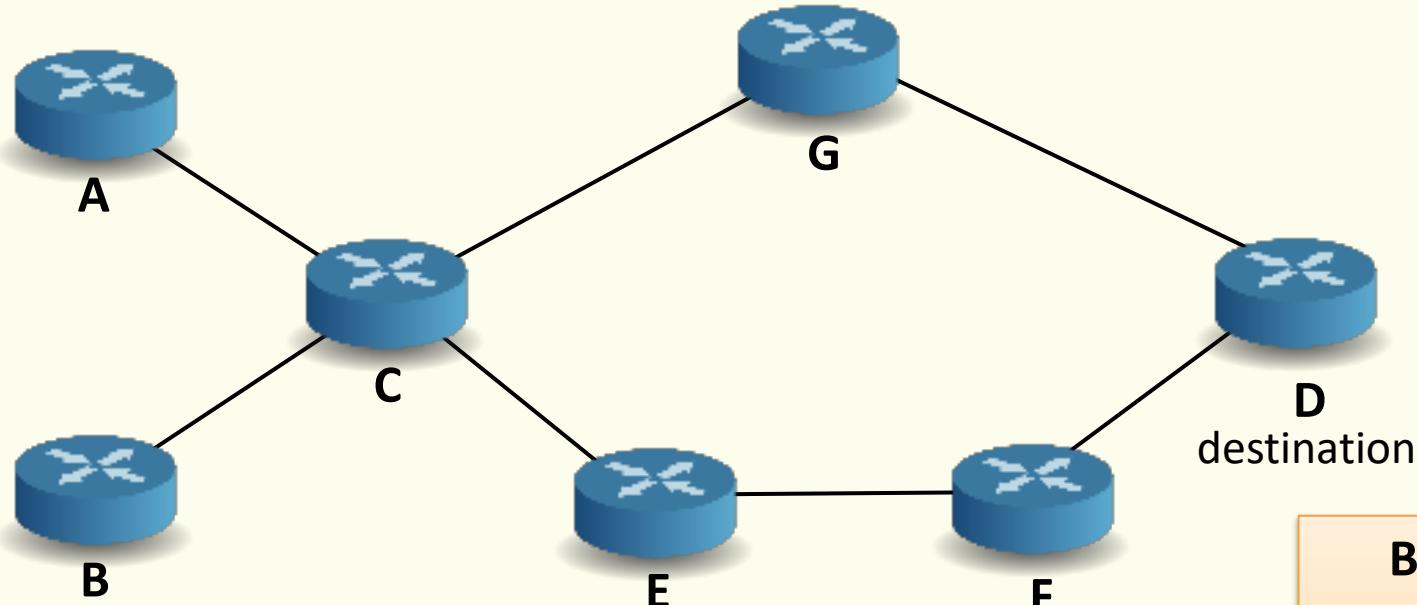




# Requirements for TE



Computing paths that comply with a set of constraints

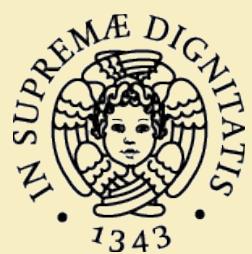
Enforcing traffic to be forwarded along these paths

By decoupling service from transport, MPLS is fundamental to support TE requirements



# Constraint-based routing

- A set of **algorithms** and **protocols** that enable a router to compute a path to a destination which
  - is **optimal** with respect to a certain **scalar metric**
  - does not violate **a set of constraints**
- Traditional IP routing path computation is only driven by cost optimization (objective)
  - Cost measures need to be overloaded to enable IP traffic engineering



# Type of constraints

## • Performance constraints

- a path with certain minimum available bandwidth on each traversed link
- a path with a maximum number of hops
- a path optimizing a specific TE metric

