

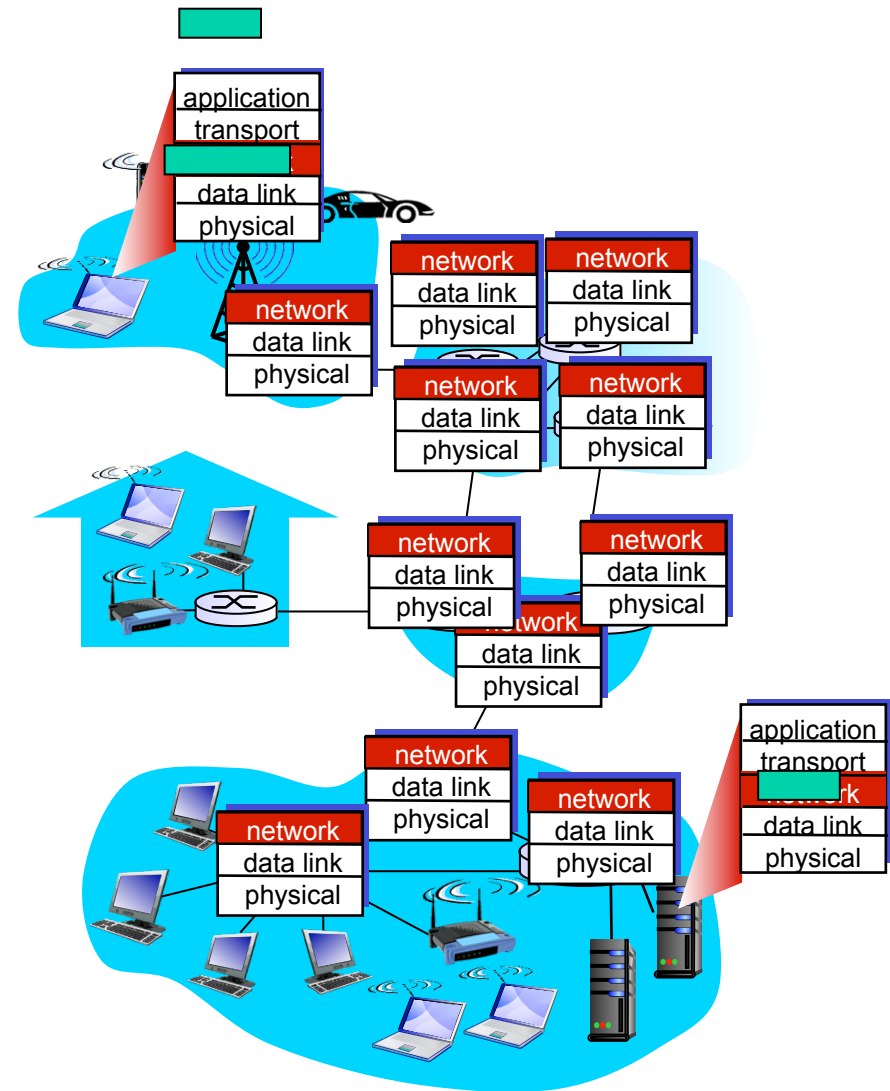
*Reti di calcolatori e Internet:
Un approccio top-down*

7^a edizione
Jim Kurose, Keith Ross

Pearson Paravia Bruno Mondadori Spa

Network layer

- Trasporta i segmenti dall'host mittente all'host destinazione
- Mittente: incapsula i segmenti in datagrammi
- Destinatario: consegna i segmenti al livello trasporto
- Il livello rete si trova in *ogni* host e router
- I router esaminano l'intestazione di tutti i datagrammi IP che li attraversano



