

Livello di Rete

Circuiti virtuali e datagram

La funzione di instradamento

Costruzione della tabella di routing

Algoritmi di routing adattivi:

distance vector routing e link-state routing

Routing gerarchico

Internet Protocol:

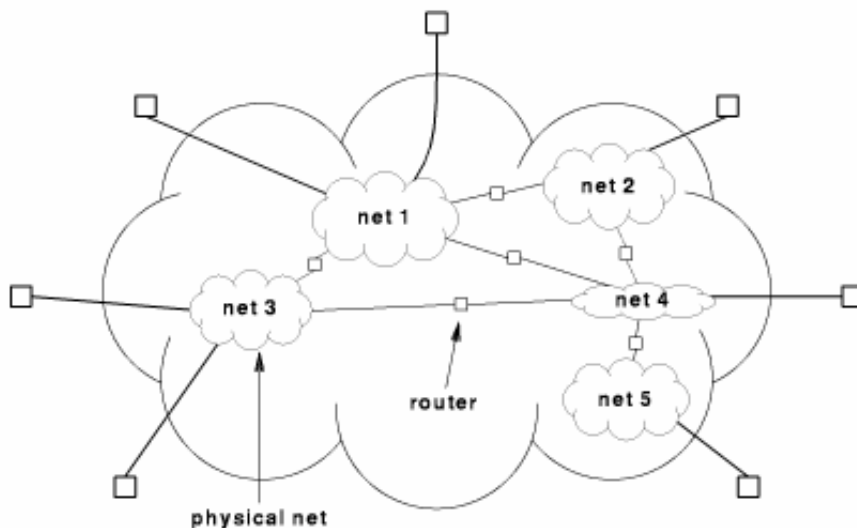
IP datagram, classi di indirizzi IP, notazione decimale a punti, indirizzi speciali e privati, assegnazione degli indirizzi

IP, inoltro dei datagrammi IP

Prof. Filippo Lanubile

Obiettivo

- Trasporto di pacchetti da una sorgente ad una destinazione
- Può essere necessario attraversare diversi router intermedi e quindi scegliere il percorso più appropriato



Prof. Filippo Lanubile

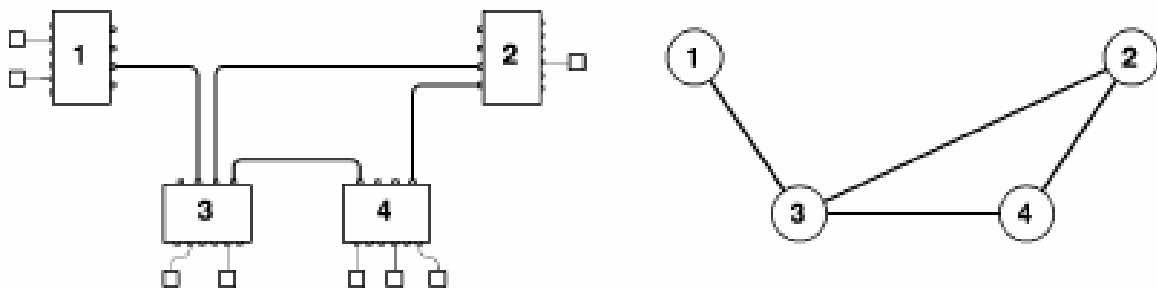
Organizzazione del livello di rete

- Come la rete gestisce un messaggio frammentato in più pacchetti?
- Tipi di servizio
 - Servizio di rete orientato alla connessione
 - Commutazione di pacchetto a circuito virtuale
 - Usato prevalentemente all'interno di reti geografiche
 - Servizio di rete senza connessione
 - Commutazione di pacchetto datagram
 - Usato prevalentemente per l'interconnessione di reti

Prof. Filippo Lanubile

La funzione di instradamento

- La funzione di instradamento (routing) ha la responsabilità di decidere su quale linea trasmettere un pacchetto in arrivo
- Una rete (o inter-rete) e' modellizzabile come un grafo con nodi che rappresentano gli host ed elementi intermedi (Router) e legami che rappresentano le linee di comunicazione



Prof. Filippo Lanubile

Routing Table

- Un router realizza la funzione di routing per mezzo di una routing table
 - una registrazione per ogni destinazione
 - per ogni registrazione, indirizzo del salto successivo (canale su cui instradare il pacchetto)

destin- ation	next hop	destin- ation	next hop	destin- ation	next hop	destin- ation	next hop
1	-	1	(2,3)	1	(3,1)	1	(4,3)
2	(1,3)	2	-	2	(3,2)	2	(4,2)
3	(1,3)	3	(2,3)	3	-	3	(4,3)
4	(1,3)	4	(2,4)	4	(3,4)	4	-
<i>node 1</i>		<i>node 2</i>		<i>node 3</i>		<i>node 4</i>	

