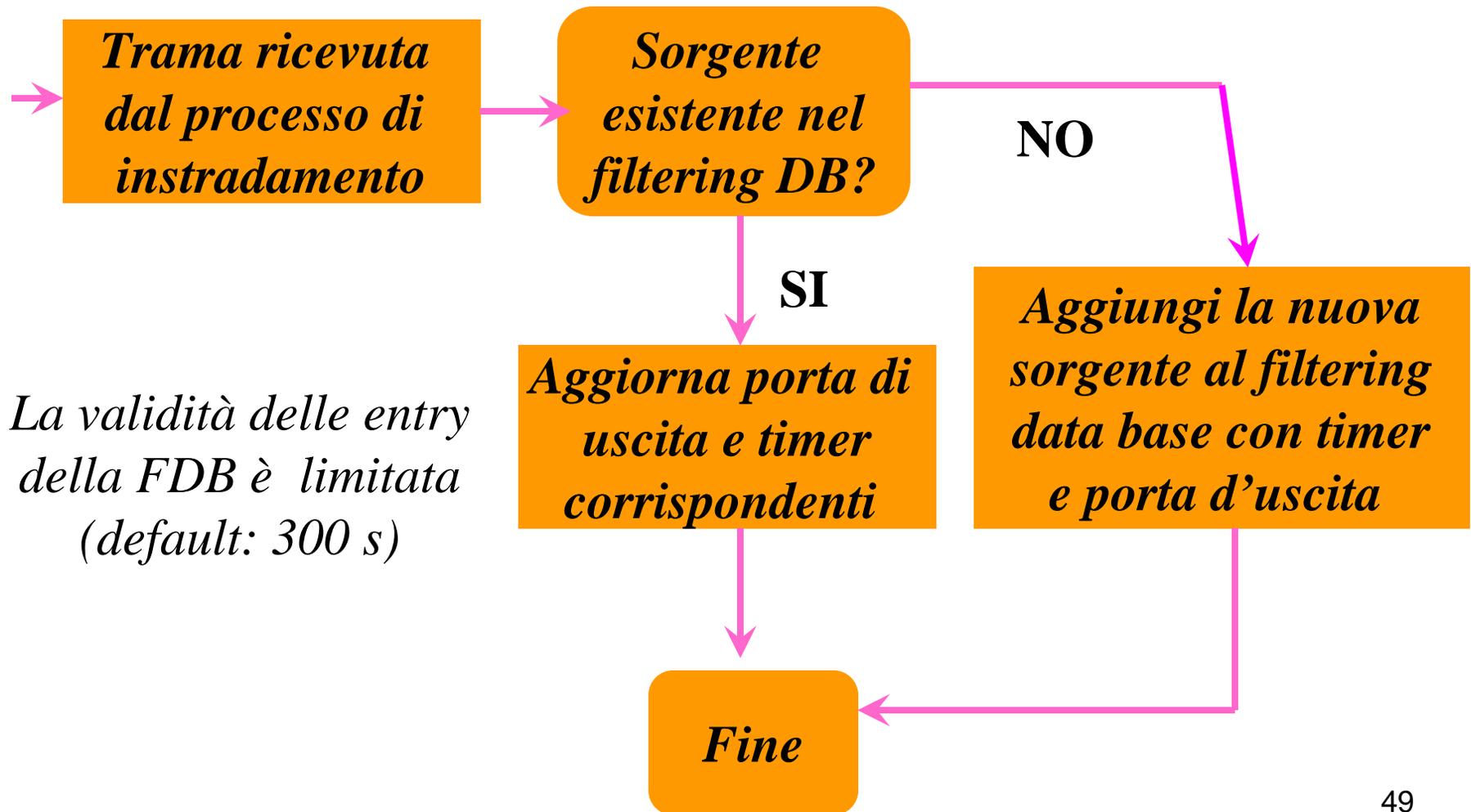


Bridge Forwarding

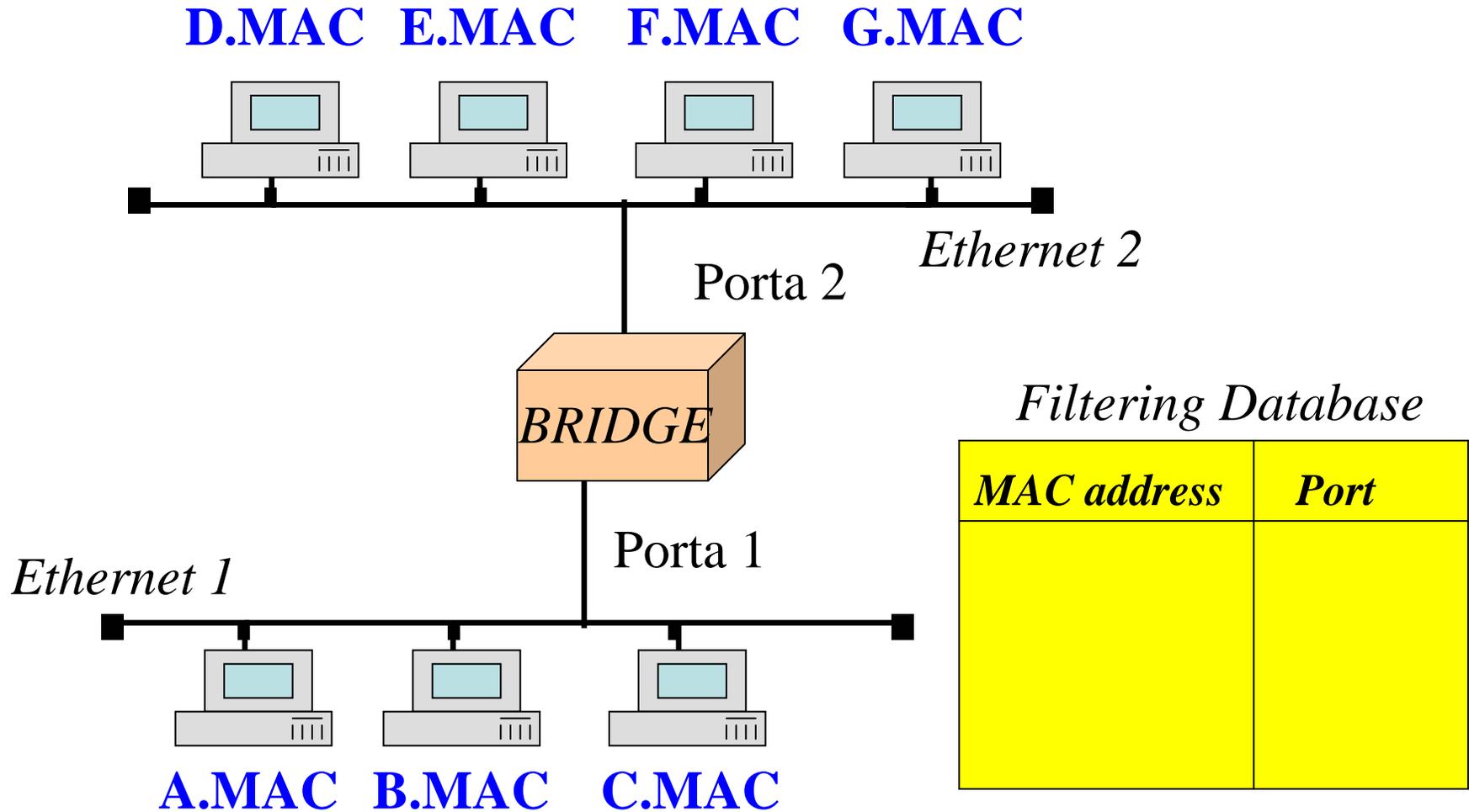


Backward Learning