STAVO PARLANDO DI NOSTRICE AUTONOMIA  
DEGLI AS-

→ LA LIGTNESS NON È  
NECESSARMENTE UNA  
CAPACITÀ DEL LINK -

→ POTRESTI VOLER ASSOCIANTE DEGLI ATTRIBUTI  
A DGL LINK NON  
NECESSARIMENTE

ASSOCIAZIONE PER PERFORMANCE -

ES. → IL COSTO (W PER VERO) DI UN LINK -

→ POSIZIONE GEOGRAFICA -

→ QUANDO C'È UNO

AUTOPASSA

DA UN PUNTO DI

VISITA CERTO

NODE SOLO

TUTTO O GENEALE,

GEOGRAFICAMENTE CORRISPONDENTI

## • Administrative constraints

- include only links that are tagged with specific attributes
- exclude from the path a specific hop

AD ESEMPIO; UNA CONCESSIONE A CONSUMO CERTO VOLER USAHE  
SOLI QUANDO NON  
SI PUÒ FARNE AUTOPASSA

## • Complex combinations

- place two related LSPs on different links

→ VOLER AVERE UN COSP DI BACKUP, SE IL PRIMO È IN SECUNDARIO CONDIVISO CON

SECUNDARIO QUANDO

# Type of constraints

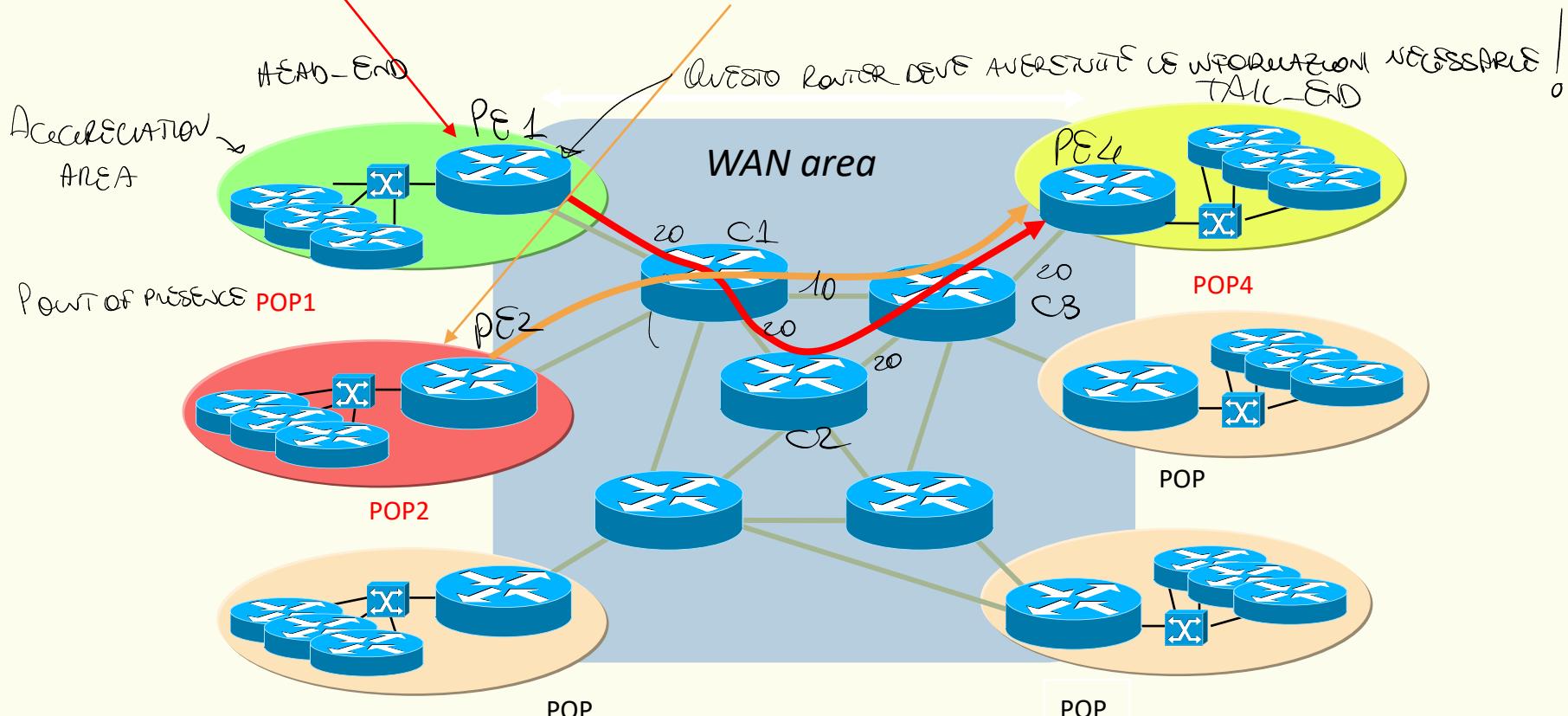


Find route & set-up a route for 20 Mb/s from POP1 to POP4

## Bandwidth Measured

- ① Mono u PATH
- ② STABILISER (SP)

## Find route & set-up a route for 10 Mb/s from POP2 to POP4





# Constraint-based routing

QUESTA FASE DELLA ARQUITETURA DI RUTTAMENTO CONSIDERA I CONTRATTI DELLE RETE.

## 1. Link characterization (in a consistent manner)

- Cost and attributes