Prof. Filippo Lanubile

Costruzione della routing table

- La routing table di un router e' costruita come output di un algoritmo di routing
 - Tempo di decisione: pacchetto, sessione
- Il problema da risolvere è:
 - trovare il cammino minimo tra due nodi
- Gli archi sono pesati
 - Metrica di prestazione/costo: distanza, numero di salti (hops), lunghezza delle code, ritardo medio di un pacchetto, larghezza di banda del canale
- Fattori critici: topologia e traffico
- Algoritmi non adattivi (routing statico)
 - la scelta del cammino è calcolata in anticipo e memorizzata su ogni nodo in una memoria non volatile
- Algoritmi adattivi (routing dinamico)
 - la scelta del cammino dipende dai cambiamenti di topologia e di traffico (costo)

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo del vettore distanza

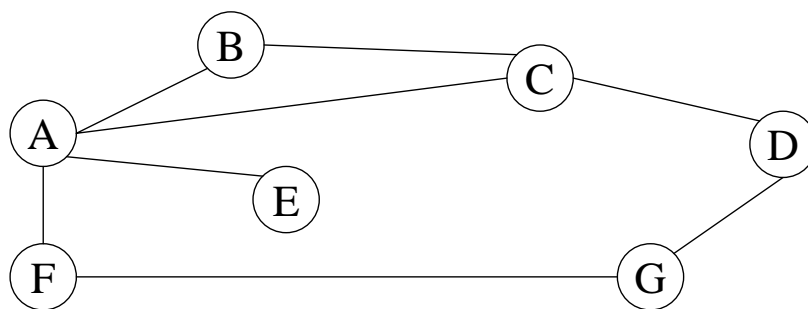
Distance vector routing

- Usato in Internet fino al 1979 con il protocollo RIP (routing information protocol)
- Ogni router mantiene una tabella contenente la migliore distanza (costo) conosciuta per ogni destinazione e quale canale utilizzare per raggiungerla

(Destination, Cost, NextHop)

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo del vettore distanza: rete di esempio



Routing table
del nodo B

Destination	Cost	Next Hop
A	1	A
C	1	C
D	2	C
E	2	A
F	2	A
G	3	A

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo del vettore distanza: stato iniziale

- ogni nodo conosce i costi dei collegamenti ai nodi adiacenti
- i collegamenti ai nodi non adiacenti o i collegamenti interrotti hanno costo infinito

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	∞	1	1	∞
B	1	0	1	∞	∞	∞	∞
C	1	1	0	1	∞	∞	∞
D	∞	∞	1	0	∞	∞	1
E	1	∞	∞	∞	0	∞	∞
F	1	∞	∞	∞	∞	0	1
G	∞	∞	∞	1	∞	1	0

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo del vettore distanza: aggiornamento tabelle

- Ogni nodo spedisce aggiornamenti ai suoi nodi adiacenti e riceve aggiornamenti dai suoi nodi adiacenti
 - periodicamente
 - se la tabella cambia (triggered update)
- Ogni aggiornamento è il vettore distanza
 - lista di coppie (Destination, Cost)
- Un nodo aggiorna la tabella locale se riceve un cammino migliore:
 - somma il costo minore al costo del nodo che lo ha proposto
 - es. A propone a B un costo 1 per raggiungere E: B aggiorna il costo per raggiungere E con $2 = 1 + 1$
 - prende nota (come Next Hop) del nodo che lo ha proposto
- Dopo aver scambiato diversi aggiornamenti con i nodi adiacenti, tutti i nodi conosceranno i cammini migliori verso tutti gli altri nodi

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo del vettore distanza: stato finale

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	1	1	2	1	1	2
B	1	0	1	2	2	2	3
C	1	1	0	1	2	2	2
D	2	2	1	0	3	2	1
E	1	2	2	3	0	2	3
F	1	2	2	2	2	0	1
G	2	3	2	1	3	1	0

Prof. Filippo Lanubile

Che succede se il collegamento tra F e G si interrompe?

