

ARCHITETTURA DI UN ROUTER

Francesco Licandro
Architetture Avanzate di Rete

OUTLINE

○ Background

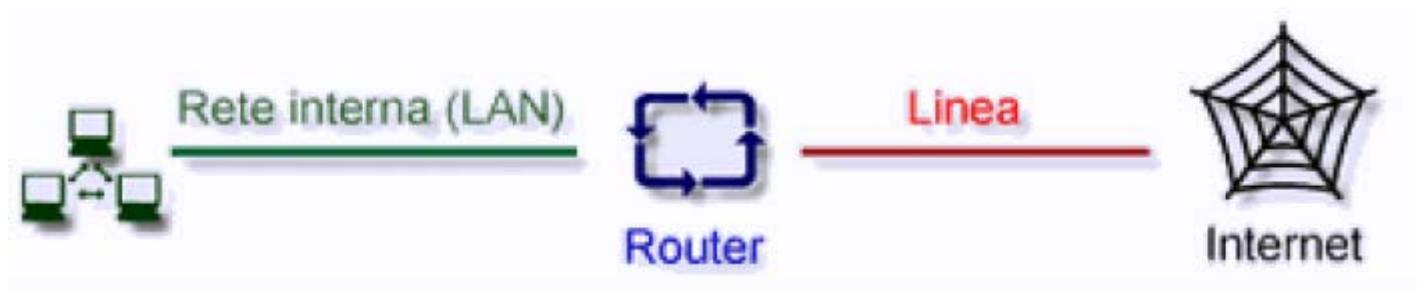
- ❖ Cos'è un router?
- ❖ Perchè servono router sempre più veloci?
- ❖ Perchè è difficile realizzare un router?

○ Architetture e tecniche

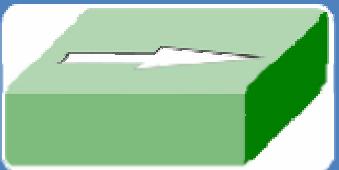
- ❖ IP address lookup.
- ❖ Packet buffering.
- ❖ Switching.
- ❖ L'evoluzione dell'architettura di un Router

INTRODUZIONE

- Una rete a commutazione di messaggi è composta interamente da elementi con funzione di mirror che sono device denominati router, bridge e switch.
- Il Router serve a collegare una rete di PC ad un'altra LAN o ad Internet mediante un collegamento di tipo LAN/ISDN/ADSL.

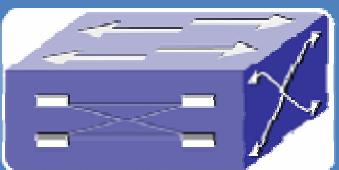


DISPOSITIVI DI RETE



HUB - Repeater

- Riceve il segnale, rigenera la sequenza di bit, impedendo che il segnale si attenui;
- Non è "intelligente", invia il segnale a tutte le postazioni connesse



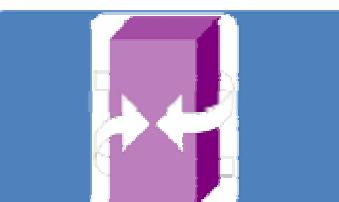
Switch - Bridge

- Accede all'indirizzo delle postazioni, consentendo di separare il traffico dati
- È "intelligente", invia il segnale solo al ramo di rete interessato



Router

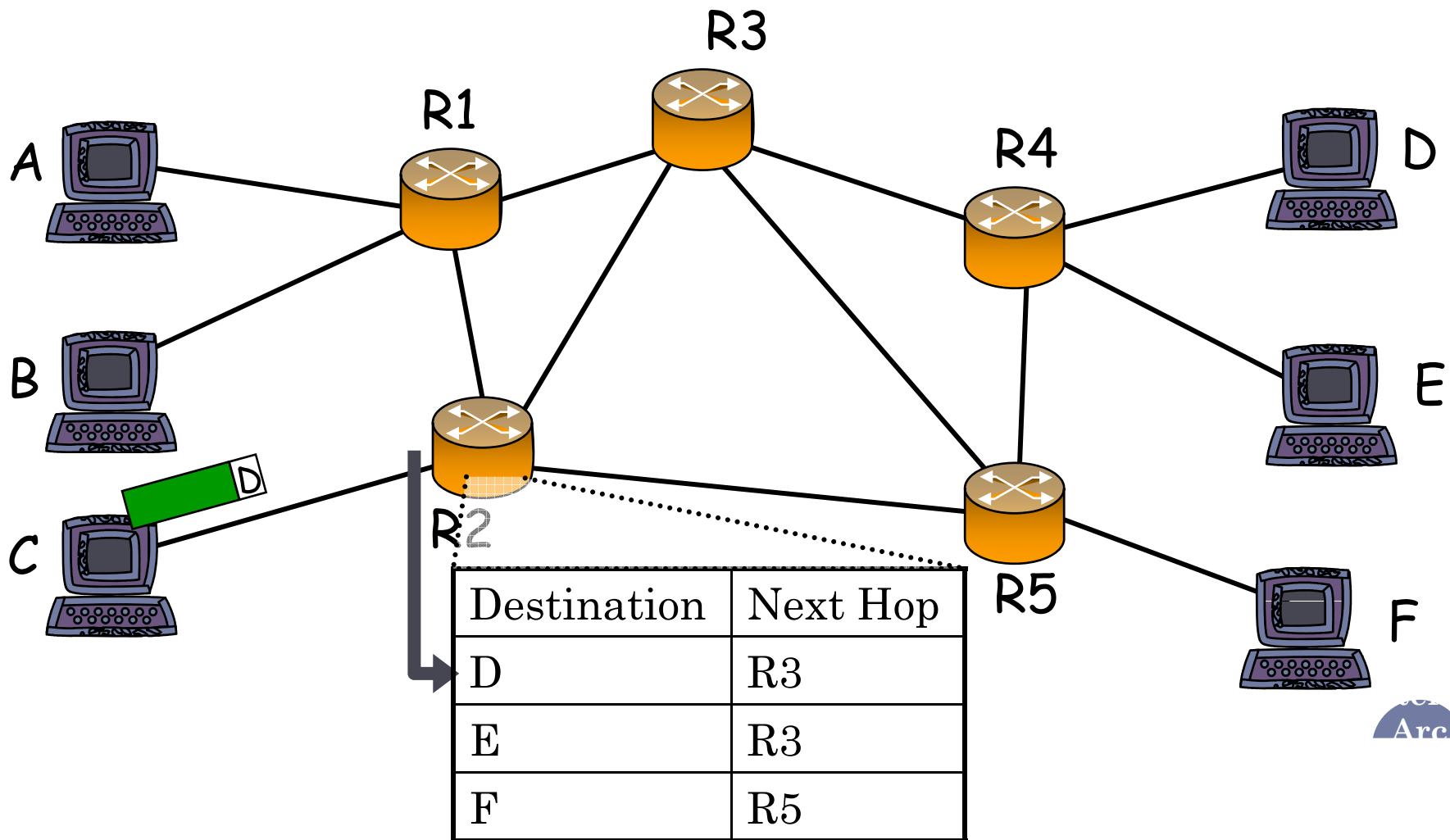
- Gestiscono il traffico dati tra reti che utilizzano lo stesso protocollo, instradando il segnale lungo il percorso "migliore"



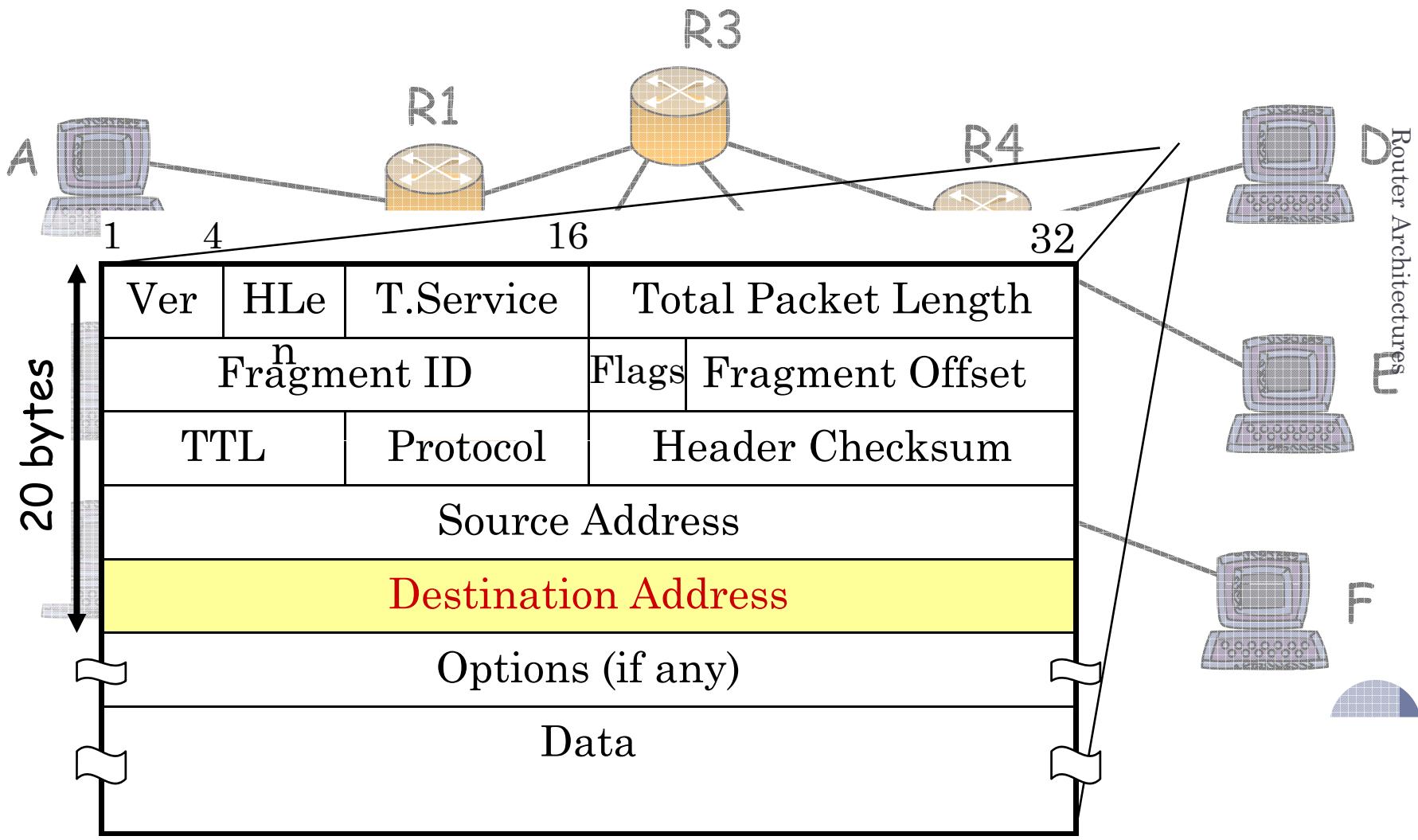
Gateway

- Gestiscono il traffico dati tra reti non omogenee, convertendo il segnale tra protocolli diversi

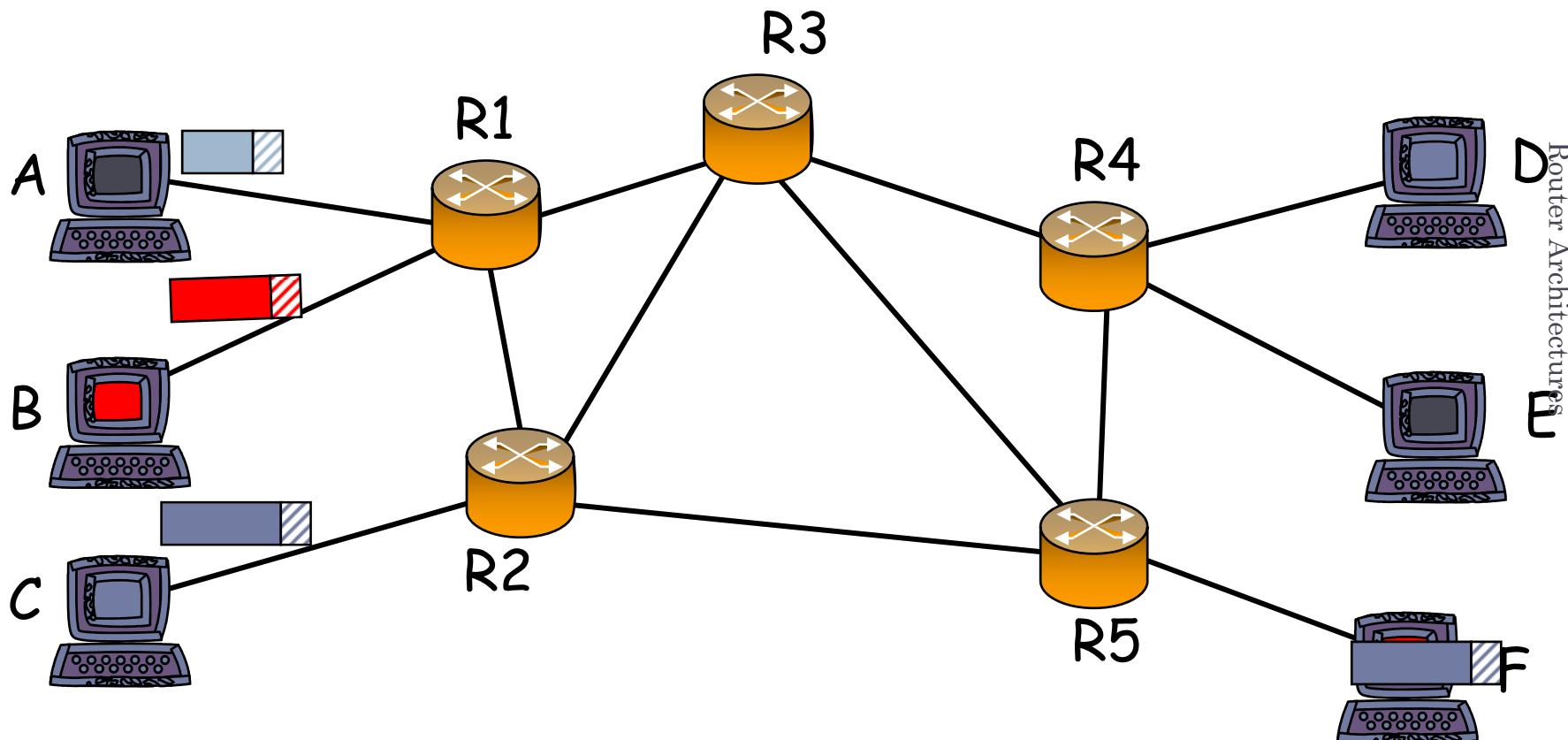
COS'È IL ROUTING?



COS'È IL ROUTING?

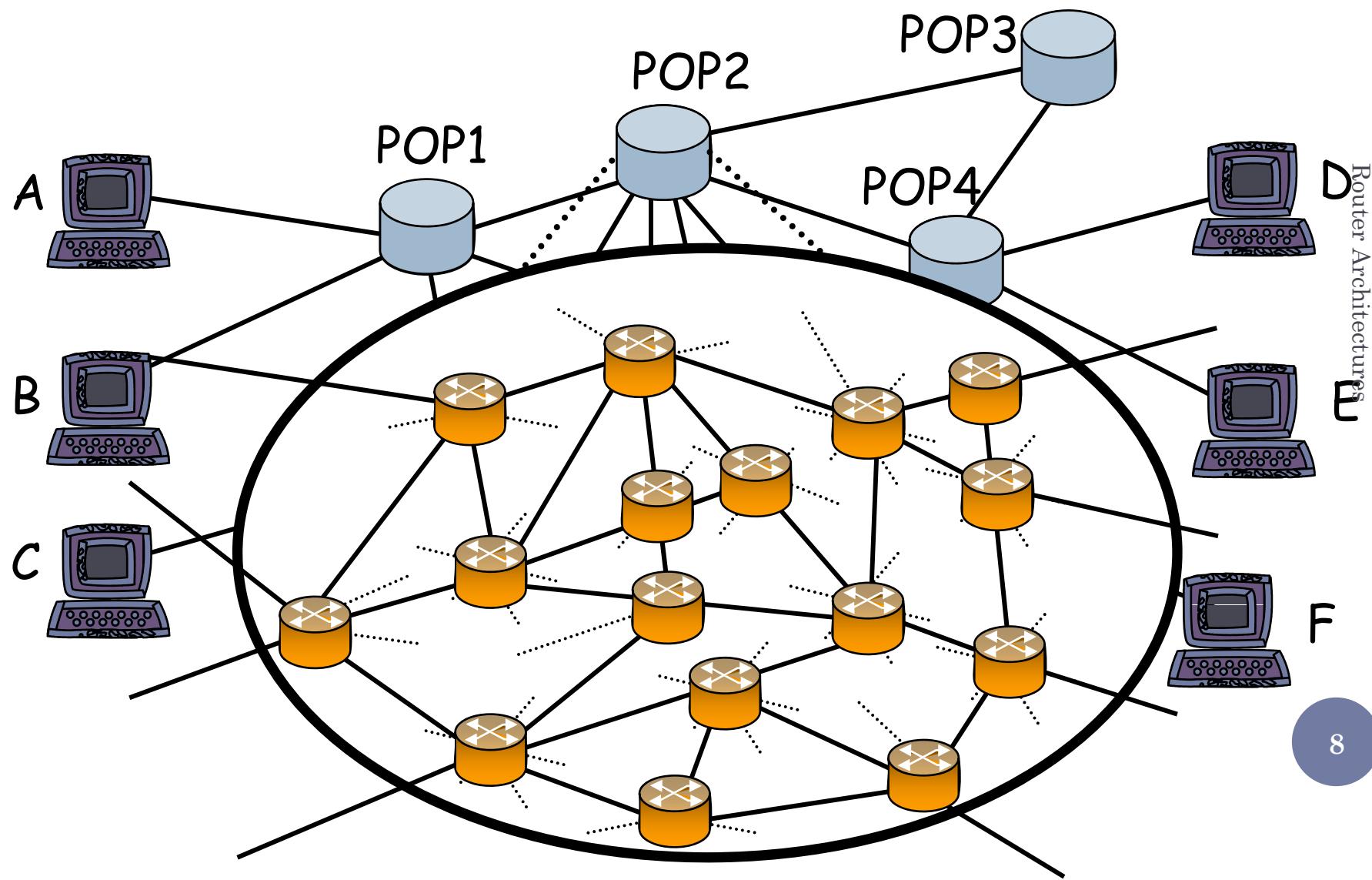


COS'È IL ROUTING?

