

Università della Calabria D.E.I.S.



Prof. F. De Rango

Corso di

Fondamenti di Reti di Telecomunicazioni

a.a. 2018-2019

Livello rete: Instradamento




Università della Calabria D.E.I.S.

Prof. F. De Rango


Router IP

- L'instradamento è una funzione di natura logica che ha lo scopo di guidare l'informazione di utente verso la destinazione desiderata
- In Internet ogni datagramma IP attraversa un cammino composto da sotto-reti interconnesse da router
- I router IP ricevono datagrammi IP da un'interfaccia e li inoltrano su un'altra
- I router IP hanno (normalmente) un indirizzo IP per ogni interfaccia



Università della Calabria D.E.I.S.

Router IP



Prof. F. De Rango

ETHERNET 128.10.0.0


128.10.2.3 Marte 128.10.2.8 Giove 128.10.2.70 Saturno 128.10.2.26 Venere

192.5.48.3 Marte 192.5.48.8 Giove 192.5.48.7 Saturno

192.5.48.1 Plutone 192.5.48.6 Mercurio 10.2.0.37


Token Ring 192.5.48.0

- “Marte” e “Saturno” sono multi-homed host, in quanto connessi sia alla Token Ring che a Ethernet; hanno quindi due indirizzi.
- Il gateway “Mercurio” interconnette la Token Ring a un'altra rete (ARPANET) e quindi anch'esso ha due indirizzi.
- Siccome gli indirizzi sono utilizzati per l'instradamento, se ci riferiamo a “Marte” con l'indirizzo 192.5.48.3 il messaggio arriva tramite la Token Ring; se invece usiamo 128.10.2.3, il messaggio arriva tramite l'Ethernet



Università della Calabria D.E.I.S.

Interconnessione di reti tramite Router




Prof. F. De Rango

Livelli 4-7 Rete (IP) Data Link Fisico


rete 1 rete 2

- I router lavorano al livello 3 OSI (livello di rete)
- Sono indirizzati esplicitamente
- I nodi della rete devono conoscere l'indirizzo del router



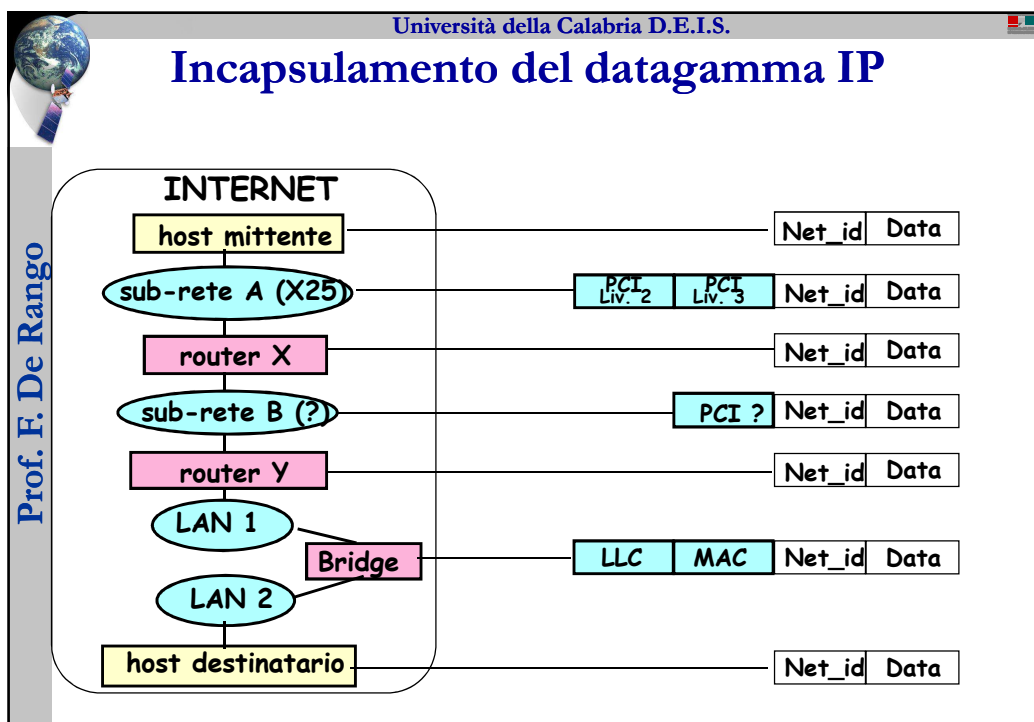
Università della Calabria D.E.I.S.


Instradamento IP




Prof. F. De Rango

- Quando un router consegna un datagramma ad una sotto-rete, questo diventa l'unità di dati di servizio (SDU) propria dello strato immediatamente inferiore a IP di questa sotto-rete
- La sotto-rete consegna tale unità dati al prossimo router o a destinazione (se la destinazione è all'interno della sotto-rete) con le stesse modalità con cui tratta le unità dati ad essa "appartenenti"






Università della Calabria D.E.I.S.




Instradamento IP

Prof. F. De Rango

- Si è messo in evidenza Net-id nel datagramma IP, perché i router instradano i datagrammi verso la rete logica di destinazione e non verso il singolo host
- L'algoritmo di instradamento nei router determina la sequenza dei router da attraversare e si basa solo sulla componente Net-id dell'indirizzo IP di destinazione
- La componente Host-id viene presa in considerazione solo dai router della rete logica di destinazione



Università della Calabria D.E.I.S.



Instradamento IP


Prof. F. De Rango

Instradamento diretto

- si applica quando la trasmissione di un datagramma IP avviene tra due host connessi alla stessa sotto-rete


Instradamento indiretto

- si applica quando la trasmissione di un datagramma IP deve attraversare almeno un router, cioè avviene tra due host connessi su differenti sotto-reti



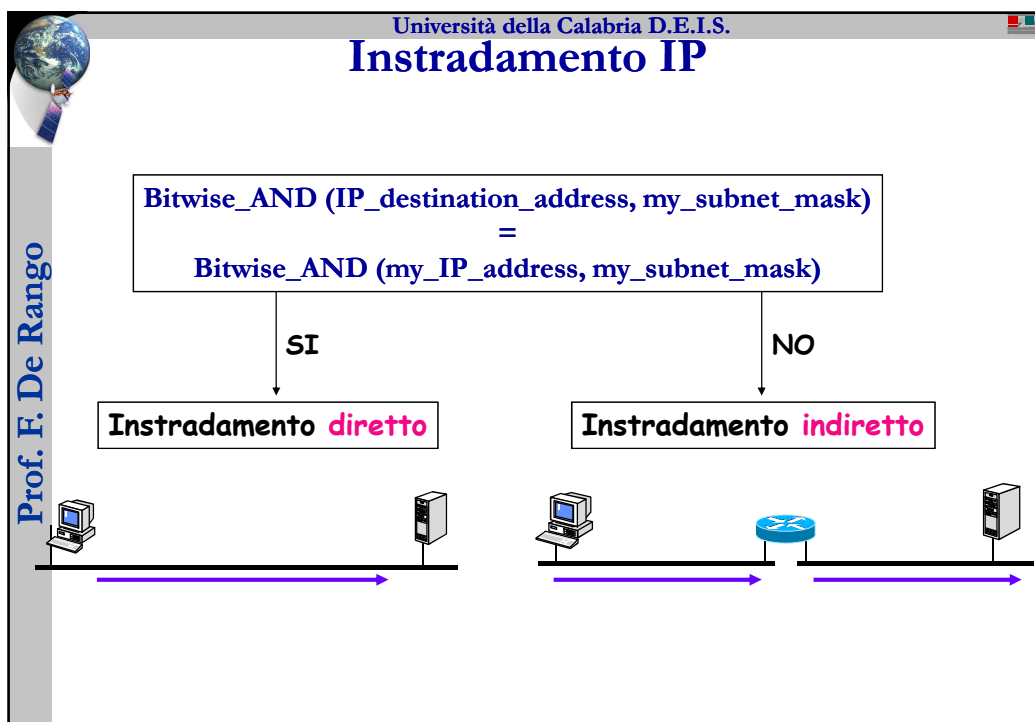
Università della Calabria D.E.I.S.