- Il sistema aggiorna le proprie tabelle e ritorna di nuovo stabile
 - F si accorge che il collegamento a G è interrotto
 - F aggiorna a infinito la distanza da G e spedisce l'aggiornamento ad A
 - A aggiorna a infinito la distanza da G perché usa F per raggiungere G
 - A riceve un aggiornamento periodico da C con un percorso verso G di costo 2
 - A aggiorna a costo 3 via C la distanza da G e spedisce l'aggiornamento a F
 - F aggiorna a costo 4 via A la distanza da G

Prof. Filippo Lanubile

Che succede se il collegamento tra A ed E si interrompe?

- Problema del conteggio all'infinito: Il sistema non si stabilizza e nessuno riesce a sapere che E è irraggiungibile
 - A si accorge che il collegamento ad E è interrotto
 - A aggiorna a infinito la distanza da E e spedisce l'aggiornamento a B e C
 - B aggiorna ad infinito la distanza da E perché usa A per raggiungere E
 - Ma B riceve un aggiornamento da C (spedito prima C ricevesse l'aggiornamento da A) che lo informa che E è raggiungibile a costo 2
 - B aggiorna a costo 3 via C la distanza da E e spedisce l'aggiornamento ad A
 - A aggiorna a costo 4 via B la distanza da E e spedisce l'aggiornamento a C
 - C (che ora ha un costo infinito per E) aggiorna a costo 5 via A la distanza da E e spedisce l'aggiornamento a B ...
- Soluzione:
 - tagliare i cicli di routing (split horizon): non si rimandano al nodo adiacente la notifica di aggiornamenti effettuati su informazioni provenienti da quel nodo

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo dello stato della connessione

Link-state routing

- Usato attualmente in Internet con il protocollo OSPF (open shortest path first)
- Ipotesi
 - ogni nodo è in grado di raggiungere i nodi adiacenti e di misurare il costo di collegamento per ogni vicino
- Tesi
 - Se si distribuiscono queste informazioni a tutti i nodi della rete, ognuno di essi sarà in grado di costruire una mappa completa della rete
- Funzioni di base
 - Distribuzione affidabile a tutti i nodi delle informazioni sullo stato dei collegamenti
 - Calcolo presso ciascun nodo del cammino minimo verso una data destinazione

Prof. Filippo Lanubile

Distribuzione affidabile dello stato delle connessioni

Strategia

- spedire a tutti i nodi (non solo quelli adiacenti) le informazioni sui collegamenti diretti

Pacchetto di stato della connessione (Link State Packet, LSP)

- id del nodo che ha creato l'LSP
- costo del collegamento per ogni nodo adiacente
- numero di sequenza (SEQNO a 64 bit)
- tempo di vita (TTL)

Tattica: reliable flooding

- il nodo emette su tutte le sue linee in uscita le informazioni sui collegamenti diretti
- i nodi riceventi propagano le informazioni ricevute su tutte le loro linee in uscita
- la distribuzione va avanti finché le informazioni non si sono propagate a tutti i nodi della rete

Reliable flooding

- memorizza l'LSP più recente da ogni nodo
- Se riceve un nuovo LSP (SEQNO maggiore) propaga l'LSP a tutti i nodi eccetto il nodo da cui proviene
- genera periodicamente un nuovo LSP incrementando il SEQNO
- inizializza SEQNO a 0 al reboot
- decrementa TTL di ogni LSP memorizzato: un pacchetto con TTL a 0 è scartato

Prof. Filippo Lanubile

Calcolo del cammino minimo

- Con la ricezione di tutti i pacchetti LSP ogni nodo è in grado di costruire la mappa completa della rete
- Algoritmo di Dijkstra per il calcolo del cammino minimo
 - Dato un grafo con un costo non negativo assegnato ad ogni arco e un nodo sorgente designato
 - Calcola la distanza (costo) minima dal nodo sorgente a ogni altro nodo e una next hop routing table
- Esistono diverse varianti

Prof. Filippo Lanubile

Una variante dell'algoritmo di Dijkstra

- Grafo $G = (N, E)$, N insieme dei nodi ed E l'insieme degli archi
- $weight(i,j)$ denota il costo (weight) associato all'arco (i,j)
- $s \in N$ denota il nodo sorgente considerato
- $M \subseteq N$ denota l'insieme dei nodi già esaminati
- $D(n)$ denota la distanza (costo) del cammino minimo da s al nodo n
- $R(n)$ denota il next hop nel cammino minimo da s al nodo n

```
/* inizializzazione */  
M = {s}  
for each  $n \in N - \{s\}$  {  
    if  $(s,n) \in E$  {  
         $D(n) = weight(s,n)$   
         $R(n) = n$   
    }  
    else {  
         $D(n) = \infty$   
         $R(n) = 0$   
    }  
}
```