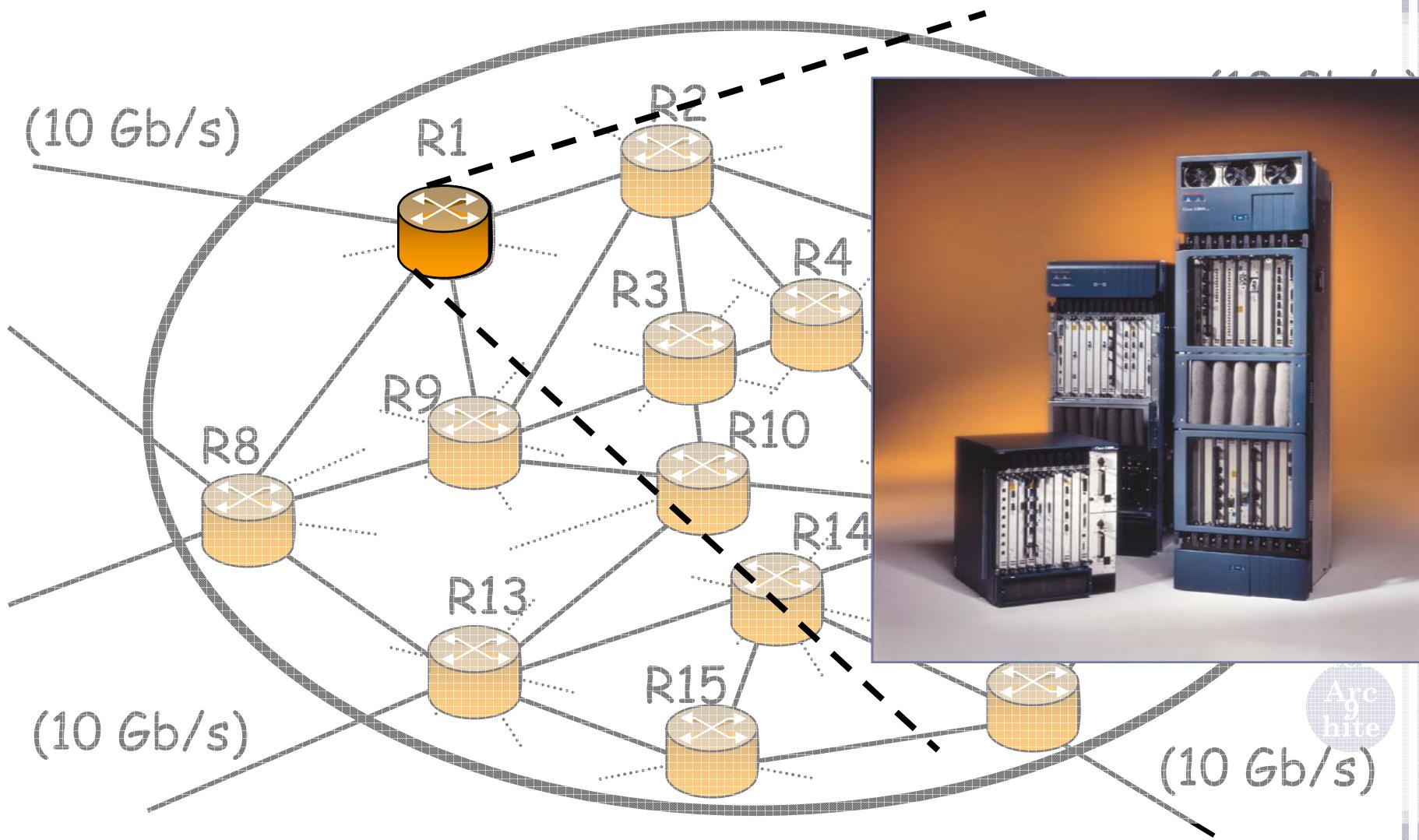


D
Router Architectures

POINTS OF PRESENCE (POPs)

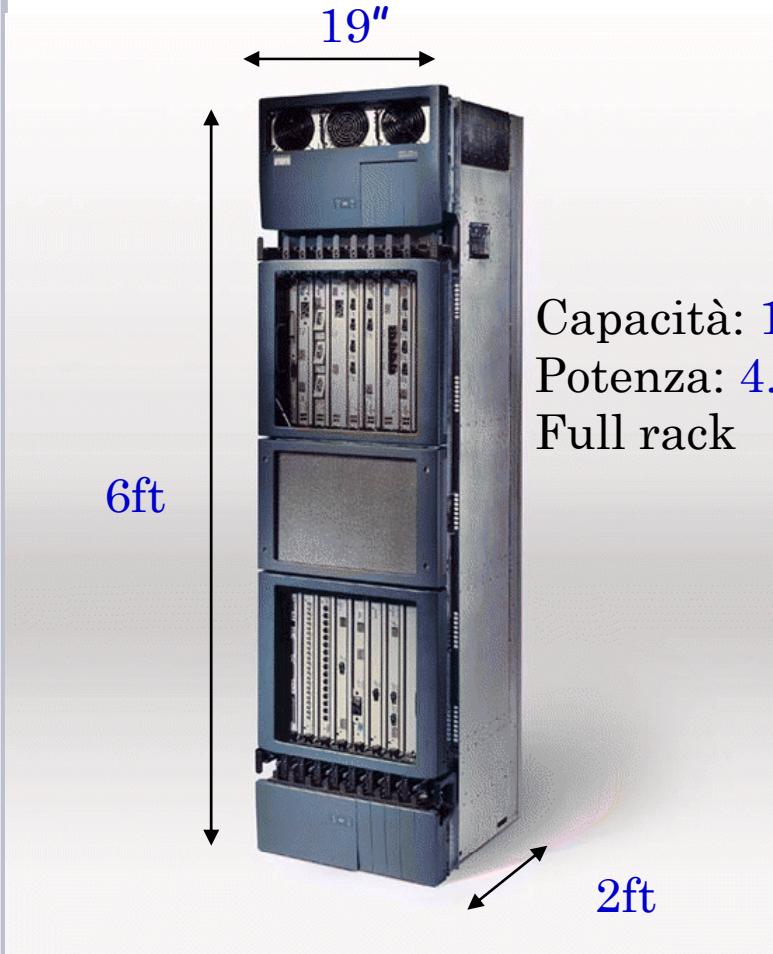


DOVE VENGONO UTILIZZATI I ROUTERS AD ALTE PRESTAZIONI

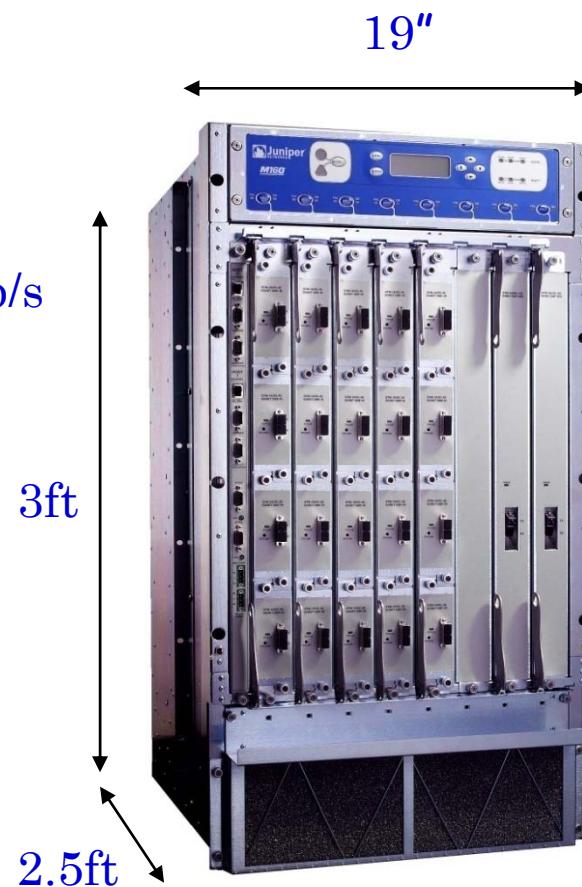


COME APPARE UN CORE-ROUTER

Cisco GSR 12416



Juniper M160



Router Architectures

FUNZIONI DEL ROUTER

- Le funzioni principali dei router sono:
 - Comutazione del traffico
 - DNS (Domain Name Service)
 - Mantenimento dell'ambiente e memorizzare le relative valutazioni nella tabella di routing

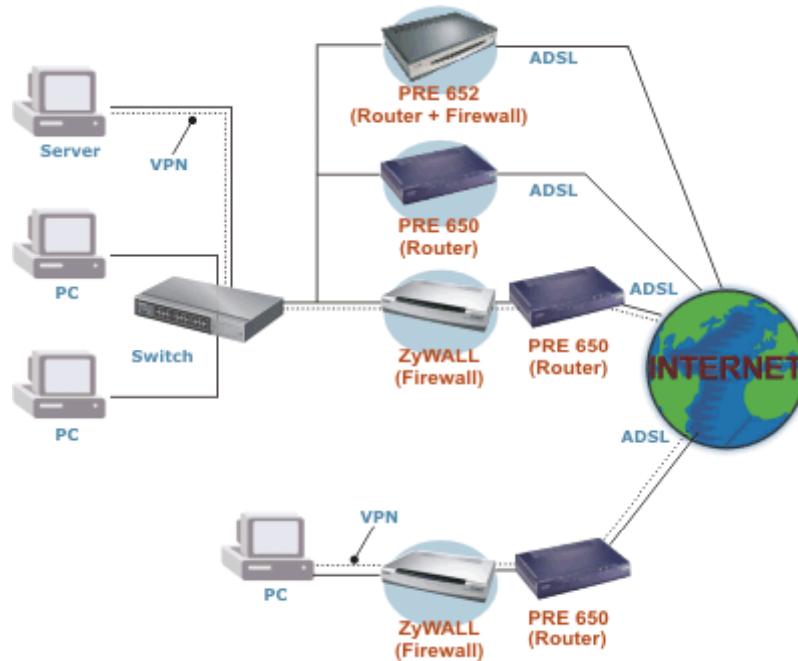


TABELLE DI ROUTING

- Le tabelle di routing includono:
 - serie di indirizzi esistenti sulla rete (Destin. Address);
 - la porta verso cui inoltrare il pacchetto (interface) ;
 - i dati necessari per acquisire un messaggio su un router più vicino alla destinazione (Hops);
 - i dati di routing (la metrica, una misura amministrativa del tempo o della distanza), e diversi contrassegni temporali.

Destin. Address	Interface	Hops	Costo
D	local	0	0
B	I1	1	5
A	I1	2	2+5=7
C	I2	1	6
E	I3	2	10
F	I3	1	3

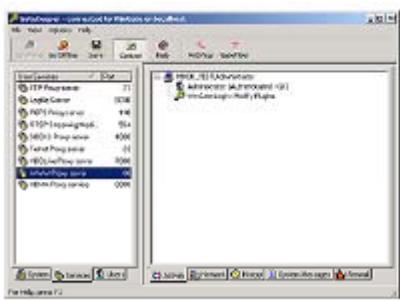
COS' E' UN ROUTER

- Sono dispositivi atti alla connessione tra vari host di una LAN ad altre reti (LAN, WAN, INTERNET)

I ROUTER possono essere



SOFTWARE



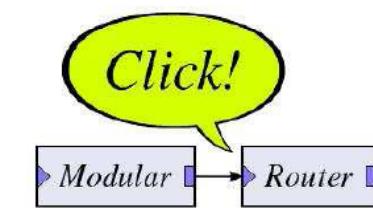
HARDWARE



ROUTER SOFTWARE

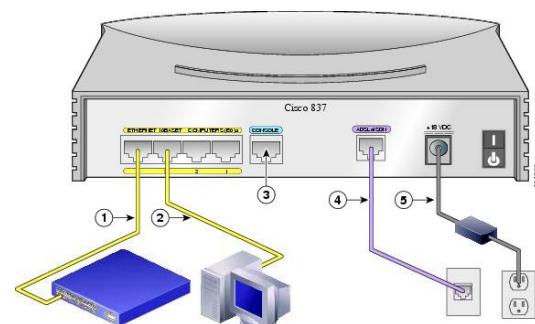
- Talvolta denominati gateway, sono programmi gestiscono il traffico tra calcolatori e le connessioni tra LAN.
- Esistono architetture programmabili ed estendibile di router software

- Zebra
- Quagga
- Click



ROUTER HARDWARE

- Un router hardware è un computer a tutti gli effetti ed è composta dai seguenti elementi:
 - un processore (CPU);
 - vari tipi di memoria, le quali vengono utilizzate per immagazzinare le informazioni;
 - un sistema operativo;
 - varie porte ed interfacce per connettersi a dispositivi periferici e per comunicare con altri computer.

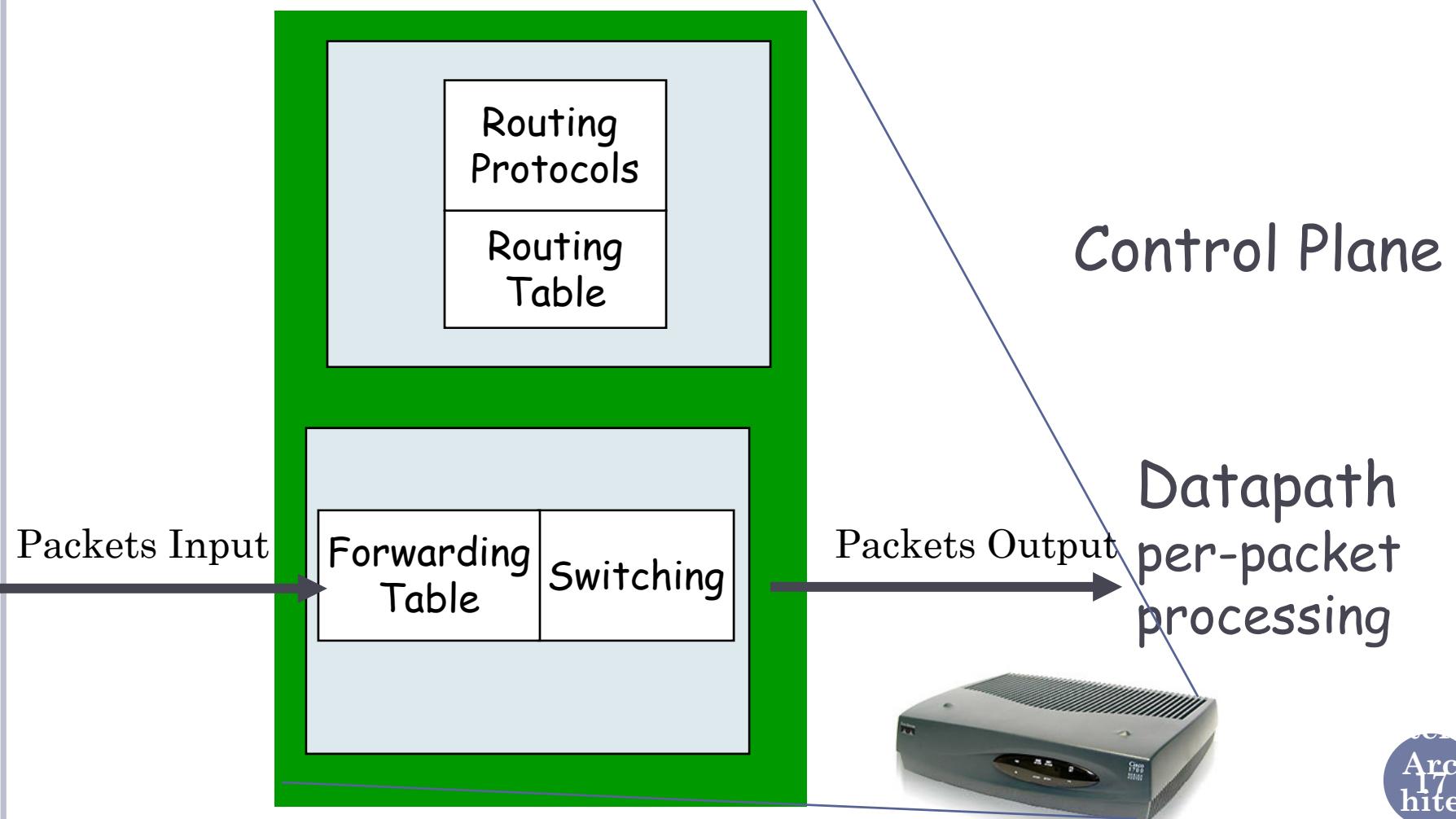


CISCO SYSTEMS

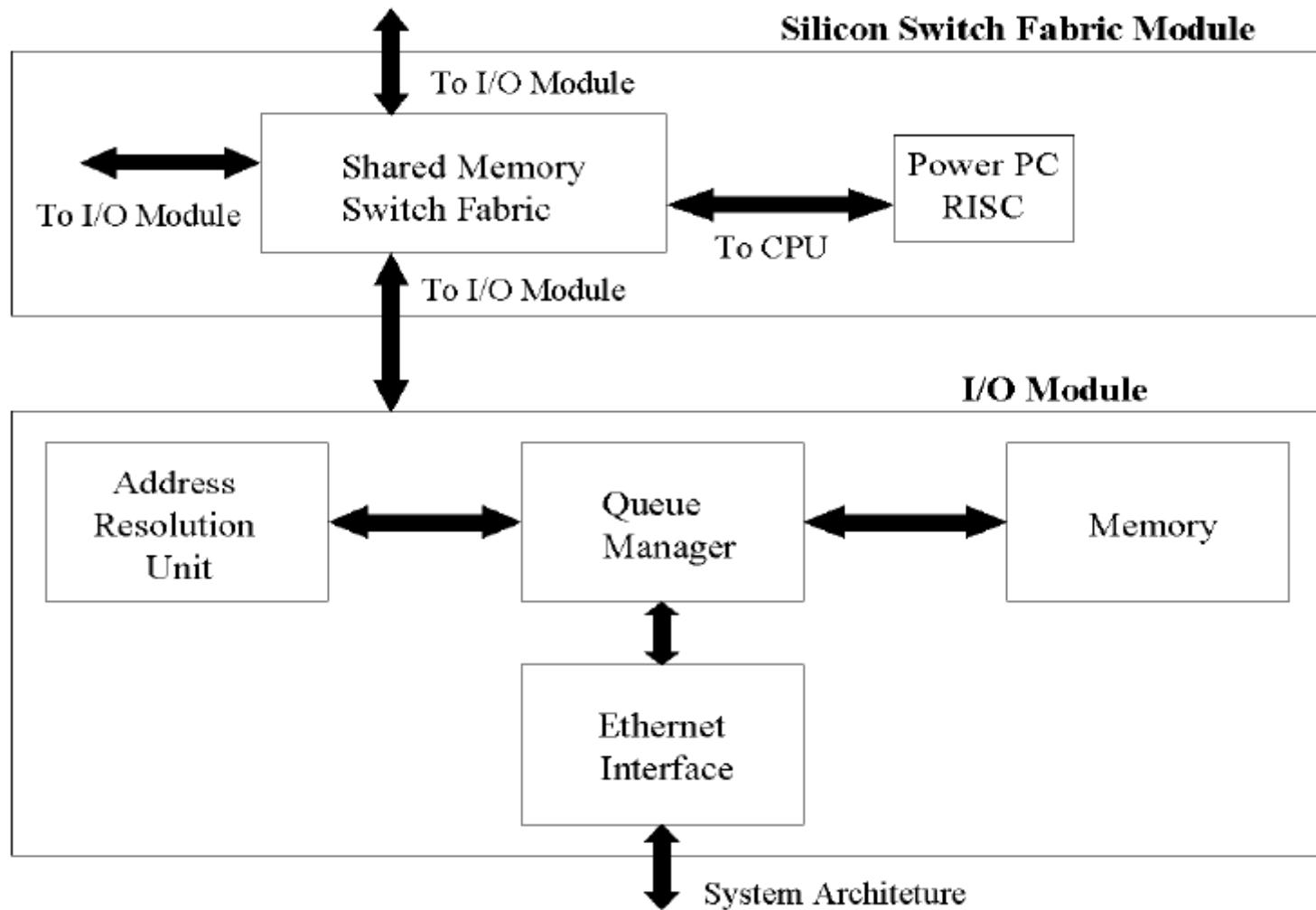


- Cisco Systems è conosciuta come la Regina di Internet, è una delle più grandi multinazionali del mondo, è leader nel settore tecnologico per le infrastrutture e i servizi di rete.
 - fondata da un gruppo di scienziati della Stanford University nel 1984;
 - ha sede negli Stati Uniti, nel cuore della Silicon Valley;
 - ad oggi controlla più dell'80% del mercato dei router;
 - Migliaia di società private, service provider, enti governativi, sia in Italia che nel mondo, basano le loro infrastrutture di rete sulle soluzioni Cisco Systems.