→ OGNI LINK DEVE ESSERE CARATTERIZZATO (ES. Ogni sua CAPACITÀ), ANCHE OGNI LINK CHE NON SONO DIRETTAMENTE CONNETTI, SU QUESTO POSSONO CONCORDARE E STABILIRE UNO STANDARD COMUNE ALLE RETI.

## 2. Extended routing protocol

- To convey the enriched link characterization

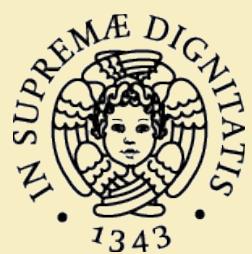
→ I PROTOCOLLI DEVE ESSERE ESPANSO PER FARLE TRASPORTARE ANCHE QUESTE INFORMAZIONI

## 3. Constraint-based path computation algorithm

- Constrained Shortest Path First (CSPF)

UNA VOLTA CARATTERIZZATA TUTTO IL LINK È POSSIBILE RUTTARE DA SORTE A COSTO E CON ATTRIBUTI CHE REFRENDANO INFORMATIVI SUL CONFERIMENTO DELLA TRAFICA NELL'ENCLAVE. QUESTA INFORMATIVA È CONFERMATA DAL "TRAFFIC ENCLAVEMENT DATABASE" SU CUI FANNO RIFERIMENTO I RUTTAMENTI.

→ ABBIANO BISOGNO DI UN'INFORMATIVA A DISPOSIZIONE ALCUNA POSSIBILE ACCESSENCIA DI UN COLE -  
CSPF



# Link characterization

## • Traffic Engineering Metric

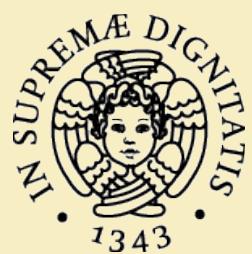
- Specifies the link metric (i.e., the cost) for traffic engineering purposes
- This metric may be different than the standard OSPF link metric
- Typically, the metric is assigned by a network administrator

DEFINITA EL PUÒ AVER FRANCO DI COSTO,  
UN COSTO EL SUPERFRANCO DI  
SERVIZI, ETCHE UNA RESTRIZIONE PUÒ!  
SERVIZI ALCHE MASSIMIZZATA

COSTO EL UN  
TWO DI RESTRIZ.