Prof. Filippo Lanubile

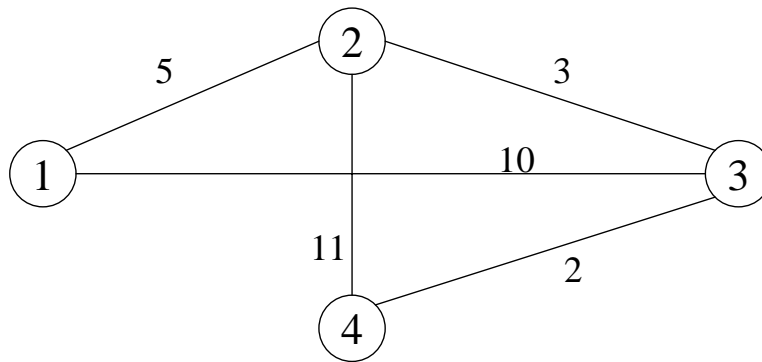
Una variante dell'algoritmo di Dijkstra

- Grafo $G = (N, E)$, N insieme dei nodi ed E l'insieme degli archi
- $weight(i,j)$ denota il costo (weight) associato all'arco (i,j)
- $s \in N$ denota il nodo sorgente considerato
- $M \subseteq N$ denota l'insieme dei nodi già esaminati
- $D(n)$ denota la distanza (costo) del cammino minimo da s al nodo n
- $R(n)$ denota il next hop nel cammino minimo da s al nodo n

```
/* visita dei nodi */  
while  $(N \neq M)$  {  
    scegli  $u$  tale che  $D(u)$  è il minimo  $\forall u \in (N - M)$   
     $M = M \cup \{u\}$   
    for each  $n \in (N - M)$  tale che  $(u,n) \in E$  {  
         $c = D(u) + weight(u,n)$   
        if  $(c < D(n))$  {  
             $R(n) = R(u)$   
             $D(n) = c$   
        }  
    }  
}
```

Prof. Filippo Lanubile

Algoritmo dello stato delle connessioni: rete di esempio



Routing table
del nodo 4

Destination	Distance (Cost)	Next Hop
1	10	3
2	5	3
3	2	3

Prof. Filippo Lanubile

Confronto tra i due algoritmi

Distance Vector Routing

- un nodo scambia informazioni (vettore distanza) solo con i nodi adiacenti
- un nodo invia tutte le informazioni di routing in suo possesso
- problemi di convergenza
- non richiede molta memoria

Link State Routing

- un nodo scambia informazioni (LSP) con tutti gli altri nodi
- un nodo invia le informazioni di routing sicure cioè solo quelle relative ai nodi adiacenti
- converge rapidamente
- molta memoria richiesta per memorizzare gli LSP

Prof. Filippo Lanubile

Routing gerarchico

- Problema delle dimensioni della routing table
- Soluzione: suddivisione gerarchica dei router in regioni
 - ogni routing table contiene:
 - una registrazione remota per ogni regione
 - una registrazione locale per ogni router della propria regione
- In Internet (collezione di reti autonome)
 - ogni rete autonoma corrisponde a una regione
 - Interior Gateway Protocol: protocollo di routing all'interno della regione (o rete autonoma)
 - protocollo raccomandato: OSPF (Open Shortest Path First) basato su link state routing
 - Exterior Gateway Protocol: protocollo di routing tra regioni diverse
 - protocollo raccomandato: BGP (Border Gateway Protocol) basato distance vector routing

Prof. Filippo Lanubile

IP - Internet Protocol

- Fornisce un metodo best-effort per trasportare datagram dalla sorgente alla destinazione, indipendentemente dall'esistenza di reti intermedie lungo il percorso
- Non orientato alla connessione: ogni datagram contiene l'indirizzo di partenza e di destinazione e può seguire un percorso diverso
- I datagram possono arrivare a 64KB ma in pratica sono lunghi circa 1500 byte: i datagram possono essere ulteriormente frammentati e poi ricostruiti alla destinazione
- Non affidabile: i datagram possono non arrivare o arrivare nell'ordine sbagliato
- Versione attuale: IPv4 (indirizzo 32 bit)
- Prossima versione: IPv6 (indirizzo 128 bit, sicurezza, ...)

