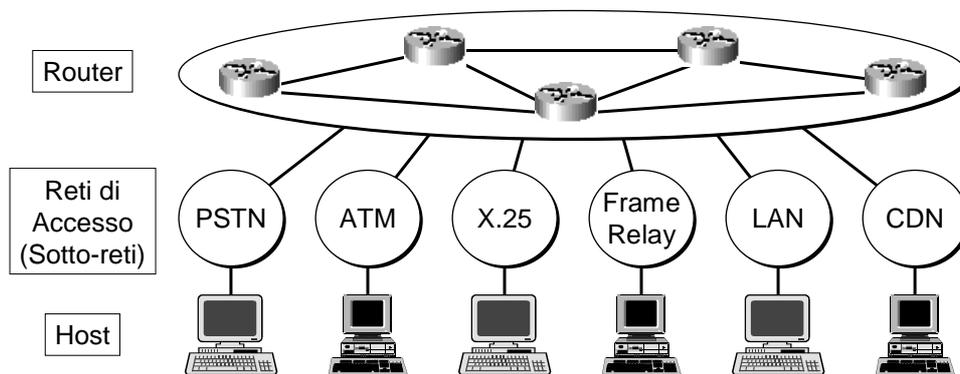


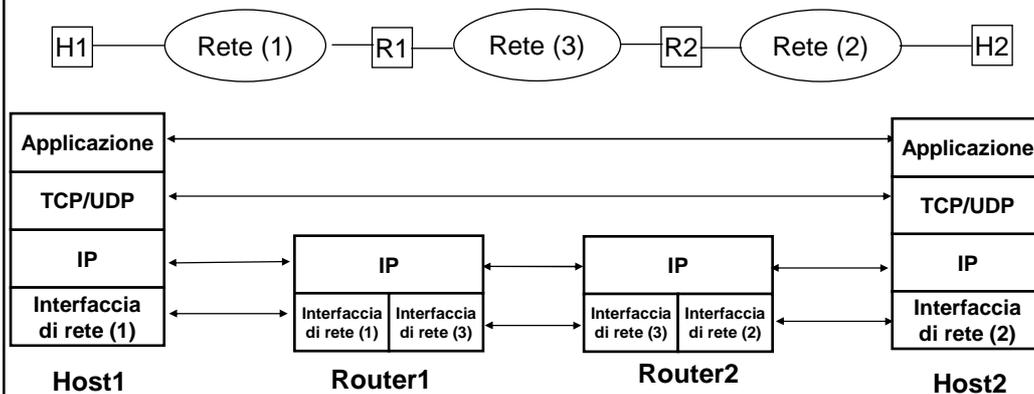
Vincenzo Eramo

Il protocollo IPv4

Struttura di Internet



Architettura protocollare



- I router implementano i protocolli IP, ICMP e i protocolli di routing

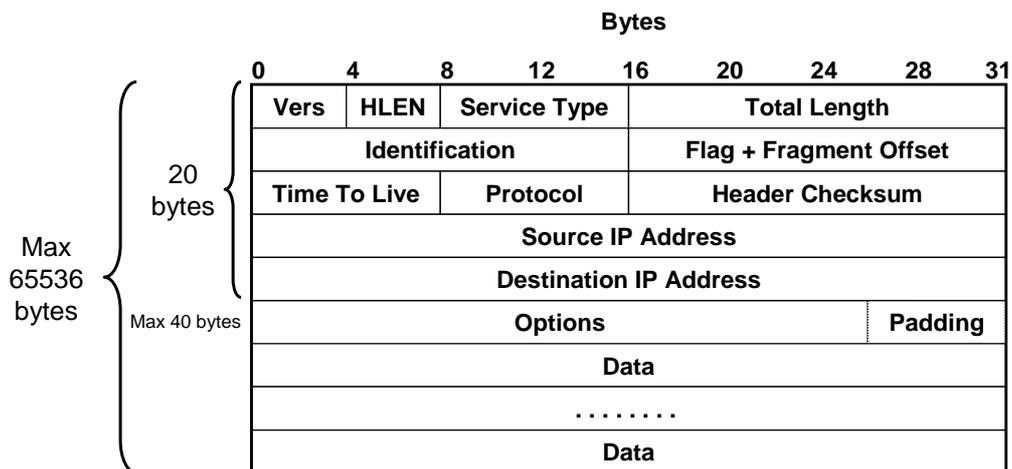
Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Il Protocollo IP