COSTO ASSOCIAZO SOGLI UNA ETÀ EL DIVISO DA GRADUATORIA RICHIESTA IP  
NON E' NECESSARIALMENTE UCCELLATO  $\Rightarrow$  COSTO DI ROUTING  $\neq$  (POTERBES) RESTRIZIONE TE

W OSPF SE NOR SPSTRENO MUS C'E' UNA RESTRIZIONE PER STABILIRE COSTO DI UN LINK



# Link characterization

BANDWIDTH [bytes/seconds]

STATIC

MB

PROPRIETÀ  
DEL  
LINK

NUOVE OPPORTUNITÀ DI UN LINK

ERS

AD USO ESCLUSIVO

- **Maximum Bandwidth**, i.e., the link bandwidth that is usable

- **Maximum Reservable Bandwidth**, i.e., the amount of bandwidth that can be reserved on a link

– This is normally configured to be smaller than (or equal to) the Maximum Bandwidth, unless the administrator wants the link to be oversubscribed

PASSO ANCORA PIÙ IN DI MRB > MB → \* APPUNTI

SI PUÒ ANCORA USARE 'LESB = LB  
SE VOLENO RESERVARE TUTTA LA BANDA

- **Unreserved Bandwidth**, i.e., the amount of bandwidth still available on the link (per priority level)

$$UB \leq MRB$$

CAPACITÀ MAXIMA DELLA LINEA SONO VEDIMENTI NELL'ORDINE E NON È REGOLATA ALTA POSSIBILITÀ!

UNA INFRASTRUTTURA AREA CON PROTOCOLO DI RISCHIO DENTRO

CI SONO 8 CANALI DI PRODUZIONE

TRANZ.

TRASMISSIONE → QUANTO SPORSO? OFF

PERCENT' E' COME POSSO USARE MAXIMA RESERVABLE BANDWIDTH > MAXIMA BANDWIDTH?

LA PERCENT' E' CHE ABBIAZIO DEI PACETTI E CONDIZIONATO DA UN SISTEMA DISCRETO, NON CONTINUO  
E' UN MONTAGNA DI FENOMENO CHE SI PUO' PENSARE.

LE DIFFERENTI SONO OLTRE:

- ① IL MEDIANO "FWTDO" PUO' GRUPPARE IL COMPORTAMENTO MEDIANO + UNICO RISULTATO!  
NON ESISTE UNO STEADY-STATE SONO MEDIE CHE A SECONDA DEL TRAFFICO SONO  
CONSIDERABILMENTE DIFFERENTI.

QUANDO PIATTINO A VOLTE HRB = AD UN CERTO VACONE QUESTO E' UN VACONE  
NON OCCUPATO, NON E' RESERVATO NELLO COSTANTE, SEMPRE A QUESTO VACONE  
(STATISTICAL LEARNING)

QUANDO FACESSIMO IL SETUP POTREMO ANCHE TENERE CONTO DEI VALORI REALE, DEL  
VALORE DI ALIAS MA E' STATO UNA SOLITA PROCEDURA DI DETERMINAZIONE  
LE "RESERVATIONS" E' CA CHIAVETTAZIONE DEL CIRCOLO A PIU' SEMPRE POSSIBILE.

POTREMO FARCI RENDERE UNA IN UNA CONCESSIONE "OUTER BOUNDARY" OVVERO  
POTREMO ACCORDARE UN PERMISO DI CONCESSIONE NEL CIRCOLO ANCORA POSSIBILE IN SECONDA  
NON SARÀ COSÌ.

I NODI NON HANNO CONNESSIONI CONFERMANO LE "RESERVATIONS", SONO SOLO  
NODI DELLA RETE.

TRAFFICO ENTRANTE NON HA CARATTERE DI DATA PLANE, E' SOLO  
DI CONTROL PLANE.