Prof. Filippo Lanubile

Formato di un IP datagram

- Lunghezza variabile: max 64K
- Dimensione fissa dell'header

0	4	8	16	19	24	31
VERS	H. LEN	SERVICE TYPE	TOTAL LENGTH			
IDENTIFICATION			FLAGS	FRAGMENT OFFSET		
TIME TO LIVE		TYPE	HEADER CHECKSUM			
SOURCE IP ADDRESS						
DESTINATION IP ADDRESS						
IP OPTIONS (MAY BE OMITTED)					PADDING	
BEGINNING OF DATA : :						

Prof. Filippo Lanubile

Formato di un indirizzo IP

Indirizzo formato da un prefisso e un suffisso

- Il prefisso identifica la rete
 - ogni rete in Internet ha un network number unico che è assegnato dal NIC
- Il suffisso identifica l'host all'interno della rete
 - l'host address o host number e' unico per quel prefisso ed è gestito dall'amministratore della rete
- Il suffisso può ulteriormente essere suddiviso in subnet e host
 - il subnet number e' unico all'interno della rete (gestito dall'amministratore della rete)
 - l'host number e' unico all'interno della sottorete (gestito dall'amministratore della sottorete)

Prof. Filippo Lanubile

Classi di indirizzi IP

bits	0	1	2	3	4	8	16	24	31																						
Class A	0	prefix				suffix																									
Class B	1	0	prefix								suffix																				
Class C	1	1	0	prefix														suffix													
Class D	1	1	1	0	multicast address																										
Class E	1	1	1	1	reserved for future use																										

Address Class	Bits In Prefix	Maximum Number of Networks	Bits In Suffix	Maximum Number Of Hosts Per Network
A	7	128	24	16777216
B	14	16384	16	65536
C	21	2097152	8	256

Prof. Filippo Lanubile

Notazione decimale a punti

32-bit Binary Number	Equivalent Dotted Decimal
10000001 00110100 00000110 00000000	129 . 52 . 6 . 0
11000000 00000101 00110000 00000011	192 . 5 . 48 . 3
00001010 00000010 00000000 00100101	10 . 2 . 0 . 37
10000000 00001010 00000010 00000011	128 . 10 . 2 . 3
10000000 10000000 11111111 00000000	128 . 128 . 255 . 0

Class	Range of Values
A	0 through 127
B	128 through 191
C	192 through 223
D	224 through 239
E	240 through 255