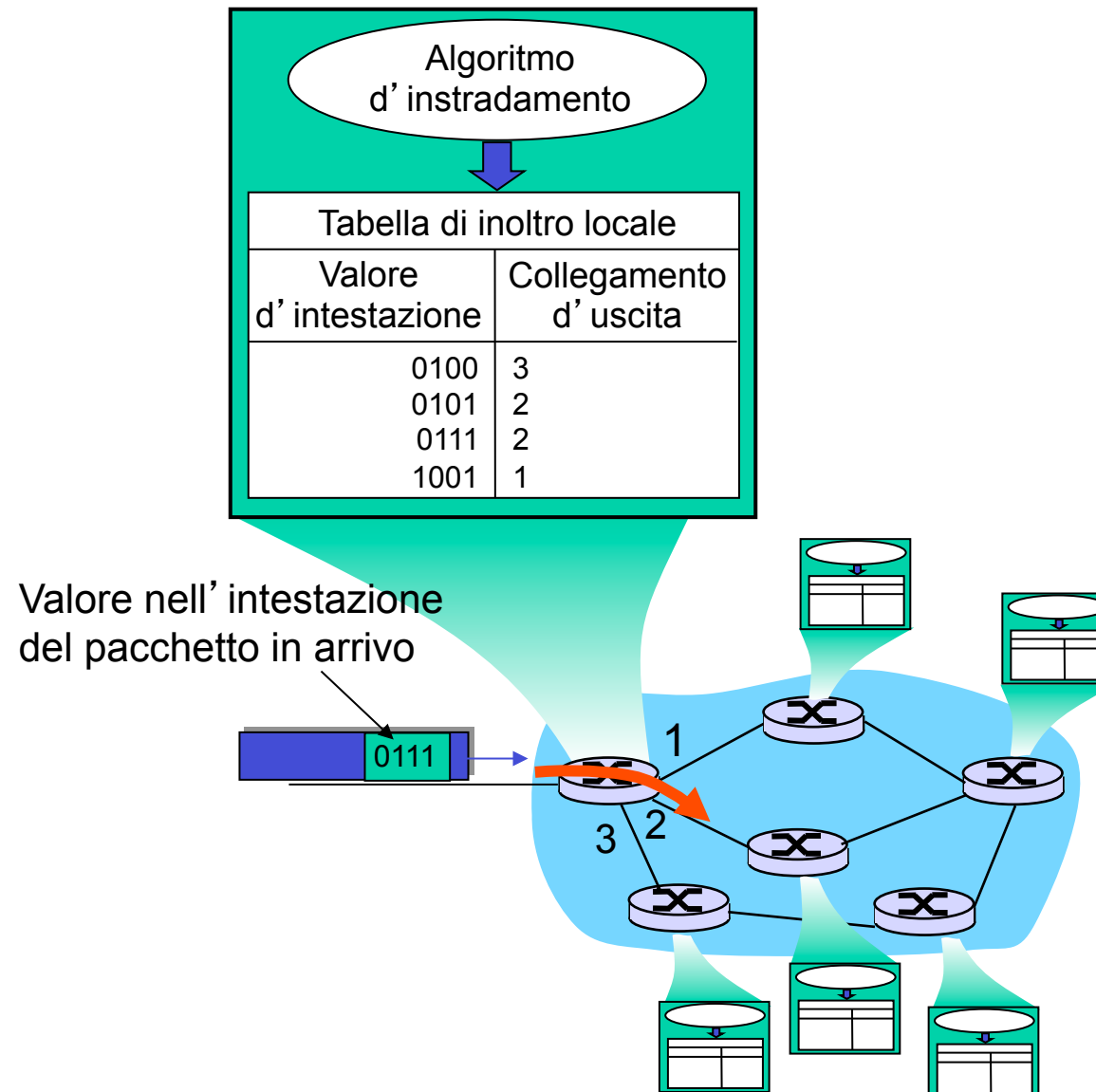
Funzioni chiave del livello di rete

- ❑ *Inoltro (forwarding)*: trasferisce i pacchetti dall'input di un router all'output del router appropriato
- ❑ *Instradamento (routing)*: determina il percorso seguito dai pacchetti dall'origine alla destinazione

analogia:

- ❑ *inoltro*: processo di attraversamento di un determinato svincolo
- ❑ *instradamento*: processo di pianificazione di un viaggio dall'origine alla destinazione

Instradamento e inoltr



Modello di servizio del livello di rete

D: Qual è il *modello di servizio* per il "canale" che trasporta i datagrammi dal mittente al destinatario?

Servizi per un singolo datagramma:

- ❑ Consegna garantita
- ❑ Consegna garantita con un ritardo inferiore a 40 msec

Servizi per un flusso di datagrammi:

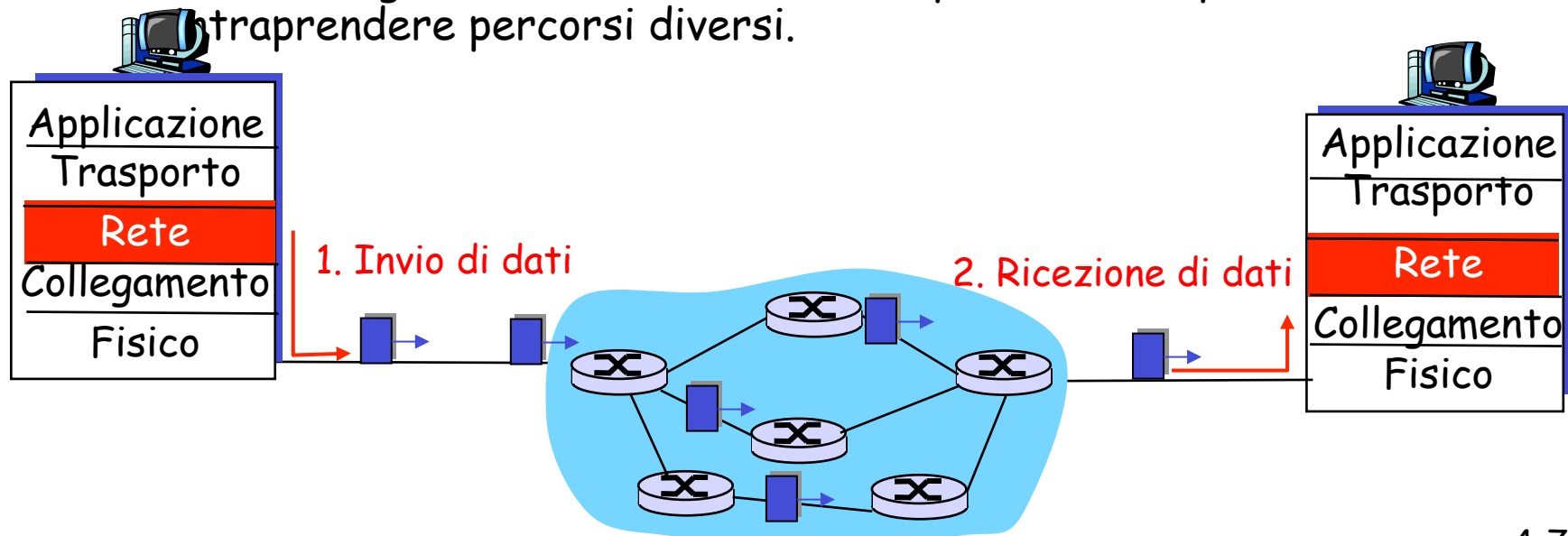
- ❑ Consegna in ordine
- ❑ Minima ampiezza di banda garantita
- ❑ Restrizioni sul lasso di tempo tra la trasmissione di due pacchetti consecutivi

Modelli di servizi del livello di rete

Architettura di rete	Modello di servizio	Garanzia?				Indicazione di congestione
		Banda	Consegna	Ordinamento	Temporizzazione	
Internet	best effort	nessuna	no	no	no	no
ATM	CBR	Tasso costante garantito	sì	sì	sì	Nessuna congestione
ATM	VBR	Garantita	sì	sì	sì	Nessuna congestione
ATM	ABR	Minima garantita	no	sì	no	sì
ATM	UBR	nessuna	no	sì	no	no

Reti a datagramma

- ❑ Non avviene alcuna impostazione della chiamata a livello di rete
- ❑ I router della rete a datagramma non conservano informazioni sullo stato dei circuiti virtuali
 - ❑ Non c'è il concetto di "connessione" a livello di rete
- ❑ I pacchetti vengono inoltrati utilizzando l'indirizzo dell'host destinatario.
 - I pacchetti passano attraverso una serie di router che utilizzano gli indirizzi di destinazione per inviarli e possono intraprendere percorsi diversi.