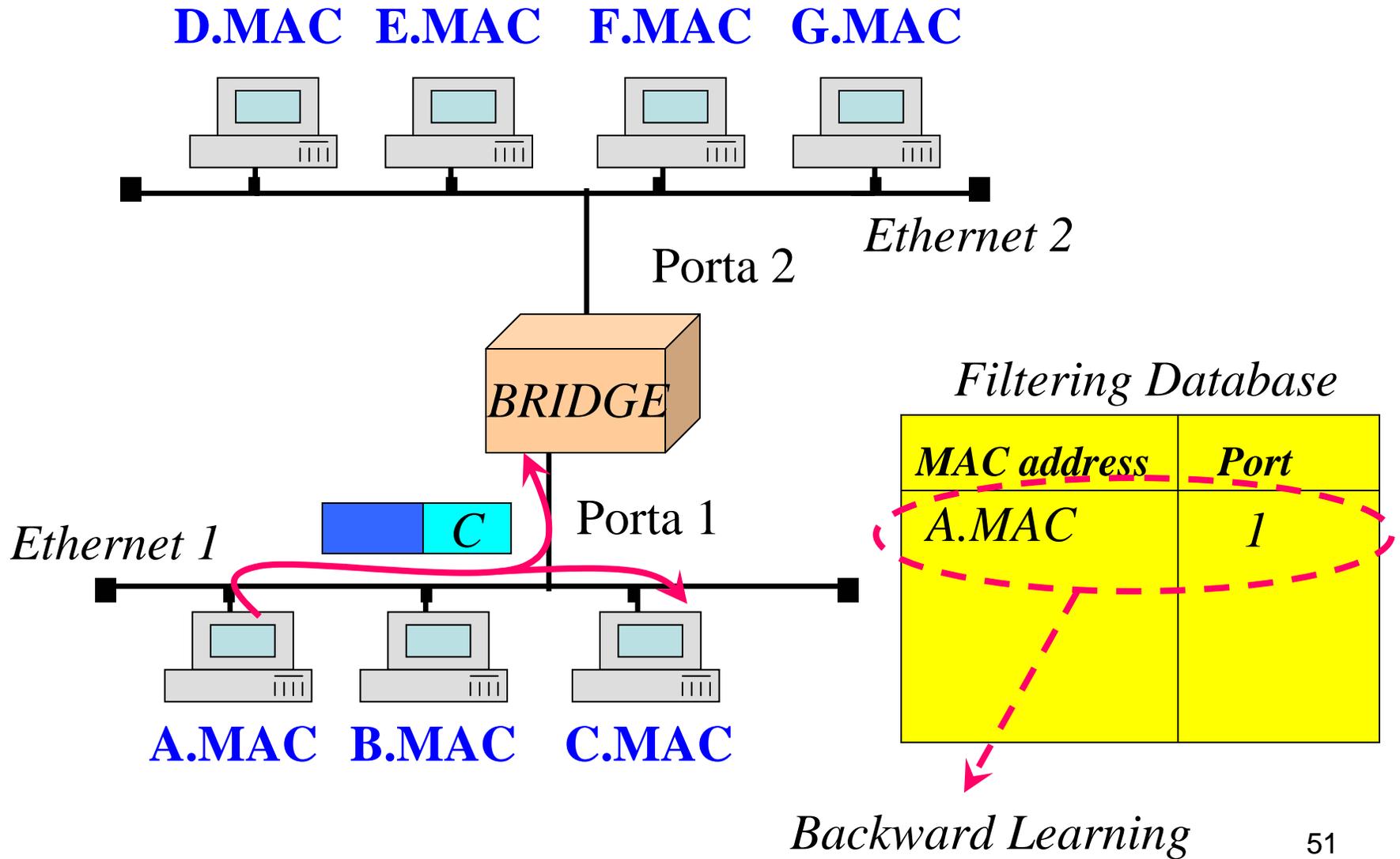
- Metodo rapido ed efficace per riempire la FDB basato sull'osservazione delle trame in direzione opposta