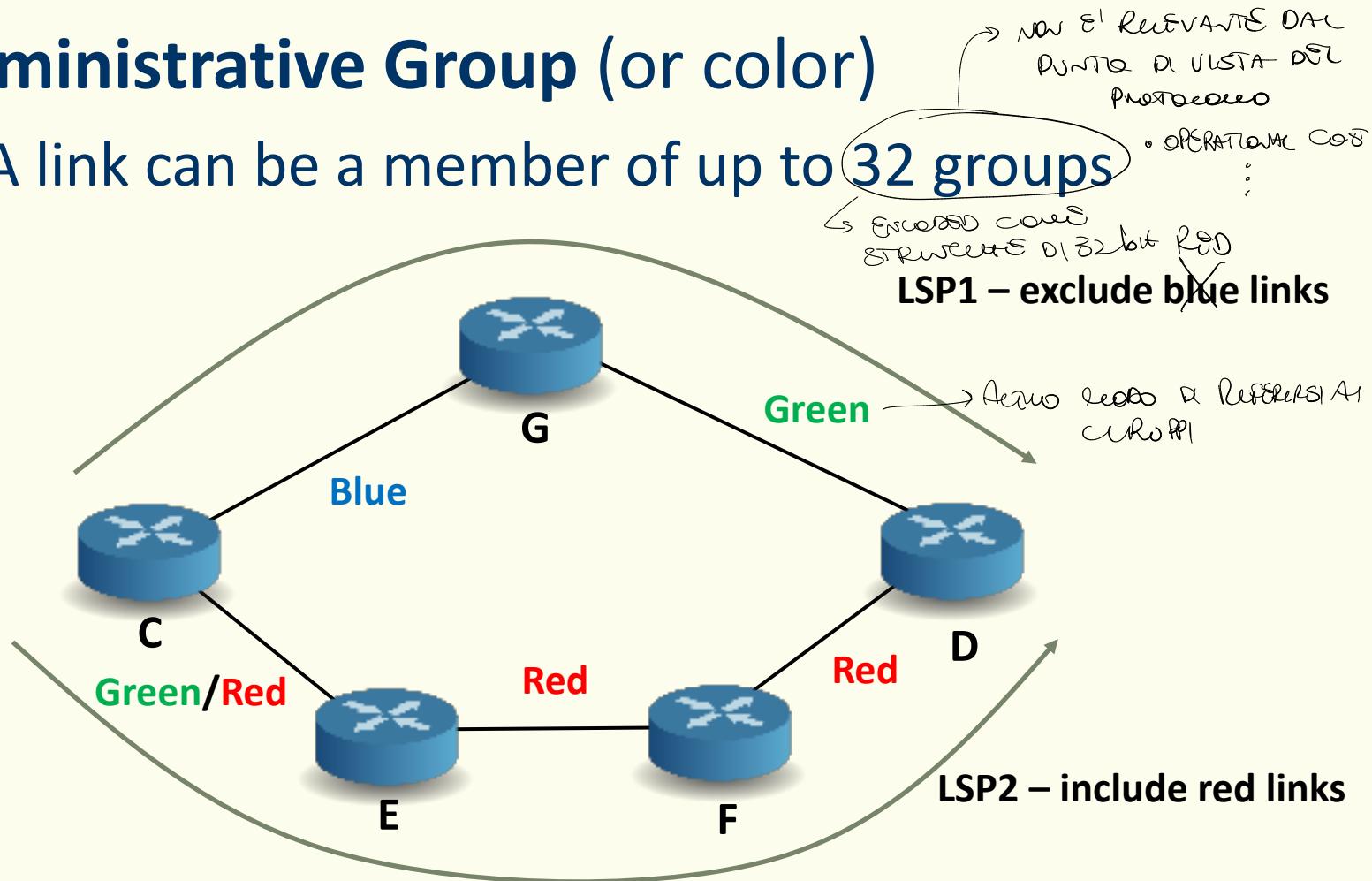
SE DO 100% DI BAND A UN PEZZO, QUELLA CIRCUITI POSSONO  
ESSERE CONFICCATI ATTRAVERSO QUALSIASI ARCO,  
SE A QUESTO DATARATE NON PASSANO PACETTI.