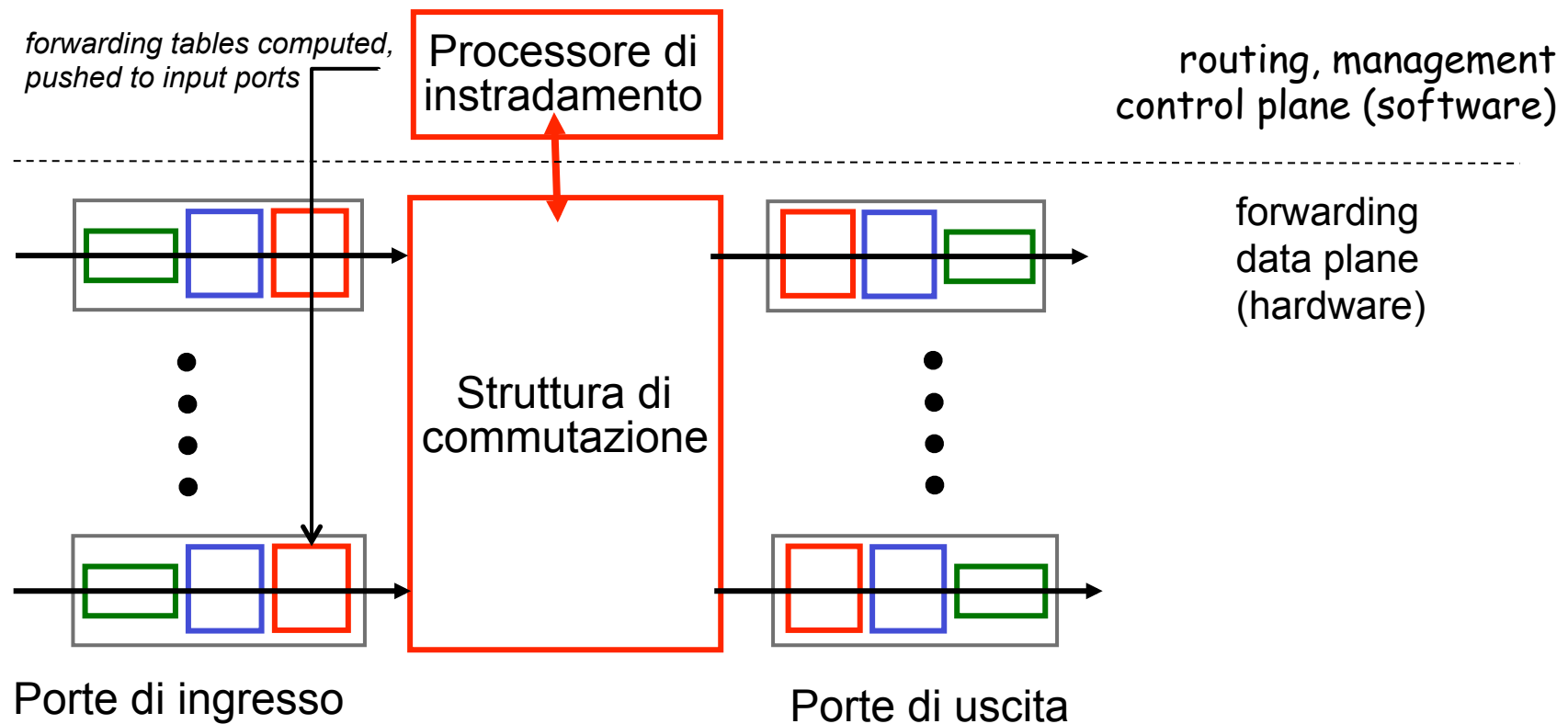


COSA SI TROVA ALL'INTERNO DI
UN ROUTER?