- La rete Internet offre un Servizio di Rete a Pacchetto (Datagramma) senza fornire alcuna garanzia sulla QoS (servizio "best effort")
- Lo strato MT è denominato Strato IP
- Il protocollo che regola le interazioni tra le entità dello strato IP è denominato Protocollo IP (RFC 791, 919, 922, 950, 1349) il cui compito è di
 - Definire l'unità base per il trasferimento dei dati (datagramma)
 - Definire lo schema di indirizzamento
 - Definire le modalità di instradamento dei datagrammi
 - Eseguire, se necessario, la frammentazione e il ri-assemblaggio delle unità dati
 - la lunghezza massima di un datagramma è di 65536 ottetti

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IPv4



Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IP

- **Vers (4 bit)**
 - versione del protocollo, è possibile la coesistenza di più versioni di IP
- **Header Length (HLEN) (4 bit)**
 - lunghezza dell'intestazione (specificata in parole di 32 bit)
 - comprende la parte fissa (20 bytes) e la parte opzionale
 - valore massimo: 60 byte
- **Total length (16 bit)**
 - lunghezza complessiva del datagramma (specificata in byte)
 - comprende la lunghezza dell'header e del payload
 - valore massimo: 65536 byte

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IP

➤ Service Type (8 bit)

- specifica i parametri di qualità di servizio richiesti dall'utente per il datagramma
- **Precedence** (3 bit)
 - indicano il livello di priorità del datagramma
 - in passato non sono stati utilizzati
 - ora implementano i meccanismi DiffServ

Precedence	Delay	Thput	Reliab.	Cost	0
1	2	3	4	5	6
7	8				

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IP

➤ Service Type (8 bit)

- **Type Of Service (TOS)** (4 bit)
 - indicano il tipo di servizio richiesto per il datagramma
 - il servizio normale si ha se tutti i quattro bit sono a 0
 - solo uno dei quattro bit può essere posto a 1

1 0 0 0	Minimize delay
0 1 0 0	Maximize Throughput
0 0 1 0	Maximize Reliability
0 0 0 1	Minimize Monetary Cost
0 0 0 0	Normal Service

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IP

- **Ogni rete fisica ha un valore massimo di lunghezza della propria unità informativa**
 - Maximum Transmission Unit - MTU
- **La frammentazione di un datagramma IP è necessaria se il valore della MTU nella sottorete fisica è inferiore alla lunghezza del datagramma**
 - Il valore minimo di una MTU è 68 byte
- **La frammentazione è effettuata dal router/host prima del rilancio nella sottorete**
- **La ricomposizione del datagramma originale è effettuata dall'host di destinazione**

Formato del datagramma IP

- **Identification (16 bit)**
 - numero identificativo del datagramma da frammentare
 - è assegnato dal processo sorgente
- **Flags (3 bit)**
 - X: non usato e posto a zero
 - DF: Don't Fragment (0: frammentazione permessa; 1: frammentazione vietata)
 - MF: More Fragment (0: ultimo frammento del datagramma; 1: non è l'ultimo frammento)
- **Fragment Offset (13 bit)**
 - posizione del frammento all'interno del datagramma (espresso in unità di 8 byte) consente di valutare l'integrità del datagramma

Formato del datagramma IP

➤ Time to Live (TTL) (8 bit)

- indica il numero massimo di router che possono essere ancora attraversati dal datagramma
- è inizializzato dall'host sorgente ed è decrementato di una unità da ogni router
- quando il valore del campo è nullo, il datagramma è scartato e viene emesso un messaggio ICMP di notifica verso l'host sorgente

➤ Protocol (8 bit)

- indica a quale protocollo dello stato superiore deve essere trasferito il contenuto informativo del datagramma (es. TCP=6, UDP=17, ICMP=1)

➤ Header Cecksum (16 bit)

- protegge solo l'intestazione del datagramma
- se viene rivelato un errore il datagramma è scartato

