

LIVELLO DI RETE: PIANO DI CONTROLLO

Funzioni del Livello di Rete

- **Piano dei Dati:** forwarding
- **Piano di Controllo:** routing/instradamento

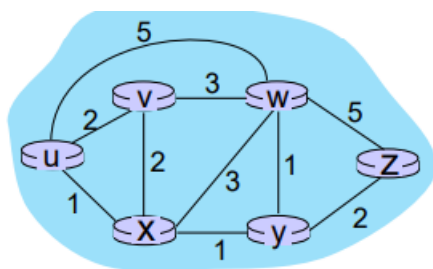
Tradizionale: controllo per-router tramite algoritmi di instradamento.

Algoritmi e protocolli di routing

Algoritmi di routing	Protocolli di routing
Algoritmi che permettono di determinare i cammini/rotte/percorsi migliori tra la sorgente e la destinazione tramite una rete di router. Cammino: sequenza di router che devono essere attraversati dai pacchetti. Percorsi buoni: costo minore, latenza minore, meno congestionati.	Protocolli di routing sono entità che permettono di determinare in che modo una informazione deve essere condivisa in modo tale che questa informazione sia disponibile agli algoritmi di routing per funzionare.

Algoritmi di routing

A livello di tre, gli algoritmi di routing ricostruiscono una topologia.



$G = (N, E)$

$N: \text{router} = (u, v, w, x, y, z)$

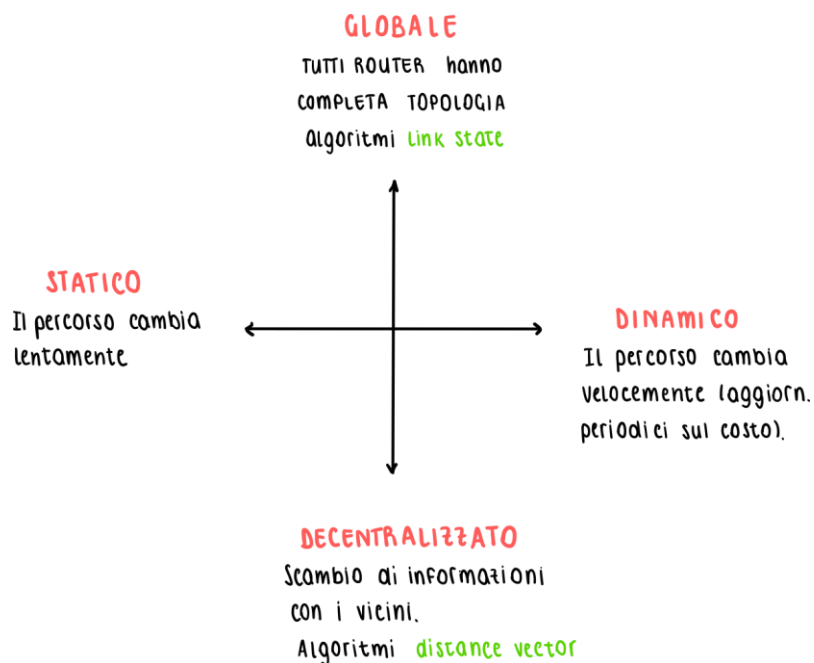
$E: \text{link} = \{(u, v), (u, x), (v, x), (v, w), (w, x), (w, y), (x, y), (w, z), (y, z)\}$

$C_{a,b}$ = costo di un link diretto tra a e b. Se non c'è un link diretto, è infinito.

Il costo è definito da un operatore di rete. È inversamente proporzionale alla banda o alla congestione.