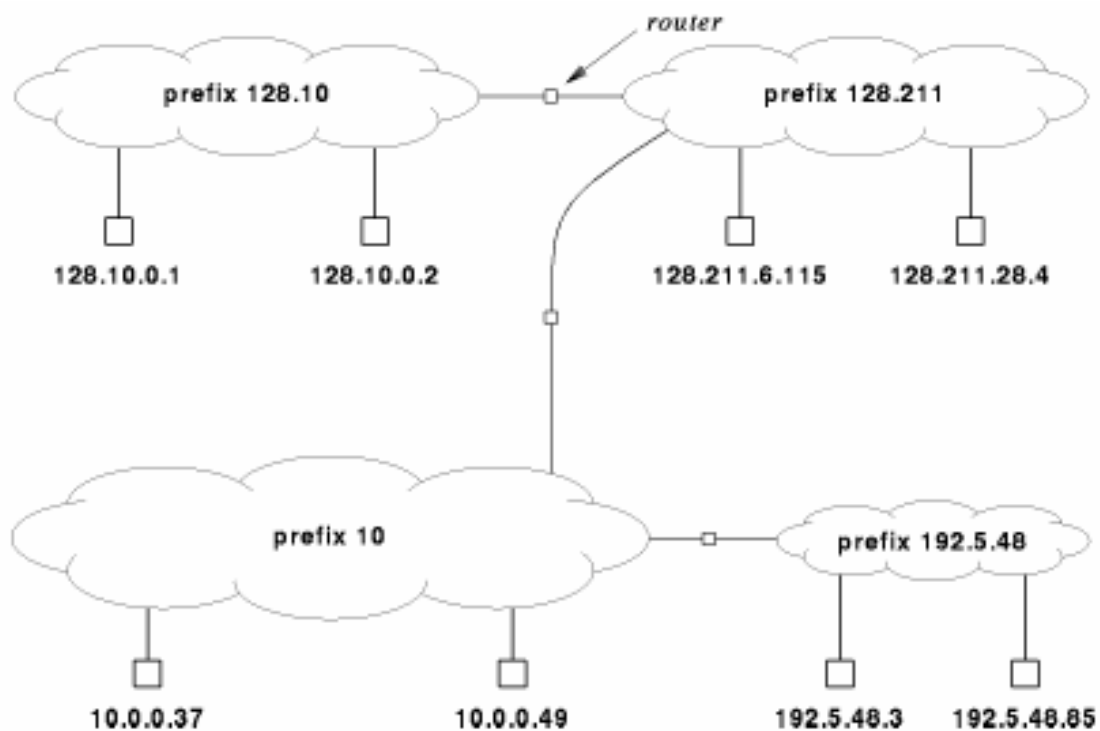
Prof. Filippo Lanubile

Indirizzi speciali

Prefix	Suffix	Type Of Address	Purpose
all-0s	all-0s	this computer	used during bootstrap
network	all-0s	network	identifies a network
network	all-1s	directed broadcast	broadcast on specified net
all-1s	all-1s	limited broadcast	broadcast on local net
127	any	loopback	testing

Prof. Filippo Lanubile

Assegnazione di indirizzi IP in una inter-rete



Prof. Filippo Lanubile

Indirizzi IP privati

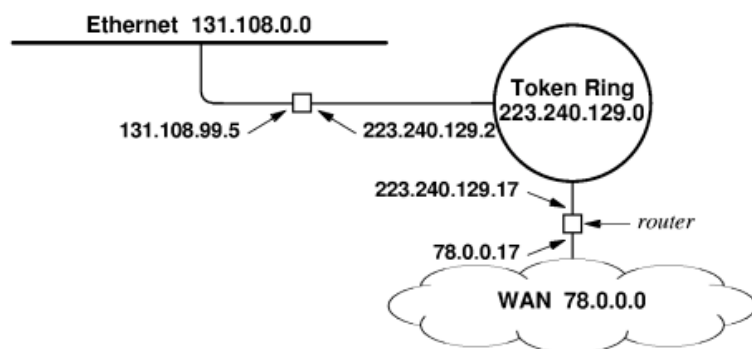
- Utilizzabili per inter-reti private, ovvero reti private che usano l'Internet suite ma non sono interconnesse ad Internet

Class	Network Address Range
A	10.0.0.0 - 10.255.255.255 (10.0.0.0/8)
B	172.16.0.0 – 172.31.255.255 (172.16.0.0/12)
C	192.168.0.0-192.168.255.255 (192.168.0.0/16)

Prof. Filippo Lanubile

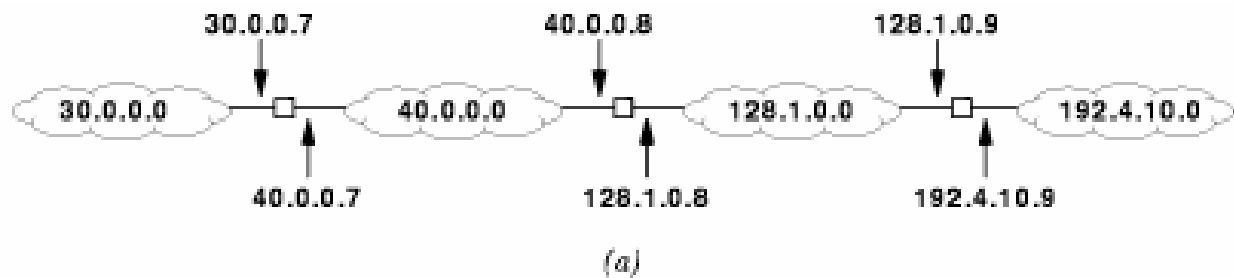
Nodi e indirizzi IP

- Un indirizzo IP individua un collegamento fra un nodo e una rete
- Un nodo con più connessioni deve avere un indirizzo IP per ogni rete connessa
 - Es. router
 - Es. proxy server



Prof. Filippo Lanubile

Inoltro dei datagrammi IP



Destination	Mask	Next Hop
30.0.0.0	255.0.0.0	40.0.0.7
40.0.0.0	255.0.0.0	deliver direct
128.1.0.0	255.255.0.0	deliver direct
192.4.10.0	255.255.255.0	128.1.0.9

- Quando arriva un datagramma con indirizzo di destinazione D, il router esegue in loop la seguente istruzione
if ((Mask[i] & D)==Destination[i]) then forward to NextHop[i];
- Es. se arriva un datagramma per 192.4.10.3 il next hop è 128.1.0.9 perché $255.255.255.0 \& 192.4.10.3 == 192.4.10.0$

Prof. Filippo Lanubile