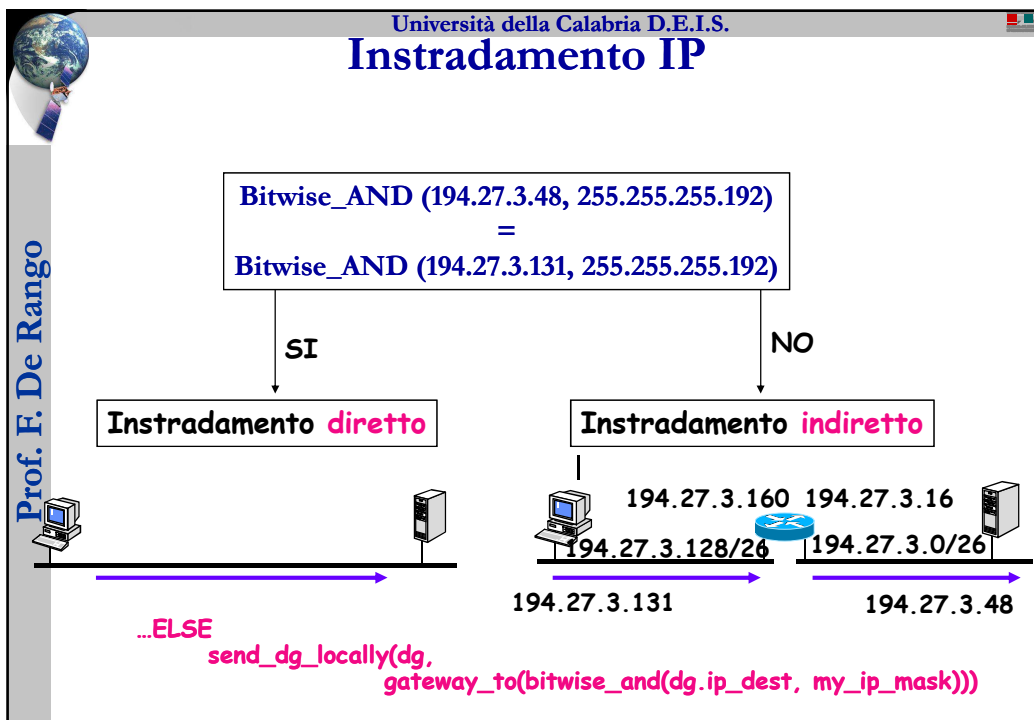
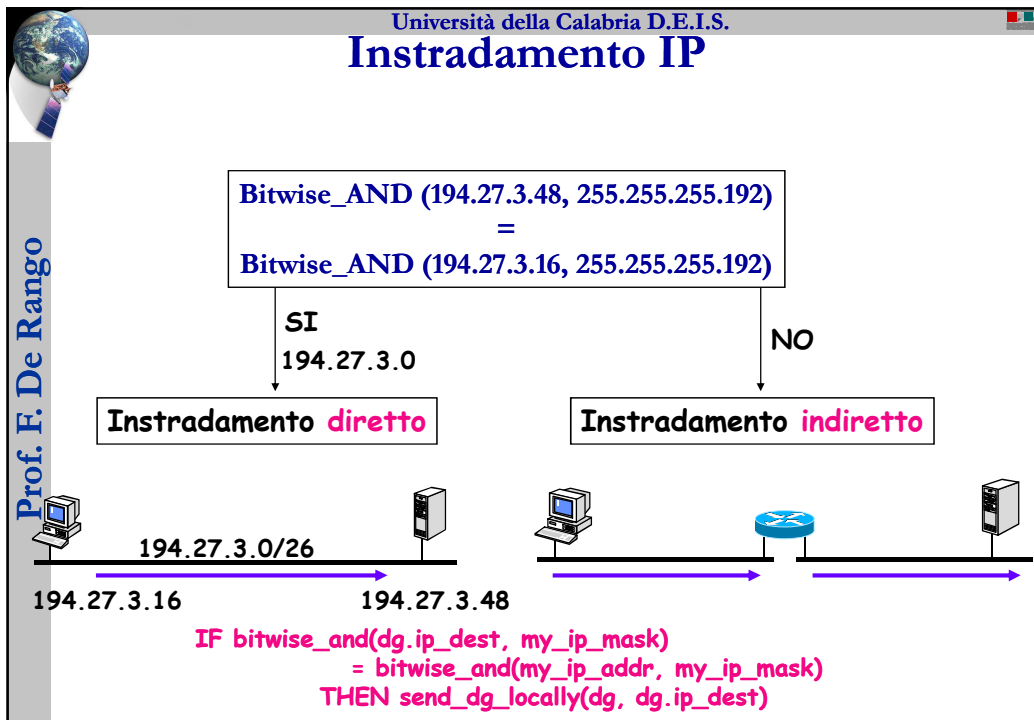
Instradamento IP




Prof. F. De Rango

- La decisione tra instradamento diretto e indiretto viene presa in base alla corrispondenza tra l'indirizzo di destinazione e gli indirizzi delle sottoreti a cui il nodo è direttamente connesso
- Caso 1: la sottorete logica coincide con la sottorete fisica
 - ✗ l'host mittente confronta la parte del proprio indirizzo corrispondente a Net-id+Subnet-id con la parte in questione dell'indirizzo dell'host di destinazione (se non si usano le subnet il confronto avviene solo con Net-id)
- Caso 2: la sottorete logica è una parte della sottorete fisica
 - ✗ l'host mittente usa l'instradamento diretto solo per gli host della stessa sotto-rete logica
 - ✗ l'host è configurato con l'elenco delle sotto-reti logiche direttamente raggiungibili









Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento diretto




Prof. F. De Rango

- Lo scambio di datagrammi tra host connessi alla stessa sottorete **NON** coinvolge i router
- L'host IP sorgente incapsula il datagramma nell'unità dati tipica della sotto-rete, traduce l'indirizzo IP di destinazione nel corrispondente indirizzo locale di quella sotto-rete, e lo invia direttamente all'host di destinazione
- L'instradamento all'interno della sotto-rete utilizza i meccanismi propri della rete stessa e può essere qualunque e non significativo globalmente



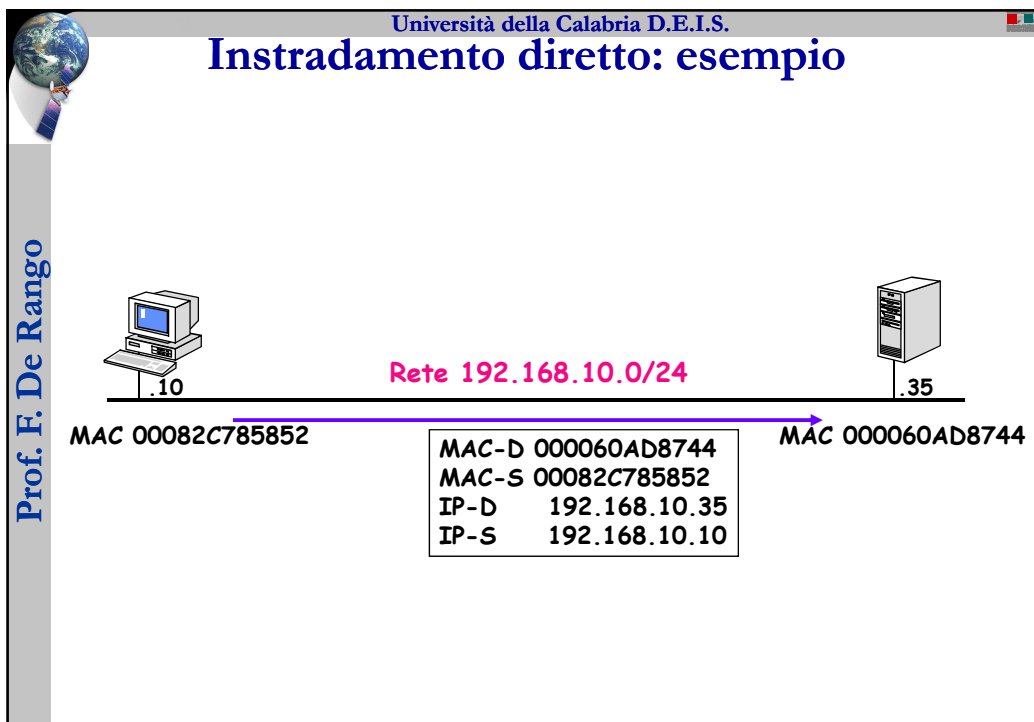
Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento diretto



Prof. F. De Rango

- Se un host IP deve consegnare un datagramma ad un altro host attraverso una sottorete comune, l'host sorgente deve conoscere l'indirizzo di sottorete del destinatario
- E' necessaria un'operazione di traduzione di indirizzi IP in indirizzi specifici della sotto-rete (es. MAC)
- La corrispondenza tra gli indirizzi IP (indirizzi di livello 3) e gli indirizzi di livello 2 è gestita dal protocollo ARP (Address Resolution Protocol)
- Gli indirizzi di livello 2 possono essere:
 - × indirizzi MAC nelle LAN
 - × identificatori di circuito virtuale nelle reti X.25, Frame Relay e ATM
 - × etc.




Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento indiretto


Prof. F. De Rango

- L'host mittente identifica il router più vicino a cui inviare il datagramma IP utilizzando la sotto-rete fisica a cui è connesso (instradamento diretto)
- Il router esamina il datagramma ricevuto e decide verso quale altro router (next-hop router) indirizzarlo, nel cammino verso la rete logica di destinazione
- Quindi il router usa un instradamento diretto per inoltrare il datagramma verso il router successivo attraverso la sottorete a cui sono entrambi collegati
- L'instradamento attraverso la sotto-rete che connette due router avviene secondo i meccanismi della sottorete




Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento indiretto




Prof. F. De Rango

- Il processo si ripete di router in router, finché il datagramma arriva ad un router collegato alla stessa sotto-rete dell'host di destinazione
- Nella sotto-rete di destinazione il datagramma viene inviato dal router allo specifico host tramite instradamento diretto
- Si può dire che l'instradamento indiretto è una successione di instradamenti diretti coordinata dai router
- I router non si occupano dell'instradamento all'interno delle sotto-reti

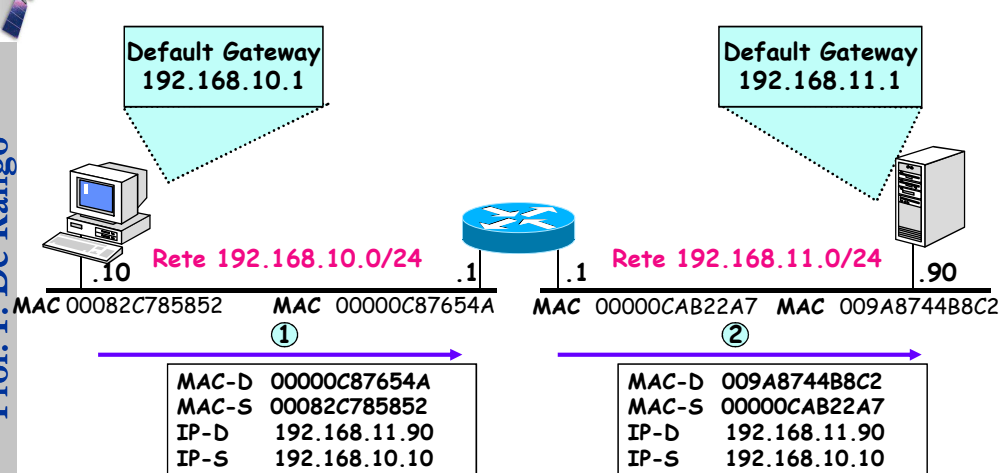


Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento indiretto: esempio




Prof. F. De Rango



MAC-D	00000C87654A
MAC-S	00082C785852
IP-D	192.168.11.90
IP-S	192.168.10.10


MAC-D	009A8744B8C2
MAC-S	00000CAB22A7
IP-D	192.168.11.90
IP-S	192.168.10.10

Gli indirizzi di livello 3 non cambiano mai durante il tragitto di un datagram, mentre quelli di livello 2 individuano gli apparati interessati alla trasmissione del pacchetto all'interno di una particolare sottorete.



Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento indiretto




Prof. F. De Rango

Resta da scoprire:


- Come un host mittente individua il primo router a cui inviare un datagramma?
- Come tale router decide verso quale altro router inoltrare a sua volta il datagramma?
- Quali sono le procedure operative seguite dagli host per inviare i datagrammi e dai router per inoltrarli (forwarding)?

Occupiamoci prima delle procedure operative ipotizzando che host e router sappiano verso quale altro router inviare/rilanciare un datagramma



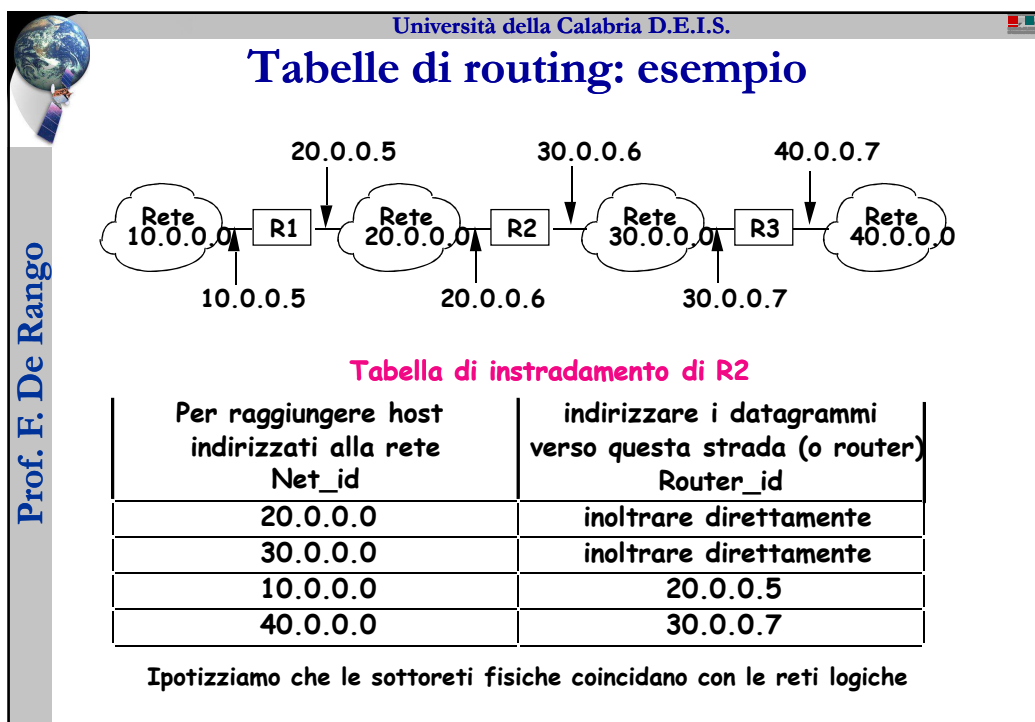
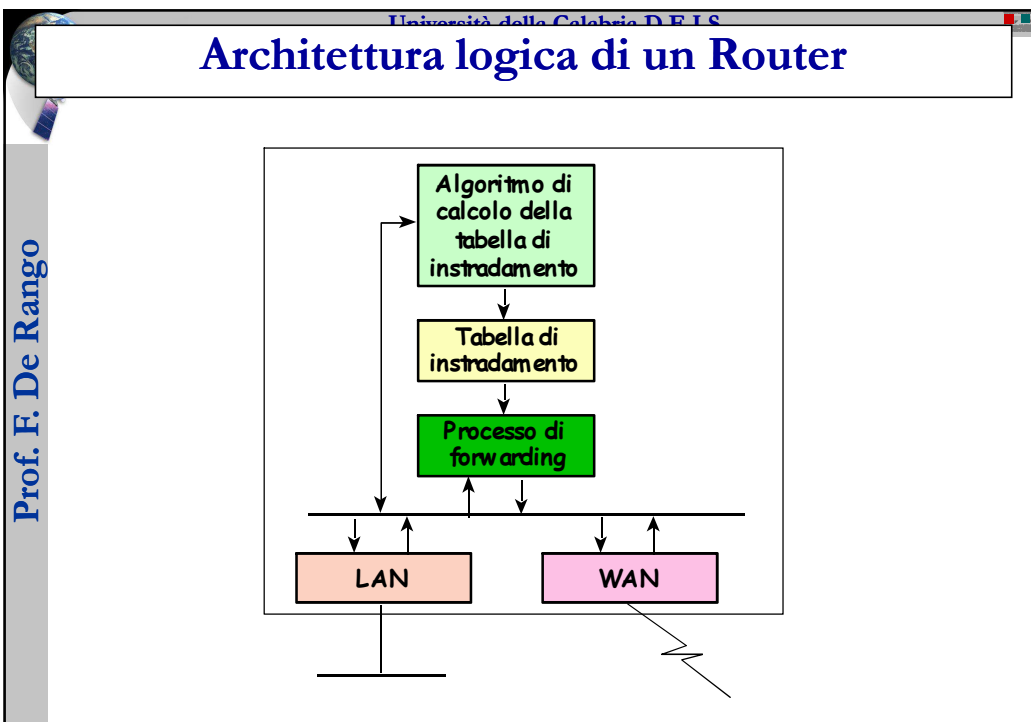
Università della Calabria D.E.I.S.


Tabelle di routing



Prof. F. De Rango


- Il meccanismo operativo usato per l'instradamento IP è basato su una tabella di instradamento (routing) che ogni host/router mantiene allo scopo di conoscere le possibili destinazioni e i modi per raggiungerle
- Una tabella di instradamento contiene le coppie (N,R), dove N è l'indirizzo della rete di destinazione e R è l'indirizzo IP del prossimo router (next-hop router) verso la rete di destinazione
 - ✗ solo nella rete di destinazione, R diventa l'indirizzo IP dell'host destinazione
- La tabella di instradamento specifica solo *un passo* lungo il cammino verso la destinazione; perciò un router non conosce il cammino completo del datagramma ma solo il passo successivo; quindi la tabella contiene indirizzi R raggiungibili solo attraverso una singola sottorete






Università della Calabria D.E.I.S.