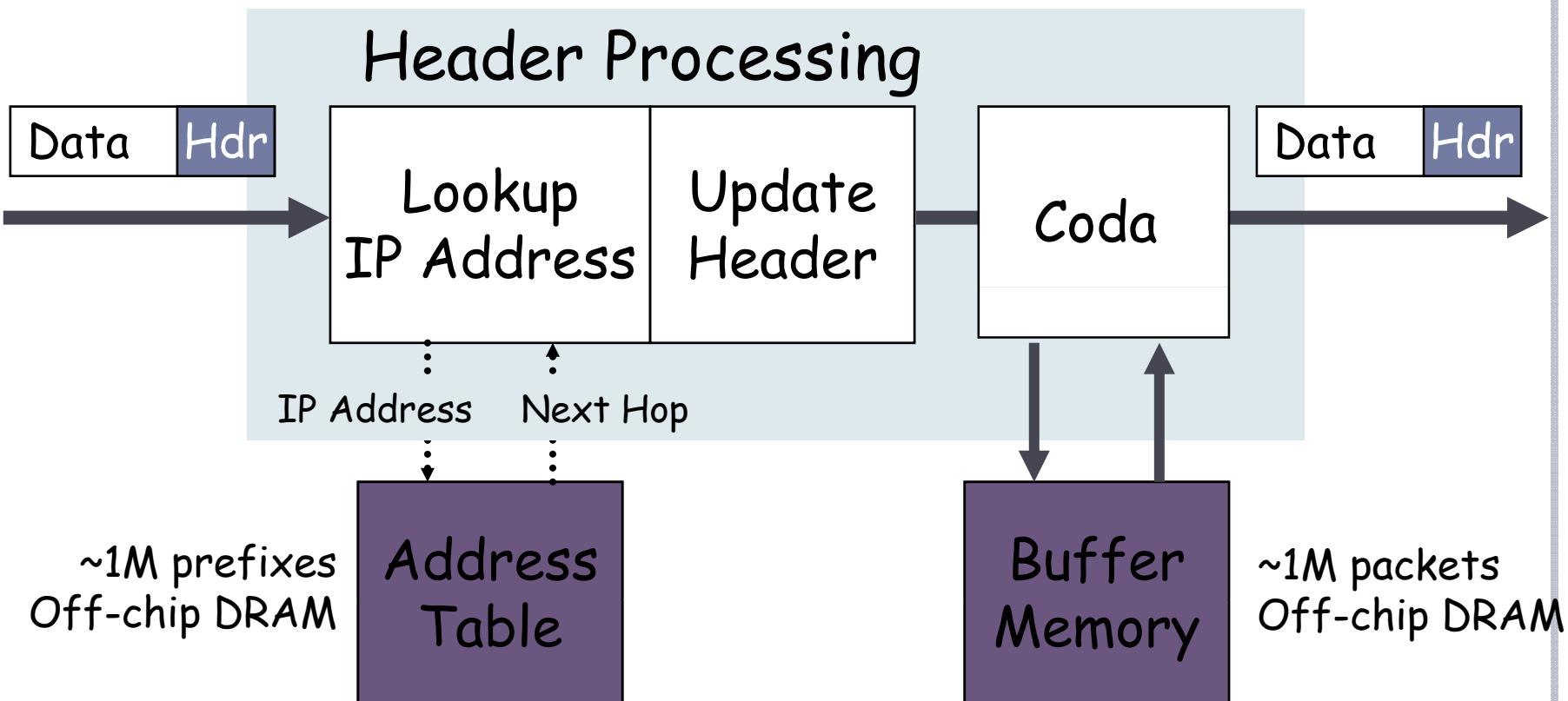
ARCHITETTURA BASE DI UN IP ROUTER



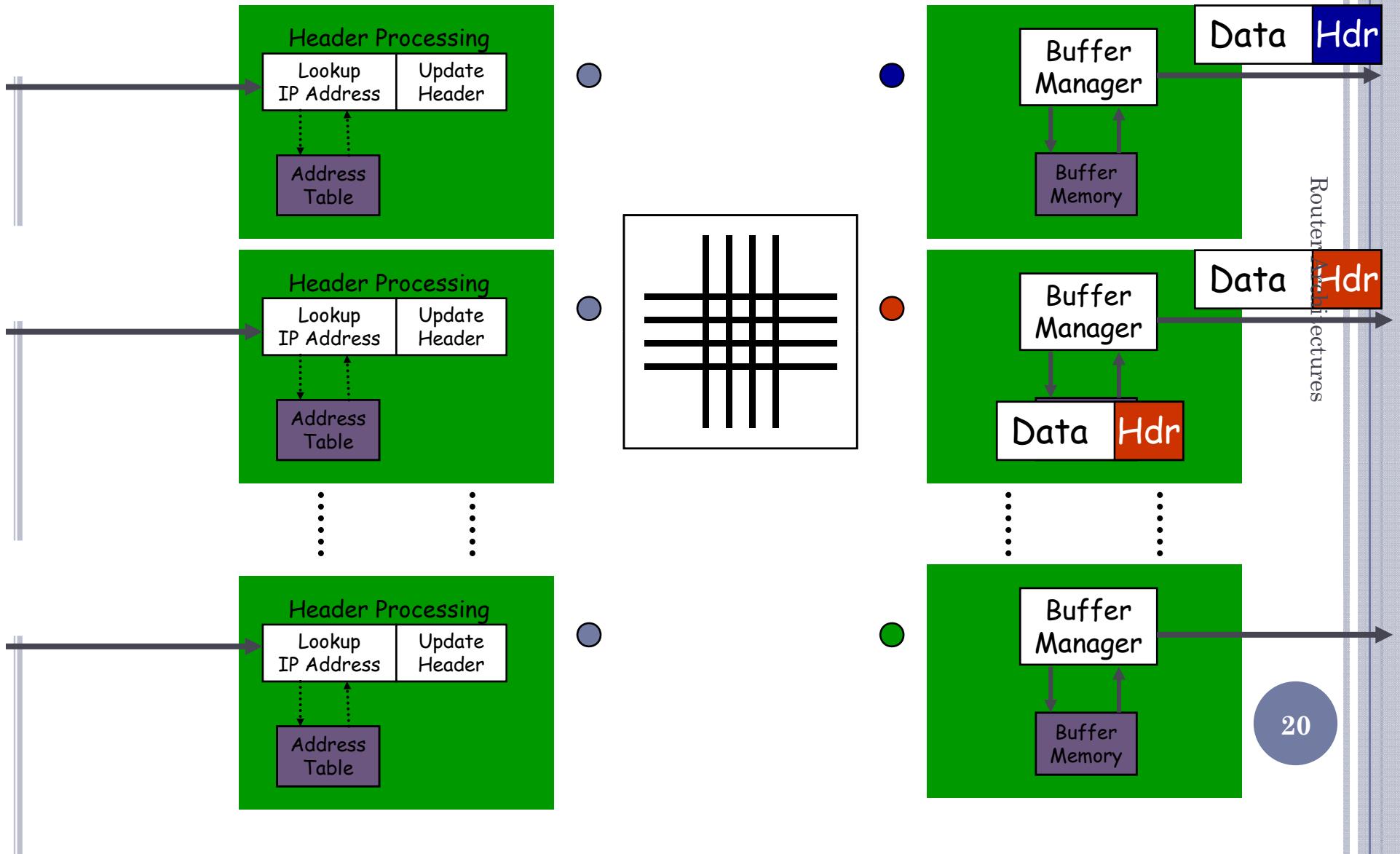
UN ESEMPIO: CATALYST 6506



PORCESSAMENTO DEI DATI



SCHEMA GENERICO DI UN ROUTER

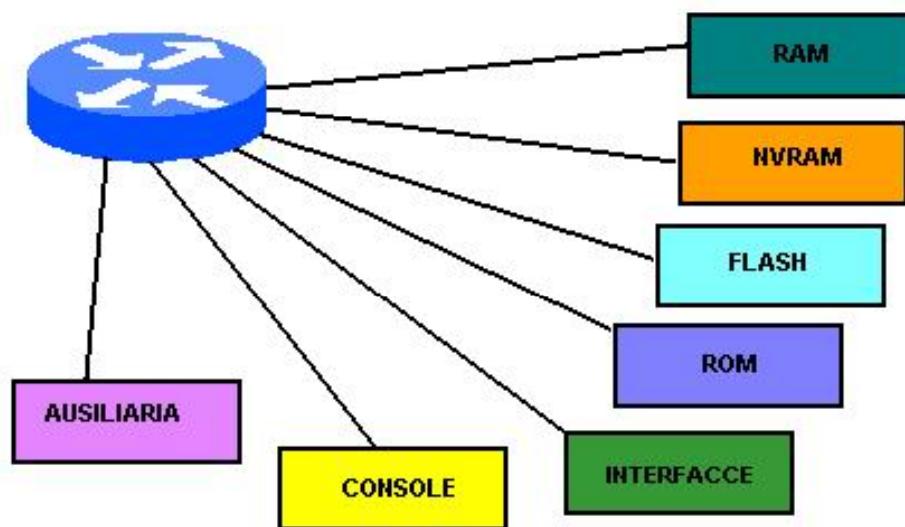


PROCESSAMENTO PER PACCHETTO IN UN IP ROUTER

1. Riceve i pacchetti in ingresso dal link.
2. **Lookup:** Ricerca dell'indirizzo di destinazione dei pacchetti ed identifica la porta di uscita in base alle tabella di routing.
3. **Header Processing:** modifica dell'header dei pacchetti : ad es., decremento del campo TTL, update del checksum.
4. **Switching:** Invio del pacchetto verso la porta di uscita.
5. **Buffering:** Accoda i pacchetti
6. Invio dei pacchetti sul link di uscita.

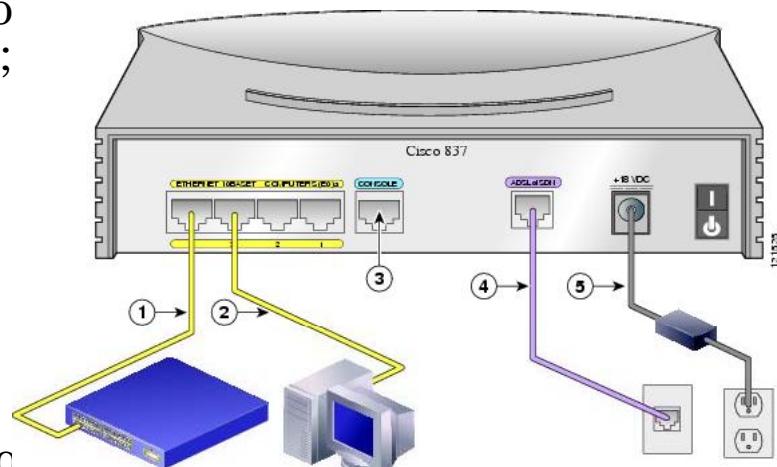
COMPONENTI DI UN ROUTER

- I componenti di un router giocano un ruolo chiave nel processo di configurazione. Sapere quali componenti sono coinvolti nel processo di configurazione permette di capire come il router immagazzina ed utilizza i comandi eseguiti dall'utente.



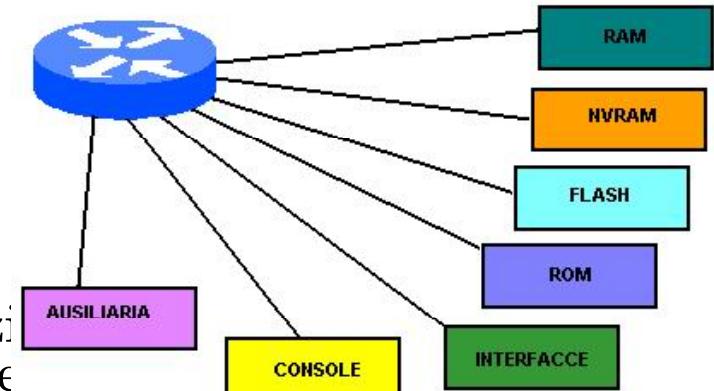
COMPONENTI DI UN ROUTER

- **Le Interfacce di rete sono le connessioni di rete sulla scheda madre del router, e sono:**
 - AUI: interfaccia Ethernet di tipo AUI (attachment unit interface);
 - 10BaseT/100BaseT: interfaccia Ethernet;
 - SERIALE: interfaccia seriale sincrona (da collegare, con apposito cavo proprietario, a modem sincroni con interfaccia V.35);
 - BRI: interfaccia verso un accesso base ISDN;
 - ATM: interfaccia ATM, in fibra oppure in rame.



ALTRI COMPONENTI

- **RAM** : nella RAM si trova la configurazione del router e le varie variabili temporanee necessarie al suo funzionamento: tabelle di routing, mappe di memoria riempito dai pacchetti in coda. Il contenuto della RAM viene perso in fase di spegnimento o riavvio del router (memoria di tipo "volatile") .
- **NVRAM** (non volatile RAM): preserva la configurazione utile allo startup e al backup. Contiene il registro di configurazione. Non viene persa in caso di spegnimento del router;
- **FLASH**: è la memoria di tipo "permanente", nella quale si trova il sistema operativo (Internetwork Operating System - IOS). Nella memoria Flash possono essere salvate diverse versioni dell'IOS;
- **ROM**: è la memoria nella quale si trova il software di diagnostica e il software di base del router (fondamentalmente quello necessario al boot dell'apparato); l'aggiornamento software nella ROM richiede la rimozione e sostituzione dei chip sulla CPU.



MICROPROCESSORE

- Il componente che sovrintende al funzionamento di tutto l'apparato è il:
- **Microprocessore**: la sua potenza varia a seconda della versione del router e della classe a cui l'apparato appartiene. Diversi router Cisco montano più di una CPU. I compiti svolti dal microprocessore sono fondamentalmente i seguenti:
 - **instradare i pacchetti** (processo di forwarding) provenienti dalle varie interfacce di input e determinare l'interfaccia di uscita dove inoltrare gli stessi;
 - **calcololare le tabelle di instradamento** e l'aggiornamento dei dati di routing;
 - **garantire il controllo delle funzioni** del router e permetterne la gestione (attraverso i comandi dell'amministratore).

In aggiunta ai componenti del router possiamo trovare delle **Schede di espansione** che si inseriscono in appositi alloggiamenti (slot) e ospitano vari tipi di interfacce fisiche (Ethernet, modem ecc.), nonchè eventuali moduli avanzati.



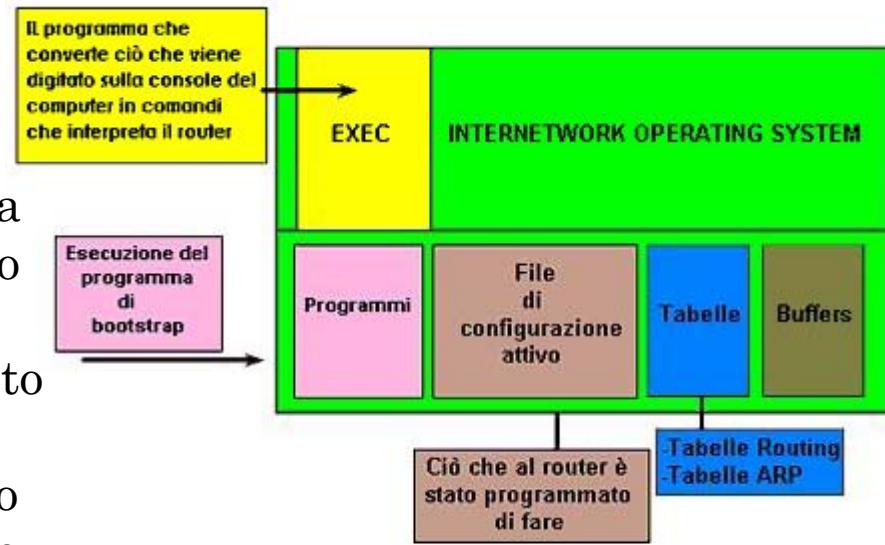
IL SISTEMA OPERATIVO

- Una versione salvata di questo file di configurazione è immagazzinato nella NVRAM in modo permanente e viene caricato nella memoria principale RAM ogni volta che il router viene acceso.

L'immagine del sistema operativo IOS non può essere visualizzata sul terminale.

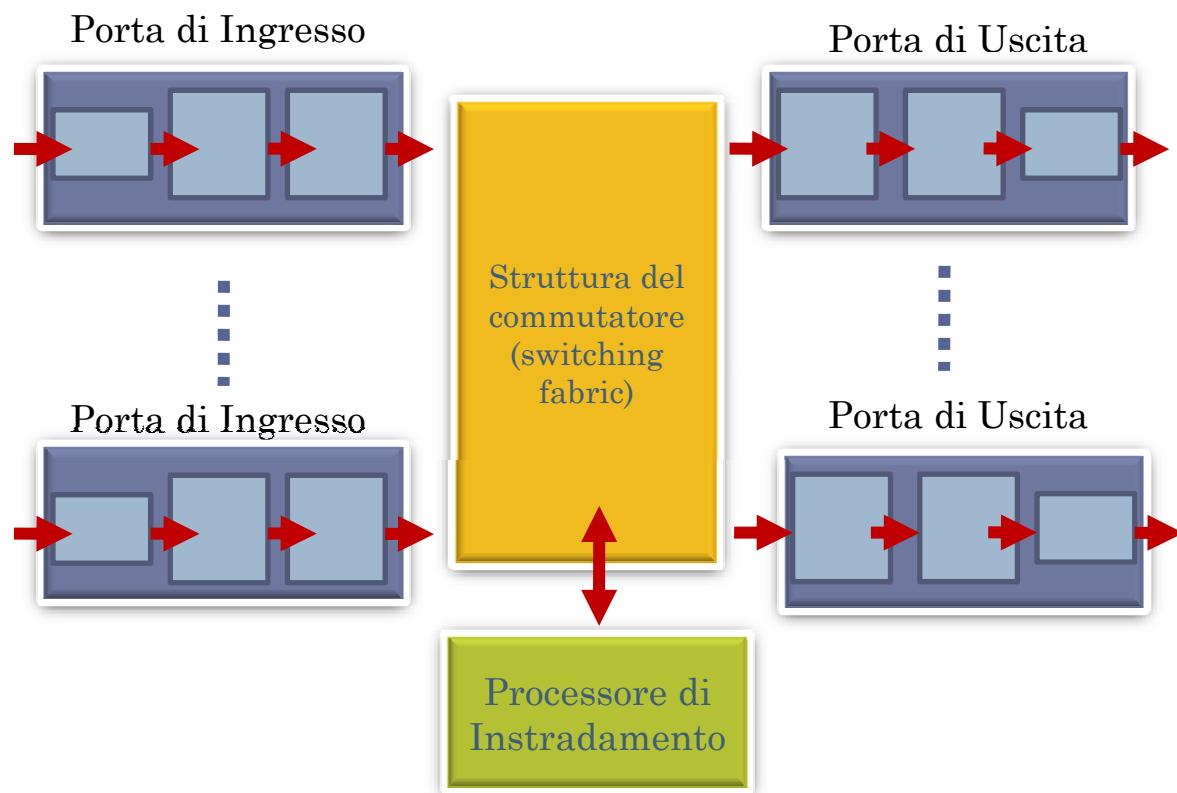
L'immagine viene eseguita dalla memoria RAM e caricata da uno delle diverse origini di input.