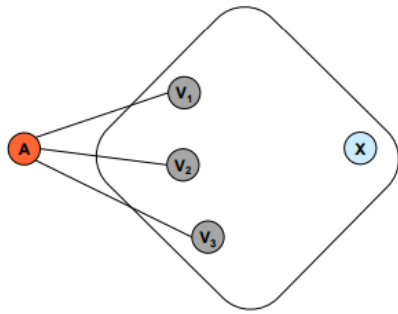
Classificazione di un algoritmo di routing

1. **Statico**: se ci sono cammini che cambiano lentamente nel tempo;
2. **Dinamici**: se ci sono cammini che cambiano velocemente nel tempo e quindi gli algoritmi di routing devono rispondere molto velocemente ai cambiamenti;
3. **Globali**: algoritmi che portano ad avere per ognuno dei router una visione completa della topologia. Ogni router può ricostruire la topologia della rete e in base ad essa scegliere il percorso migliore. Questi algoritmi vengono chiamati algoritmi "Link state". Le informazioni dei link vengono condivisi con tutti i nodi della rete e quindi ogni router che riceve le informazioni è in grado di ricostruire la topologia ed eseguire il suo algoritmo di routing;
4. **Decentralizzati**: si ha uno scambio di informazioni solo con i suoi vicini. Gli algoritmi di questo tipo vengono chiamati "Distance vector" dove il vettore di distanza indica la distanza di ogni singolo nodo da tutti gli altri nodi dove la distanza è il cammino di costo più basso.



Algoritmi Distance Vector (DV)

Sono algoritmi che si basano su una implementazione distribuita di un algoritmo chiamato Bellman-Ford, basato sull'equazione di Bellman-Ford.

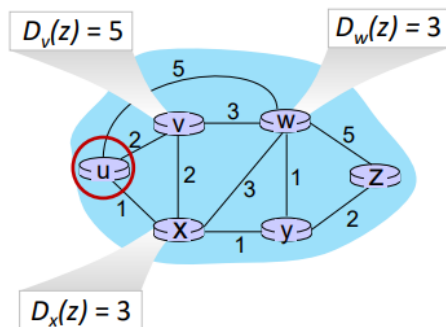


Vogliamo costruire un cammino di costo minimo tra A e X. Tra V e X esiste un cammino di costo minimo che chiamato $dist(V,X)$.

Il **cammino di costo minimo tra A e X** è dato dal minimo tra i possibili cammini V e X sommato alla distanza tra A e V.

$$dist(A, X) = \min \{dist(V, X) + c(A, V)\}$$

Esempio



$$D_u = \min \{c_{u,v} + D_v(z), c_{u,x} + D_x(z), c_{u,w} + D_w(z)\} = \min \{2 + 5, 1 + 3, 5 + 3\} = 4$$

Si sceglie il percorso minimo di quelli disponibili.

Questo funziona se i nodi sono direttamente collegati.

Ogni tanto, ognuno dei router invia il suo vettore di distanza a tutti i vicini (informazioni decentralizzate). Quando un nodo riceve un vettore di distanza dal suo vicino, effettua nuovamente il calcolo dell'equazione di Bellman-Ford e valuta se si ha avuto un cambiamento del suo vettore di distanza. Se si ha avuto un cambiamento, il vettore viene ridistribuito a tutti i suoi vicini. Questa operazione convergerà nel cammino minimo tra quel nodo e la destinazione.

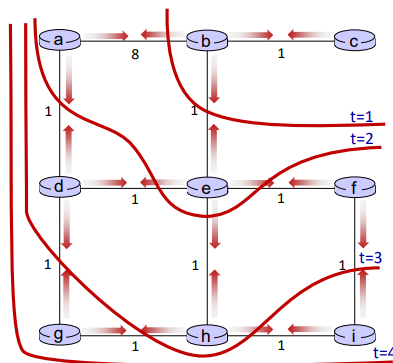
Cosa fa ogni nodo?

Ogni nodo aspetta la ricezione del vettore di distanza o un cambiamento del vettore di distanza. Se si verifica questa condizione, allora ricalcola il vettore di distanza attraverso le informazioni ottenuti dai vicini e se dopo la ricomputazione è cambiato il valore, allora lo manda a tutti i suoi vicini.

Guardare le slide per l'esempio.

Caratteristiche degli Algoritmi DV:

- **Iterativo:** la mia capacità di influenzare il vettore di distanza degli altri nodi si propaga nel tempo.