Tabelle di routing




Prof. F. De Rango

- La dimensione della tabella di routing dipende dal numero di reti logiche interconnesse ma non dipende dal numero degli host
- Le tabelle contengono solo informazioni sulle reti logiche di destinazione e non sui singoli host, al fine di:
 - ✗ nascondere i dettagli inerenti la inter-rete
 - ✗ mantenere piccole le tabelle di instradamento
 - ✗ consentire un instradamento efficiente




Università della Calabria D.E.I.S.

Tabelle di routing




Prof. F. De Rango

- Una tabella di routing può contenere anche una Metrica che definisce la distanza dalla destinazione, espressa secondo varie unità di misura (es. distanza fisica, numero di sottoreti da attraversare o numero di salti, costo del percorso intermini di affidabilità o tempo di attraversamento o integrità informativa, etc.)
- La metrica può essere opzionalmente usata nel decidere l'instradamento
 - ✗ per soddisfare ai requisiti di utente espressi nel campo Service Type del datagramma, o per ottimizzare le decisioni degli algoritmi di routing




Università della Calabria D.E.I.S.

Tabelle di routing




Prof. F. De Rango

- La metrica associata ad ogni hop da router a router può essere:
 - inversamente proporzionale alla banda del ramo
 - proporzionale al carico istantaneo sul ramo
 - proporzionale al costo d'uso del ramo
 - qualsiasi combinazione tra i precedenti criteri
- Il router sceglie il percorso che minimizza il costo (percorso a costo minimo) in base ad **algoritmi di routing**
- Per determinare il percorso a costo minimo il router deve avere informazioni sui costi dei percorsi alternativi attraverso la rete di cui fa parte; per acquisire tali informazioni si usano **protocolli di routing**

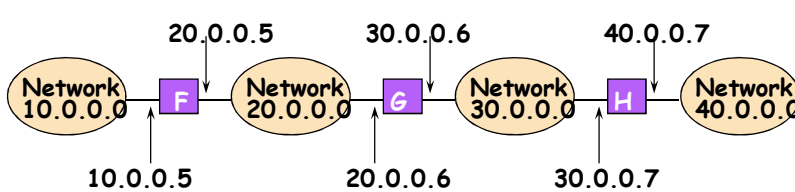


Università della Calabria D.E.I.S.

Tabelle di routing: esempio

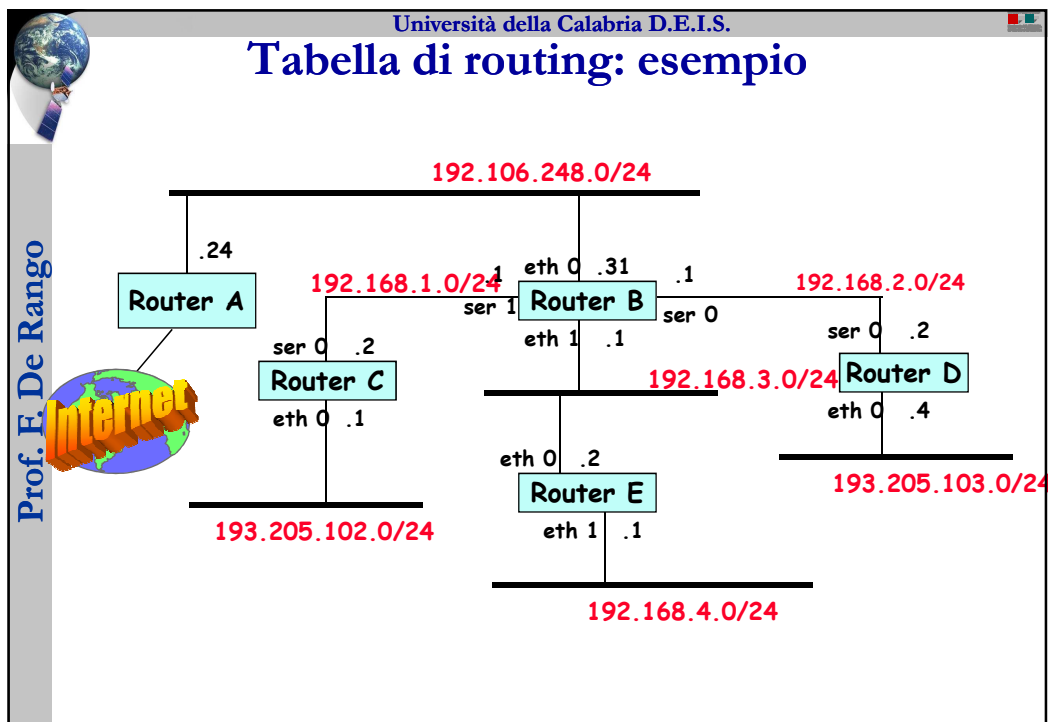


Prof. F. De Rango



Network	Prefix	Next Hop	Metrica
30.0.0.0/8		Direct	0
20.0.0.0/8		Direct	0
10.0.0.0/8		20.0.0.5	1
40.0.0.0/8		30.0.0.7	1

Tabella di routing di G



Università della Calabria D.E.I.S.


Tabella di routing: router B

❑ ROUTER B (router CISCO)

router B #show ip route


192.106.248.0/24		is directly connected
192.168.1.0/24		is directly connected
192.168.2.0/24		is directly connected
192.168.3.0/24		is directly connected
193.205.102.0/24	[120/1]	via 192.168.1.2
193.205.103.0/24	[120/1]	via 192.168.2.2
192.168.4.0/24	[120/1]	via 192.168.3.2
0.0.0.0 0.0.0.0	[1/0]	via 192.106.248.24

Network Prefix Metrica Next Hop




Università della Calabria D.E.I.S.

Router di default




Prof. F. De Rango

- Se un router non trova un instradamento nella sua tabella allora indirizza i suoi datagrammi verso un “router di default” (generalmente una macchina più potente, destinata principalmente ad operazioni di instradamento)
- Il meccanismo del router di default è usato:
 - ✗ da piccoli host che possono anche non avere una tabella propria ed che inviano al router di default tutti i datagrammi non diretti alla rete/sottorete logica cui sono collegati
 - ✗ da router con una tabella di discrete dimensioni, ma che non copre tutte le possibili destinazioni
- Quindi nella tabella di routing di un host/router deve essere presente una linea con N=“tutte le altre” e R=default router



Università della Calabria D.E.I.S.


Algoritmo di instradamento nel nodo X



Prof. F. De Rango


Il nodo X ha ricevuto un datagramma con indirizzo IP di destinazione pari a Y

- 1) estrai l'indirizzo IP di destinazione (Y) dal datagramma in arrivo
- 2) se è stata richiesta una strada specifica nel campo Source Route Option, invialo verso quella strada (trascurando le informazioni nella tabella di routing)
- 3) se l'indirizzo Y coincide con quello di X del nodo in esame, estraine il contenuto informativo e consegnalo agli strati superiori per l'ulteriore elaborazione (anche i datagrammi broadcast)
- 4) decrementa il Time to live del datagramma; se questo è arrivato a zero, scarta il datagramma e comunicalo all'host mittente (tramite ICMP)




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nel nodo X




Prof. F. De Rango

- 5) altrimenti determina la componente Net_Id.Subnet_id dell'indirizzo Y (usando la maschera di sottorete)
- 6) se la componente Net_Id.Subnet_id coincide con la corrispondente componente di X, invia il datagramma direttamente (con instradamento diretto); cioè traduci l'indirizzo IP Y in indirizzo locale ed incapsula il datagramma nell'unità dati della sottorete in questione (viene presa in considerazione anche la componente SubHost_id)
- 7) altrimenti, consulta la tabella di instradamento; se la componente Net_Id.Subnet_id è inclusa nella tabella instrada il datagramma come specificato nella tabella




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nel nodo X




Prof. F. De Rango

- 8) altrimenti, verifica se almeno la componente Net_id è contenuta in tabella; in tal caso instrada il datagramma come specificato in tabella (se la Subnet_id ha dimensione zero, i passi 7 e 8 coincidono)
- 9) altrimenti, se è stata specificata una strada di default, invia il datagramma al default router
- 10) altrimenti dichiara un errore di instradamento (invocando eventualmente ICMP) e scarta il datagramma



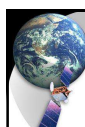
Università della Calabria D.E.I.S.