# Link characterization

- **Administrative Group (or color)**

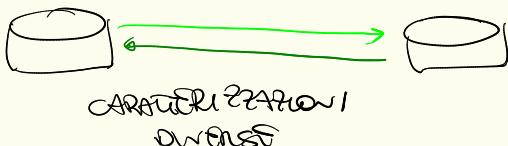
- A link can be a member of up to **32 groups**





# Constraint-based routing

1. **Link characterization (in a consistent manner)**
  - Cost and attributes
2. **Extended routing protocol**
  - To convey the enriched link characterization
3. **Constraint-based path computation algorithm**
  - Constrained Shortest Path First (CSPF)





# Extended routing protocols

- Link attributes must be **advertised** as part of routing information by the routing protocol

- Link-state vs. Distance-vector?**

- Existing link-state protocols have been extended to support constraint-based routing

- OSPF → OSPF-TE
- IS-IS → IS-IS-TE

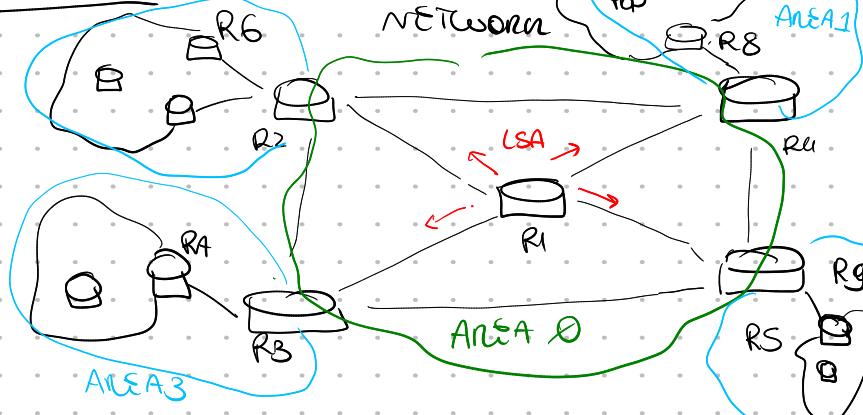
→ DOBBIACO SCAMBIA INFORMAZIONI SU SWITZERLAND -

NON E' UN'OPERA  
PER IL TIPO DI  
INFORMAZIONI  
CHE DOBBIACO  
SCAMBIA

Ogni SWITZERLAND  
CONNESSIONE  
POINT-TO-POINT

Potrebbe essere CREATO  
UNA ZONE DI DOBBIACO  
CONTENUTI SCAMBIALI WICHI  
SU PONTE

## RIPASSO SU OSPF:



## LSA HEADER:

- "ADVERTISING ROUTER": IDENTIFICA UNROUTEROCHE AVVIL ROUTER IN UN DOMEIN OSPF. NON NECESSARIO CHE SIA VENDUTO IP.

Ogni Router CENTRA UN NODO  
DI LINK STATE ADVERTISEMENT (LSA)  
(NEL CASO DI STERZO CE SONO  
UNO). I LSA CONTENGONO  
INFO RELATIVI ALLA RETE  
(ROUTE) A CUI E' CONNESSO  
IL ROUTER. Dopo UN CERTO  
TEMPO OGNI ROUTER FA  
TUTTE LE COPIE DEI LSA.  
E' QUANDO POSSIBILE RICOSTRUIRE  
LA TOPOLOGIA DELLA RETE!

I LSA DEVONO ESSERE PROPAGATI WITHE LA RETE (flooding).

## STRUTTURA Body:

NEGLI FASI INIZIALI SI STABILISCE UNA OSPF NEGLI OSPF REED SISTEMANDO

MESSEGGI OSPF PER IL CONSENSO

A QUESTO PUNTO NEL BODY DI UN LSA SONO PRESENTI QUESTE INFO.

|           |    |                 |
|-----------|----|-----------------|
| Router ID |    |                 |
| DI        |    |                 |
| R1        |    |                 |
|           | R2 | C <sub>12</sub> |
|           | R3 | C <sub>13</sub> |
|           | R4 | C <sub>14</sub> |
|           | R5 | C <sub>15</sub> |

COSTO CERCA 1-2

$$\text{NUOVO DI LSA} = \left\{ \text{LSA}_1, \text{ uno per router} \right\} = \text{OSPF DATABASE}$$

NUOVA RETE ESTESA CON LE ACCELERATED NETWORK Funziona AUTO UN

LSA così:

|    | C <sub>1</sub>  |
|----|-----------------|
| R1 | C <sub>11</sub> |
| R2 | C <sub>12</sub> |
| R3 | C <sub>13</sub> |
| R4 | C <sub>14</sub> |
| R5 | C <sub>15</sub> |
| R6 | C <sub>16</sub> |
| R7 | C <sub>17</sub> |
| R8 | C <sub>18</sub> |

→ Soluzioni non scattabili!