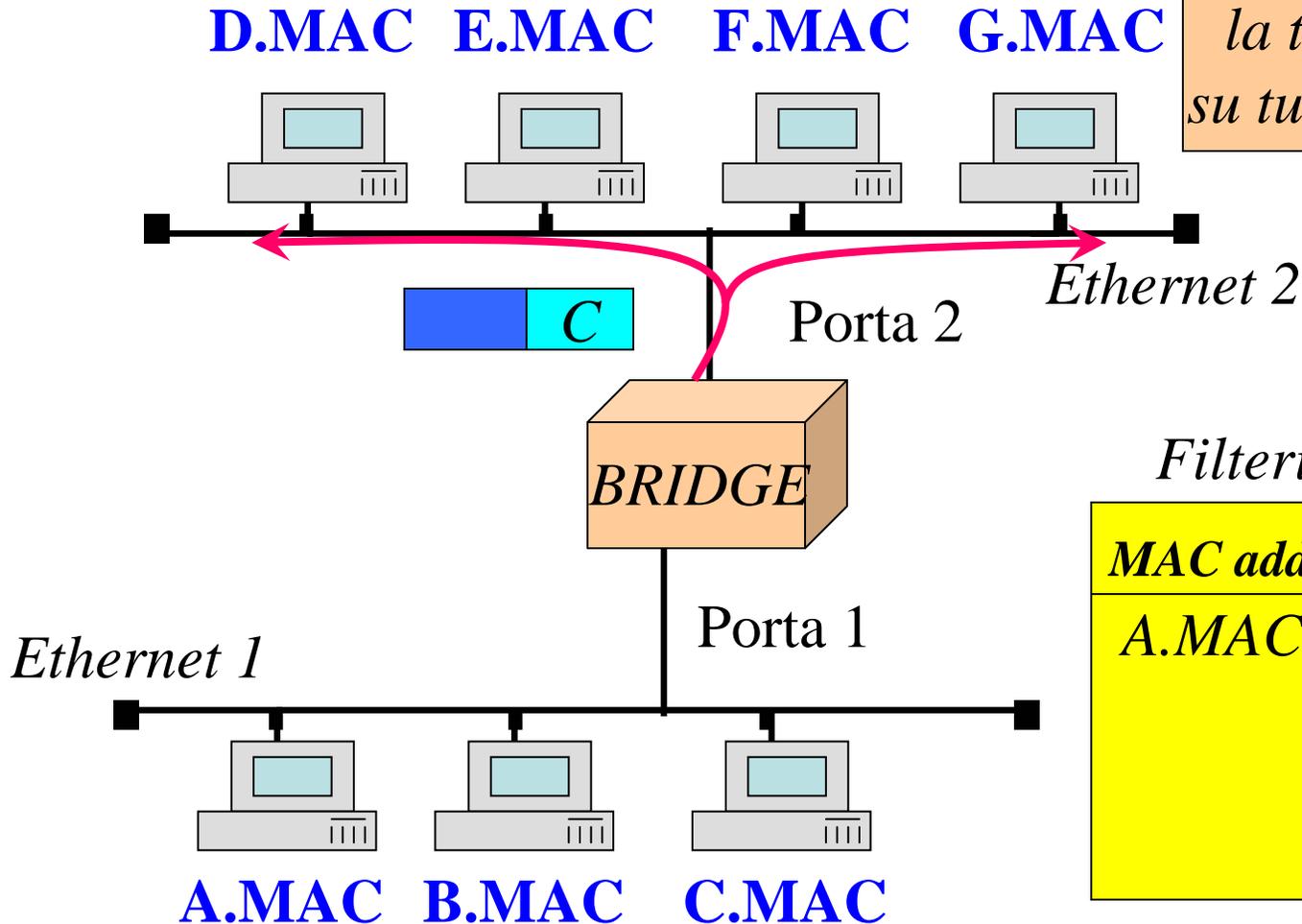
Esempio



Esempio



Esempio



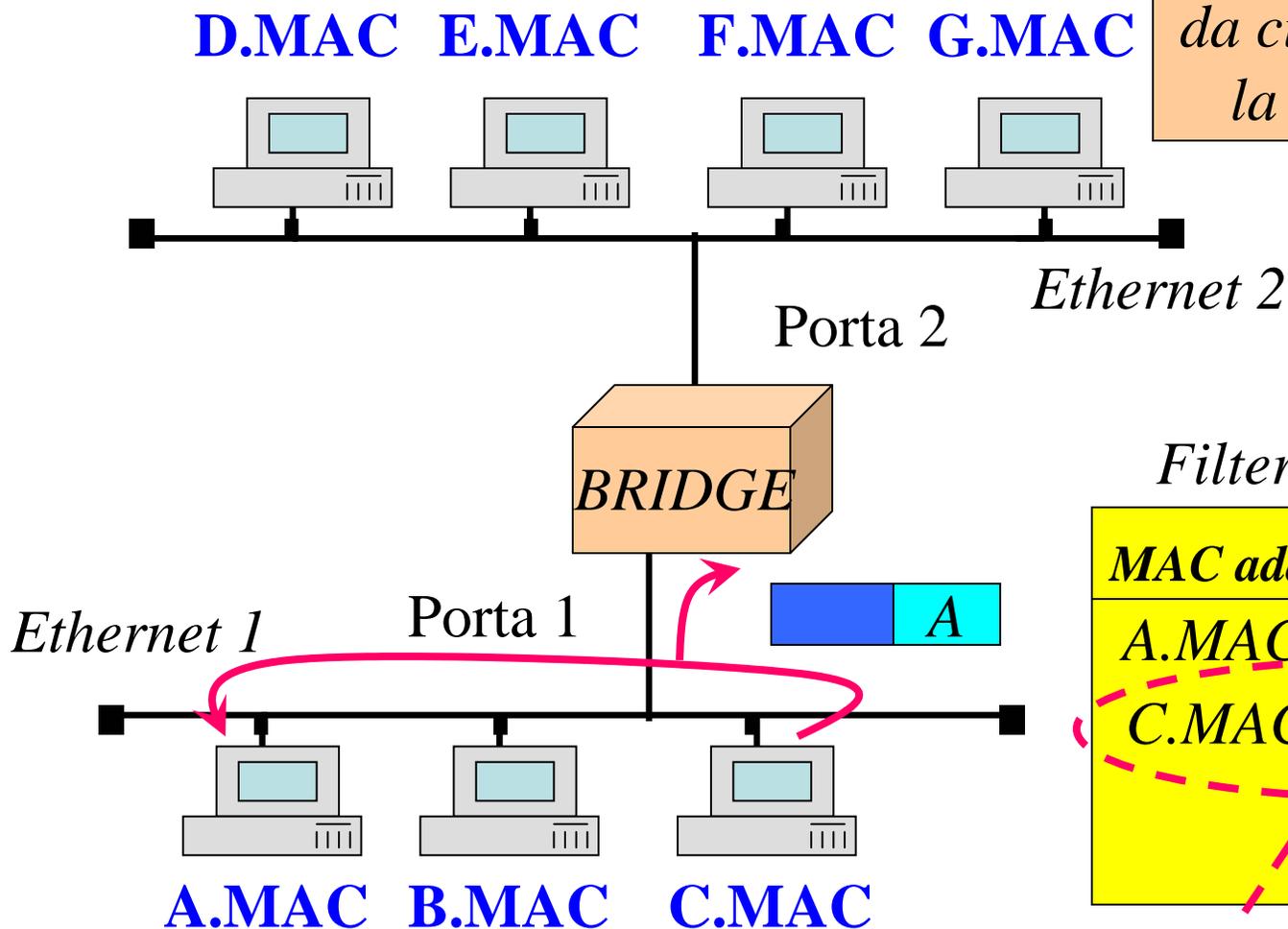
Non avendo C nel filtering database la trama è inviata su tutte le altre porte

Filtering Database

<i>MAC address</i>	<i>Port</i>
<i>A.MAC</i>	<i>1</i>

Esempio

A è raggiungibile tramite la stessa porta da cui è stata ricevuta la trama: filtering