Precisazioni




Prof. F. De Rango

- L'algoritmo di instradamento nel nodo X descritto è teoricamente valido sia per host che per router
- Esistono però delle differenze tra host e router, perché un host non contiene tutti i protocolli di un router e, inoltre, la sua tabella di routing tipicamente è configurata dall'amministratore di rete e non viene aggiornata dinamicamente, come accade per i router
- La tendenza è quella di evitare che un host rilanci datagrammi non diretti a se stesso:
 - ✗ se un host ha ricevuto un datagramma non diretto a se stesso, significa che si è verificato un errore di instradamento; se l'host vi pone rimedio è difficile per il gestore di rete individuare l'errore




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nell'host X



Prof. F. De Rango

- L'algoritmo di instradamento nell'host X, alla ricezione di un datagramma con indirizzo destinazione Y, si semplifica nel modo seguente:
 - 1) estrai l'indirizzo IP di destinazione (Y) dal datagramma in arrivo
 - 2) se l'indirizzo Y coincide con quello X dell'host, estraine il contenuto informativo e consegnalo agli strati superiori per l'ulteriore elaborazione
 - 3) altrimenti dichiara un errore di instradamento e scarta il datagramma




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nel nodo X

Il nodo (host/router) X ha generato un datagramma con indirizzo IP di destinazione pari a Y

- 1) se è stata richiesta una strada specifica nel campo Source Route Option, invia il datagramma verso quella strada
- 2) se l'indirizzo Y coincide con quello di X del nodo in esame, estraine il contenuto informativo e consegnalo agli strati superiori per l'ulteriore elaborazione (può succedere per casi particolari, es. controllo)
- 3) altrimenti determina la componente Net_Id.Subnet_id dell'indirizzo Y (usando la maschera di sottorete)

Prof. F. De Rango




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nel nodo X


- 4) se la componente Net_Id.Subnet_id coincide con la corrispondente componente di X, invia il datagramma direttamente (con instradamento diretto); cioè traduci l'indirizzo IP Y in indirizzo locale ed incapsula il datagramma nell'unità dati della sottorete in questione (viene presa in considerazione anche la componente SubHost_id)
- 5) altrimenti, consulta la tabella di instradamento; se la componente Net_Id.Subnet_id è inclusa nella tabella instrada il datagramma come specificato nella tabella

Prof. F. De Rango




Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmo di instradamento nel nodo X




Prof. F. De Rango

- 6) altrimenti, verifica se almeno la componente Net_id è contenuta in tabella; in tal caso instrada il datagramma come specificato in tabella (se la Subnet_id ha dimensione zero, i passi 5 e 6 coincidono)
- 7) altrimenti, se è stata specificata una strada di default, invia il datagramma al default router
- 8) altrimenti dichiara un errore di instradamento, notificandolo agli strati superiori (di X) e scarta il datagramma



Università della Calabria D.E.I.S.

Aggiornamento delle tabelle di routing



Prof. F. De Rango

- Le tabelle di routing possono essere costruite in modo:
 - ✖ **Statico**
 - le tabelle sono definite manualmente dal gestore di rete e restano invariate fino al successivo intervento del gestore
 - si usano negli host e in router di piccole dimensioni, in zone della inter-rete relativamente stabili (sia per configurazione fisica che per tipo e carico di traffico)
 - presuppongono l'uso di criteri fissi di instradamento
 - ✖ **Dinamico**
 - le tabelle sono calcolate dinamicamente in funzione della topologia della rete e dello stato dei link
 - presuppongono l'uso di criteri adattativi di instradamento

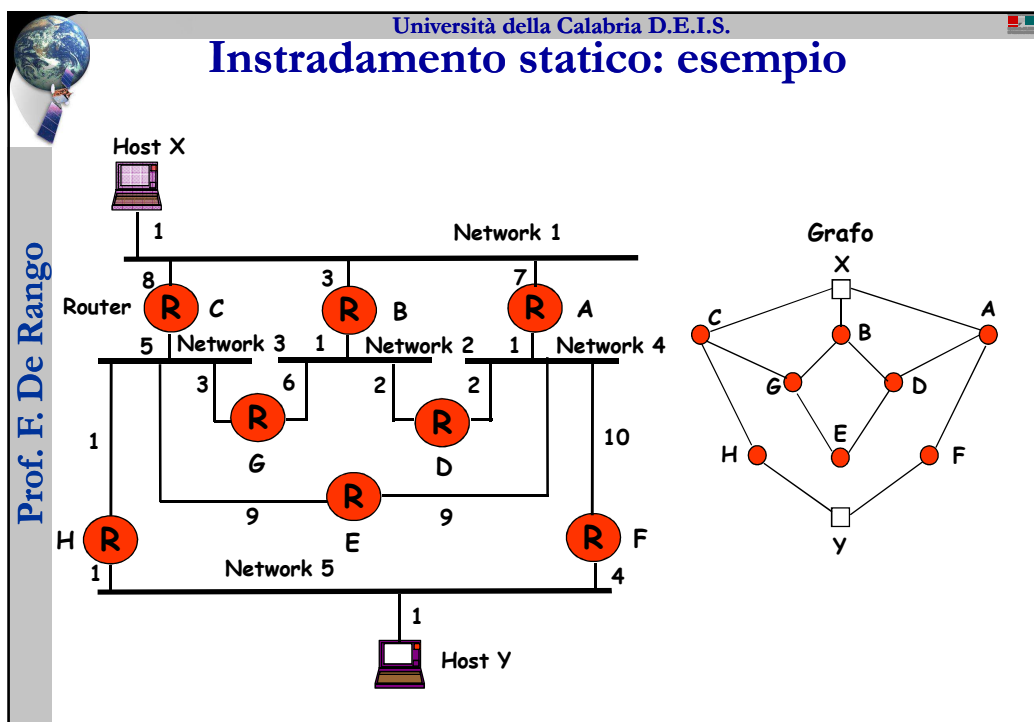
Prof. F. De Rango


Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento statico

- Gli algoritmi di routing statici (non adattativi, deterministici) usano criteri fissi di instradamento
- Un “unico” cammino “permanente” è individuato tra ogni coppia di nodi origine e destinazione nella rete
- Si ha una variazione di instradamento solo se cambia la topologia della rete
- La scelta del cammino è indipendente dal carico istantaneo sulla rete


Vantaggi: semplicità implementativa
Svantaggi: scarsa flessibilità





Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento statico: esempio



Prof. F. De Rango

Router A	
Net	Router
1	D
2	D
3	D
4	-
5	F

Router B	
Net	Router
1	-
2	-
3	G
4	D
5	G

Router C	
Net	Router
1	-
2	B
3	-
4	A
5	H

Router D	
Net	Router
1	B
2	-
3	G
4	-
5	F


Router E	
Net	Router
1	D
2	D
3	-
4	-
5	H

Router F	
Net	Router
1	H
2	H
3	H
4	-
5	-

Router G	
Net	Router
1	B
2	-
3	-
4	D
5	H


Router H	
Net	Router
1	C
2	G
3	-
4	G
5	-

Host X	
Net	Router
1	-
2	B
3	B
4	A
5	A




Università della Calabria D.E.I.S.

Instradamento dinamico




Prof. F. De Rango

- Gli algoritmi di routing dinamici (adattativi o non deterministici) si adattano alle variazioni di topologia e traffico in rete
- Vantaggi:
 - ✗ migliorano le prestazioni e contribuiscono al controllo della congestione
- Svantaggi:
 - ✗ la decisione di instradamento è più complessa, quindi il carico elaborativo nei router aumenta
 - ✗ richiedono lo scambio di informazioni tra i nodi sullo stato della rete (algoritmi distribuiti): tali informazioni sono traffico addizionale in rete, d'altra parte più informazioni si scambiano e più spesso questo avviene, migliori saranno le scelte di routing
 - ✗ esiste il rischio di oscillazioni (reazioni troppo rapide) o di inefficacia (reazioni troppo lente)
 - ✗ esiste il rischio di effetti collaterali (es. loop)




Università della Calabria D.E.I.S.




Instradamento Dinamico

Prof. F. De Rango

- All'accensione un host/router inizializza la sua tabella di routing usando le informazioni contenute in un dispositivo di memoria di massa o interrogando opportuni server
- In seguito ogni router aggiorna o incrementa le informazioni di instradamento in proprio possesso dialogando con gli altri router tramite i protocolli di routing
- I protocolli di routing sono implementati nei router e si occupano di acquisire automaticamente nuove informazioni di instradamento (esaminando lo stato della rete a intervalli regolari), comunicare le informazioni aggiornate ai router che aggiornano le tabelle di routing di conseguenza