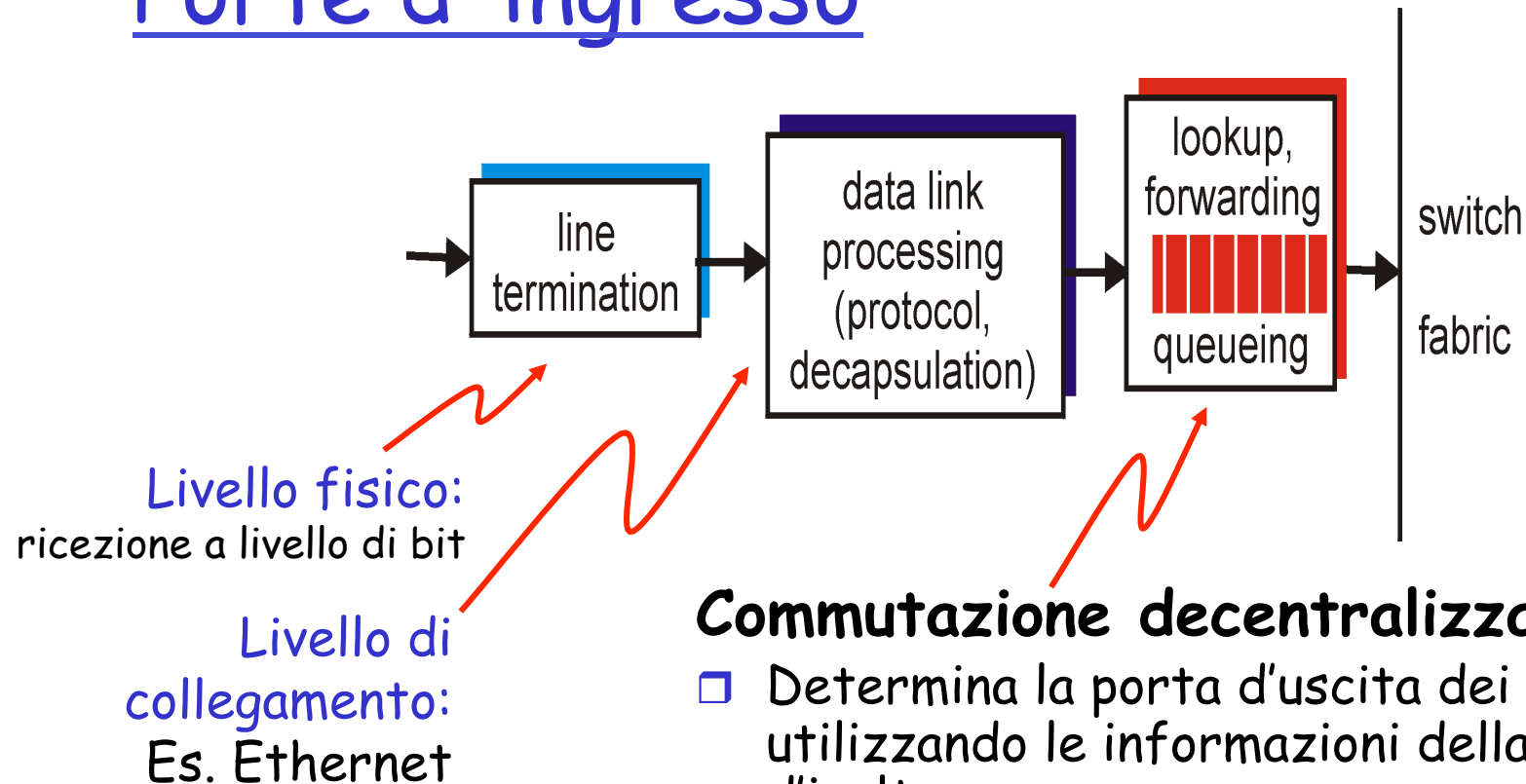
Architettura del router

Due funzioni chiave:

- ❑ Far girare i protocolli/algoritmi d'instradamento
- ❑ *Inoltro* di datagrammi dai collegamenti in ingresso a quelli in uscita.



Porte d'ingresso



Commutazione decentralizzata:

- ❑ Determina la porta d'uscita dei pacchetti utilizzando le informazioni della tabella d'inoltro
- ❑ Obiettivo: completare l'elaborazione allo stesso **tasso della linea**
- ❑ Accodamento: se il tasso di arrivo dei datagrammi è superiore a quello di inoltro

Tabelle di inoltro

- ❑ Rappresentazione esplicita di tutti i possibili indirizzi
 - Se indirizzi a 32 bit => 4 miliardi di indirizzi
 - Approccio infattibile

- ❑ Rappresentazione degli intervalli di indirizzi
 - Non servono 4 miliardi di righe

Tabella d' inoltro

<u>Intervallo degli indirizzi di destinazione</u>	<u>Interfaccia</u>
da 11001000 00010111 00010000 00000000 a 11001000 00010111 00010111 11111111	0
da 11001000 00010111 00011000 00000000 a 11001000 00010111 00011000 11111111	1
da 11001000 00010111 00011001 00000000 a 11001000 00010111 00011111 11111111	2
altrimenti	3

Confronta un *prefisso* dell'indirizzo

Longest prefix matching

<u>Corrispondenza di prefisso</u>	<u>Interfaccia</u>
11001000 00010111 00010	0
11001000 00010111 00011000	1
11001000 00010111 00011	2
altrimenti	3

Esempi:

con: 11001000 00010111 0001

0110 10100001

Qual è l'interfaccia?

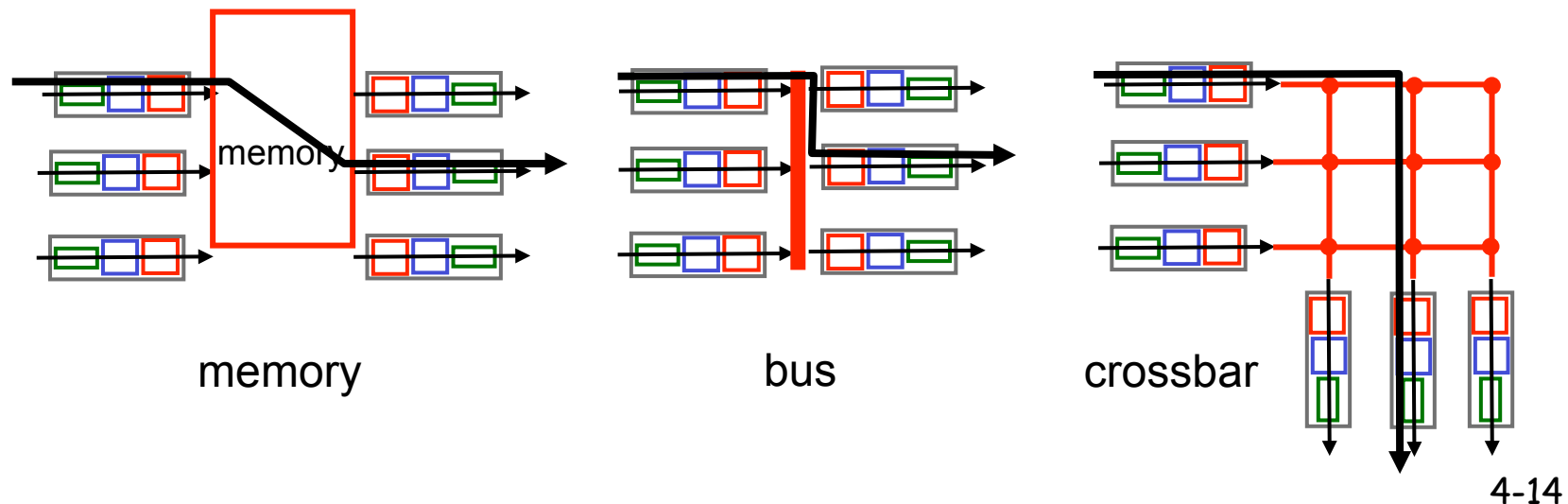
con: 11001000 00010111 0001

1000 10101010

Qual è l'interfaccia?