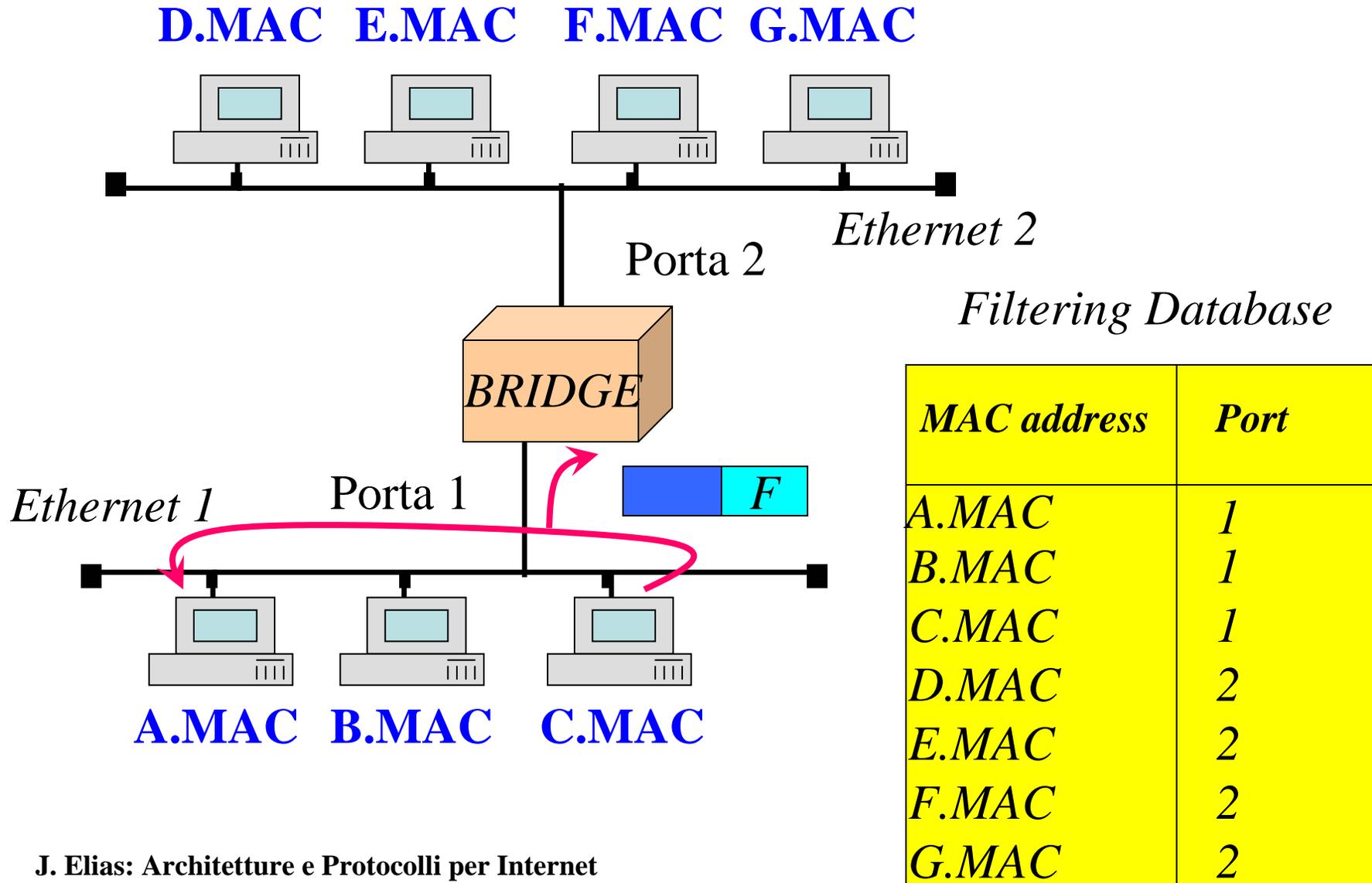


Filtering Database

<i>MAC address</i>	<i>Port</i>
<i>A.MAC</i>	<i>1</i>
<i>C.MAC</i>	<i>1</i>

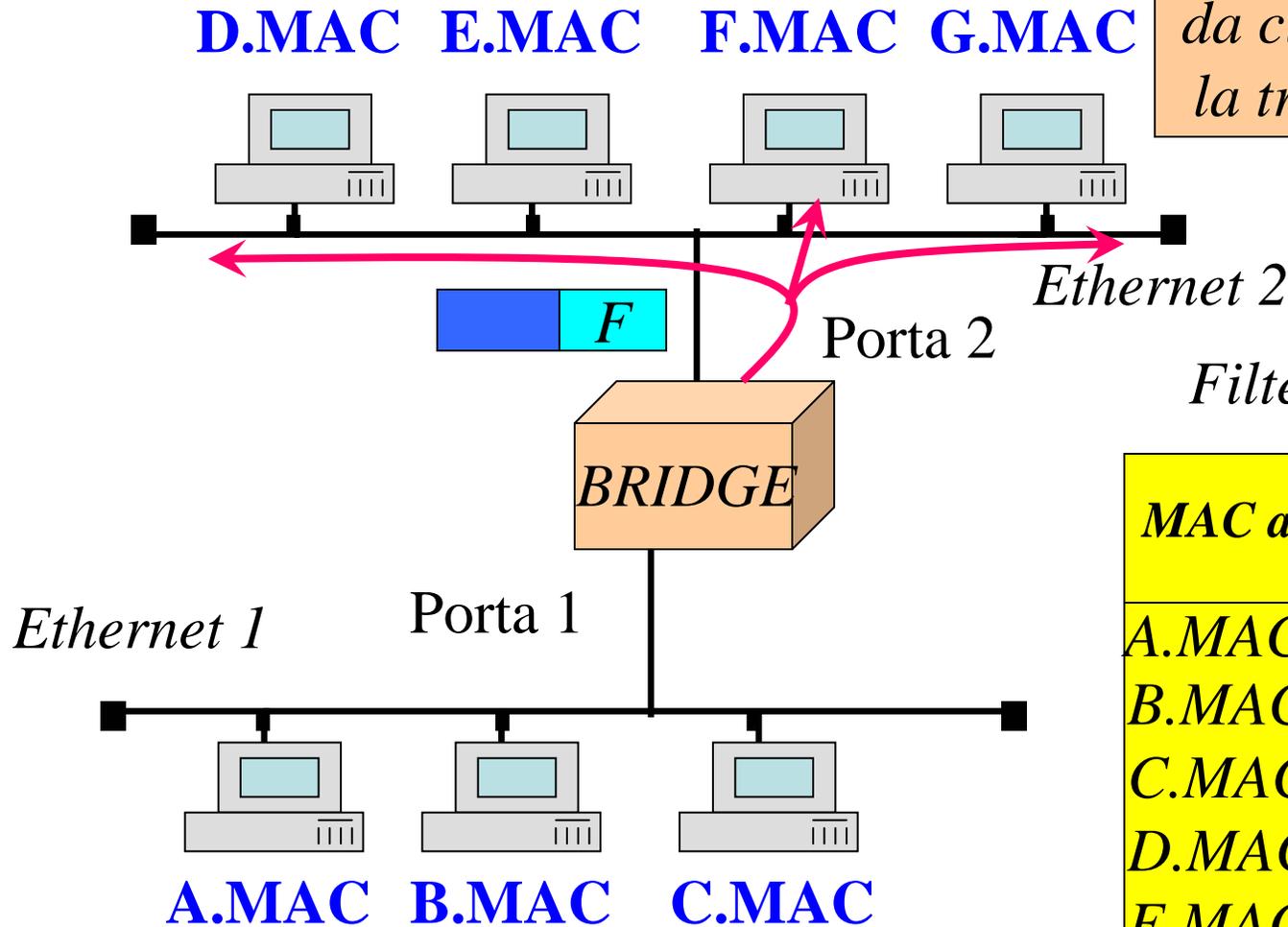
Backward Learning

Esempio: FD completo



Esempio

F non è raggiungibile tramite la stessa porta da cui è stata ricevuta la trama: forwarding

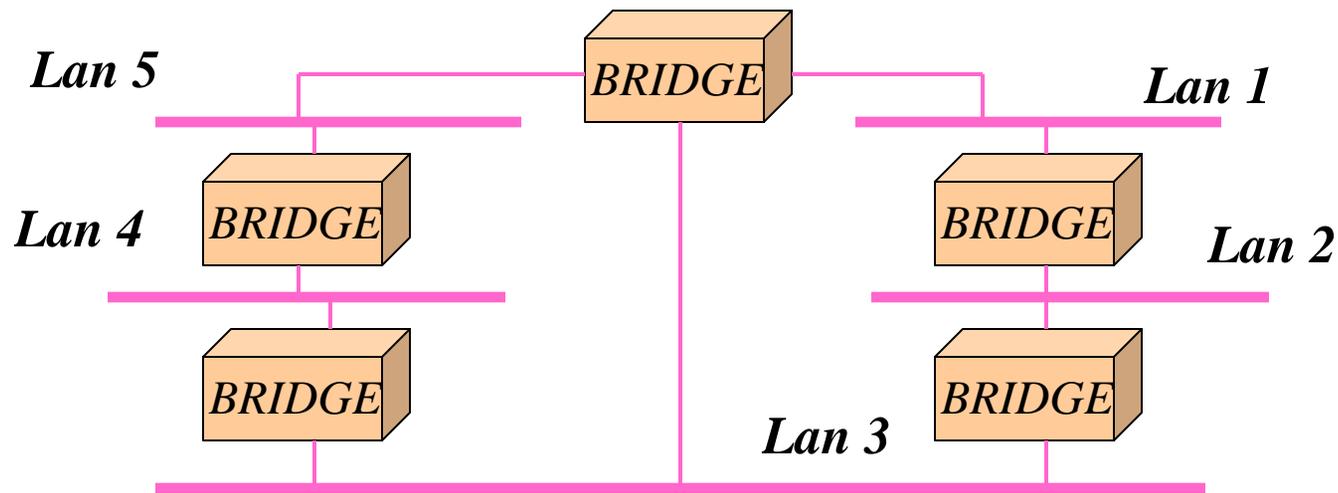


Filtering Database

<i>MAC address</i>	<i>Port</i>
<i>A.MAC</i>	<i>1</i>
<i>B.MAC</i>	<i>1</i>
<i>C.MAC</i>	<i>1</i>
<i>D.MAC</i>	<i>2</i>
<i>E.MAC</i>	<i>2</i>
<i>F.MAC</i>	<i>2</i>
<i>G.MAC</i>	<i>2</i>