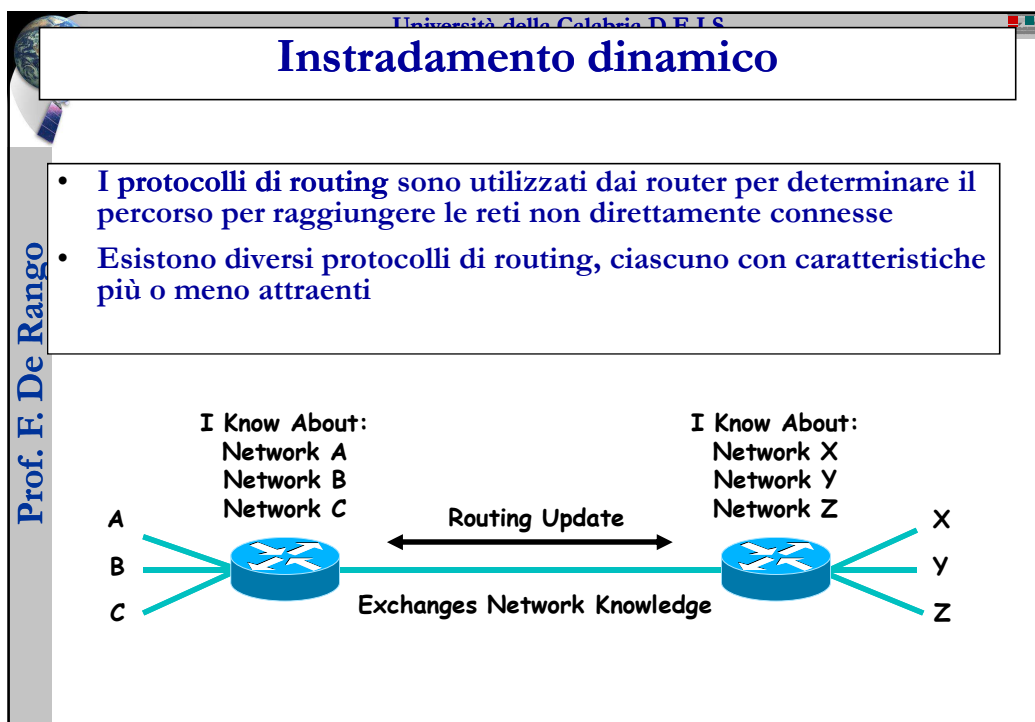
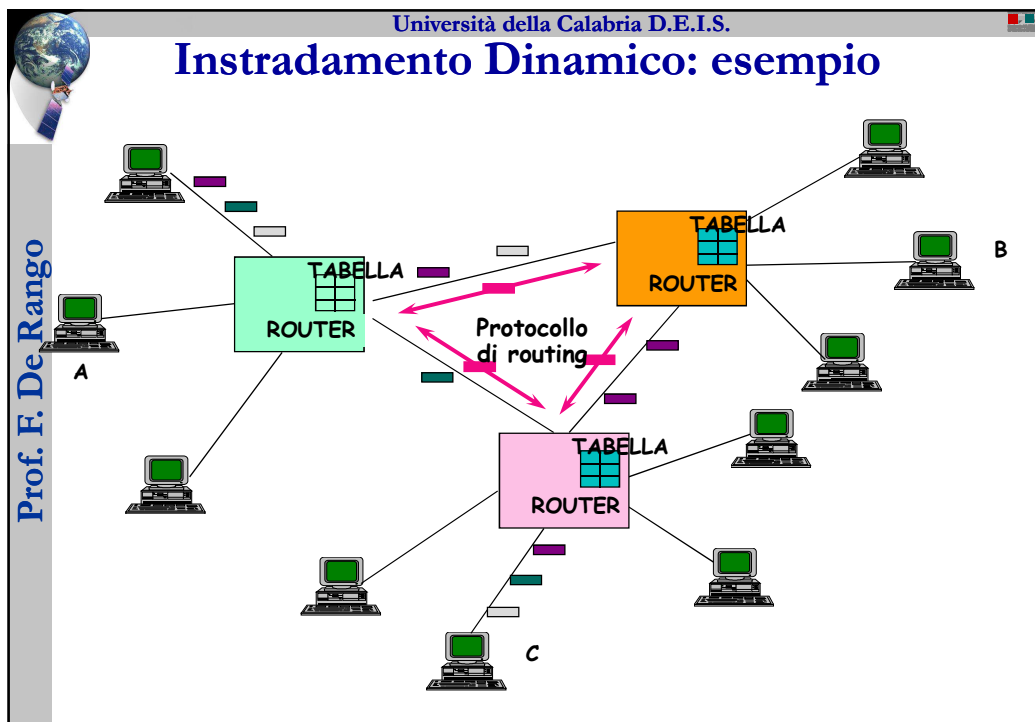
Università della Calabria D.E.I.S.




Instradamento dinamico

Prof. F. De Rango


- Le tabelle di instradamento devono essere aggiornate continuamente (anche ad intervalli di pochi secondi)
- La necessità di un aggiornamento dinamico delle tabelle è dovuta al fatto che:
 - ✗ Internet non può essere considerata stabile; nuovi host e sottoreti vengono aggiunti ed eliminati frequentemente e molti percorsi diventano disponibili o non (in caso di guasti alcuni cammini non sono utilizzabili)
 - ✗ Lo stato di occupazione delle risorse di rete varia continuamente





Università della Calabria D.E.I.S.

Sistemi autonomi



Prof. F. De Rango

- Si definisce “sistema autonomo” (AS) una porzione di rete (insieme di host, router e sottoreti) amministrata da un unico gestore
- I nodi che instradano messaggi all'interno dell'AS sono detti interior router, mentre quelli che instradano messaggi tra AS diversi sono detti exterior router
- L'AS è libero di scegliere qualsiasi (uno o più) protocollo di routing da usare tra i router interni al suo sistema autonomo




Università della Calabria D.E.I.S.

Sistemi autonomi (RFC 1930)




Prof. F. De Rango

- Anche se un AS usa diversi IGP e diverse metriche, l'amministrazione dell'AS appare agli altri AS come se avesse un unico piano di routing interno coerente e presenta un quadro consistente delle reti da esso raggiungibili
- In sintesi:
Un AS è un gruppo connesso di uno o più prefissi IP assegnati ad uno o più operatori di rete che ha una politica di routing **UNICA** e **CHIARAMENTE DEFINITA**
- Il termine "prefix" è equivalente al concetto di "CIDR block", e può essere semplicemente pensato come un gruppo di una o più reti




Università della Calabria D.E.I.S.

Sistemi autonomi (RFC 1930)




Prof. F. De Rango

- Per “politica di Routing” si intende come sono effettuate le scelte di routing. E’ lo scambio di informazioni di routing tra gli AS che è soggetto a politiche di routing
- Le politiche non vengono configurate separatamente per ogni prefisso, ma per gruppi di prefissi; questi gruppi di prefissi sono gli AS
- Senza eccezioni, un AS DEVE avere UNA SOLA politica di routing



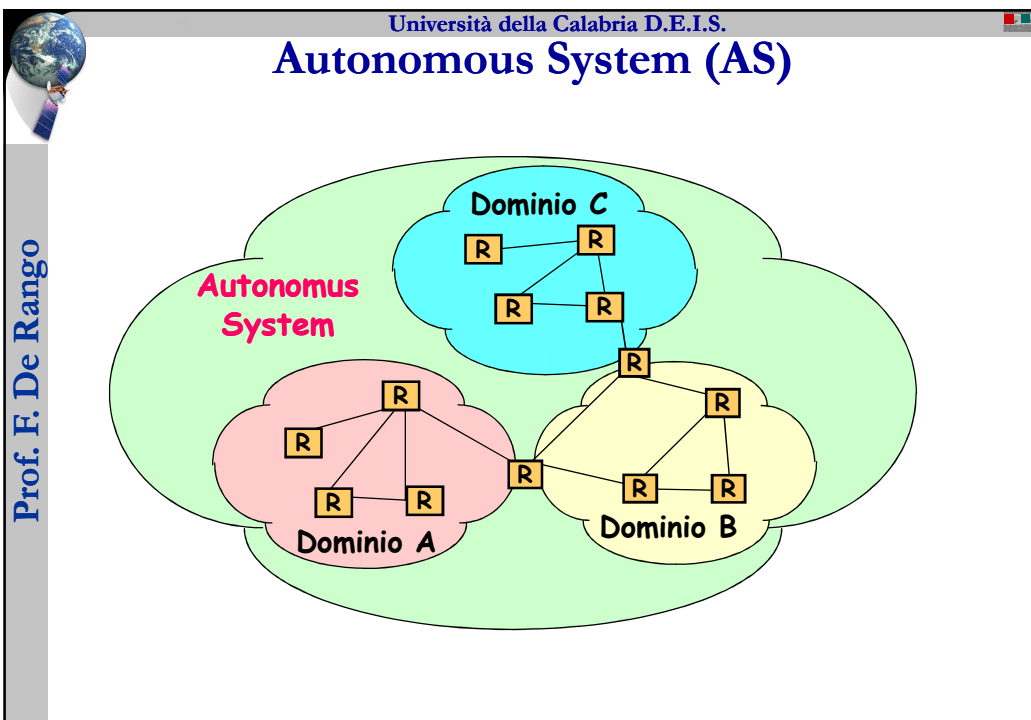
Università della Calabria D.E.I.S.