Il sistema operativo è strutturato in modo da eseguire delle operazioni come lo spostamento dei dati, la gestione delle tabelle e dei buffer, gli aggiornamenti degli instradamenti e l'esecuzione dei comandi utente.

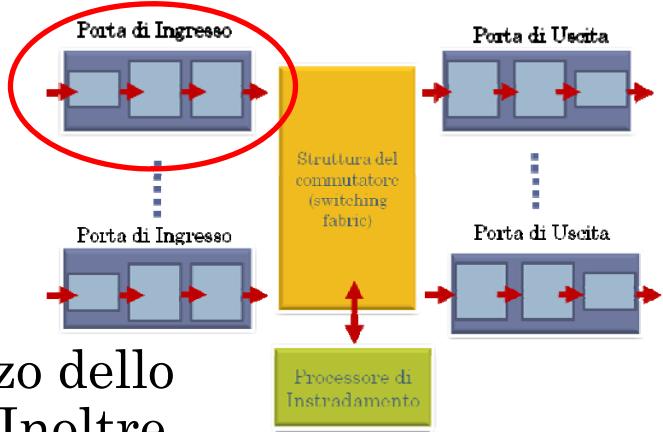


CHE COSA CONTIENE UN ROUTER

- Il compito fondamentale di un router è quello di trasferire un datagram da un link di ingresso all'appropriato link di uscita
- Una vista generale dell'architettura di un generico router è mostrata in figura



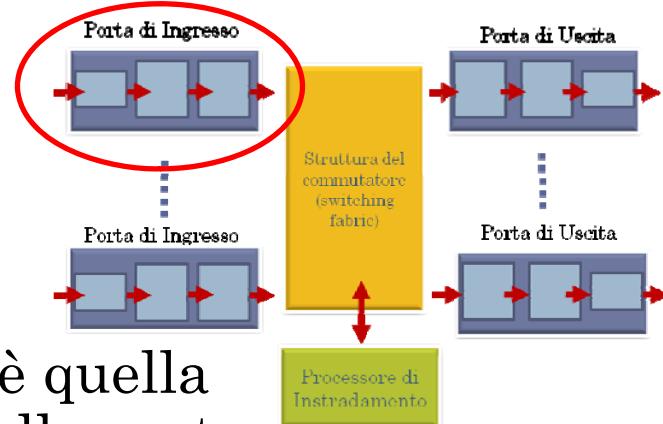
COMPONENTI DI UN ROUTER



- **Porte di ingresso:** permettono l'utilizzo dello strato fisico e dello strato del link dati. Inoltre svolgono funzioni di ricerca e di inoltro. Ad esempio i pacchetti di controllo (per esempio che trasportano informazioni del protocollo di instradamento per RIP, OSPF o BGP) sono inoltrati dalla porta di ingresso al processore di instradamento
- **Struttura del commutatore:** collega le porte di ingresso del router con alle sue porte di uscita
- **Porte di uscita:** immagazzina i pacchetti che le sono stati passati e poi li trasmette sulle porte di uscita. In poche parole compie all'inverso le funzionalità delle porte di ingresso
- **Processore di instradamento:** esegue il protocollo di instradamento mediante tabelle di routing

PORTE DI INGRESSO

- La funzione della porta di ingresso è quella di determinare il segnale di linea della porta e l'elaborazione del link dati implementato dagli strati fisico e del link dati.
- La funzione di ricerca/inoltro (*lookup/forwarding*) è centrale nella funzione di commutazione dei router.
- La scelta della porta di uscita è effettuata usando le informazioni contenute nella tabella di instradamento.

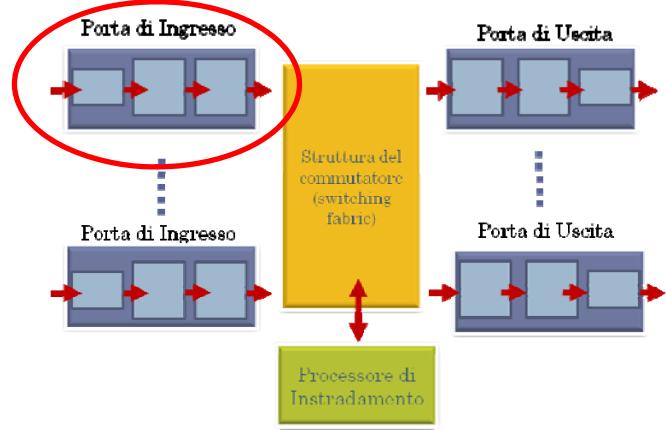


Struttura del commutatore



Elaborazione della porta di ingresso

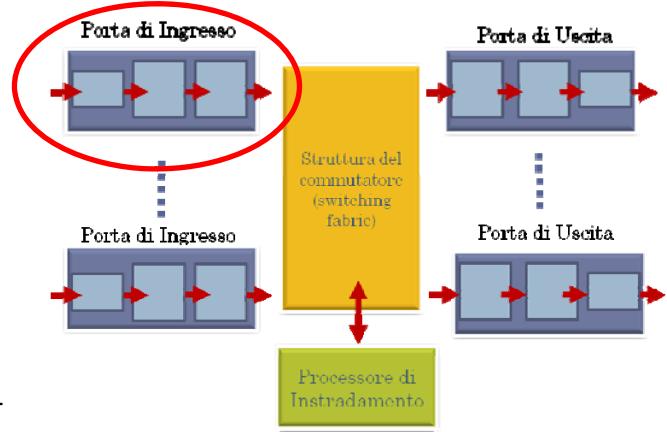
PORTE DI INGRESSO



- Benché la **tabella di instradamento** sia calcolata dal *processore di instradamento*, una sua copia ombra è tipicamente immagazzinata in ciascuna *porta di ingresso* ed aggiornata dal *processore di instradamento*.
- In questo modo le decisioni di commutazione possono essere prese localmente. A ciascuna porta di ingresso, senza richiedere l'intervento del processore di instradamento.

PORTE DI INGRESSO

- Nei router con scarsa capacità di elaborazione alle *porte di ingresso*, queste possono semplicemente inoltrare il pacchetto al *processore di instradamento*, che effettua la ricerca nella tabella di instradamento e invierà il pacchetto all'appropriata porta di uscita
- Data l'esistenza di una tabella di instradamento, la ricerca in questa tabella è concettualmente semplice:
 - Bisogna cercare all'interno della tabella l'ingresso relativo a una destinazione che meglio si accorda con l'indirizzo della rete di destinazione



VELOCITÀ DI UN ROUTER

- L'elaborazione eseguita dalla porta di ingresso è desiderabile che avvenga a **velocità lineare** (*line speed*), cioè, che una ricerca possa essere eseguita in meno tempo di quello richiesto per ricevere un pacchetto alla porta di ingresso.
- Per dare un'idea delle prestazioni richieste per una ricerca, con un link a 2.5 Gbit/s e pacchetti lunghi 256 byte si ha un tasso di circa 1 milione di ricerche la secondo.

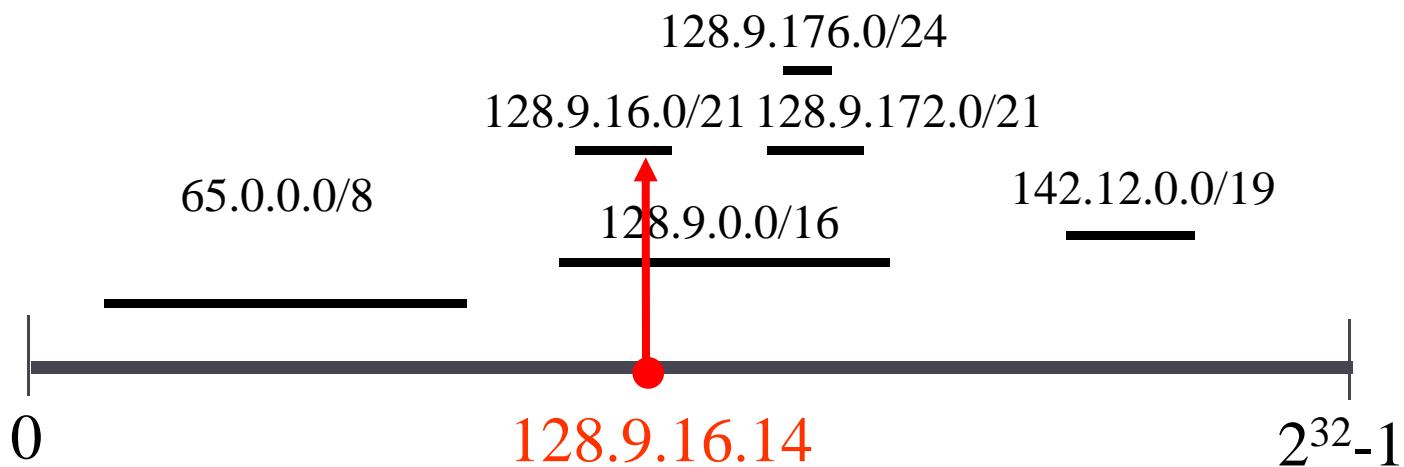


DA COSA DIPENDE LA VELOCITÀ DI UN ROUTER

- Esistono tre potenziali colli di bottiglia che limitano le prestazioni di un router:
 - Ricerca degli indirizzi (*Address lookup*),
 - Packet buffering
 - Switching.
 - Dimensione dei pacchetti dati



IP ADDRESS LOOKUP

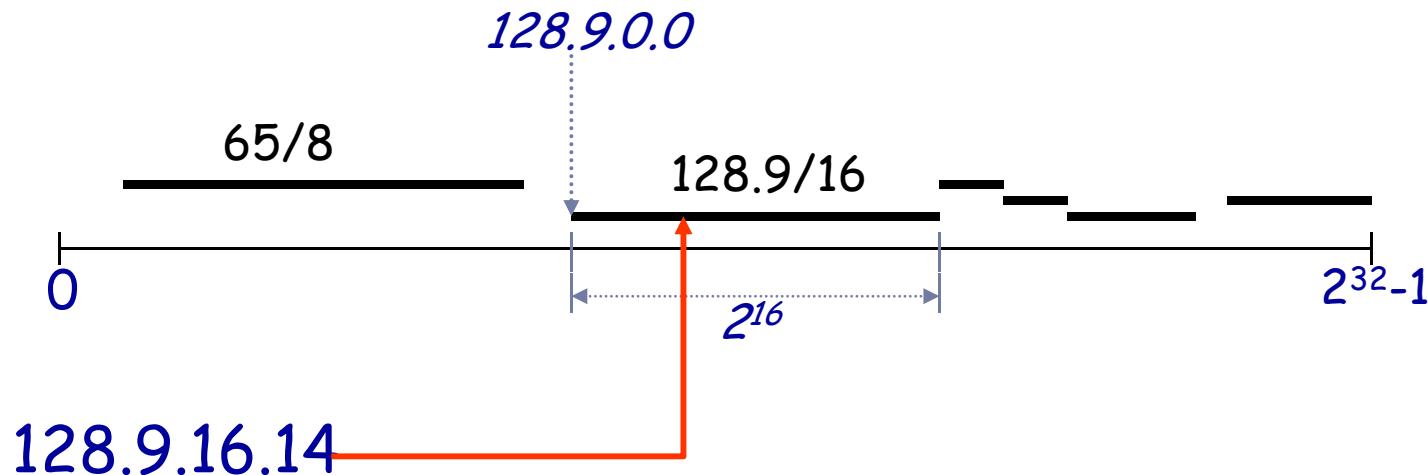


Routing lookup: Trovare il prefisso di corrispondenza più lungo (l'itinerario più specifico) fra tutti i prefissi che corrispondono all'indirizzo di destinazione..

INDIRIZZAMENTO IP

CLASSLESS INTERDOMAIN ROUTING (CIDR)

- ❖ Lo spazio degli indirizzi IP è diviso in segmenti.
- ❖ Ogni segmento è descritto da un *prefisso*.
- ❖ Un prefisso è nella forma x/y dove x indica Il prefisso di tutti gli indirizzi allaprtentei a quella linea di segmento, e y indica la lunghezza di quel segmento.
- ❖ es.: Il prefisso **128.9/16** rappresenta la linea di segmento contenene gli indirizzi compresi tra **128.9.0.0** e **128.9.255.255**.



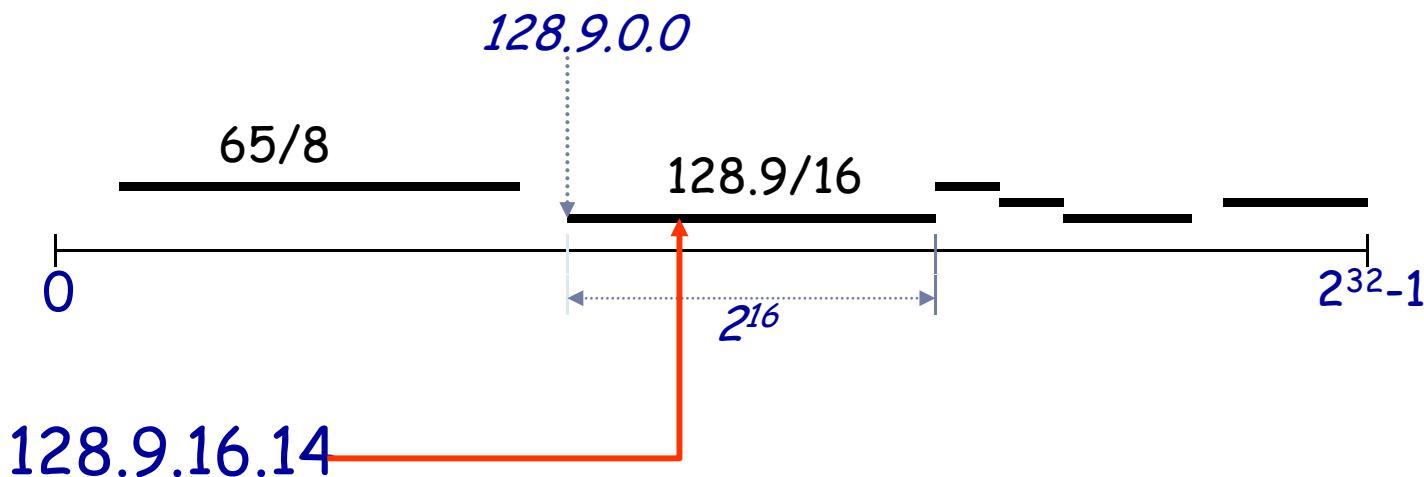
INDIRIZZAMENTO IP

CLASSLESS INTERDOMAIN ROUTING (CIDR)