Struttura di commutazione

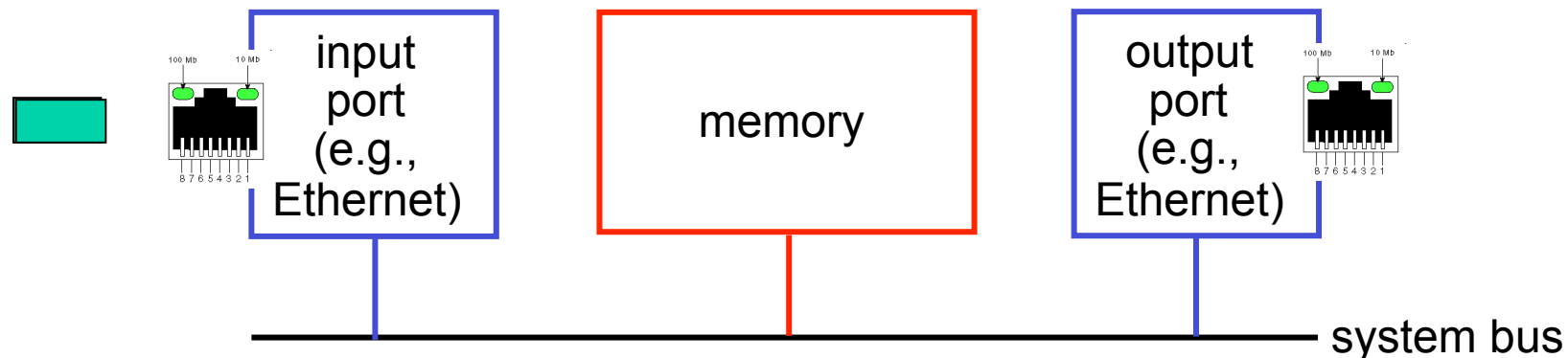
- Trasferisce pacchetti dai buffer di input agli appropriati buffer di output
- switching rate: frequenza con cui i pacchetti possono essere trasferiti dall'input all'output
- Tre tipi di strutture di commutazione (switching fabrics)



Commutazione in memoria

Prima generazione di router:

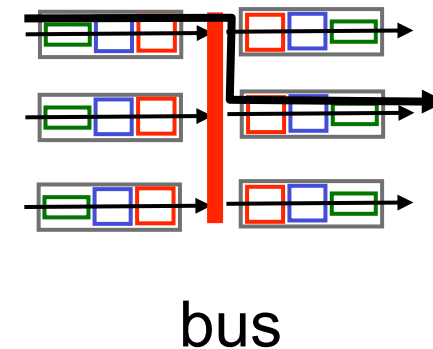
- ❑ Erano tradizionali calcolatori e la commutazione era effettuata sotto il controllo diretto della CPU.
- ❑ Il pacchetto veniva copiato nella memoria del processore.
- ❑ I pacchetti venivano trasferiti dalle porte d'ingresso a quelle d'uscita con una frequenza totale inferiore a $B/2$.
(se in memoria si possono scrivere o leggere B bit al secondo)



La memoria può essere scritta o letta a B bps

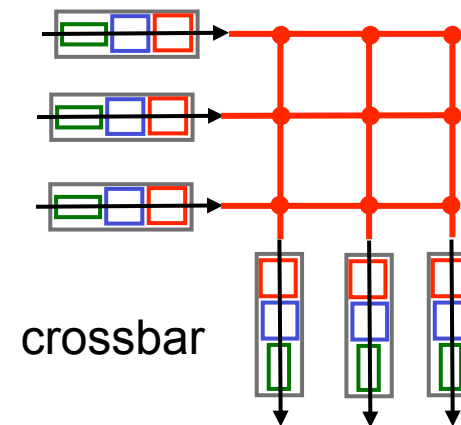
Commutazione tramite bus

- ❑ Le porte d'ingresso trasferiscono un pacchetto direttamente alle porte d'uscita su un bus condiviso.
- ❑ **Contesa per il bus**: la larghezza di banda della commutazione è limitata da quella del bus.
- ❑ Cisco 5600 opera con bus da 32 Gbps: è sufficiente per router che operano in reti d'accesso o in quelle aziendali



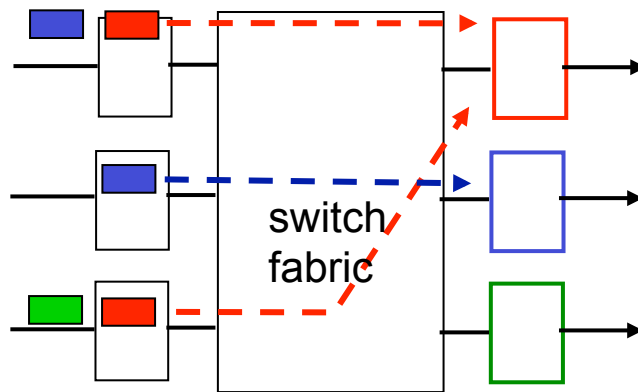
Commutazione attraverso rete d'interconnessione

- ❑ Supera il limite di banda di un singolo bus condiviso.
- ❑ Un **crossbar switch** è una rete d'interconnessione che consiste di $2n$ bus che collegano n porte d'ingresso a n porte d'uscita
- ❑ Switch Cisco 12000: usano una rete d'interconnessione che raggiunge i 60 Gbps nella struttura di commutazione.

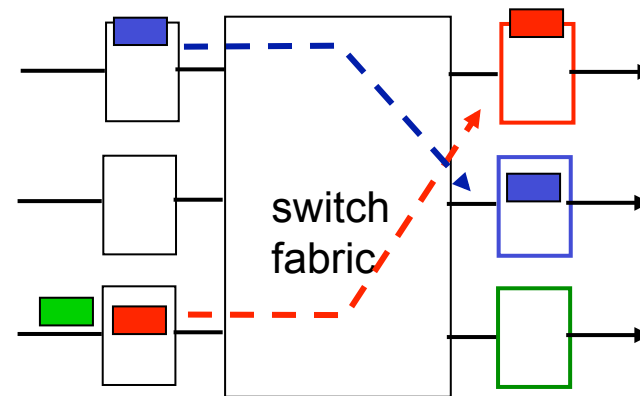


Accodamento nelle porte di Input

- ❑ Struttura di commutazione più lenta dell'insieme delle porte di input -> accodamento nelle code di input
 - *Ritardo di accodamento e perdita dovuto all'overflow del buffer di input!*
- ❑ **Head-of-the-Line (HOL) blocking:** il datagramma in cima alla coda impedisce agli altri di essere inoltrati