Spanning Tree

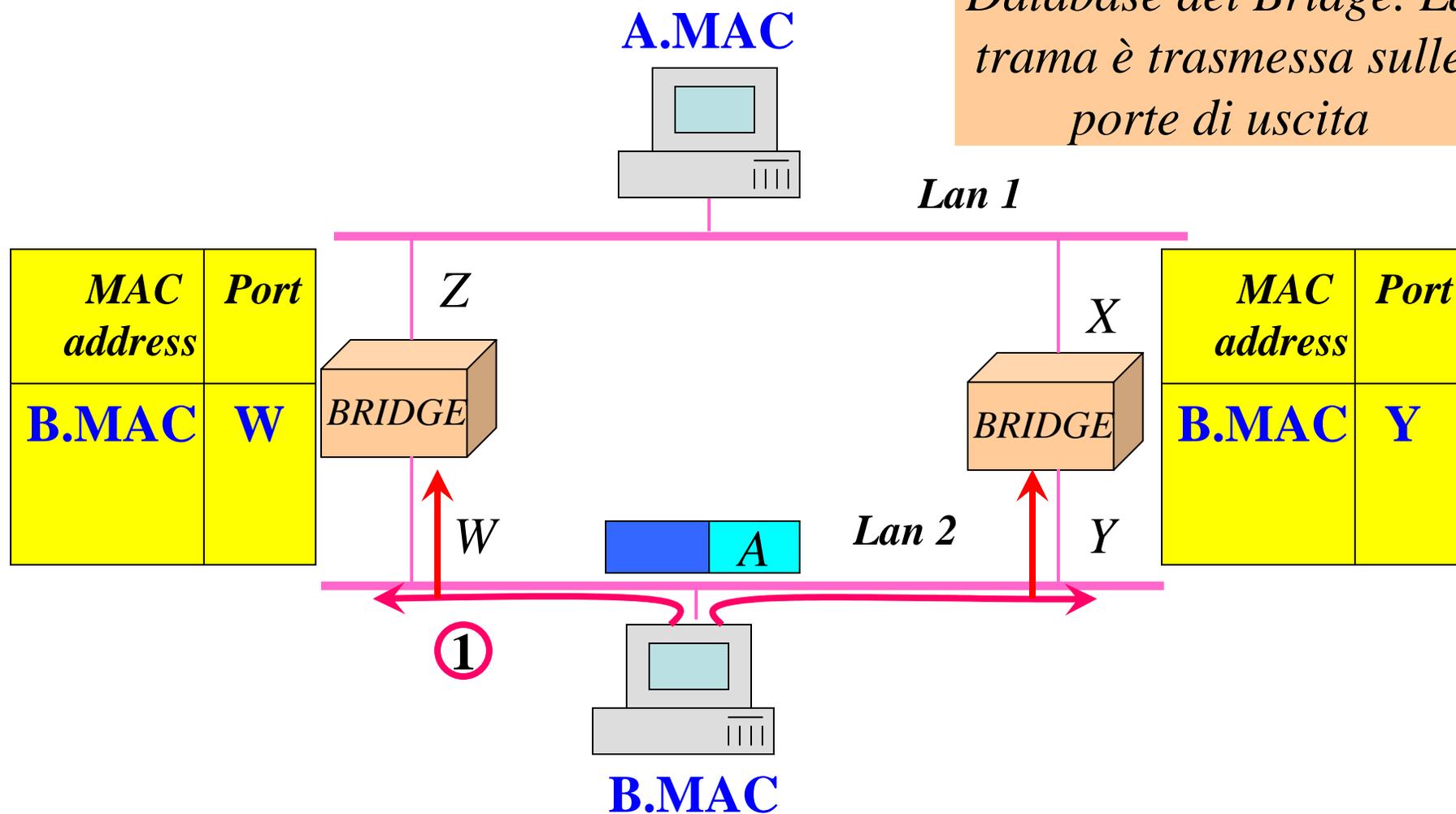
- L'interconnessione di LAN è di solito una topologia magliata ← miglior fault tolerance



- Per funzionare correttamente l'algoritmo descritto in precedenza deve operare su una topologia ad albero.
- Se sono presenti cicli in pochi attimi si bloccano tutti i sistemi connessi alla rete (Broadcast Storm).