$128=2^7$
 $9=2^3+2^0$
 $16=2^4$
 $14=2^3+2^2+2^1$

$\Rightarrow 128.9.16.14 = 10000000.00001001.00010000.00001110$

$128.9/16 = 1000000.00001001.xxxxxxxx.xxxxxxxx$



SCHEMA DEL BLOCCO DI RICERCA

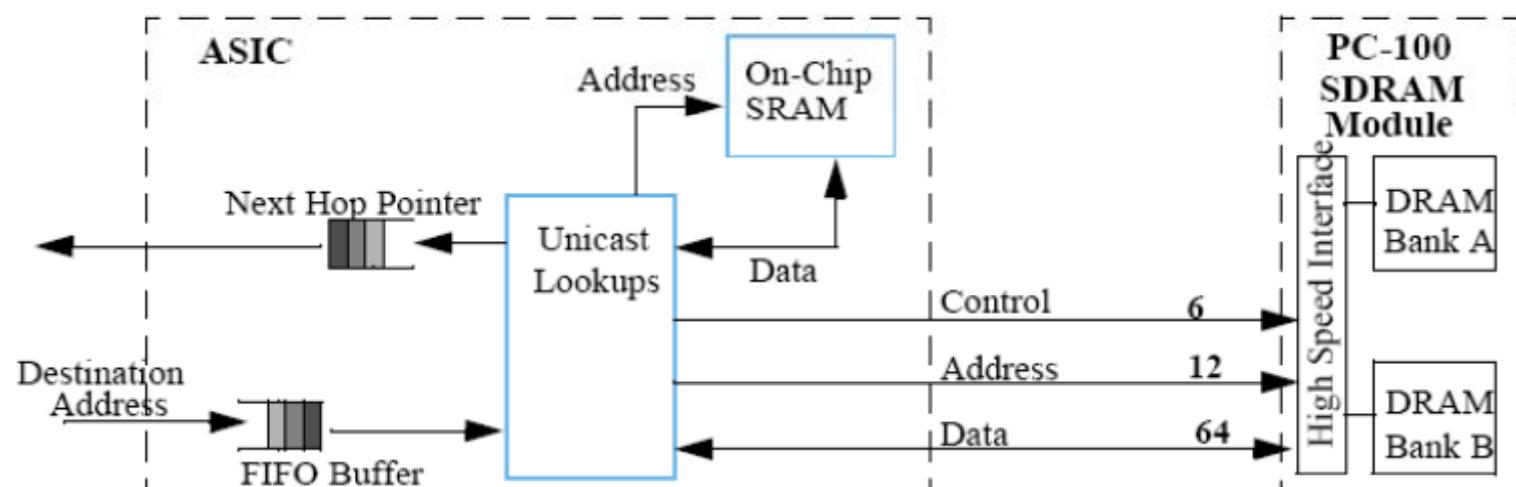
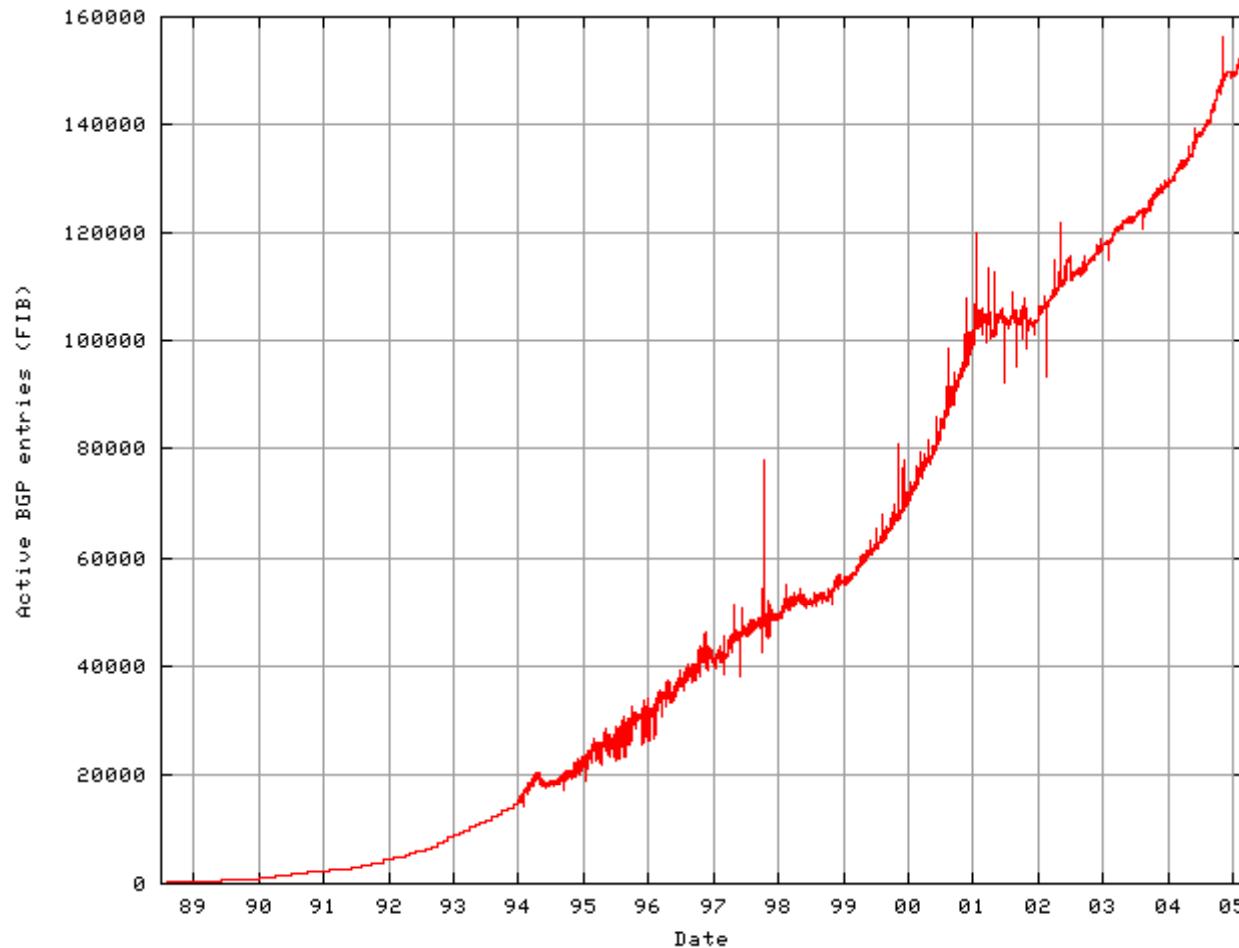


Figure 1: Block Diagram of Lookup Reference Design

AUMENTO DELLE DIMENSIONI DELLE TABELLE DI ROUTING



Source: <http://www.cidr-report.org/>

Dimensioni elevate delle tavole di routing : circa 150.000 entries nel 2005;

Il lookup deve essere veloce: circa 30 ns per una linea da 10Gb/s

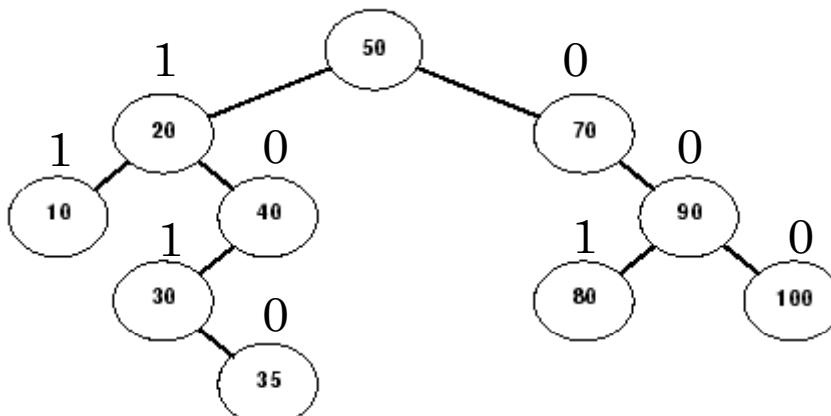
VELOCITÀ DI LOOKUPS

Anno	Linea	Pacchetti da 40 Byte (Mpkt/s)
1997	622Mb/s	1.94
1999	2.5Gb/s	7.81
2001	10Gb/s	31.25
2003	40Gb/s	125

2006?	160Gb/s	500
-------	---------	-----

ALBERI DI RICERCA

- Una tecnica per risolvere il problema della ricerca è quella di immagazzinare gli ingressi delle tabelle di instradamento in una struttura ad albero. Ciascun livello nell'albero corrisponde a una bit nell'indirizzo di destinazione. Per cercare un indirizzo, si parte semplicemente dal nodo base dell'albero. Se il primo è uno 0, allora il sottoalbero di sinistra conterrà l'ingresso della tabella per un indirizzo di destinazione; altrimenti si troverà nel sottoalbero di destra.
- Allo stesso modo di procede per tutti i bit dell'indirizzo e l'indirizzo di destinazione viene trovato dopo N passi (dove N è il numero di bit che forma l'indirizzo)

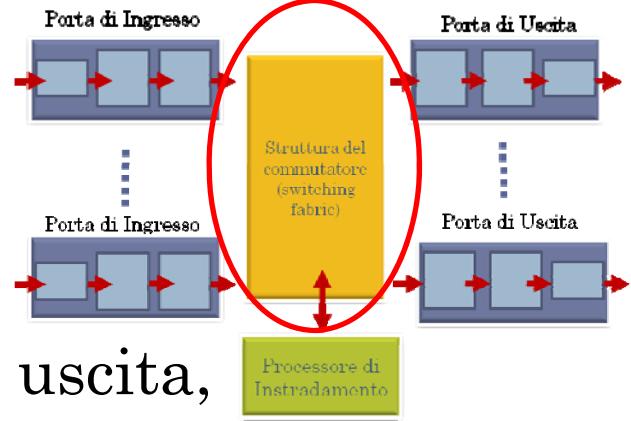


AUMENTO DELLA VELOCITÀ DI RICERCA

- Molte tecniche sono state indagate per ottenere un aumento della velocità di ricerca (*lookup*). Le attuali memorie indirizzabili (CAM) permettono ad un indirizzo IP a 32 bit di essere presentato alla CAM in tempo praticamente costante.
 - La serie router Cisco 8500 ha 64K di CAM per ciascuna porta di ingresso
- Un'altra tecnica è quella di mantenere le tabelle di istradamento di recente accesso in cache [Feldmeier 1988]

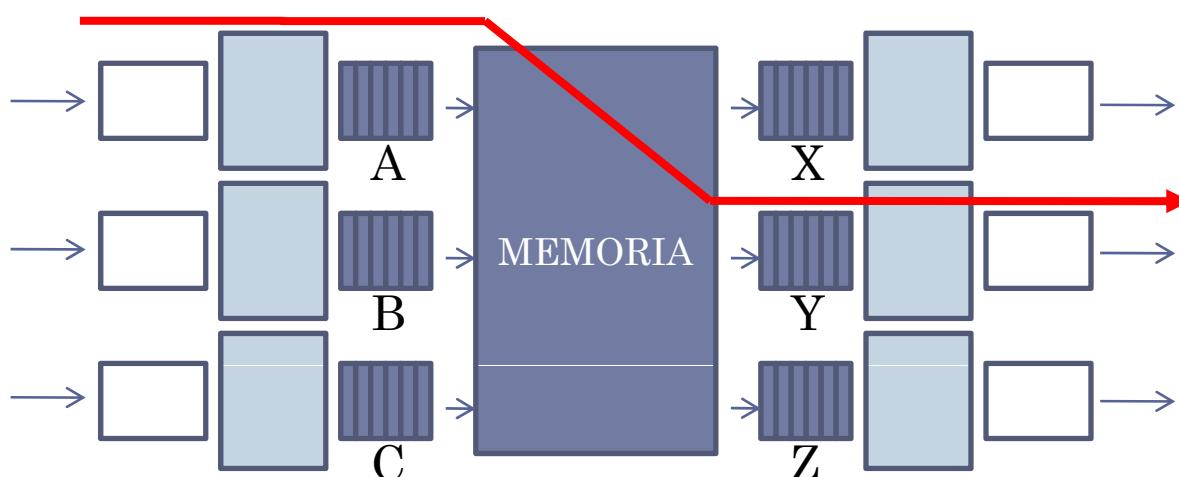
STRUTTURA DEL COMMUTATORE

- Una volta determinata la porta di uscita, il pacchetto viene inoltrato alla struttura di commutazione
- Attraverso questa struttura i pacchetti sono realmente spostati da una porta di ingresso a una di uscita
- La commutazione può essere eseguita in diversi modi:
 - Comutazione attraverso la memoria
 - Comutazione per mezzo di un bus
 - Comutazione attraverso una rete intercollegata



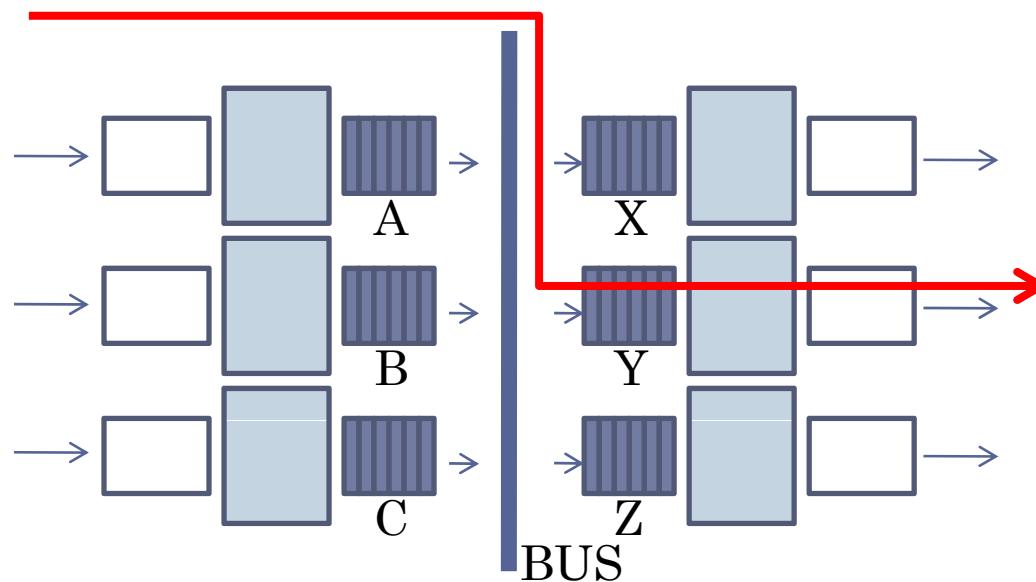
COMMUTAZIONE ATTRAVERSO LA MEMORIA

- I Router più semplici hanno ricevono la commutazione tra le porte attraverso il controllo della CPU.
- Una porta di ingresso con un pacchetto in arrivo segnala l'evento la processore di instradamento attraverso interrupt.
- Il pacchetto viene copiata dalla porta di ingresso alla porta di uscita attraverso la memoria
- La velocità di elaborazione è pari a $B/2$ pacchetti/s, dove B rappresenta la velocità di scrittura della memoria



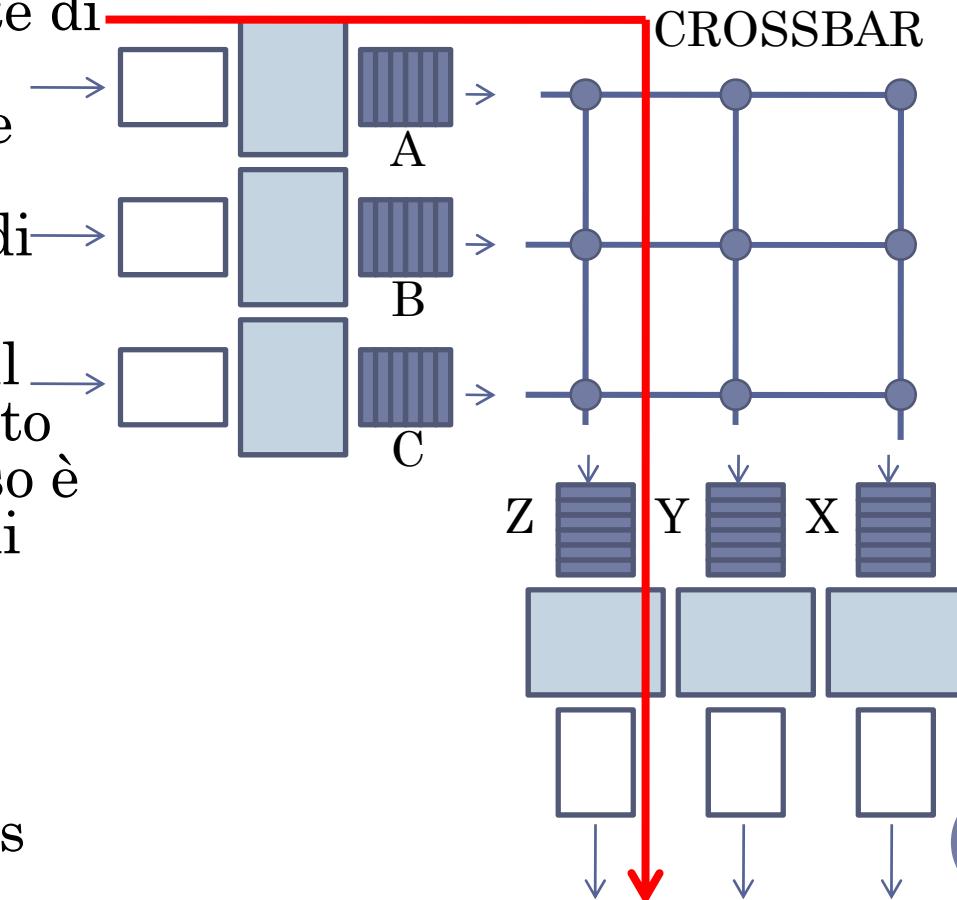
COMMUTAZIONE PER MEZZO DI UN BUS

- La porta di ingresso trasferisce un pacchetto direttamente sulla porta di uscita su un bus condiviso
- Se un pacchetto in arrivo a una porta in ingresso trova il bus occupato viene bloccato ed accodato.
- La velocità è limitata dalla velocità del BUS
- La velocità di alcuni Gbit/S è sufficiente per i router che operano in reti di accesso o aziendali



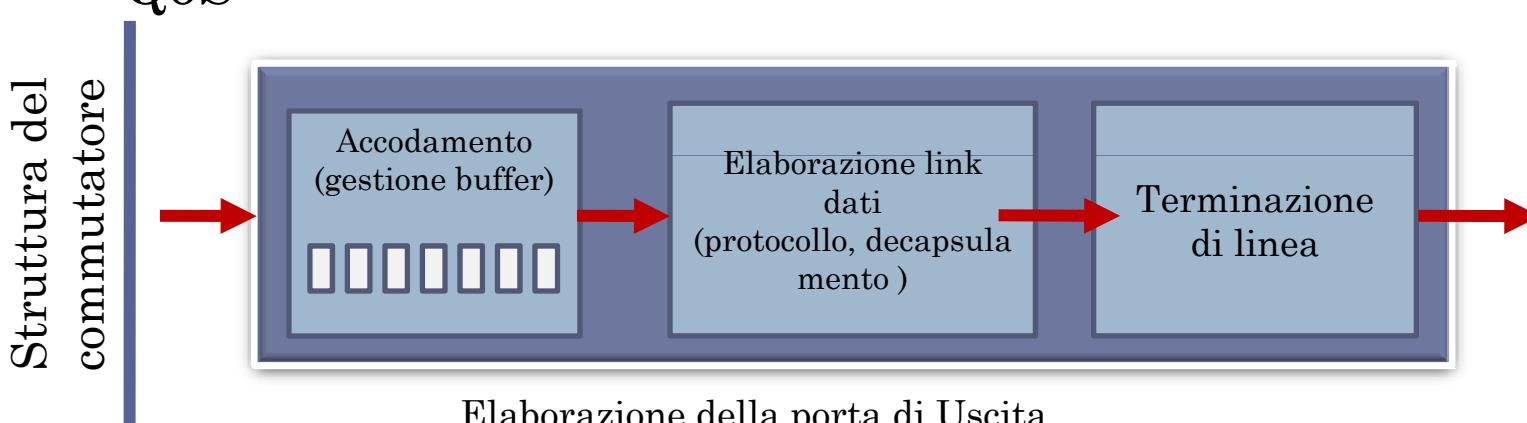
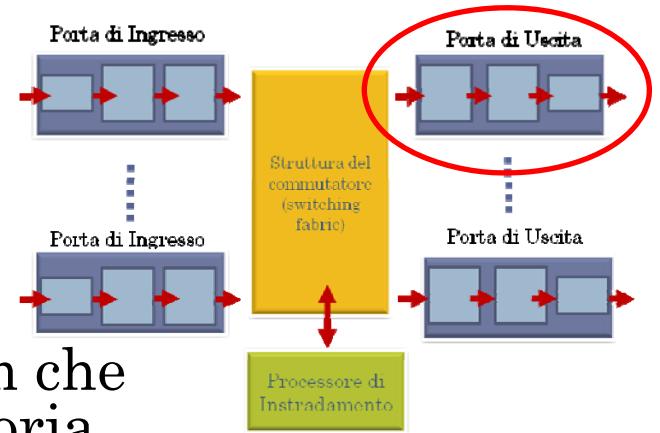
COMMUTAZIONE ATTRAVERSO UNA RETE INTERCOLLEGATA

- Un commutatore CROSSBAR è una rete di interconnessione che consiste in $2N$ bus che connettono N porte di ingresso con N porte di uscita
- Anche questo caso si il bus di uscita è occupato il pacchetto in ingresso è accodato sulla porta di ingresso
- I commutatori della famiglia Cisco 12000 usano una rete che fornisce oltre 60 Gbit/s