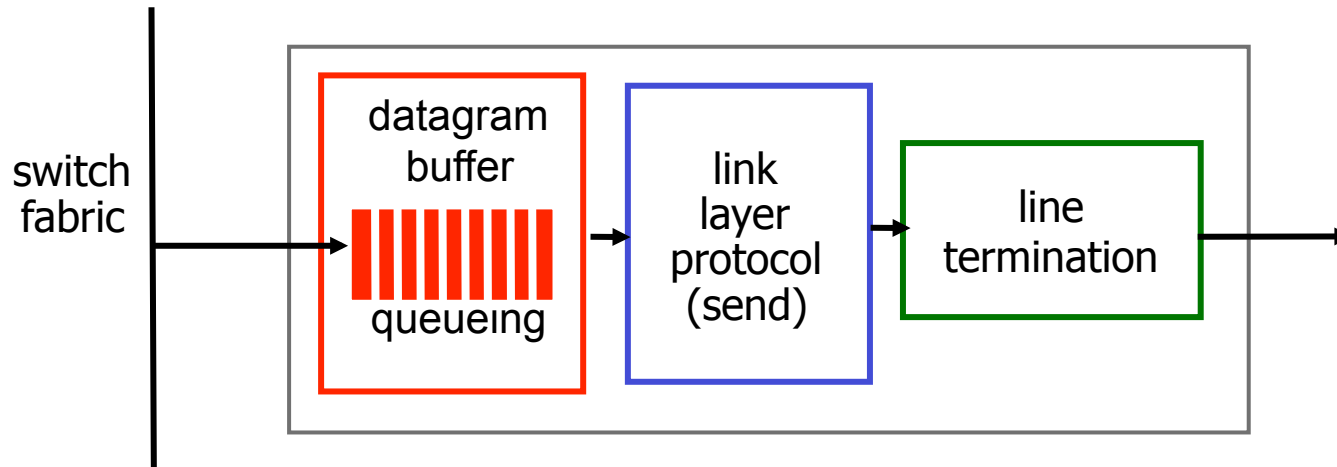


Contesa delle porte di output:
Solo un datagramma rosso può essere
trasferito
il datagramma rosso in basso è bloccato



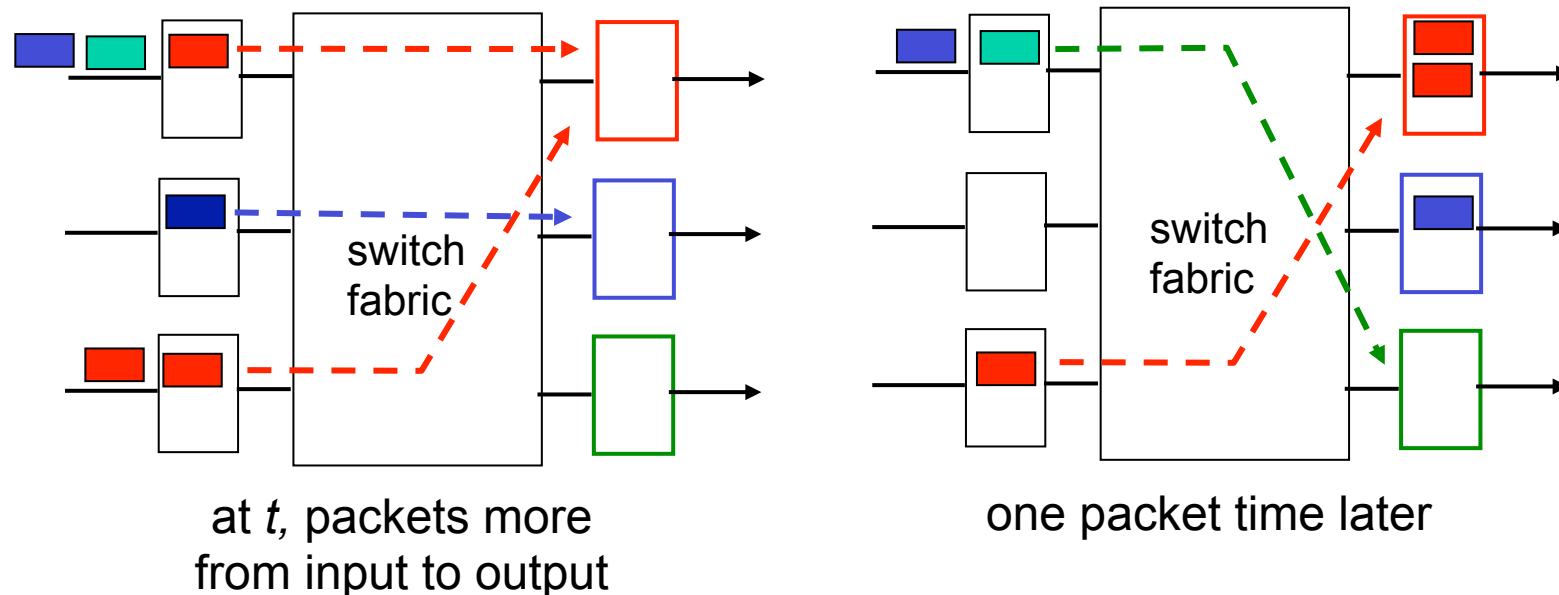
Un pacchetto dopo: il
pacchetto verde
sperimenta il "HOL
blocking"

Porte d'uscita



- ❑ **Funzionalità di accodamento:** quando la struttura di commutazione consegna pacchetti alla porta d'uscita a una frequenza che supera quella del collegamento uscente.
- ❑ **Schedulatore di pacchetti:** stabilisce in quale ordine trasmettere i pacchetti accodati.