[t=0] Lo stato di C si trova solo in C;
[t=1] Lo stato di C a t=0 si propaga a b e può influenzare le computazioni DV da b;
[t=2] Lo stato di C a t=0 può influenzare le computazioni di DV da b, a, e
E così via.

- **Asincrono:** triggerato alla ricezione di un vettore di distanza da un vicino, non a cadenze regolari.
- **Distribuito.**
- **Self-stopping:** si ferma quando non si hanno più cambiamenti nei vettori di distanza. Ricomincerà una volta che si verifica un cambiamento (ovvero quando è necessario mandare qualcosa).

Potrebbe accadere un problema di convergenza in alcune situazioni chiamato “Count to infinite”, ovvero che non si raggiunge mai convergenza.

Algoritmi Link State (LS)

Se negli algoritmi DV, vado a calcolare il vettore di distanza verso tutti i nodi della rete ma la comunico solo ai miei vicini, nei LS io comunico con un broadcast esclusivo lo stato dei miei link e grazie a questo io sono in grado di ricostruire una topologia completa di tutta la mia rete (informazioni globali).

Chiaramente lo svantaggio è la necessità di dover inviare così tanti messaggi a tutti i nodi. Si esegue l'**algoritmo di Dijkstra** che va a calcolare l'albero dei cammini minimo da un nodo specifico. Essenzialmente indica il cammino minimo da un nodo rispetto a tutti gli altri nodi e grazie a questo posso determinare il percorso migliore.

Guardare slide per gli esempi.

Caratteristiche:

- **Centralizzato;**
- **Ricostruisce facilmente la tabella di inoltro;**
- **Iterativo:** dopo k iterazioni siamo in grado di sapere il cammino minimo per k destinazioni.

In cosa consiste l'algoritmo di Dijkstra?

1. **Inizializzazione:** Prendo un nodo u e lo inserisco in N' e per tutti i nodi che non siano u e che siano adiacenti ad u, allora la distanza tra u e questi nodi sono il costo dei loro link. Chiamiamo uno di questi nodi w.
2. **Repeat:** trovo il nodo w tale che la distanza da u a w sia minima. Lo aggiungo ad N'. Si aggiorna il vettore di distanza per tutti i nodi adiacenti a w che non siano in N'.

$$dist(A, X) = \min \{dist(V, X) + c(A, V)\}$$

3. Si ripete fino a quando tutti i nodi non sono in N'.

Differenze tra DV e LS

Distance Vector	Link State
<ul style="list-style-type: none">• Implementazione semplice e intuitiva;• I vettori di distanza vengono mandati soltanto ai vicini, di conseguenza c'è una minore quantità di messaggi da inviare;• La convergenza è lenta e ci potrebbero essere problemi per raggiungerla;• BGP è il protocollo con algoritmo è il più importante. <p>Esempi: RIP, IGRP, EIGRP</p>	<ul style="list-style-type: none">• Implementazione complessa;• Selective Flooding dei messaggi e quindi c'è un numero di messaggi più alto;• Convergenza più veloce e molto più robusti. C'è la garanzia che si raggiungerà prima o poi una convergenza. <p>Esempi: OSPF, IS-IS</p>

Routing scalabile

I router non sono uguali in realtà, ma hanno una gerarchia e il concetto importante è l'autonomia amministrativa. Agglomerati di reti sotto la stessa autonomia amministrativa, di fatto condividono probabilmente la possibilità di creare un inoltro all'interno ma localmente l'inoltro si ferma lì. Ogni singola entità amministrativa può decidere se l'inoltro è esteso solo ad una rete oppure ad un agglomerato di reti.

I router sono aggregati in regioni che prendono nome di “Sistema autonomo” oppure “Dominio”.

Definizione di Sistema Autonomo: Un sistema autonomo è un insieme di reti diverse (che a sua volta sono aggregati di router) ma che sono tutte sotto la stessa autorità amministrativa.