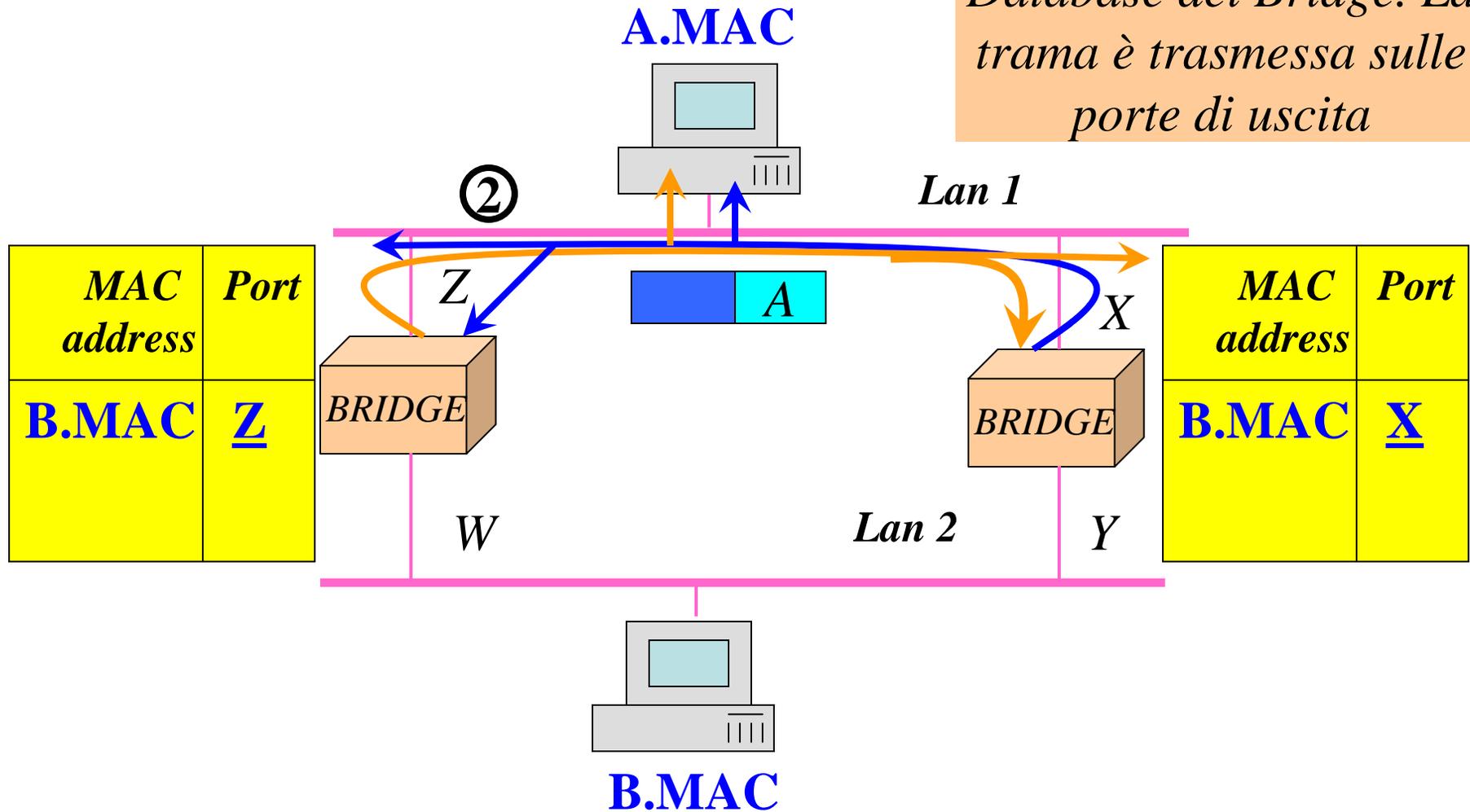
Broadcast Storm

B non è nei Forwarding Database dei Bridge. La trama è trasmessa sulle porte di uscita



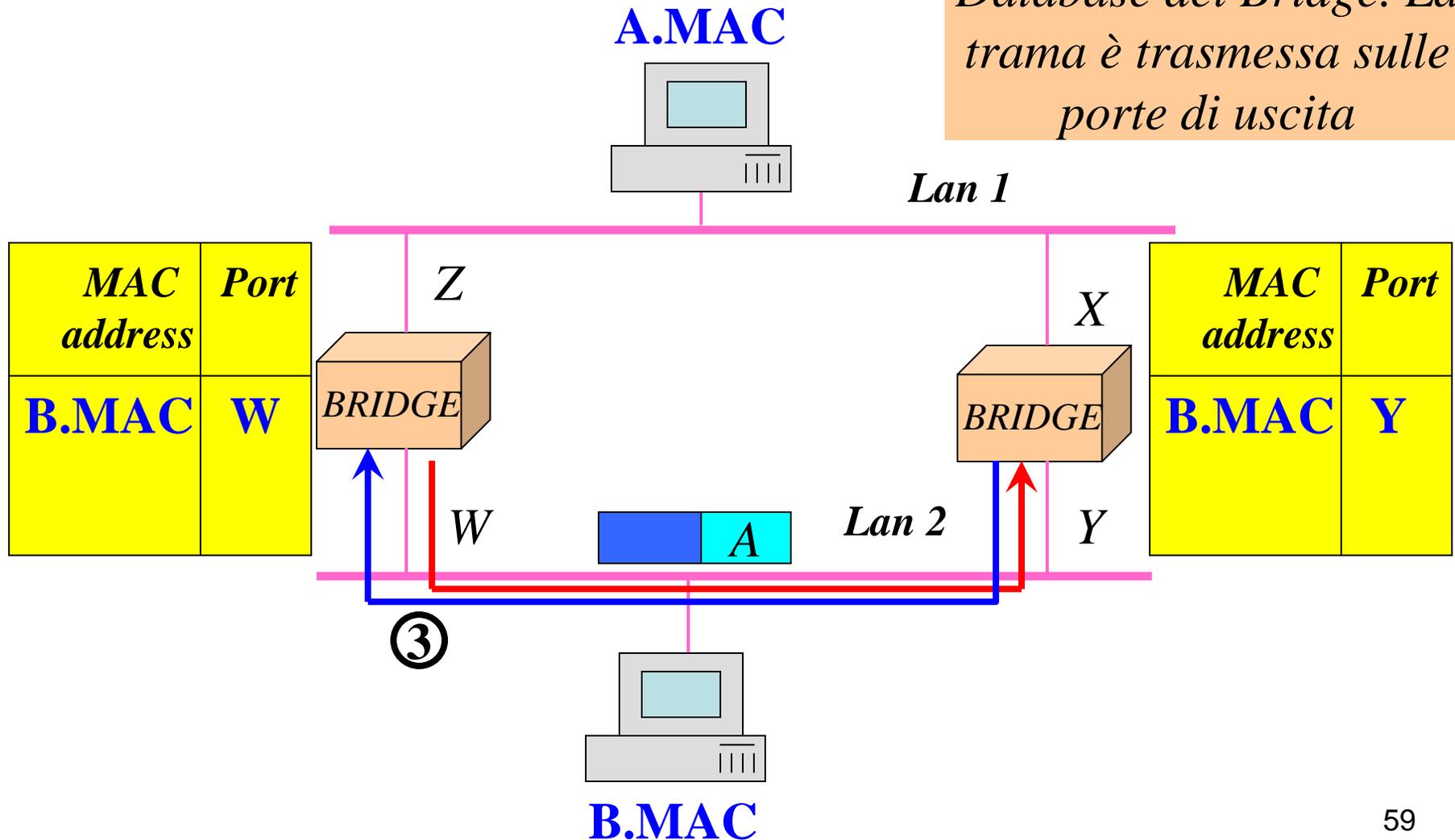
Broadcast Storm

B non è nei Forwarding Database dei Bridge. La trama è trasmessa sulle porte di uscita



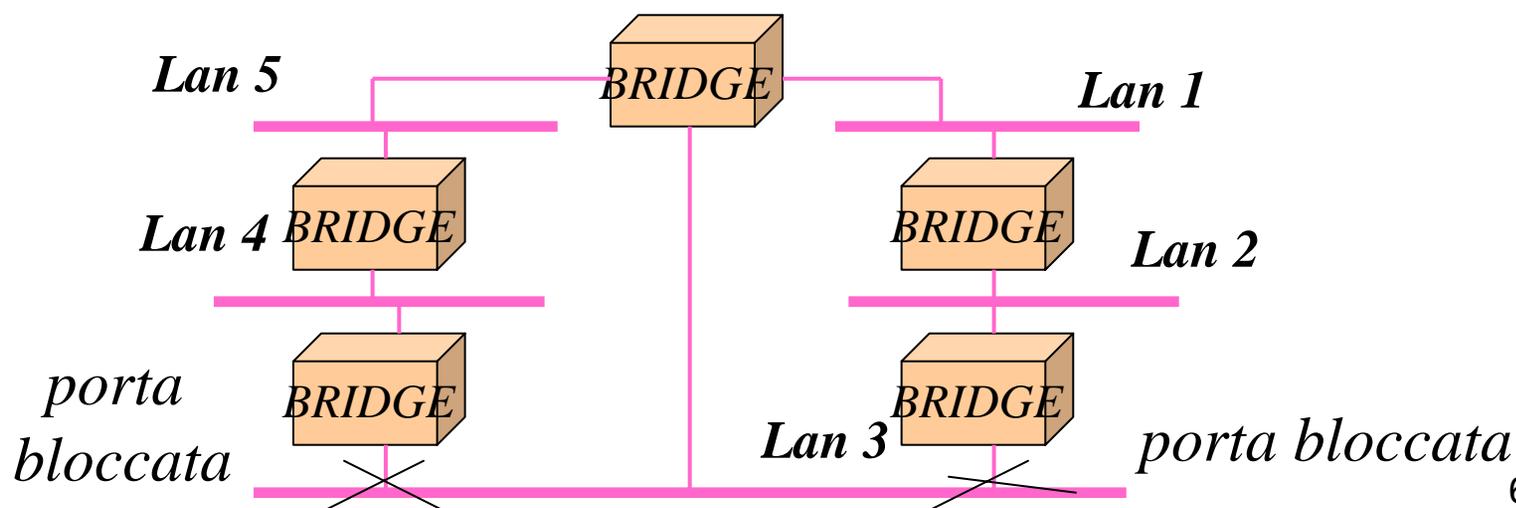
Broadcast Storm

B non è nei Forwarding Database dei Bridge. La trama è trasmessa sulle porte di uscita