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Formato del datagramma IP

➤ Source Address (32 bit) e Destination Address (32 bit)

➤ Options (lunghezza variabile a multipli di 8 bit)

- Record Route Option (RRO)
 - lista vuota di indirizzi IP, ogni router attraversato inserisce il suo indirizzo
- Timestamp Option
 - come RRO con in più l'istante in cui il datagramma attraversa ogni router
- Strict Source Route Option (SSRO)
 - specifica tutti i router attraverso i quali deve transitare il datagramma

➤ Padding

- rende l'intestazione multipla di 32 bit mediante introduzione di zeri

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Internet Control Message Protocol (ICMP)

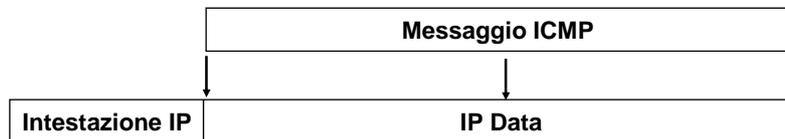
- **Il protocollo ICMP (RFC 792, 950) consente ai router di inviare all'host sorgente informazioni riguardanti anomalie nel processamento di un datagramma**
 - errori di instradamento
 - TTL scaduto
 - congestione eccessiva
- **ICMP è una parte integrante di IP e deve essere incluso in ogni implementazione di IP**
- **Un messaggio ICMP è incapsulato nella parte dati di un datagramma IP**

ICMP (1)

- **ICMP ha lo scopo esclusivo di notificare errori all'host di origine**
 - ICMP non specifica le azioni che devono essere prese per rimediare ai malfunzionamenti
 - spetta all'host di origine decidere le azioni da intraprendere per correggere il problema
- **I messaggi ICMP non sono elaborati dai router intermedi**
- **Non vengono generati nuovi messaggi ICMP in seguito ad errori causati da datagrammi contenenti messaggi ICMP**
 - evita messaggi di errore relativi a messaggi di errore

ICMP (2)

- **Un messaggio ICMP si riferisce ad uno specifico datagramma**
- **Un messaggio ICMP contiene l'indicazione del particolare datagramma IP che ha generato l'errore**
 - nel caso di frammentazione, un messaggio ICMP viene emesso solo per il frammento 0
- **Un messaggio ICMP è incapsulato nella parte dati di un datagramma IP**



Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Messaggi ICMP (1)

- **Si compongono di:**
 - **Un campo Intestazione ICMP**
 - Identifica il particolare messaggio ICMP
 - **Un campo Data ICMP**
 - consente l'individuazione del datagramma che ha causato l'errore
 - contiene parte del datagramma IP



Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Messaggi ICMP (2)

- **Redirect message**
 - se è emesso da un router significa che i successivi datagrammi emessi dall'host verso la rete dovranno essere indirizzati verso il router indicato nel messaggio ICMP
 - causa una modifica della tabella di instradamento dell'host sorgente
- **Source quench**
 - indica che il router non ha buffer sufficiente per memorizzare il datagramma
- **Time exceeded**
 - indica che il TTL si è esaurito
- **Echo e Echo replay**
 - sono utilizzati per stabilire l'attività di un elemento di un host
- **Destination unreachable**
 - indica che l'instradamento di un datagramma non è stato completato

Applicazioni dell'ICMP

- **Ping**
 - è utilizzata per verificare
 - l'installazione della pila TCP/IP
 - l'attività di un host
 - il tempo di transito tra host sorgente e host destinazione
 - utilizza i messaggi ICMP Echo e Echo Replay
- **Traceroute**
 - determina la sequenza di router attraversati da un datagramma tra l'host sorgente e l'host destinazione
 - utilizza in successione datagrammi con TTL=1 ,2, 3, ...
 - la sequenza di router viene individuata poiché ciascun router invierà un messaggio ICMP Time Exceeded

Vincenzo Eramo

Indirizzamento in IPv4

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Schema di indirizzamento

- **Un indirizzo IP (IP Address) identifica un host**
 - se un host è connesso a più di una rete (multi-homed) avrà un indirizzo IP per ogni rete
- **Un indirizzo IP è unico in tutta la rete**
 - ha una lunghezza di 32 bits
- **In origine (1981, RFC 1166) era formato da due parti**
 - Net_Id: identificativo di sotto-rete
 - Host_Id: identificativo di host all'interno della sotto-rete