PORTE DI USCITA

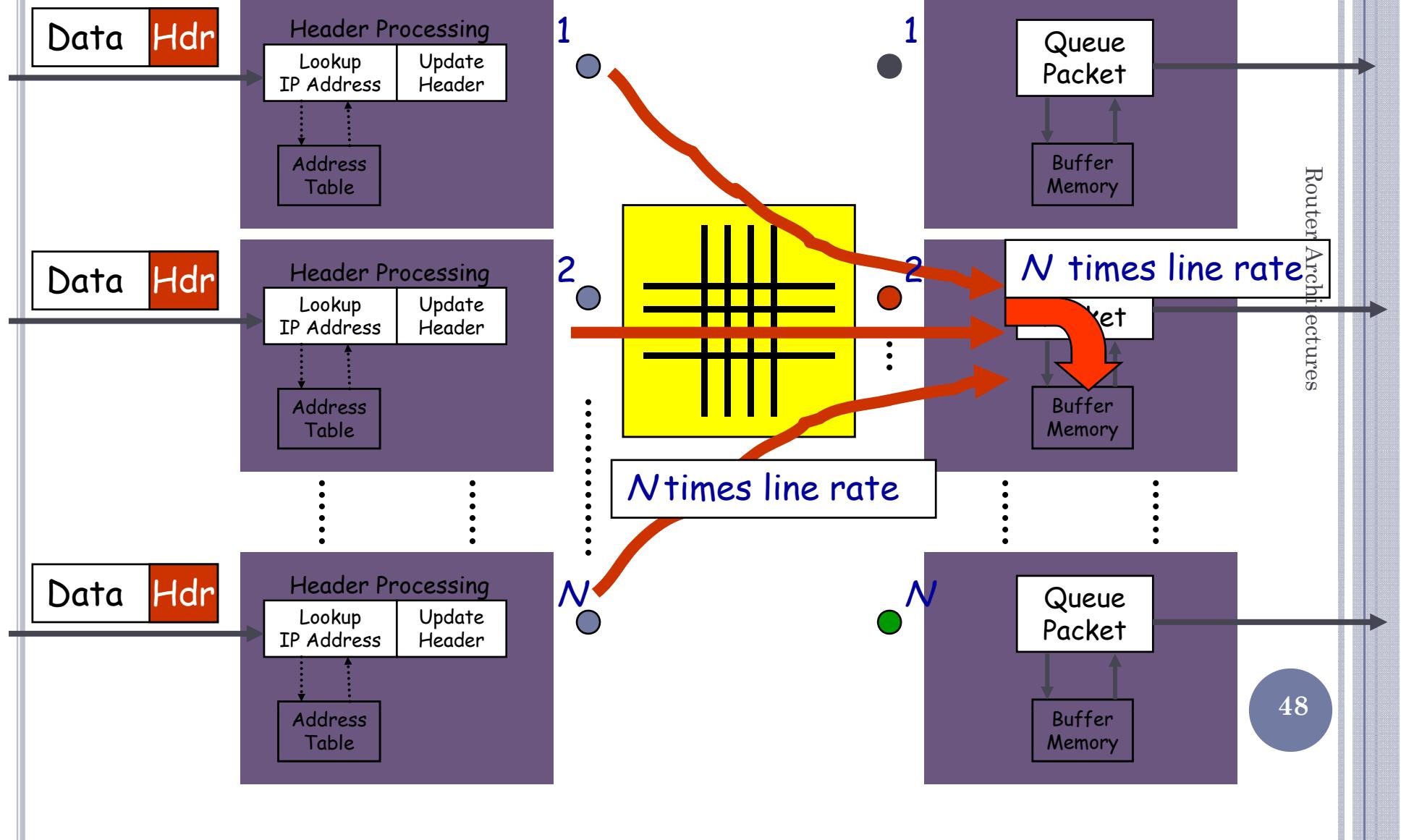
- La porta di uscita preleva i datagram che sono stati immagazzinati nella memoria della porta di uscita e li trasmette sul link in uscita.
- La gestione dell'accodamento e del buffer sono necessarie quando la struttura del commutatore invia pacchetti alla porta di uscita a un tasso che supera quello del link
- Possono essere implementate diverse politiche di scheduling e di gestione dinamica della coda per la QoS



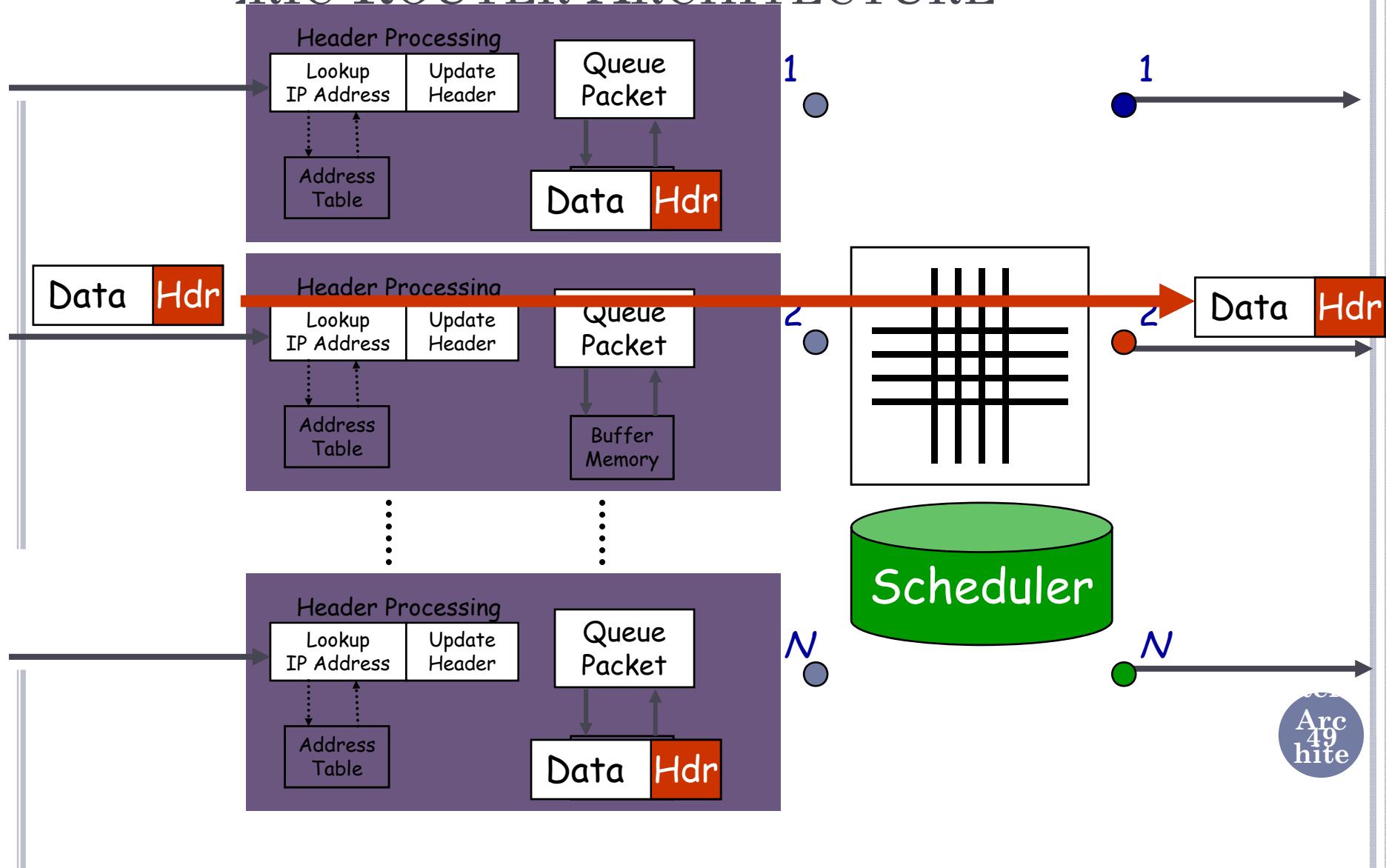
DOVE SI VERIFICA L'ACCODAMENTO?

- Le code di pacchetti si possono formare sia nelle porte di ingresso che nelle porte di uscita
- E' importante considerare queste code perché al loro crescere, lo spazio di buffer del router potrebbe esaurirsi e potrebbe intervenire la **perdita dei pacchetti**.
- E' qui, in queste code all'interno dei router, che i pacchetti sono scartati
- Se si ipotizza che le velocità delle porte in ingresso e quelle di uscita siano uguali e che esistono n porte in ingresso ed n porte di uscita si deve avere che la velocità della *struttura di commutazione* deve essere almeno n volte superiore alla velocità delle linee di ingresso per non avere nessun accodamento.

GENERIC ROUTER ARCHITECTURE



GENERIC ROUTER ARCHITECTURE



PERFORMANCE DELL'APPARATO

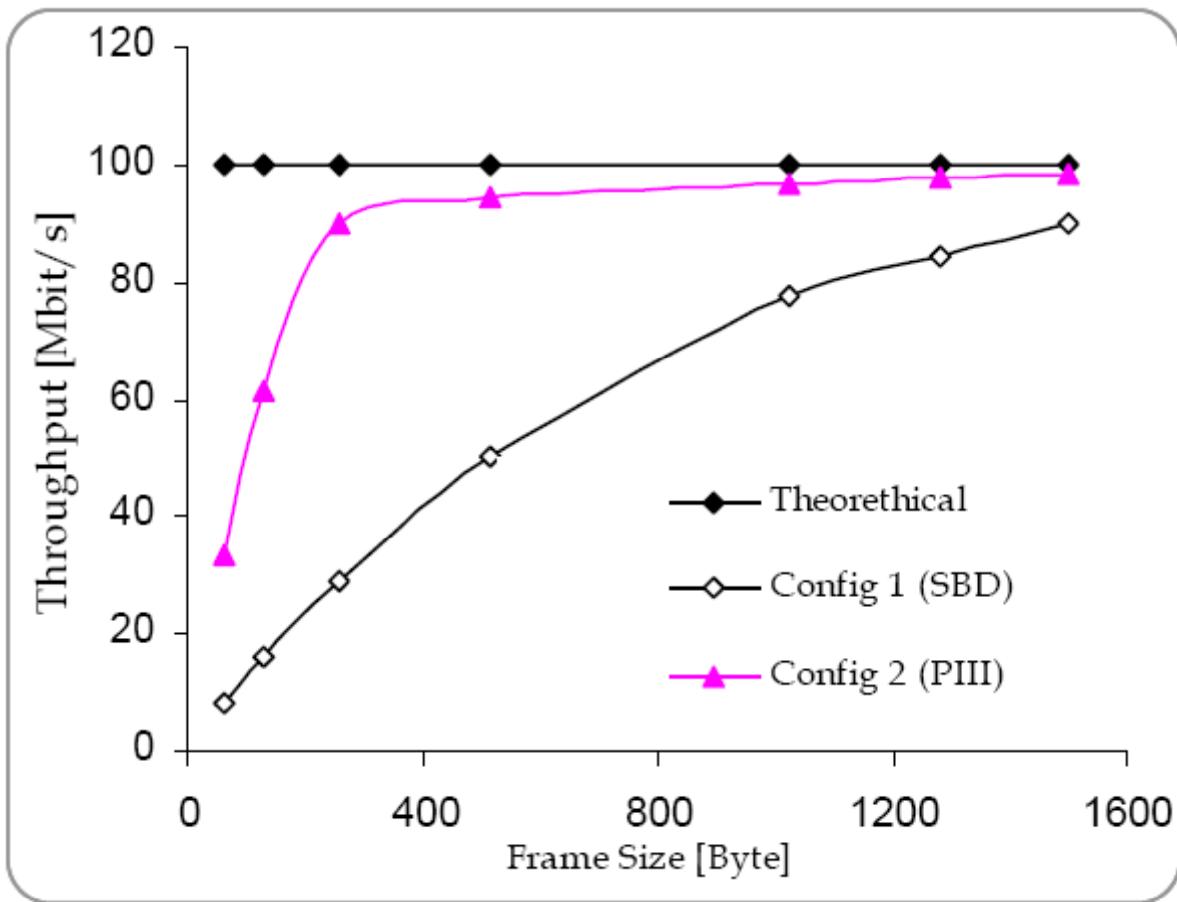
- La potenza di un router (intesa come numero di pacchetti al secondo inoltrati) è variabile a seconda di alcune scelte architetturali del router stesso:
 - i router di fascia bassa dispongono, generalmente, di schede (interfacce) a funzionalità limitata. Tutto il lavoro viene demandato alla CPU centrale, la cui potenza può essere variabile a seconda delle prestazioni richieste;
 - i router di fascia media dispongono di schede intelligenti che montano, esse stesse, una CPU a bordo. Queste CPU svolgono autonomamente una consistente parte del processo di forwarding e la CPU centrale, svincolata da alcuni oneri, si dedica al calcolo delle tabelle di routing e alla gestione dell'apparato;
 - i router di fascia più alta dispongono di schede particolari che gestiscono il processo di forwarding direttamente a livello hardware.
- Il segreto del successo dei router Cisco è, comunque, legato al sistema di gestione. La potenza, da tutti riconosciuta, del sistema operativo (Internetwork Operating System - IOS) è garanzia di funzionalità e prestazioni eccezionali. Questo sistema (che risiede nella memoria Flash) permette, attraverso appositi comandi, di configurare l'apparato secondo le necessità dell'utente. L'IOS non è semplice ed intuitivo, ma molto potente.

IL LAVORO DELLA RAM NEL ROUTER



- Quando viene acceso il router, la **ROM** esegue un programma di avvio (bootstrap). Questo programma avvia alcuni test e successivamente carica il software Cisco **IOS** nella memoria. Il componente EXEC (command executive) che fa parte dell' **IOS** riceve ed esegue i comandi che vengono immessi dall'utente.
- Un router utilizza la **RAM** per caricare il file di configurazione del router, file che contiene processi e informazioni sulle interfacce che direttamente influiscono sul funzionamento del router; nella **RAM** sono caricate anche le tabelle di rete mappate e l'elenco degli indirizzi del routing.

ANCHE LA DIMENSIONE DEI PACCHETTI INFUISCE SULLE PRESTAZIONI



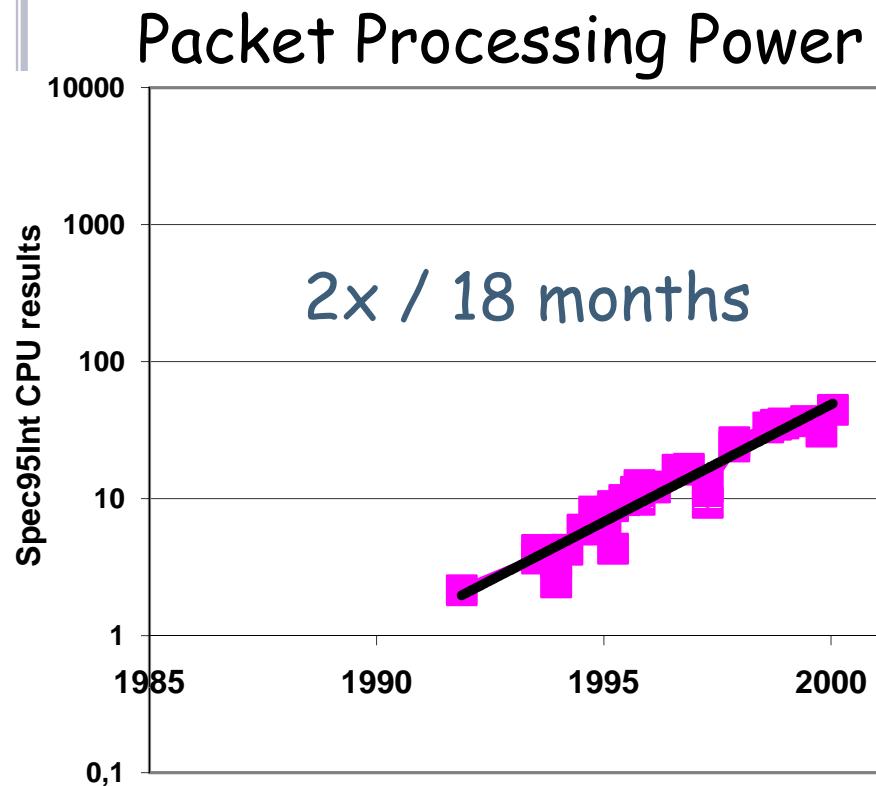
PERCHÈ SERVONO ROUTER SEMPRE PIÙ VELOCI?

1. Evitare che i router diventino il collo di bottiglia della rete Internet.
2. Per aumentare la capacità dei POP capacity, riducendo I costi le dimensioni e and to reduce cost, size and power.

Francesco Licandro

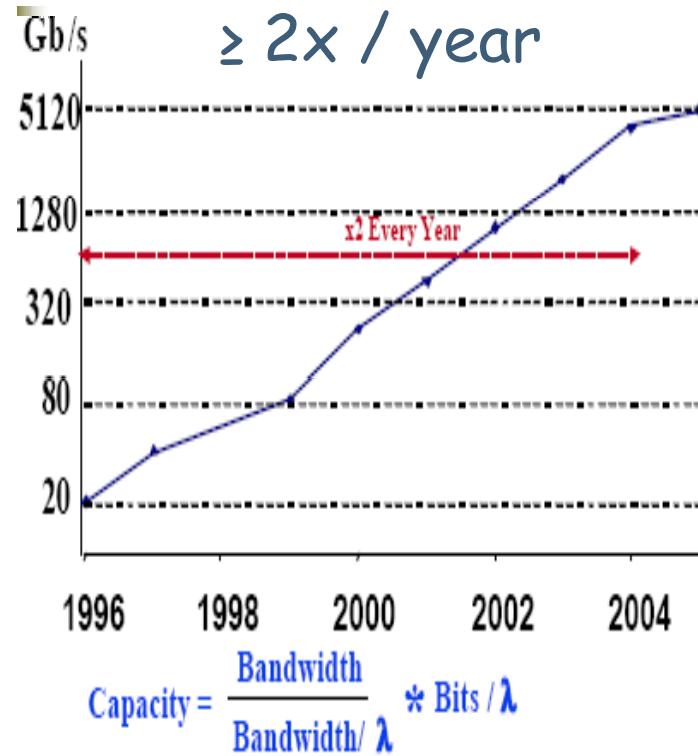
PERCHÈ SERVONO ROUTER PIÙ VELOCI

1: *EVITARE CHE I ROTER DIVENTINO COLLI DI BOTTIGLIA DELLA RETE (BOTTLENECK)*



Source: SPEC95Int & Coffman and Odlyzko.