Accodamento delle porte di uscita

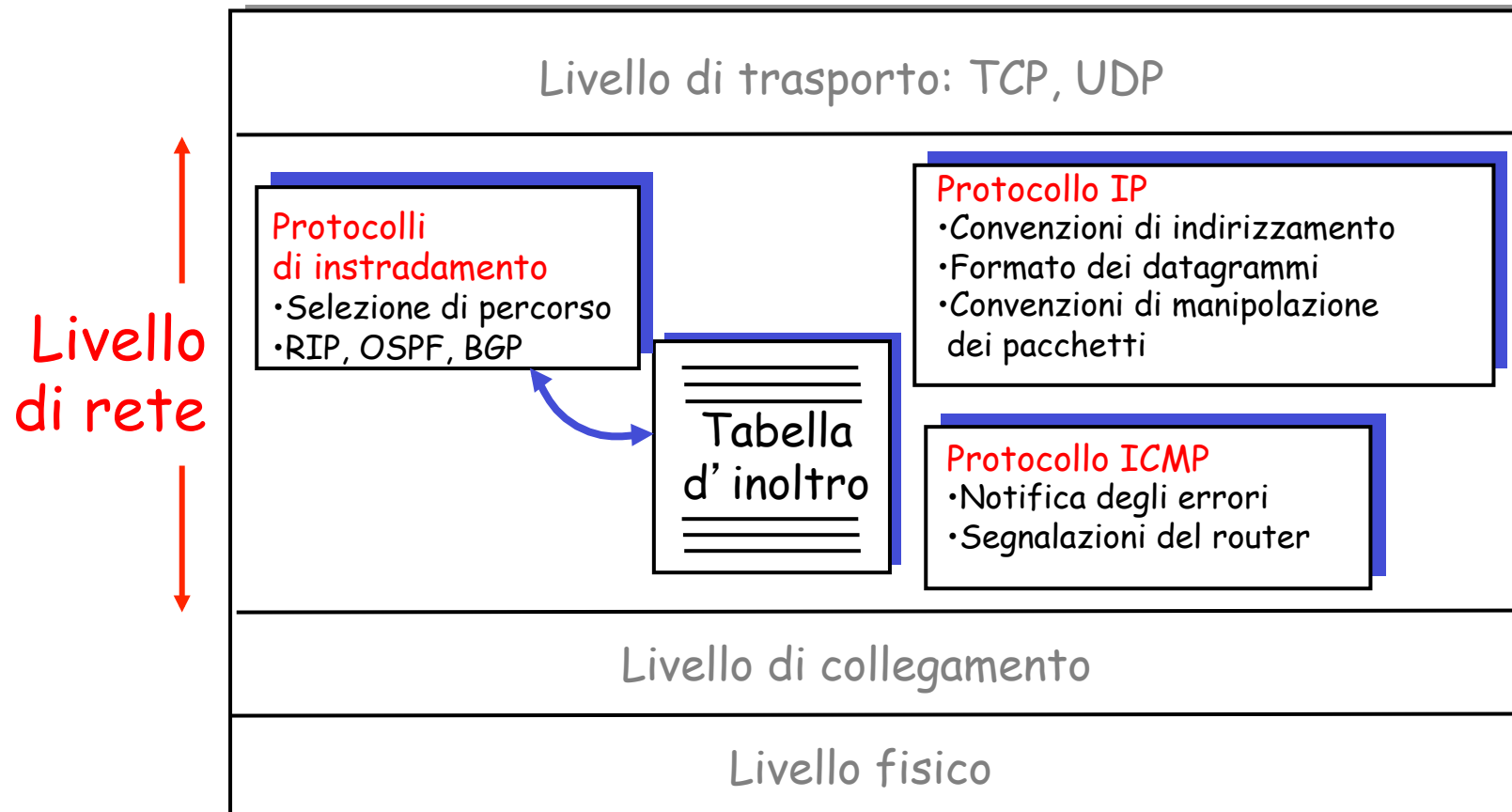


- ❑ Buffering quando la velocità di arrivo dalla struttura di commutazione supera la velocità della linea di uscita
- ❑ *Accodamento (ritardo) e perdita se si verifica buffer overflow nelle porte di uscita*

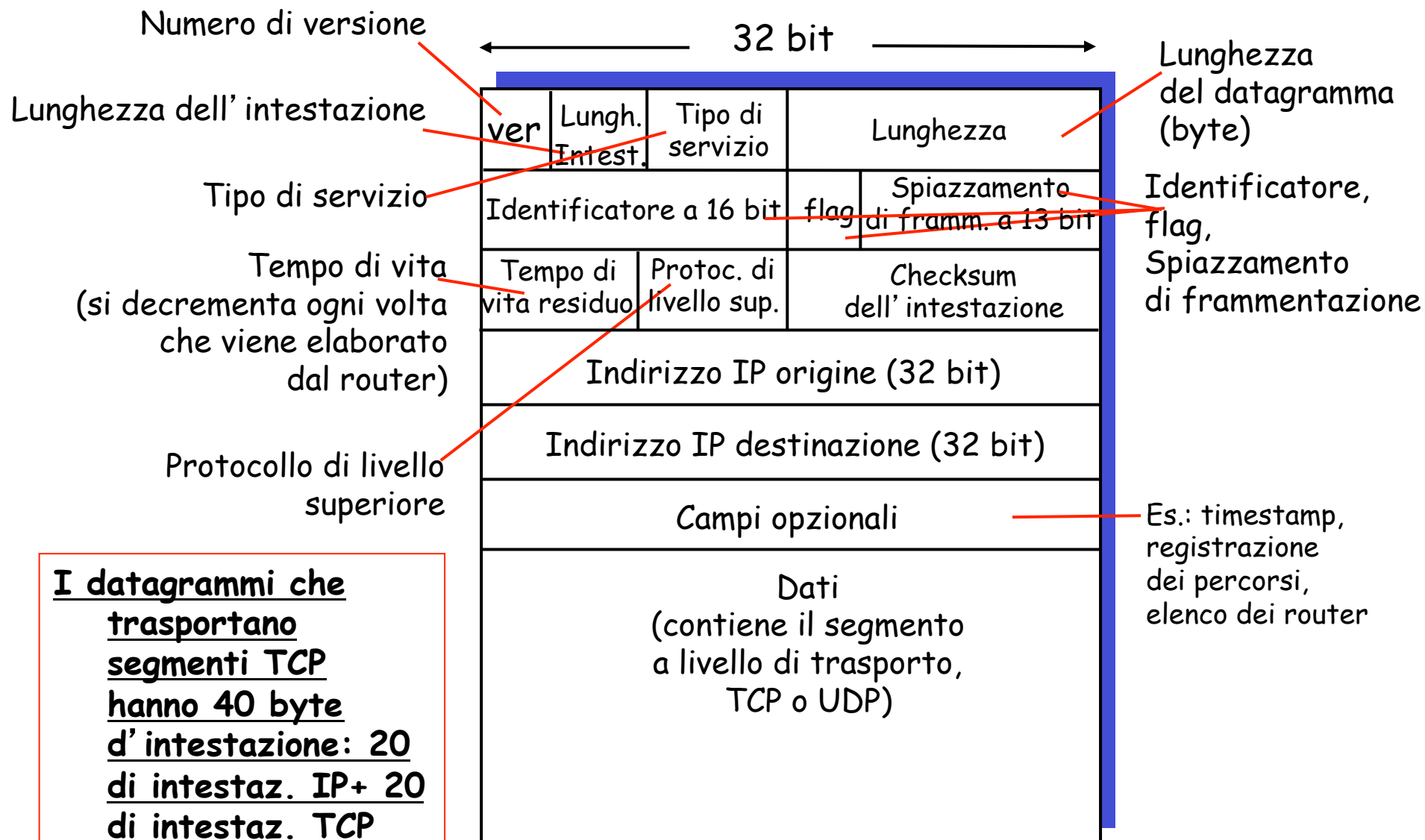
PROTOCOLLO INTERNET (IP)