IP_Address = Net_Id . Host_Id

- **La divisione tra Net_Id e Host_Id non è fissa**

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Schema di indirizzamento

➤ Classi di indirizzi IP

Classe	Bit iniziali	Net_Id	Host_Id	“Reti” disponibili	“Host” disponibili
A	0	7 bit	24 bit	128	16.777.216
B	10	14 bit	16 bit	16384	65.536
C	110	21 bit	8 bit	2.097.152	256
D	1110	Indirizzo multicast: 28 bit Indirizzi possibili: 268.435.456			
E	11110	Riservata per usi futuri: 27 bit Indirizzi possibili: 134.217.728			

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Schema di indirizzamento

➤ Classi di indirizzi IP

	0	8	16	24	31
Classe A	0	Net_Id	Host_Id		
Classe B	1 0	Net_id	Host_Id		
Classe C	1 1 0	Net_Id	Host_Id		
Classe D	1 1 1 0	Multicast Address			
Classe E	1 1 1 1 0	Reserved			

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

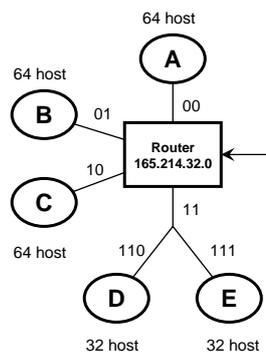
Subnetting a lunghezza variabile

➤ **Le sotto-reti di una rete usano maschere diverse**

- Consente di gestire reti di dimensione diversa

➤ **Esempio:**

- Router con un indirizzo di classe C
 - 165.214.32.0
- 5 Sottoreti
 - Subnet A, Subnet B, Subnet C: 50 host
 - Subnet D, Subnet E: 30 host
- Subnetting
 - 4 sottoreti con 64 host ciascuna (Host_id: 6 bit) (subnet mask 255.255.255.192)
 - 1 sottorete divisa in due ulteriori sottoreti con 32 host ciascuna (Host_id: 5 bit) (subnet mask 255.255.255.224)



Classless Inter Domain Routing

➤ **Nel 1996 erano stati assegnati**

- 100 % degli indirizzi di classe A
- 61.95 % degli indirizzi di classe B (*rischio esaurimento*)
- 36.44 % degli indirizzi di classe C

➤ **CIDR è stato ideato per**

- affrontare l'esaurimento dello spazio di indirizzamento di IP (raddoppio degli host ogni anno)
- diminuire la complessità delle tabelle di instradamento nei router
- velocizzare le operazioni di instradamento nei router

➤ **Il CIDR tende ad eliminare le classi di indirizzo**

Classless Inter Domain Routing

➤ CIDR è basato sulla tecnica Supernetting

- la metà superiore della classe A (da 64 a 127) è stata riservata per usi futuri
- un indirizzo di classe B è assegnato solo se la rete ha
 - almeno 32 sotto-reti
 - oltre 4096 host complessivi
- gli indirizzi della metà inferiore della classe C (da 192.0.0 a 207.255.255) sono divisi in otto blocchi assegnati ciascuno ad una autorità geografica
 - gli indirizzi della metà superiore della classe C (da 208.0.0 a 223.255.255) non sono assegnati
- ad una rete che non soddisfa i requisiti per la classe B è assegnato un certo numero di blocchi contigui di indirizzi di classe C
 - la rete sia caratterizzata da un unico *prefisso* (insieme dei bit più significativi)
 - la rete sarà individuata nei router solo dal *prefisso*

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Classless Inter Domain Routing

➤ Pianificazione geografica degli indirizzi di classe C

Multiregional	192.0.0	193.255.255
Europe	194.0.0	195.255.255
Others	196.0.0	197.255.255
North America	198.0.0	199.255.255
Central/South America	200.0.0	201.255.255
Pacific Rim	202.0.0	203.255.255
Others	204.0.0	205.255.255
Others	206.0.0	207.255.255

➤ Tutte le reti appartenenti ad una regione geografica sono identificate dagli stessi 7 bit di prefisso