Sistemi autonomi




Prof. F. De Rango


- L’AS decide una particolare ‘politica di routing’ per lo scambio di informazioni di routing con il resto della rete:
 - ✗ decidere quali informazioni di routing accettare e quali inoltrare, ovvero decidere come gestire il traffico verso la rete esterna, ad esempio quali AS attraversare per raggiungere una destinazione remota
- Gli AS sono identificati da un AS number assegnato da RIPE/interNIC, univoco a livello mondiale
- Un AS può contenere uno o più domini di routing



- Università della Calabria D.E.I.S.
- ## Sistemi autonomi
- Tutti i nodi presenti all'interno dell'AS devono essere raggiungibili con percorsi interni
 - Per raggiungere un nodo esterno si dovrà passare attraverso i router "di confine" (border router) in cui sono implementate le politiche di routing scelte dall'AS
 - Ogni AS affida ad uno o più dei suoi router interni il compito di border router, con l'obiettivo di informare il mondo esterno della sua topologia
 - I border router di un AS comunicano con i border router di altri AS (che usano tipicamente protocolli di routing interno diversi tra loro)




Università della Calabria D.E.I.S.




Sistemi autonomi

Prof. F. De Rango

- In Internet esistono alcuni router, detti **core router**, che contengono informazioni di instradamento sufficienti per inviare un datagramma verso qualsiasi destinazione
- Ogni AS deve comunicare ai core router quali reti logiche fanno parte del sistema stesso
- Così, quando a un core router si chiede un'informazione di instradamento relativa ad una data rete logica X, esso è a conoscenza che la rete fa parte del sistema autonomo Y
- Un datagramma che ha come destinazione la rete logica X potrà quindi essere inviato a un border router di Y, poi saranno i protocolli di routing interni all'AS a determinare la strada per arrivare alla rete di destinazione



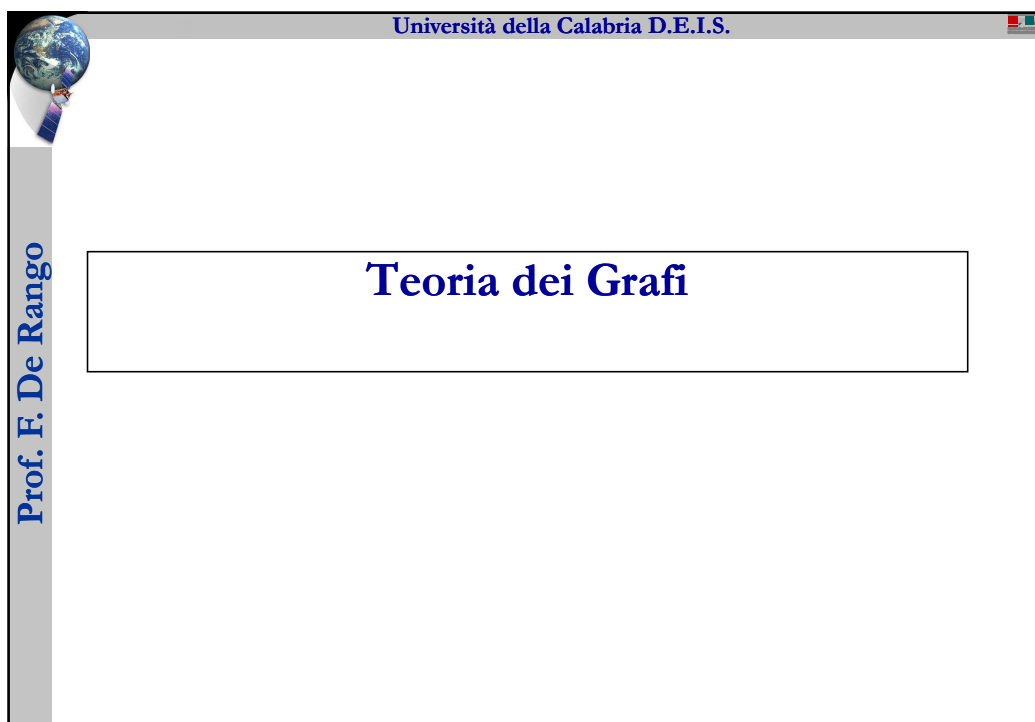
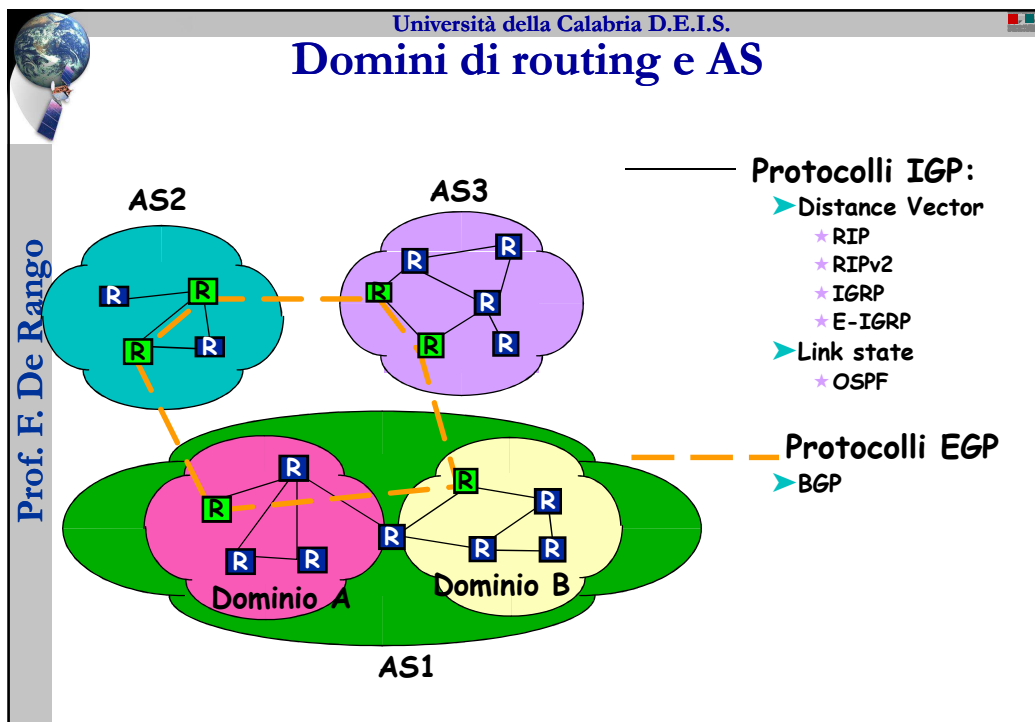
Università della Calabria D.E.I.S.




Sistemi autonomi

Prof. F. De Rango


- Le informazioni di instradamento riguardanti i cammini all'interno di un AS e la raccolta di dati da inviare ai core router sono gestiti per mezzo di **Interior Gateway Protocols (IGP)**
- Le informazioni di instradamento riguardanti cammini che coinvolgono più di un AS sono gestite mediante **Exterior Gateway Protocols (EGP)**
- I messaggi di tutti i protocolli di routing sono trasportati all'interno di datagrammi IP






Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Un grafo $G(V,E)$ è dato da
 - ✗ un insieme V di nodi o vertici
 - ✗ un insieme E di rami (edge) o archi, ogni ramo connette una coppia di nodi
- La cardinalità $|V|$ dell'insieme dei nodi è detta ordine del grafo G
- La cardinalità $|E|$ dell'insieme dei rami è detta dimensione del grafo G
- Una qualsiasi rete a pacchetto può essere modellata come un grafo (orientato e pesato)
 - ✗ i nodi sono i commutatori e/o router
 - ✗ i rami sono le linee trasmissive



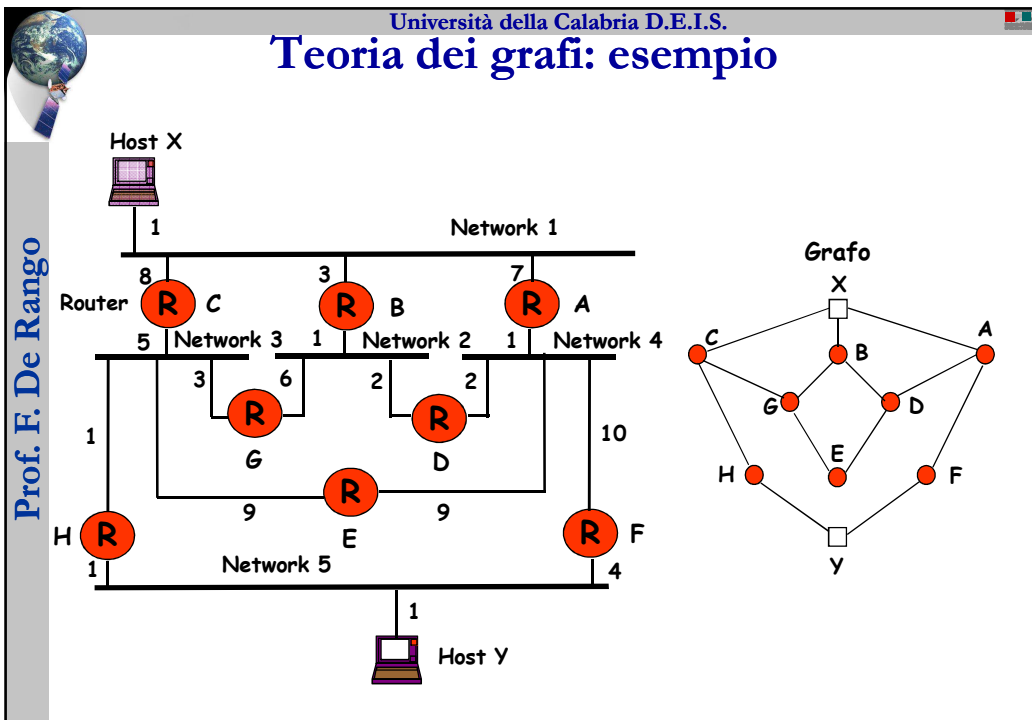
Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi



Prof. F. De Rango

- Due vertici i e j sono detti adiacenti se sono connessi da un ramo (i,j)
- Il ramo (i,j) è detto incidente ai nodi i e j
- Due rami incidenti sulla stessa coppia di vertici si dicono paralleli
- Un ramo incidente su un solo vertice si dice loop
- Un grafo senza loop né rami paralleli si dice grafo semplice



Università della Calabria D.E.I.S.


Teoria dei Grafi

Prof. F. De Rango

- Un Grafo può essere rappresentato dalla sua Matrice di Adiacenza A , di dimensioni $|V| \times |V|$, il cui generico elemento a_{ij} :


$$a_{ij} = 1 \text{ se } (i,j) \in E$$

$$a_{ij} = 0 \text{ altrimenti}$$
- La matrice è simmetrica rispetto alla diagonale principale, perché un ramo è definito come una coppia “non ordinata” di nodi, quindi $(i,j) = (j,i)$

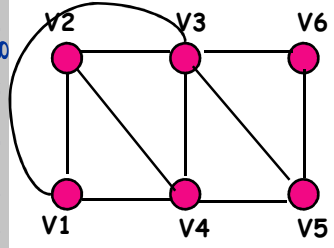


Università della Calabria D.E.I.S.


Matrice di adiacenza: esempio



Prof. F. De Rango




	V1	V2	V3	V4	V5	V6
V1	0	1	1	1	0	0
V2	1	0	1	1	0	0
V3	1	1	0	1	1	1
V4	1	1	1	0	1	0
V5	0	0	1	1	0	1
V6	0	0	1	0	1	0



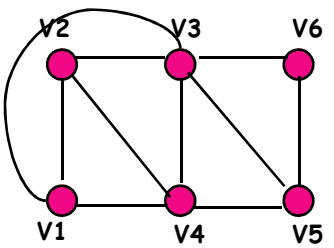
Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi



Prof. F. De Rango

- Un cammino (path) tra due nodi i e j è una sequenza di nodi e rami, a partire dal nodo i fino al nodo j , tale che ogni ramo è incidente al nodo precedente e successivo
- Un cammino in cui ogni nodo e ogni ramo appaiono una sola volta è detto cammino semplice (simple path)



Cammini semplici da V1 a V6 sono:


V1 V2 V3 V4 V5 V6

V1 V2 V3 V5 V6

V1 V2 V3 V6


V1 V3 V6

Ecc.




Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Il minimo numero di rami che compone un cammino tra due nodi i e j è detta distanza tra i due nodi
 - ✗ Nell'es. precedente la distanza tra $V1$ e $V6$ è 3 e $(V1, V3, V6)$ definisce il cammino a distanza minima
- Un ciclo è un cammino in cui il nodo di partenza coincide con il nodo di arrivo
 - ✗ Nell'es. precedente $V1 V3 V4 V1$
- Un grafo G è detto connesso se esiste un cammino tra ogni sua coppia di nodi




Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Un grafo orientato è un grafo in cui i rami hanno un verso di percorrenza, cioè ogni ramo è definito come una coppia ordinata di vertici
 - ✗ la matrice di adiacenza di un grafo orientato non è necessariamente simmetrica
- Un grafo pesato è un grafo in cui a ciascun ramo (i,j) è associato un numero w_{ij} (peso del ramo)
 - ✗ la matrice di adiacenza di un grafo pesato contiene i pesi dei rami
- Si definisce lunghezza di un cammino in un grafo pesato è data dalla somma dei pesi associati ai rami del cammino



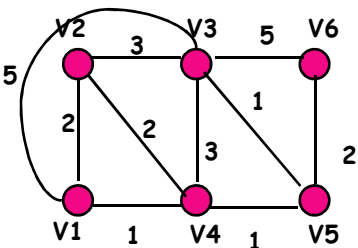
Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Si noti che non sempre il cammino a distanza minima coincide col cammino a lunghezza minima




Il cammino a distanza minima tra V1 e V6 è (V1,V3,V6)

Il cammino a lunghezza minima è (V1,V4,V5,V6)




Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Una qualsiasi rete a pacchetto può essere modellata come un grafo orientato e pesato
- L'instradamento (routing) di un pacchetto equivale alla ricerca di un cammino nel grafo associato della rete
- Ricerca del cammino a minima distanza
 - × grafo non pesato
- Ricerca del cammino a minima lunghezza
 - × grafo pesato (costo, congestione, capacità, ecc.)




Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Un grafo semplice è detto albero (tree) se:
 - ✗ tra ogni coppia di nodi i e j esiste un unico cammino semplice
 - ✗ detto N il numero di nodi, il numero di rami è $N-1$ e il grafo è connesso e senza cicli
- Un nodo qualsiasi dell'albero può essere scelto come nodo radice; quindi l'albero si costruisce disponendo i nodi in livelli successivi a partire dalla radice (livello 0)
 - ✗ i nodi adiacenti alla radice al I livello; i nodi adiacenti ai nodi del I livello al II livello e così via...
- In un albero:
 - ✗ ogni nodo, tranne la radice, ha un solo nodo padre
 - ✗ ogni nodo ha zero o più nodi figli
 - ✗ un nodo senza figli è detto foglia




Università della Calabria D.E.I.S.

Teoria dei Grafi




Prof. F. De Rango

- Un sottografo di un grafo $G(V,E)$ è un grafo ottenuto dal grafo G
 - ✗ scegliendo un sottoinsieme di rami e di nodi appartenenti a G
 - ✗ per ogni ramo scelto devono essere compresi, nel sottoinsieme dei nodi, i nodi in cui il ramo è incidente
- Un sottografo T di un grafo G è chiamato Spanning Tree di G se
 - ✗ T è un albero
 - ✗ T include tutti i nodi di G
- Uno spanning tree di un grafo G si ottiene da G rimuovendo gli archi in modo da eliminare i cicli (il sottografo è connesso)

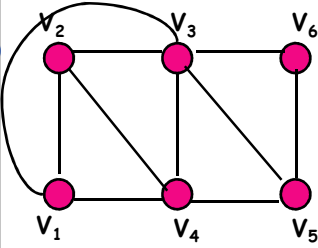


Università della Calabria D.E.I.S.

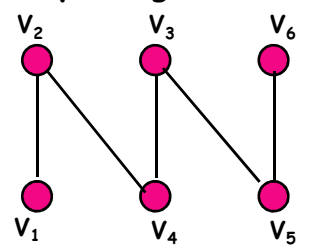
Teoria dei Grafi



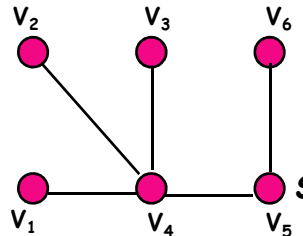
Grafo G




Spanning Tree 1



Lo Spanning Tree di un grafo non è unico




Spanning Tree 2



Università della Calabria D.E.I.S.

Algoritmi di routing a costo minimo



Prof. F. De Rango

- In Internet, le decisioni di routing sono equivalenti al problema di trovare un percorso in un grafo
- Le decisioni di routing si basano su una qualche forma di criterio di costo minimo
 - ✗ se il criterio è il numero di hop (ogni hop/ramo vale 1), questo corrisponde a trovare il **cammino di distanza minima** tra ogni coppia di nodi nel grafo della rete
 - ✗ se a un hop è associato un costo (dipende dalla capacità, dal carico, etc.), questo corrisponde a trovare il **cammino di lunghezza minima** tra ogni coppia di nodi nel grafo pesato della rete
- La maggior parte degli algoritmi di routing a costo minimo in uso in Internet sono variazioni di due algoritmi: l'algoritmo di Dijkstra e di Bellman-Ford
 - ✗ Si tratta di algoritmi per il calcolo del minimum spanning tree

CONTINUA...