Il routing può avere due problemi:

1. ***Come effettuare il routing in un sistema autonomo?***

Instradamento Intra-AS (a.k.a. “intra-domain”): tutti i router all’interno del nostro sistema autonomo eseguono lo stesso protocollo Intra-AS. Se appartenessero a sistemi autonomi diversi, potrebbero eseguire protocolli Intra-AS diversi (BGP).

2. ***Come effettuare il routing se sono coinvolti più sistemi autonomi?***

Instradamento Inter-AS (a.k.a. “inter-domain”): I gateway router sono quei router che si trovano ai bordi di un Sistema autonomo e che permette di collegarsi ad un altro sistema autonomo per mezzo di quel gateway router. Sono i router più importanti per l’instradamento Inter-AS (OSPF).

Instradamento Inter-AS (routing tra AS)

Gateway router: sono i router ai bordi, hanno i collegamenti a router di bordo di altri AS. Effettuano il routing inter-domain (ma anche quelli intra-domain).

Come si fa a decidere quale gateway router sia quello che permette l’instradamento verso la corretta destinazione?

L’instradamento AS1 inter-domain deve essere in grado di capire mediante gli altri AS quali sono le destinazioni raggiungibili (Quale attraverso AS2, AS3 etc. del tipo AS2: “Ciao AS1! Se passi da me, possiamo andare verso AS4”). Una volta che i gateway router ricevono questa informazione, vengono propagate verso i router interni a AS1 e in questo modo capiscono verso quale gateway router instradare.

Instradamento Intra-AS (routing dentro un AS)

Tutti i router all’interno dello stesso AS utilizzano lo stesso protocollo intra-domain. I router, invece, di AS distinti possono utilizzare un protocollo di routing intra-domain diverso.

I protocolli di tipo Intra-AS sono anche conosciuti come **Interior Gateway Protocols** (IGP):

1. **RIP:** Routing Information Protocol
2. **EIGRP:** Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
3. **OSPF:** Open Shortest Path First (Il più utilizzato e standardizzato)

OSPF: Open Shortest Path First

Protocollo di tipo link state in cui vengono inoltrati in **Selective Flooding** i **link-state advertisements** (messaggi per comunicare lo stato di ogni singolo router).

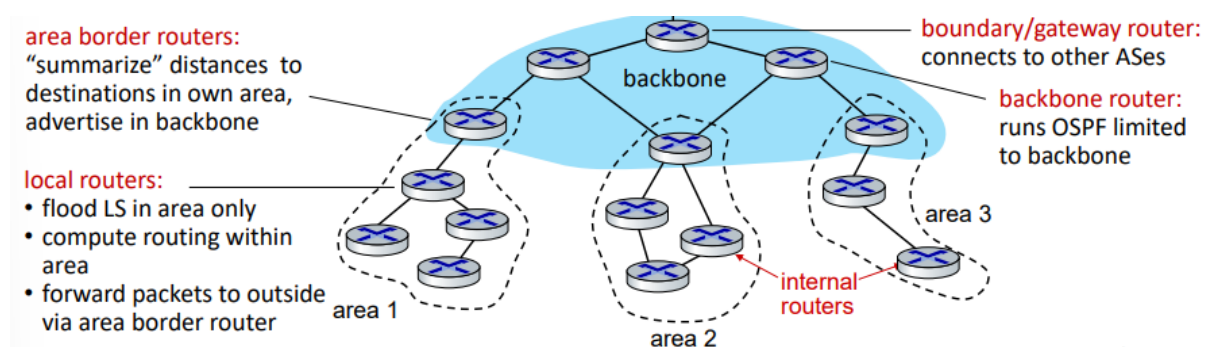
OSPF è un protocollo di livello 3 (come TCP o UDP) teoricamente. Si hanno diverse metriche di costo (banda, ritardo) che impattano sul costo dei link. Viene utilizzato **Dijkstra**. Dal punto di vista della sicurezza, tutti i messaggi OSPF vengono autenticati per prevenire la possibilità di attacchi).

Viene usato per Intra-AS.