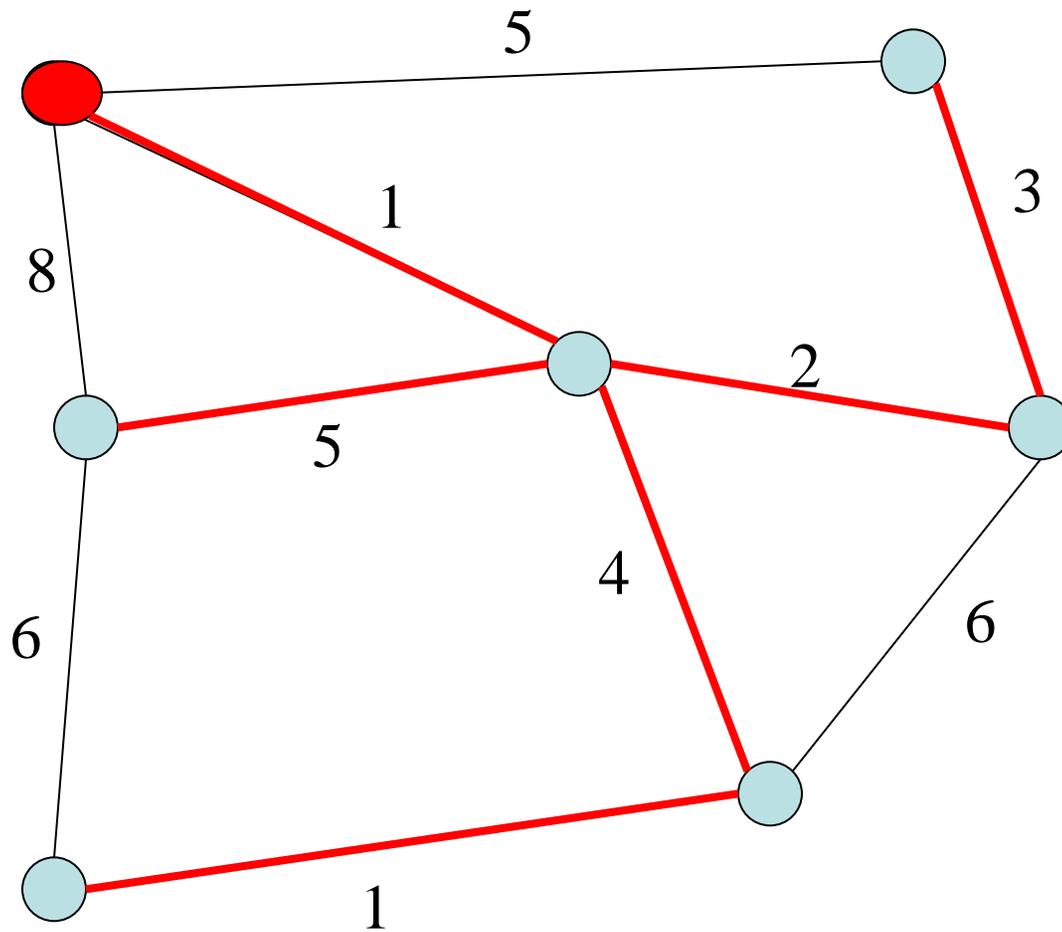


Algoritmo di Spanning Tree Distribuito

- Permette di ricavare, a partire da una topologia fisica magliata, una topologia logica ad albero.
- La topologia logica ad albero è realizzata ponendo in stato di 'blocco' alcune porte.
- Una porta bloccata lascia passare i messaggi del protocollo di spanning tree ma non le trame dati.



Algoritmo di Spanning Tree

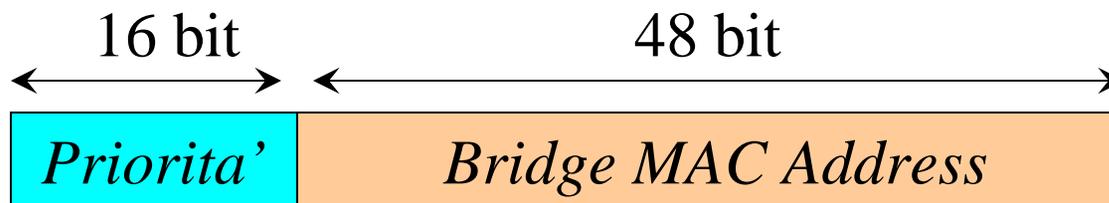


Algoritmo di Spanning Tree

- Viene eletto il root bridge (la radice dello spanning tree)
- Ciascun bridge individua la root port (la porta a distanza 'minore' dal root bridge)
- Per ciascuna LAN si sceglie il 'designated bridge' di interconnessione con il root bridge. La porta di connessione del designated bridge con la LAN è detta 'designated port'.
- Le root port e le designated port sono lasciate attive, mentre tutte le altre porte sono messe in uno stato di blocking → la topologia logica risultante è un albero ricoprente.

Elezione del Root Bridge

- Il primo passo compiuto dallo STP è la selezione del Root Bridge.
- Per eleggere il Root Bridge si utilizza il **Bridge ID**, identificativo univoco di 64 bit dei Bridge presenti sulla rete.



- ✓ Il campo Priorità è settabile dall'amministratore di rete.
- ✓ Il Bridge MAC Address corrisponde al più piccolo tra i MAC Address delle porte del Bridge.
- Al termine del processo di elezione viene scelto come **Root Bridge il Bridge con Bridge ID minore.**

Selezione della Root Port

- Una volta completata l'elezione del Root Bridge, ciascun Bridge identifica la sua porta 'più vicina' al Root Bridge come Root Port.
- La distanza è espressa in termini di costo tramite il parametro **Root Path Cost**, e, a parità di costo dei diversi link (situazione comune nelle reti locali) corrisponde al numero di hop attraversati