- Esempio: Europa
 - da 194 = 11000010 0 a 195 = 11000011 1

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Classless Inter Domain Routing

➤ Esempio

- Assegnazione degli indirizzi nel Nord America
 - CIDR mask per il Nord America = 198.0.0.0/7
- Ad un grande Internet Service Provider (ISP) sono assegnati 2048 blocchi di indirizzi di classe C
 - da 198.24.0.0 (11000110.00011000.00000000.0)
 - a 198.31.255.0 (11000110.00011111.11111111.0)
 - CIDR mask per il grande ISP = 198.24.0.0/13
- Un piccolo ISP locale richiede al grande ISP 16 blocchi di indirizzi di classe C
 - da 198.24.16.0 (11000110.00011000.00010000.0)
 - a 198.24.31.0 (11000110.00011000.00011111.0)
 - CIDR mask per il piccolo ISP locale = 198.24.16.0/20

Classless Inter Domain Routing

- In una routing table un blocco di indirizzi può essere rappresentato da un unico elemento corrispondente al prefisso (Supernetting)
- Da un indirizzo IP a 32 bit e dalla relativa maschera di rete a 32 bit si individua il prefisso con una operazione di AND
- Viene scelto l'instradamento verso la direzione corrispondente al prefisso di lunghezza maggiore (Longest Prefix Matching)

Longest Prefix Matching

➤ Instradamento

- indirizzo 198.15.7.3
- indirizzo 198.15.7.4

➤ 198.15.7.3

- porta 1: matching prefisso 16
- porta 7: matching prefisso 24
- porta 4: matching prefisso 32

➤ 198.15.7.4

- porta 1: matching prefisso 16
- porta 7: matching prefisso 24
- porta 4: no matching

☰ Tabella di instradamento

Prefix	Porta d'uscita
198.15.0.0/16	1
198.15.7.0/24	7
198.15.7.3/32	4

☰ 198.15.7.3 ⇒ porta 4

☰ 198.15.7.4 ⇒ porta 7

Vincenzo Eramo

Instradamento in IPv4

Instradamento

- **Un cammino attraversato da un datagramma IP è composto da sotto-reti interconnesse da router**
- **Un datagramma è interpretato da una sotto-rete come un'unità di dati di servizio (SDU)**
- **Una sotto-rete consegna la SDU al router successivo o alla destinazione (se la destinazione è all'interno della sotto-rete) utilizzando i propri meccanismi protocollari**

Instradamento

- **Due tipi di instradamento**
 - diretto
 - indiretto
- **Instradamento diretto**
 - si applica quando il datagramma IP è diretto ad una sotto-rete connessa direttamente al router che effettua l'instradamento
- **Instradamento indiretto**
 - si applica quando il datagramma IP non è diretto ad una delle sotto-reti a cui è connesso il router
 - Il datagramma IP dovrà essere inviato ad un altro router

Instradamento diretto

- **Il trasferimento dei datagrammi IP non coinvolge router intermedi**
- **E' necessaria la traduzione dell'indirizzo IP dell'host di destinazione nel suo indirizzo fisico (es. indirizzo MAC)**
- **Il datagramma IP viene incapsulato nell'unità dati della sotto-rete che viene inviata direttamente all'host di destinazione**
- **L'instradamento all'interno della sotto-rete utilizza i meccanismi specifici della sotto-rete**

Instradamento indiretto

- **Il router esamina il datagramma IP ricevuto e decide il router successivo verso cui instradarlo**
 - l'instradamento attraverso la sotto-rete che connette i due router avviene secondo i meccanismi della sotto-rete
- **Il processo si ripete di router in router sino alla sotto-rete di destinazione**
 - nella sotto-rete di destinazione è utilizzato l'instradamento diretto

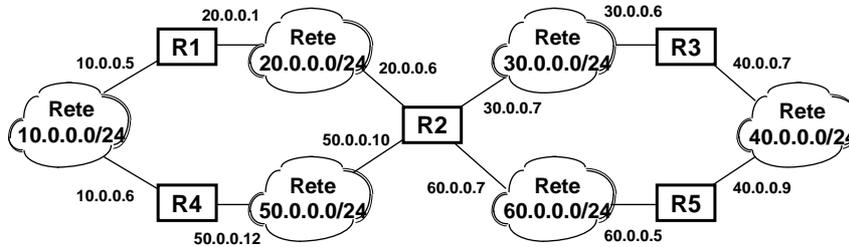
Routing Table (1/4)