Protocollo Internet (IP): inoltrato e indirizzamento in Internet

Uno sguardo al livello di rete Internet:



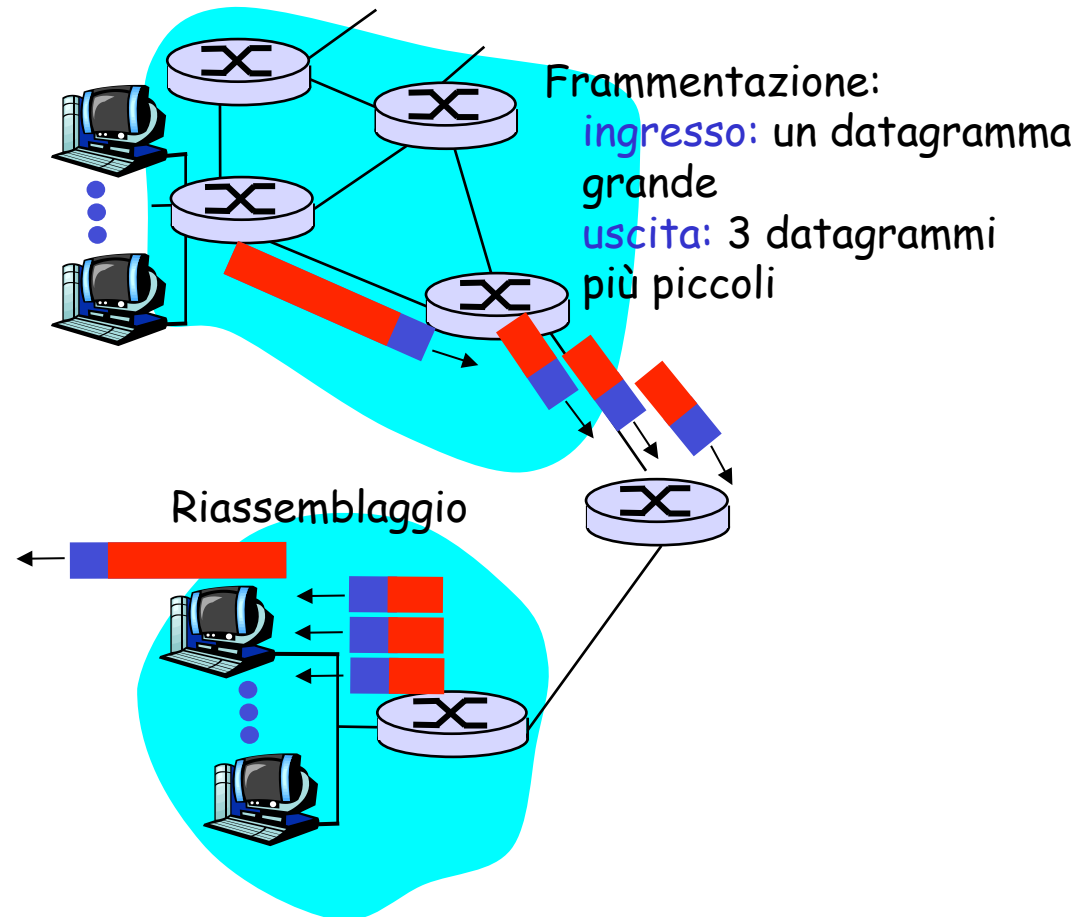
Formato dei datagrammi



I datagrammi che trasportano segmenti TCP hanno 40 byte d' intestazione: 20 di intestaz. IP+ 20 di intestaz. TCP

Frammentazione dei datagrammi IP

- ❑ L'unità massima di trasmissione (MTU) è la massima quantità di dati che un frame a livello di collegamento può trasportare.
 - Differenti tipi di link, differenti MTU.
- ❑ Datagrammi IP grandi vengono suddivisi ("frammentati") in datagrammi IP più piccoli.
 - Un datagramma viene frammentato.
 - I frammenti saranno riassemblati solo una volta raggiunta la destinazione
 - I bit dell'intestazione IP sono usati per identificare e ordinare i frammenti



Frammentazione e riassetblaggio IP

Esempio

- ❑ Datagramma di 4000 byte
- ❑ MTU = 1500 byte

	Lunghez. =4000	ID =x	Flag =0	Spiazz. =0	
--	-------------------	----------	------------	---------------	--

Un datagramma IP grande viene frammentato in datagrammi IP più piccoli.

1480 byte nel
campo dati

	Lunghez. =1500	ID =x	Flag =1	Spiazz. =0	
--	-------------------	----------	------------	---------------	--

	Lunghez. =1500	ID =x	Flag =1	Spiazz. =185	
--	-------------------	----------	------------	-----------------	--

	Lunghez. =1040	ID =x	Flag =0	Spiazz. =370	
--	-------------------	----------	------------	-----------------	--

Spiazzamento = $1480/8$



Il valore di spiazzamento è specificato in multipli di 8 byte