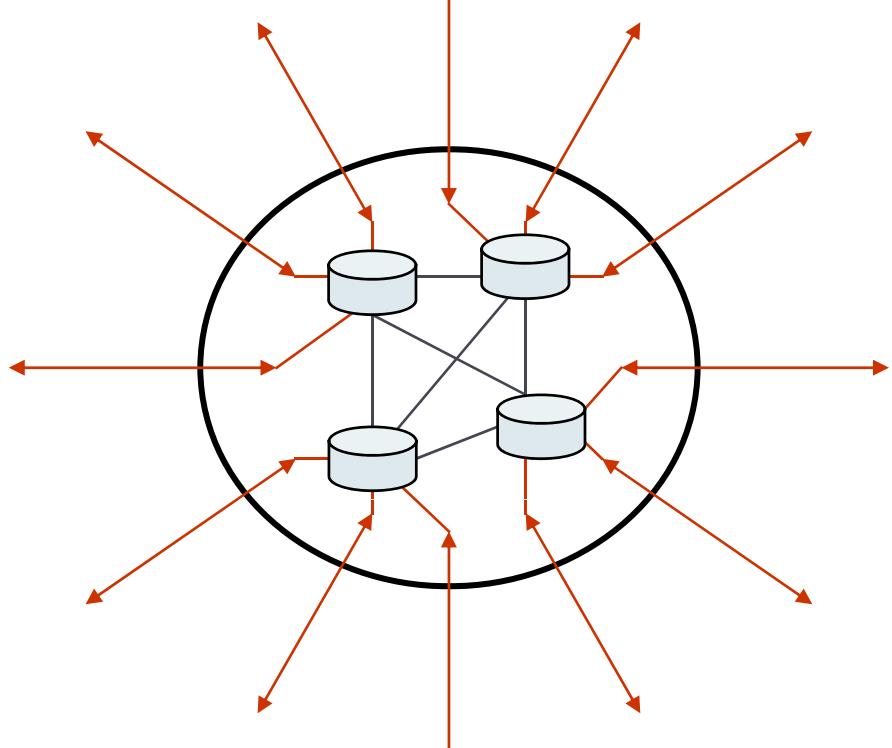
Single Fiber Capacity (commercial)



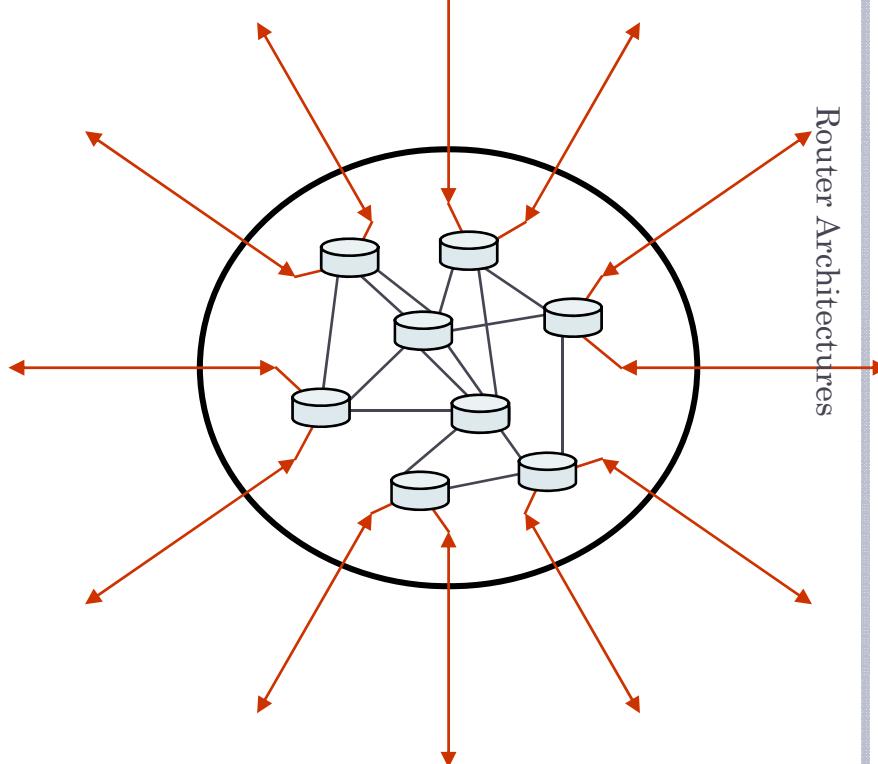
PERCHÈ SERVONO ROUTER PIÙ VELOCI

2: RIDURRE COSTI, POTENZA E COMPLESSITÀ DEI POP

POP with large routers



POP with smaller routers



Router Architectures

- ❖ Porte: Prezzo >\$50k, Potenza > 400W.
- ❖ Normalmente il 50-60% delle porte viene usato per le interconnessioni

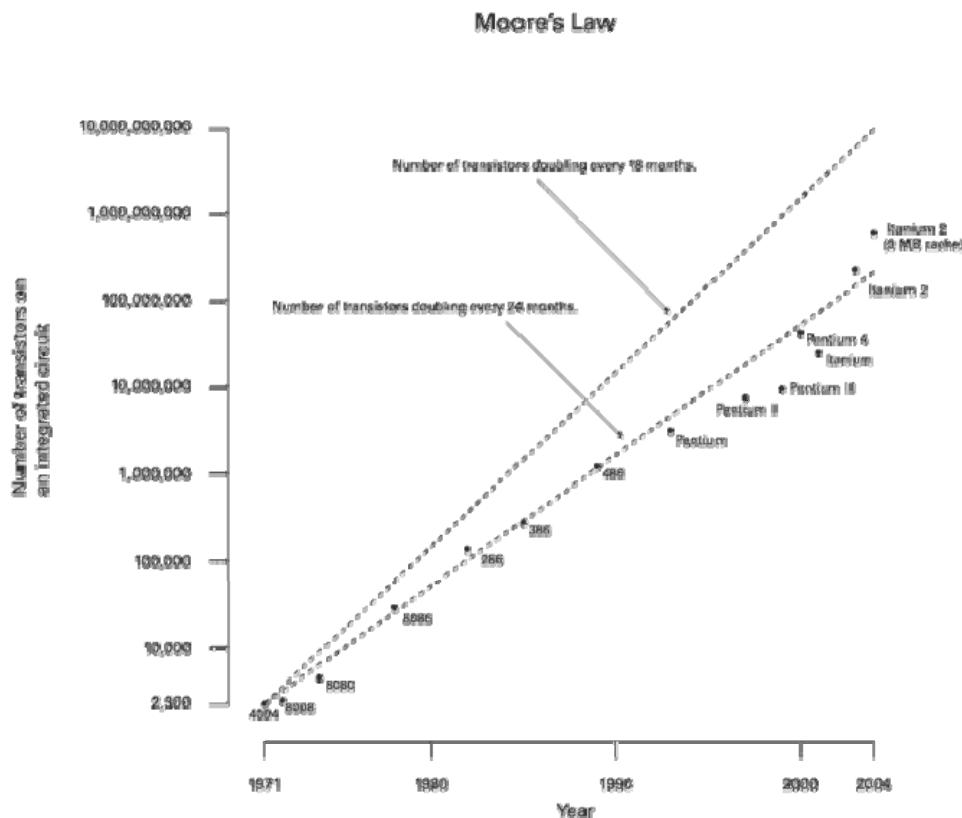
PERCHÈ È DIFFICILE REALIZZARE ROUTER SEMPRE PIÙ VELOCI

1. **La difficoltà viene dalla legge di Moore:**
 - Il limite è dato dalla velocità della memoria.
 - La velocità di accesso alla Memoria non segue la legge Moore
2. **La legge di Moore è troppo lenta:**
 - I Routers necessitano di velocità sempre più maggiori rispetto a quanto dettato dalla legge di Moore

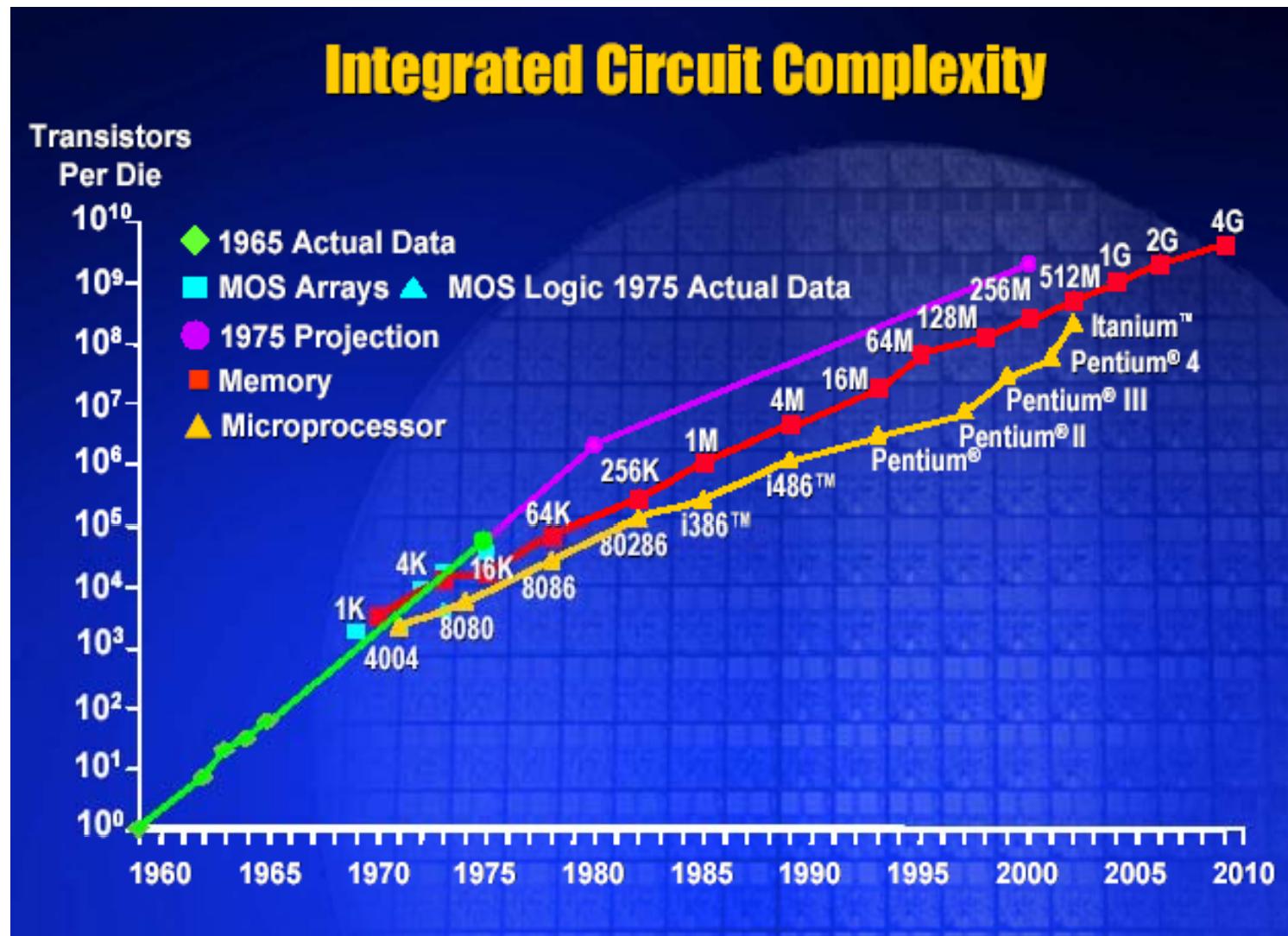
LA LEGGE DI MOORE

Le prestazioni dei processori, e il numero di transistor ad esso relativo, raddoppiano ogni 18 mesi. Crescita del numero di transistor per processori Intel (puntini) e legge di Moore (linea superiore=18 mesi; linea inferiore=24 mesi)

- Nel 1965 Moore suppose che le prestazioni dei microprocessori sarebbero **raddoppiate ogni 12 mesi**.
- Nel 1975 questa previsione si rivelò corretta e prima della fine del decennio i tempi si allungarono a **2 anni**, periodo che rimarrà valido per tutti gli anni Ottanta.
- La legge viene riformulata alla fine degli anni Ottanta ed elaborata nella sua forma definitiva, ovvero le prestazioni dei processori **raddoppiano ogni 18 mesi**.

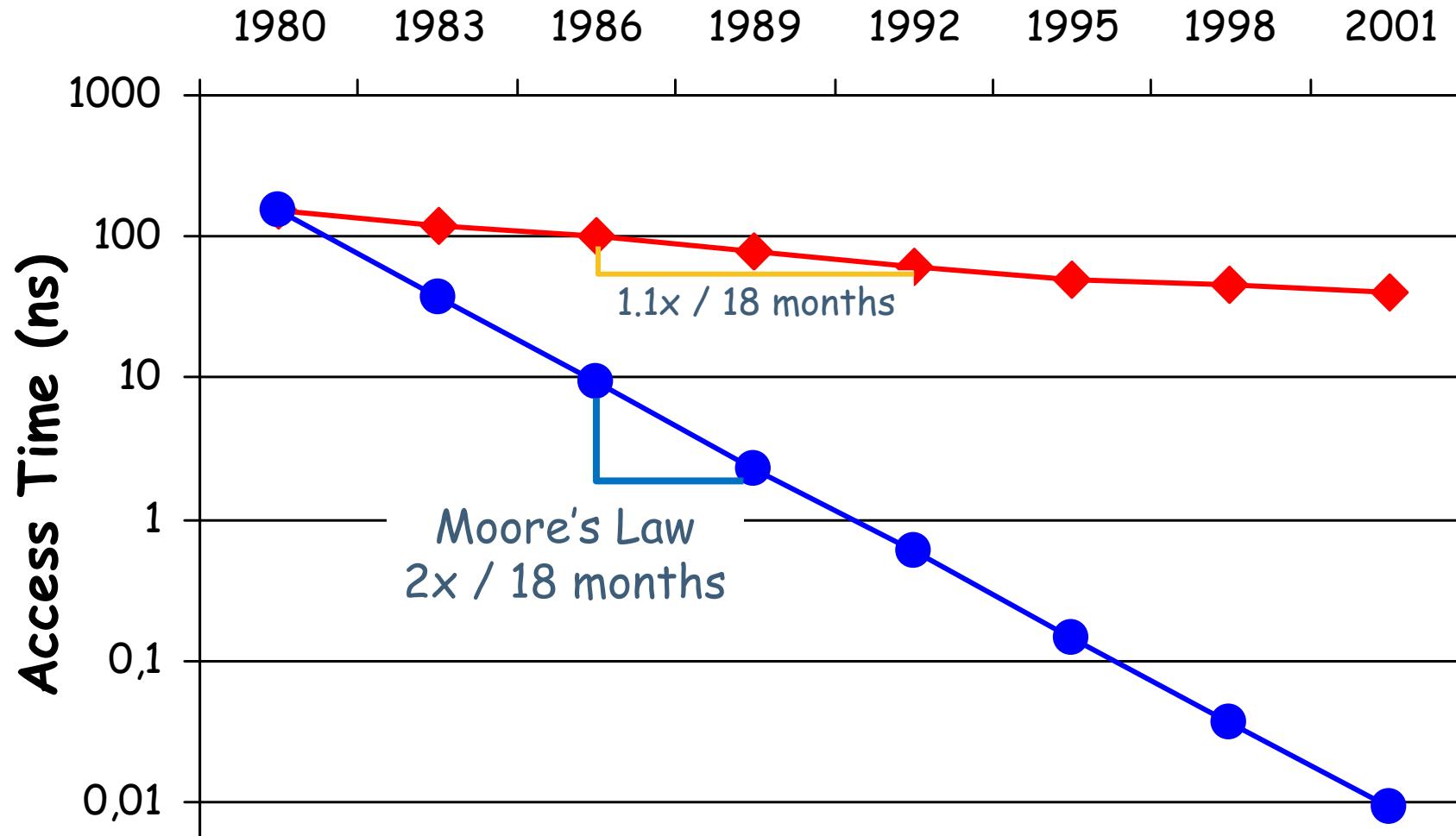


LA LEGGE DI MOORE – ORA



PERCHÈ È DIFFICILE REALIZZARE ROUTER SEMPRE PIÙ VELOCI

VELOCITÀ DELLA DRAM IN COMMERCIO



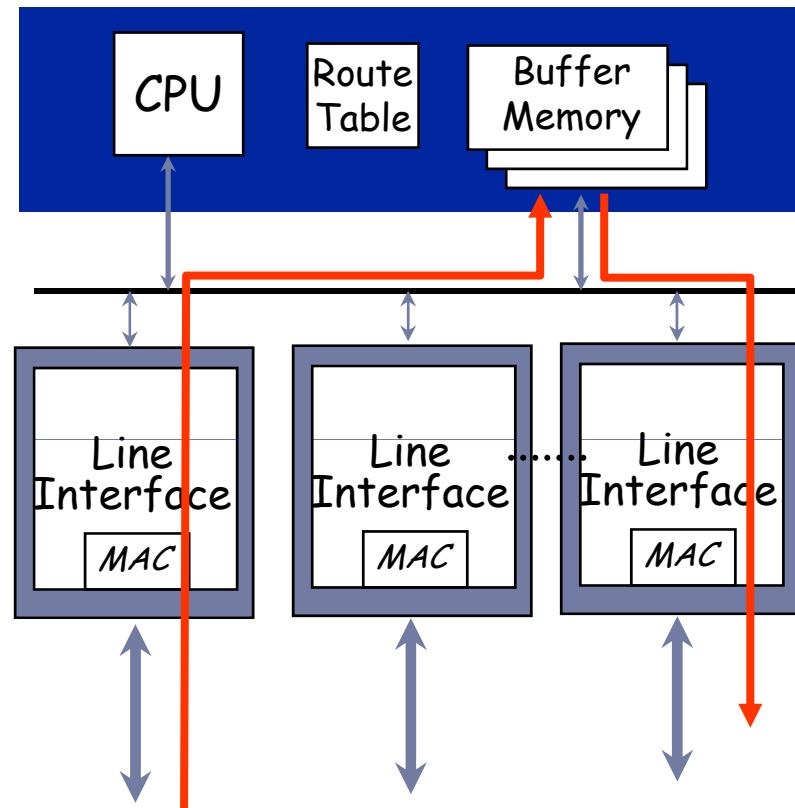
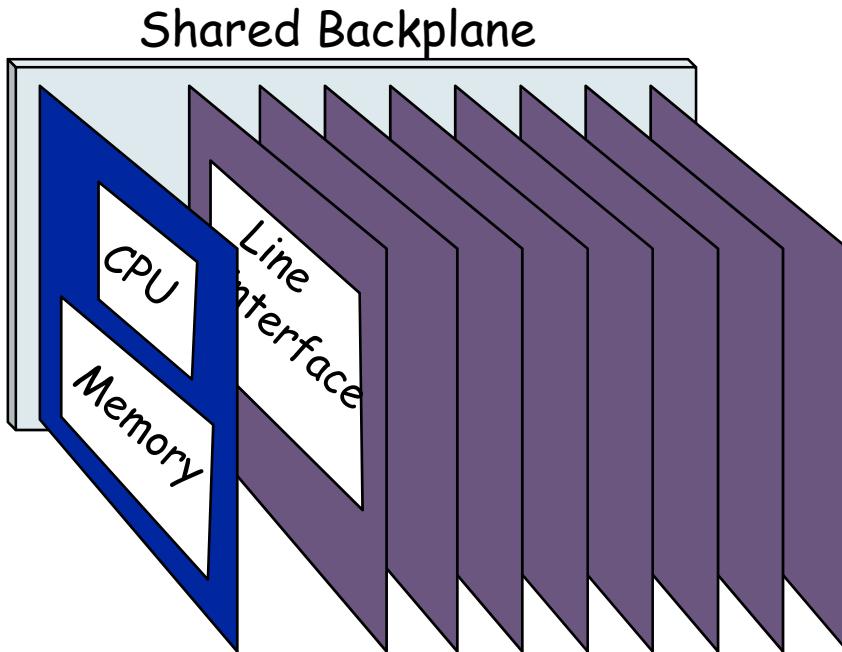
LE PRESTAZIONI DEI ROUTER SUPERANO LA LEGGE DI MOORE