Ha una gerarchia a due livelli: area locale e backbone.

Area locale: insieme delle aree locali;

Backbone: interconnette le aree locali.



OSPF può essere quindi utilizzato per AS anche di dimensioni elevate e in questo modo si va a cercare di limitare il numero di messaggi che devono essere inviati in Flooding all'interno del AS.

Come funziona?

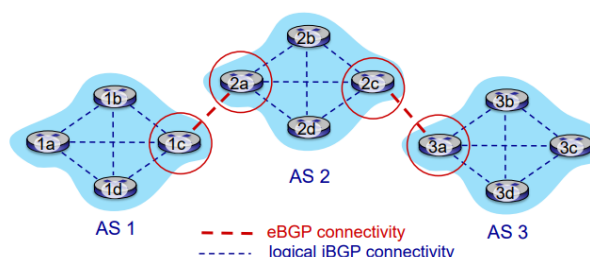
- I **link state advertisement** possono essere mandati in broadcast solo all'interno di una area locale o all'interno della backbone. Porta alla possibilità di conoscere la topologia di un'area solo all'interno di quell'area e i router di bordo (router per collegare area e backbone) di fatto vanno ad effettuare un riassunto di come si arrivi ad ogni nodo della sua area e queste informazioni vengono mandati in Flooding all'interno della rete di backbone.
- Tutte le destinazioni all'interno di un'area non vanno fuori dall'area. Se qualcosa deve essere mandato fuori dall'area, viene mandato a questi border router mediante i riassunti e quindi si effettua l'inoltro tra aree locali.
- Ci sono più gateway router interconnesso alla rete di backbone.
- Tutto quello che va fuori dall'AS richiede l'esecuzione di un algoritmo BGP.

Internet inter-AS routing: BGP

Il protocollo BGP (**B**order **G**ateway **P**rotocol) è l'unico protocollo per una comunicazione inter-AS. BGP permette di mettere in comunicazione tutti i vari sistemi autonomi.

Sfrutta dei principi:

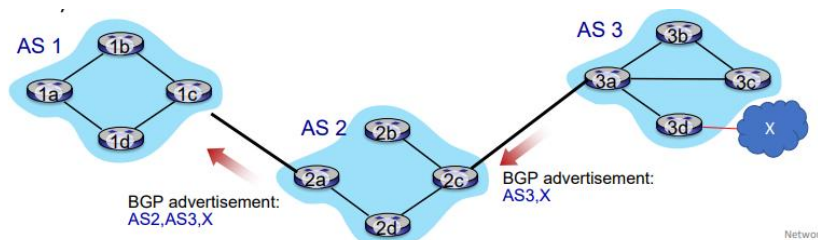
- Ogni sottorete in Internet può annunciare la propria esistenza e viene propagata attraverso internet tra i vari sistemi autonomi. Questa comunicazione permette di accedere ad una qualsiasi sottorete.
- Si compone di due sottoprotocolli:
 - **eBGP**: è possibile che per un sistema autonomo ottenere le info sulla raggiungibilità di una sottorete tramite i sistemi autonomi direttamente collegati a lui (i suoi vicini). Comunicazione tra router di bordo di sistemi autonomi. I messaggi che si scambiano appartengono a questo protocollo.
 - **iBGP**: propaga le info sulla raggiungibilità a tutti i router del sistema autonomo. Permette ai termini globali di avere info sul determinare il miglior percorso



Collegamento di tipo full-mesh. Evita i loop.

Come funziona BGP?

Si basa sul concetto di sessione BGP: possono essere sessioni eBGP o iBGP, sono delle connessioni TCP semi-permanenti tra router peer. Fa un advertising (annunciare) di percorsi per le destinazioni. BGP è un protocollo di tipo path-vector (distance-vector), vengono annunciati solo ai vicini sistemi autonomi e poi vengono propagati tramite iBGP.



Il router di bordo 3a effettua un advertisement al router di bordo 2c e annuncia che per mezzo di sé stesso è possibile raggiungere il router X. 2c riceve, propaga a tutti i router del sistema autonomo e 2a manda al sistema autonomo 1 (router 1c) un altro advertisement.