OSPF DB CREA SOLO LE RETE DI ACCELERATED NETWORK -

↳ DIFFICILE AVETE  
FAR CEPARE  
NO JS K STRA -

R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> e R<sub>5</sub> AREA BORDER ROUTERS



TUTTE LE AREA DEVONO ESSERE CONNESE ALL'AREA 0 (BACKBONE AREA).

NUOVE OLE ALINE SU TUTTI I ROUTER, OSPF SI APPLICA SU Ogni AREA INDIPIENDENTEMENTE.



NON SONO CONSIDERATE LA TOPOLOGY OSPF NELLA AREA MA SOLO ALL'INTERNA DEL'AREA. (WTRA - AREA normale)

DEVO CONSIDERARE ANCHE DUE INFORMAZIONI TRA LE AREE (WTRA-AREA normale)

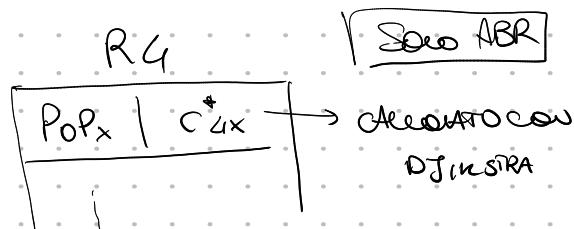
CLOSED AREA TIPI DI CSA:

TIPO 1: Router LSA



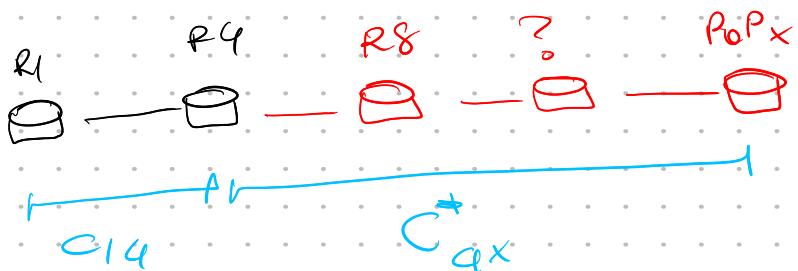
UN AREA BORDER ROUTER NON HA ACCESSO A PASSARE CSA DI TIPO 1, MA ALCONT AVREBBE IL BEST PATH TRA CUR & 1, POI DI PRESENZA DUE RETI (CO SA PERMETTERE DI APPARIRE). ABR OPERA SU UN COSTO PER RACCOLTA DI TUTTI I POP.

TIPO 3: Summary CSA



ACCESSO W UN'AREA E CONDUCE IN UN'ALTRA

1 Router DEI BACKBONE CONOSCEO AUTOMATICAMENTE PIET BACKBONE, SONO UNA DISTANZA DA POP VERSO ACCESSO DI UNA NETWORK.

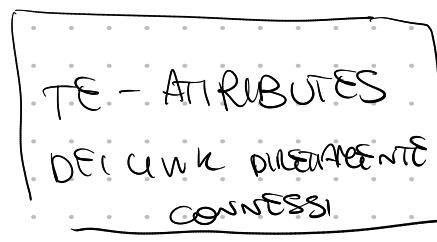


conosco al 100% TBM  
per tutte le conn.

conosco solo il costo  
attivo

- CSA DI TIPO LO:

R1



DESCRIVE DEI ATTRIBUTI  
TE DEL CIRCUITO  
OSSIA E'  
CONNESSO -

- TE - COSTI
- LB
- MRB
- UB

RISPARMIO UN CIRCUITO

A QUESTO PUNTO POSSO  
CONSIDERARE OLTRE AI  
ATTRIBUTI TE RELATIVI  
I CONSTRAINTS.