Selezione della Designated Bridge Port

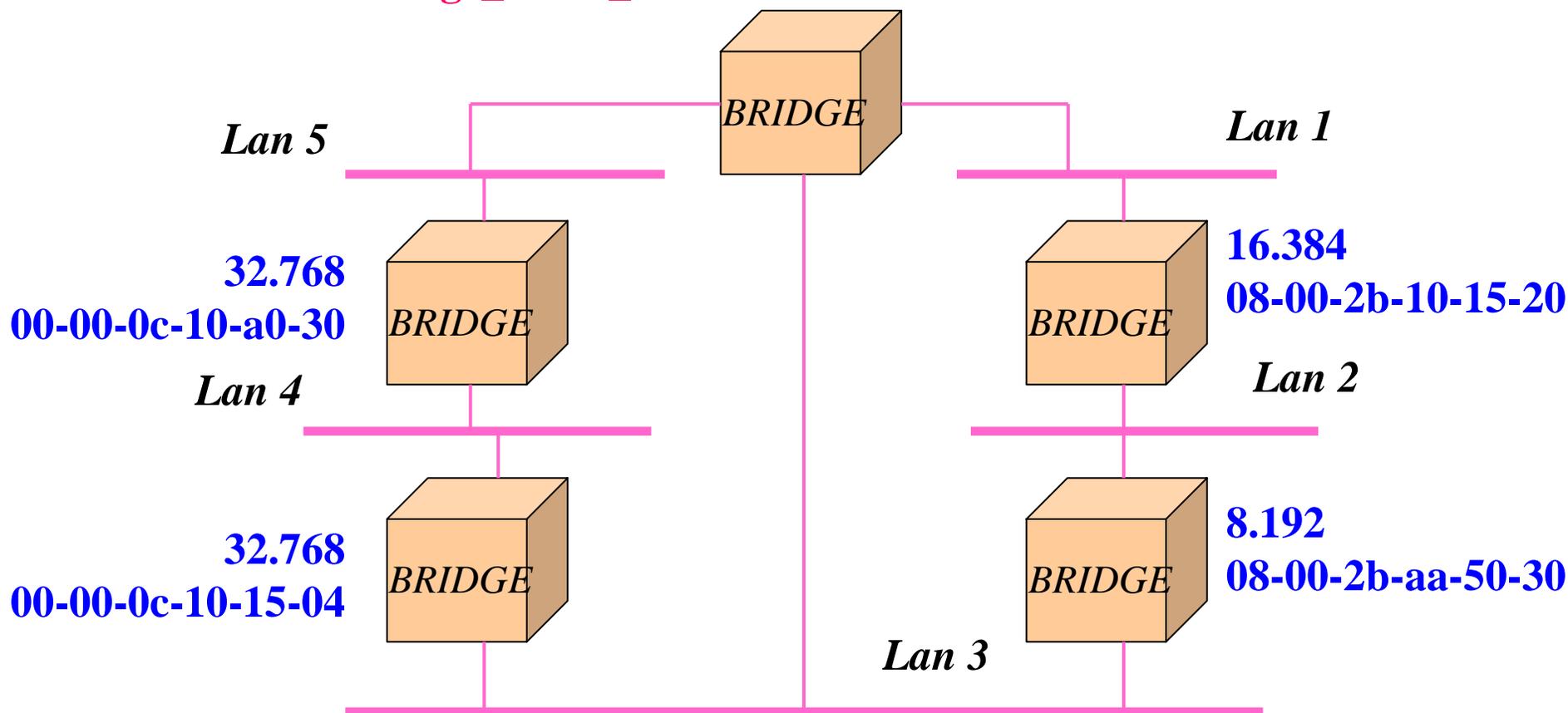
- Su ciascuno dei segmenti di LAN a cui siano connessi più di un Bridge viene eletto un **Designated Bridge** incaricato di inoltrare le trame nella direzione del root Bridge
- La porta tramite cui il Designated Bridge è connesso alla LAN prende il nome di **Designated Bridge Port**.
- Viene scelto come Designated Bridge il Bridge a distanza minima dal Root Bridge e, a parità di distanza, il Bridge con minor Bridge ID.

Le porte del Root Bridge sono Designated Bridge Ports !

Esempio: protocollo di Spanning Tree

Bridge_Prio: 16.384

Bridge_MAC_address: 08-00-2b-51-11-21

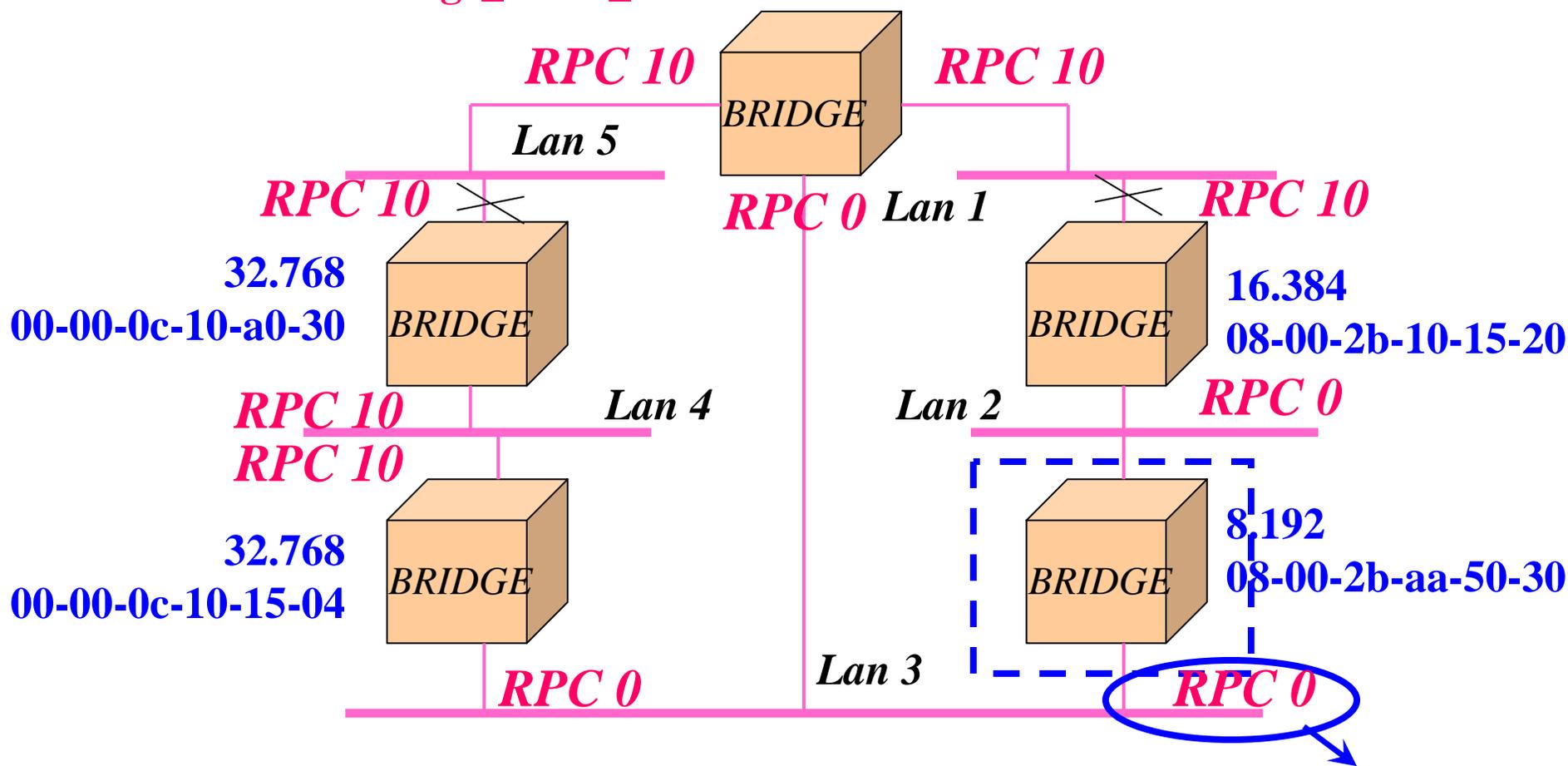


Maglia prima del calcolo dello ST

Esempio: protocollo di Spanning Tree

Bridge_Prio: 16.384

Bridge_MAC_address: 08-00-2b-51-11-21



Spanning Tree calcolato dall'algoritmo

**Root Path ₆₇
Cost**