- **La scelta del router verso cui inviare il datagramma avviene mediante la tabella di instradamento (Routing Table - RT) contenuta in ogni host e in ogni router**
- **Ogni elemento di una RT contiene**
 - *Indirizzo/prefisso IP di destinazione* (host address o network address)
 - *Indirizzo del router successivo* (next hop router) sul cammino verso la rete di destinazione
 - *Indicazione dell'interfaccia fisica* di uscita
- **Un router non conosce il cammino completo verso la destinazione**

Routing Table (2/4)

- **Per l'instradamento di un datagramma, un router esegue i seguenti passi**
 - ricerca di un elemento secondo il "longest prefix matching"
 - ricerca del "router di default"
- **Se nessuno dei passi precedenti da esito positivo, il datagramma è "undeliverable"**
 - il datagramma è scartato
 - viene inviato un messaggio ICMP del tipo "host unreachable"

Routing Table (3/4)



Net_Id	Router_Id
10.0.0.0/24	20.0.0.1
20.0.0.0/24	Instradamento diretto
30.0.0.0/24	Instradamento diretto
40.0.0.0/24	30.0.0.6
50.0.0.0/24	Instradamento diretto
60.0.0.0/24	Instradamento diretto

Net_Id	Router_Id
10.0.0.0/24	30.0.0.7
20.0.0.0/24	30.0.0.7
30.0.0.0/24	Instradamento diretto
40.0.0.0/24	Instradamento diretto
50.0.0.0/24	30.0.0.7
60.0.0.0/24	40.0.0.9

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Routing Table (4/4)

➤ Il meccanismo del router di default è usato

- da piccoli host, che possono anche non avere una RT propria, e che inviano al router di default tutti i datagrammi non diretti alla rete cui sono collegati
- da router con una tabella di discrete dimensioni ma che tuttavia non copre tutte le possibili destinazioni

Reti di Telecomunicazioni - Vincenzo Eramo - A.A. 2004/2005

Funzione di Instradamento

- **La funzione di instradamento ha lo scopo di inoltrare un datagramma IP verso la destinazione corretta**
- **Ad ogni ramo uscente da un Router è associato un costo (metrica) che può essere:**
 - uguale per tutti i rami e pari ad 1
 - inversamente proporzionale alla banda del ramo
 - proporzionale al costo d'uso del ramo
 - infinito se il ramo è guasto
- **La scelta del percorso avviene scegliendo il cammino a costo minimo**

Funzione di Instradamento

- **La scelta del cammino deve essere dinamica**
 - la topologia di Internet varia nel tempo
 - in caso di guasti alcuni cammini non sono utilizzabili
- **Un strategia di instradamento dinamica**
 - è più complessa rispetto all'instradamento fisso
 - richiede lo scambio di informazioni tra i nodi, che rappresenta un carico addizionale per la rete
 - il traffico di controllo aumenta se diminuisce il tempo di adattività dell'algoritmo
- **Lo scambio di informazione tra i nodi è regolato dai protocolli di Routing**
- **Le Routing Table sono aggiornate dinamicamente**

Autonomous Systems

- Un sistema autonomo (*Autonomous System - AS*) è un insieme di host e router controllato da una singola autorità amministrativa
- Ogni AS ha il proprio protocollo di instradamento
- Un router interno ad un AS è detto *Interior Gateway*
- Un *Exterior Gateway* è un Router di un AS collegato ad almeno un Router di un altro AS

Interior e Exterior Gateway Protocols

- I protocolli di instradamento all'interno di un AS sono detti *Interior Gateway Protocols (IGP)*
 - Routing Information Protocol (RIP)
 - Open Shortest Path First (OSPF)
- Le informazioni di instradamento che coinvolgono più di un sistema autonomo sono gestite mediante gli *Exterior Gateway Protocols (EGP)*
 - Border Gateway Protocol (BGP)

Interior e Exterior Gateway Protocols