Ipotizziamo che tra 1c e 3a ci sia un collegamento diretto; quindi, il router di bordo 1c riceve direttamente i BGP advertisement da parte di 3a e 2a. In questo caso dobbiamo prendere una decisione su quale sia il miglior percorso. Questa decisione, quando si parla di Inter-AS, può essere effettuata non basandosi solo sulle prestazioni ma anche ad altre policy (per esempio si preferisce un percorso più costoso e diretto piuttosto che un cammino più economico ma mediante un altro sistema autonomo perché potrebbe creare traffico su un altro sistema autonomo).

Quindi in realtà si tende a seguire una policy di tipo politico-economico che di pura prestazione. In un caso di Intra-AS, si predilige invece la prestazione perché è una cosa interna.

INTRA-AS (dentro un AS)	INTER-AS (tra AS)
Policy: amministratore singolo, quindi non è un problema; Performance: può concentrarsi sulla performance	Policy: amministratore vuole il controllo su come è il percorso del traffico, chi utilizza il suo network; Performance: la policy domina sulla performance.

ICMP: Internet Control Message Protocol

Viene usato dagli host e router per comunicare e raccogliere informazioni a fini diagnostici (tool di ping). Vengono utilizzati i messaggi ICMP Echo Request verso

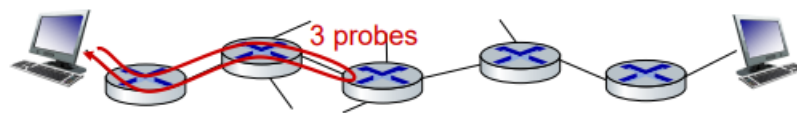
l'indirizzo IP di destinazione e aspetto che mi arrivi un messaggio ICMP Reply del primo e tengo conto del Round Trip Time (Ping).

Messaggi

Dest port unreachable: mandate un segment TCP o UDP con un numero di porta di destinazione verso un determinato host con un determinato indirizzo IP e non si ha alcuna socket associata a quell'indirizzo IP di porta, l'host di destinazione genera un messaggio di errore di tipo DEST PORT UNREACHABLE

TTL expired: Time to Leave expired. Time to Leave viene decrementato ad ogni router e quando arriva a 0 il pacchetto viene scartato perché è scaduto il tempo e comunica alla sorgente che è scaduto il tempo.

Questi messaggi vengono usati da un tool chiamato **Traceroute** (ricostruire il percorso in termine di router attraversati tra sorgente e destinazione).



1. Invia dei messaggi di sonda (segmento UDP) che sono raggruppati in insiemi (se non specificato, ci sono tre messaggi di sonda).
2. Di default, 3 messaggi di TTL di durata 1. Arrivano al primo router, il primo router decrementa di 1 il TTL e il TTL raggiunge 0 e verso la sorgente si manda un messaggio di **TTL Expired**.
3. Dopo, invia un altro set da 3 di TTL di durata 2. Arriva al primo router, il primo router decrementa di 1 il TTL, arrivano al secondo router, il secondo router decrementa il TTL di 1, TTL raggiunge 0 e verso la sorgente si manda un messaggio di TTL Expired. Continua così incrementando man mano il TTL. In questo modo ricostruisco tutti i router che attraverso.
4. Si ferma quando di fatto il datagramma raggiunge la destinazione. In realtà però viene mandato ad una porta improbabile che sicuro non è raggiungibile e quando la destinazione riceve dice ops porta non valida e manda alla sorgente un messaggio di tipo **DEST PORT UNREACHABLE** e capisce che ha finito l'esplorazione e termina tutto.

ICMP può includere l'indirizzo IP dell'interfaccia che si è raggiunta in input del router e anche il nome del router (non è realmente incluso, ma la sorgente utilizza un meccanismo per ottenere il nome del router).

Registra tutti i RRT per ogni round di sonde per capire le situazioni particolari.