Crescita delle capacità dei router in commercio :

- Capacità nel 1992 ~ 2Gb/s
- Capacità nel 1995 ~ 10Gb/s
- Capacità nel 1998 ~ 40Gb/s
- Capacità nel 2001 ~ 160Gb/s
- Capacità nel 2003 ~ 640Gb/s

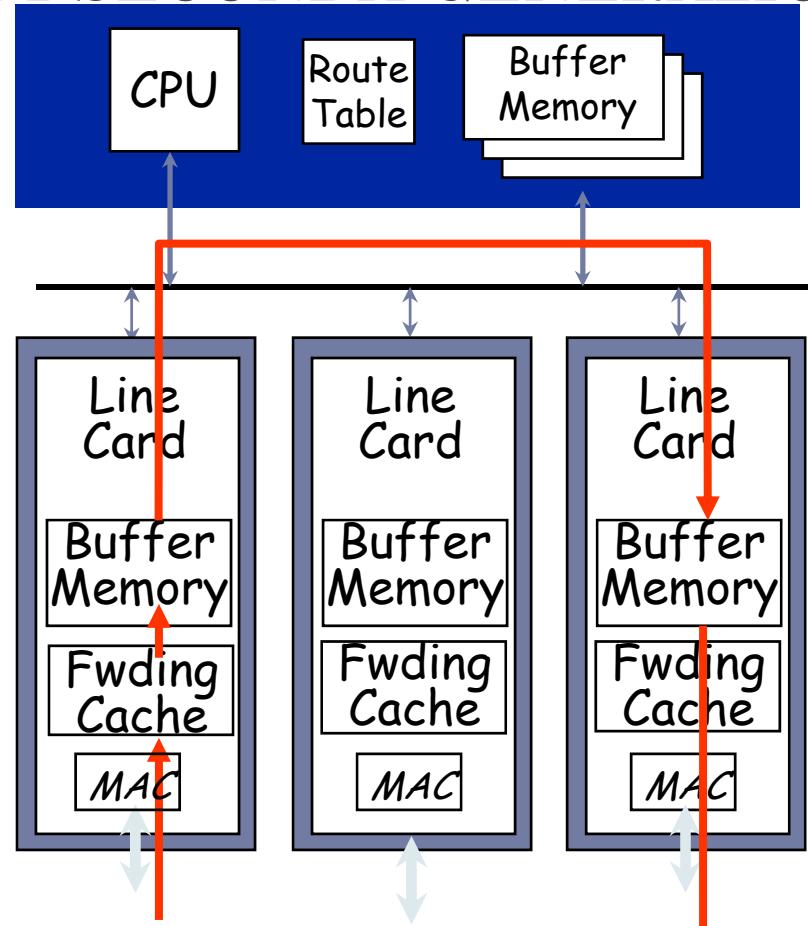
Si ha avuto un tasso di aumento pari al
2.2x / 18 mesi

ROUTERS DI PRIMA GENERAZIONE



Tipicamente capacità < 0.5Gb/s

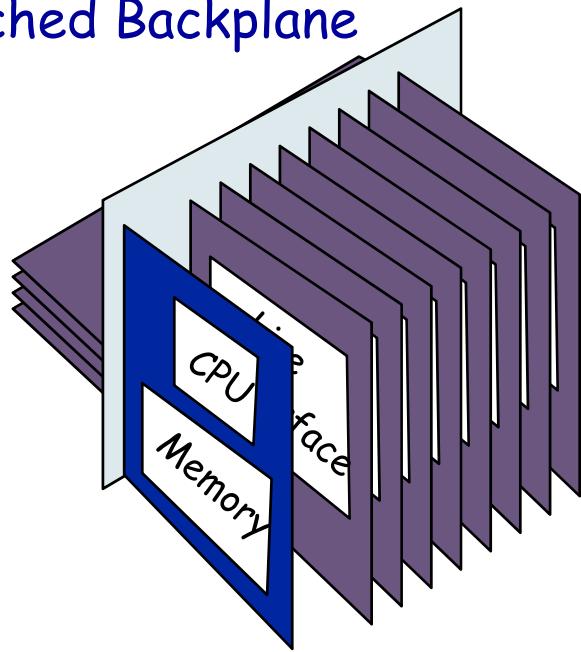
ROUTERS DI SECONDA GENERAZIONE



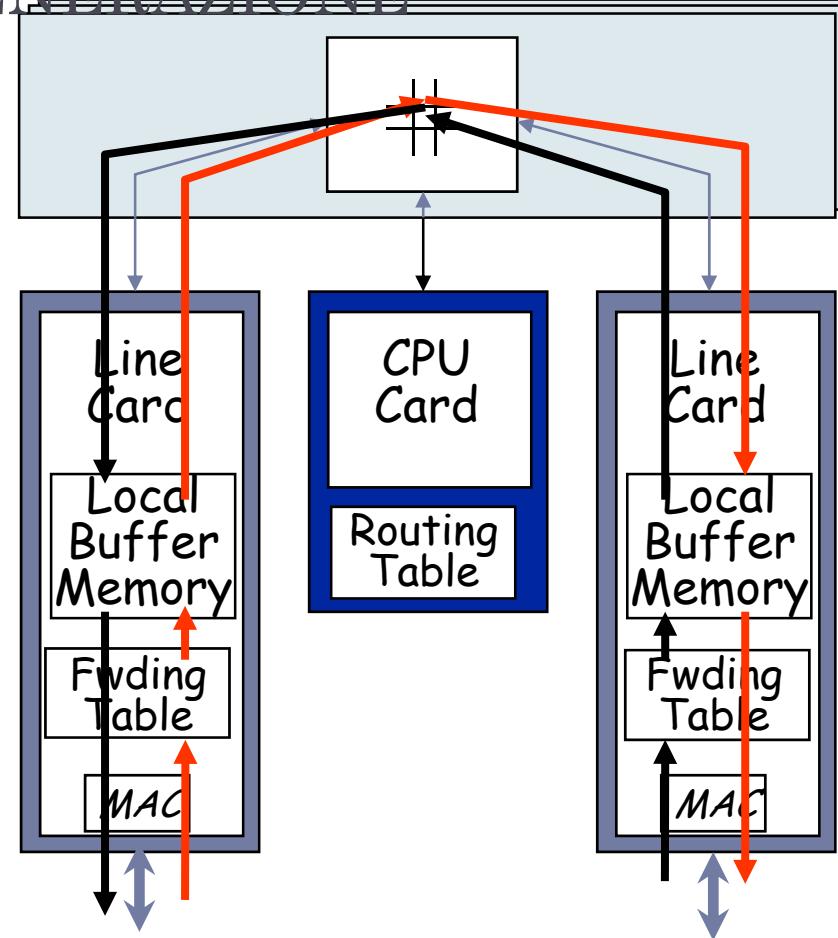
Tipicamente capacità < 5Gb/s

ROUTERS DI TERZA GENERAZIONE

Switched Backplane



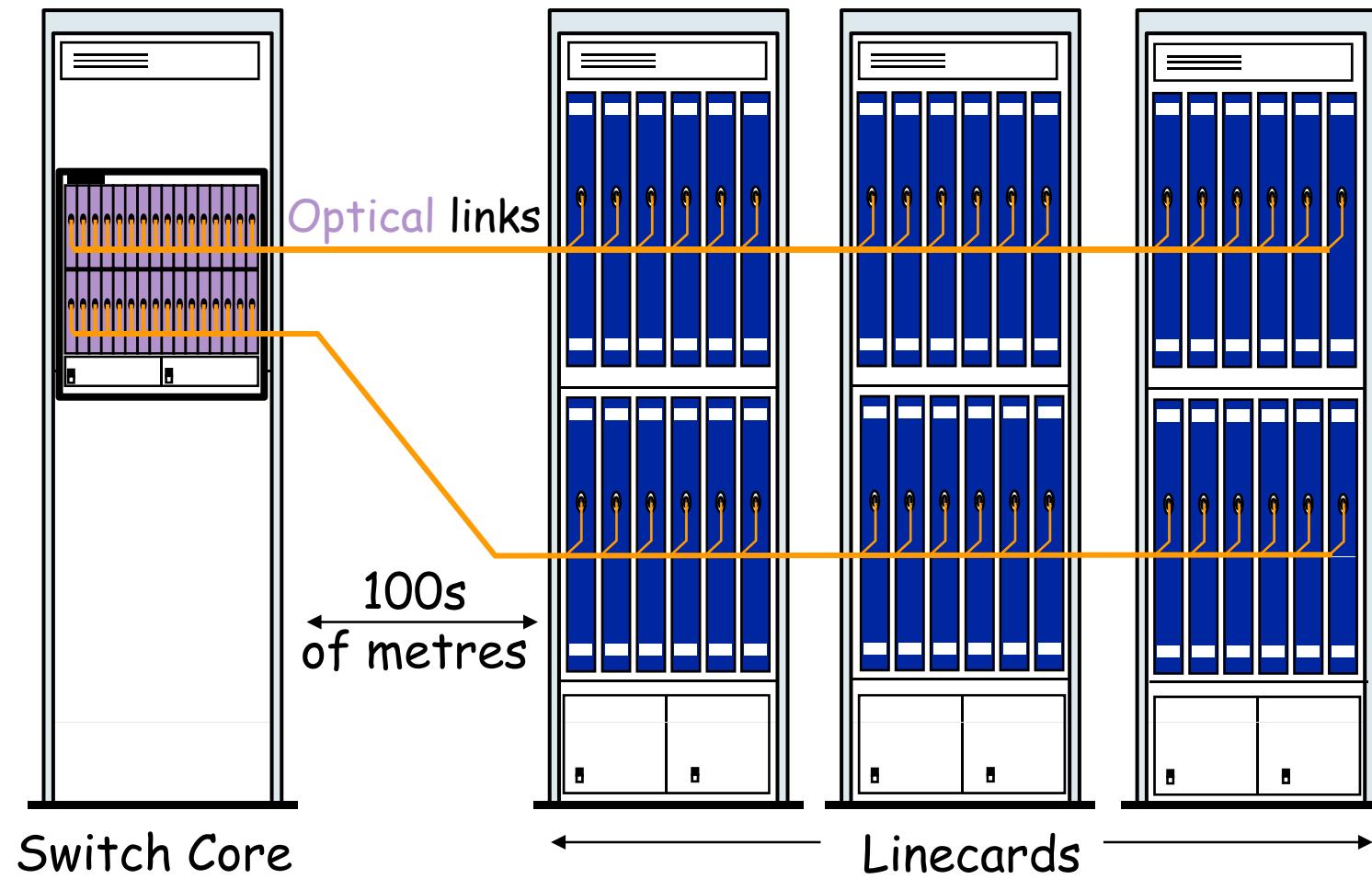
Tipicamente capacità < 50Gb/s



Router Architectures

ROUTERS DI QUARTA GENERAZIONE

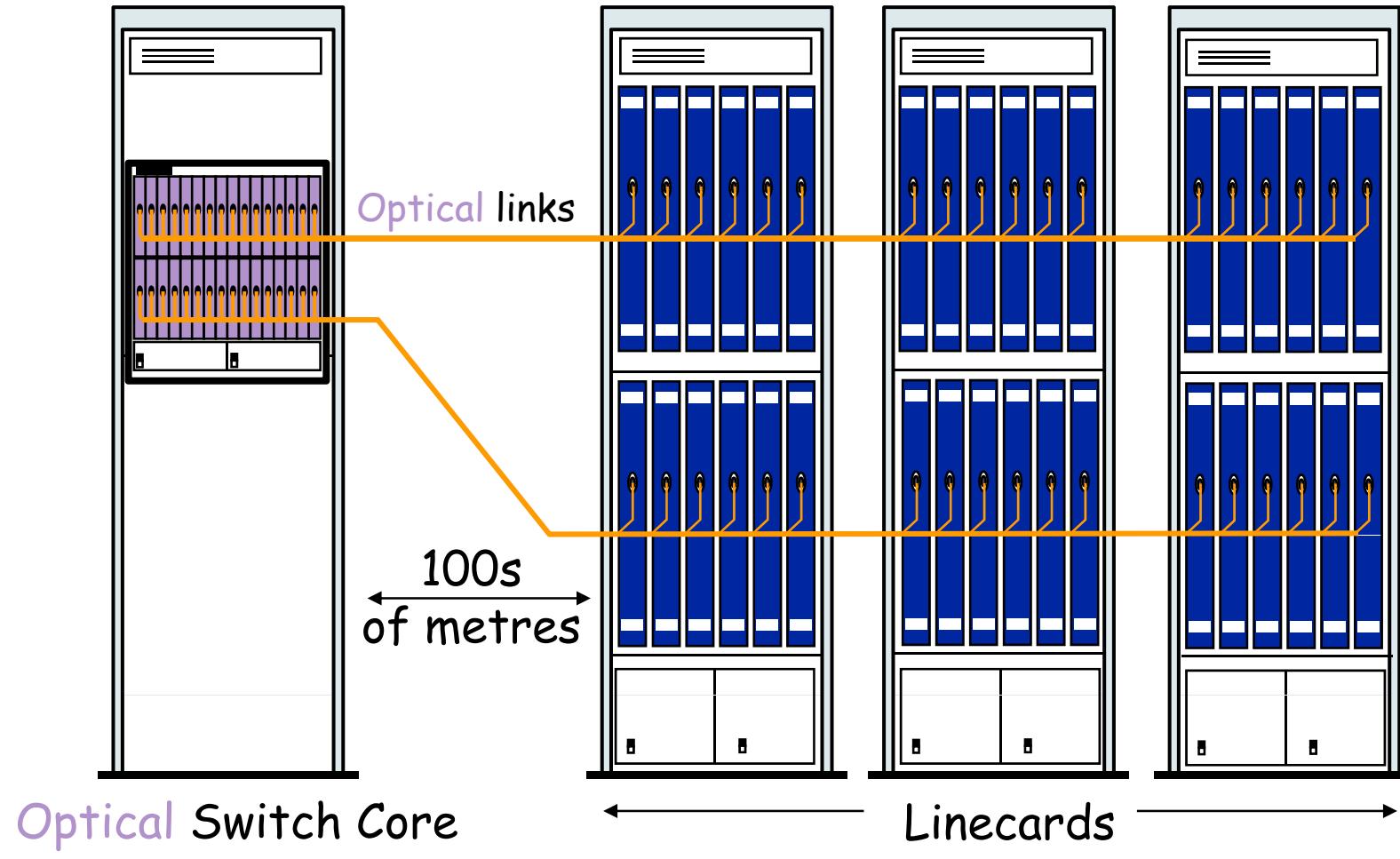
MULTI-RACKS, OPTICAL LINKS



0.3 - 10 Tb/s routers

(FUTURO) ROUTER DI QUINTA GENERAZIONE

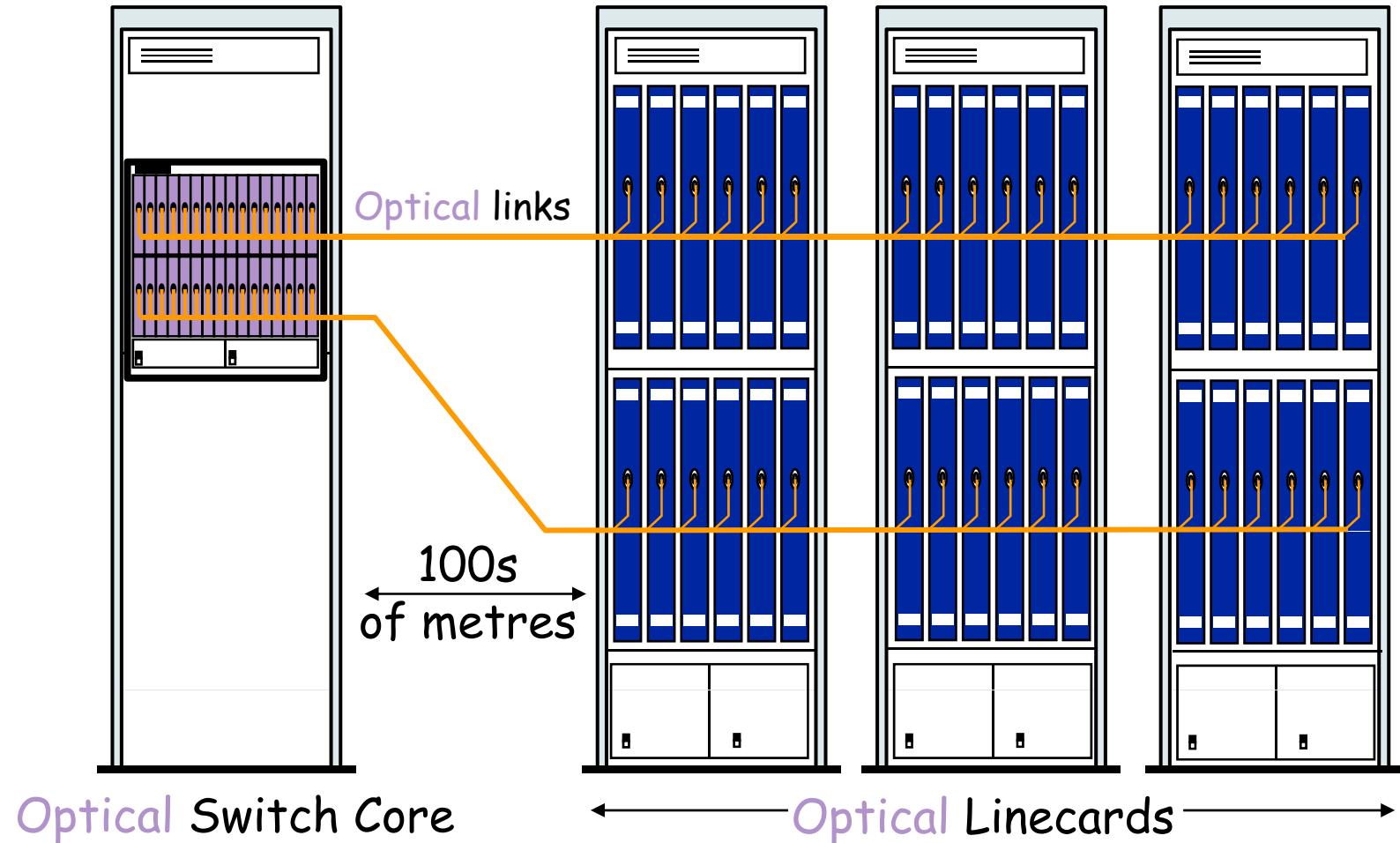
OPTICAL SWITCH CORE



10-100Tb/s routers, in project

(FUTURO) ROUTER DI SESTA GENERAZIONE

ALL-OPTICAL ROUTERS



100-1000 Tb/s routers, in the far future