QUANDO SO OSPF EXTERNAL AREA

LE INFORMAZIONI SUI TOPOLOGY

NON SONO CONDIVISE TRA LE

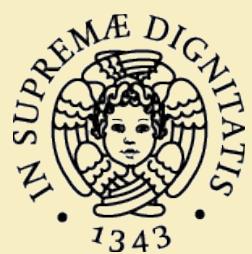
ANEE E NON HA SENSO MUOVERE

CSATE PERMETTEVA DI MUOVERE

LE CARATTERISTICHE DEL CIRCUITO

TRAFFIC ENGINEERING  
DATABASE

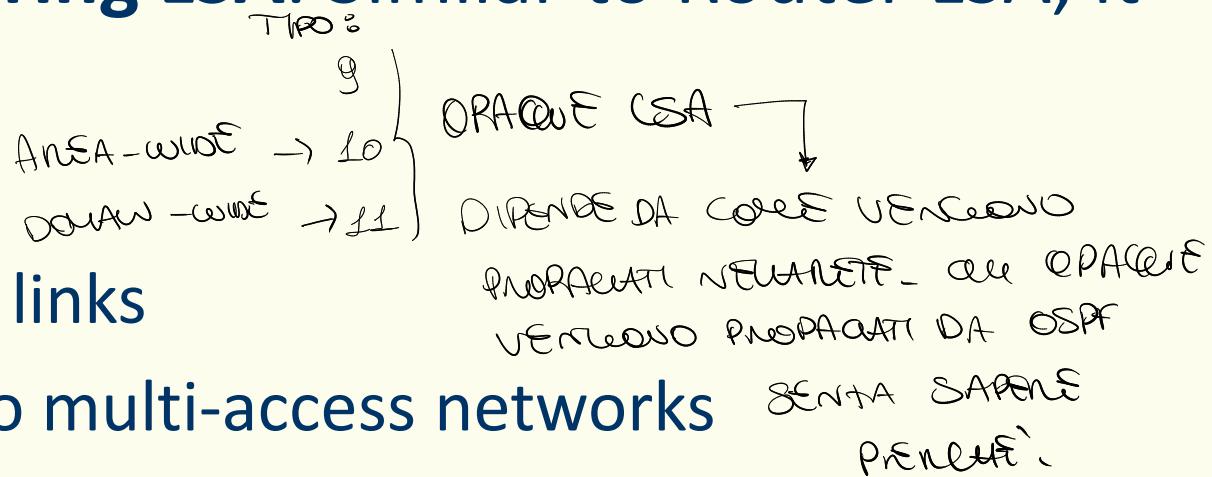
→ NON HA INFORMAZIONI  
SU TE FUORI  
DALL'AREA.



# OSPF-TE [rfc 3630]

- **Traffic Engineering LSA.** Similar to Router LSA, it describes

- Routers
- Point-to-point links
- Connections to multi-access networks



- **Limitations**

- Only Opaque LSAs of Type 10 is used, that has **area wide flooding scope**  
*→ Don't need propagation*
- Only the **reservation state of p2p links** is captured

↳ SIAZIONI CON SERVIZI DI TELCO E PIANI NUOVI  
SPECIFICHE -



# OSPF-TE [rfc 3630]

① SEPARATA

HEADER È UCCELLA  
A QUELLO DI OSPF.

② NON UCCELLA

The LSA payload consists of **one** of two top-level TLV triplets:

1. **Router Address**: specifies a stable IP address; this is typically implemented as a **loopback address**

UCCELLATO UN WANETTO C'È SIA  
NIENTE PER IL SETUP DELLE LSP

2. **Link**: describes a single link, using a set of sub-TLV triplets

1. Link type (1 octet): p2p or multi-access

2. Link ID (4 octets) TIPOLOGIE

3. Local interface IP address (4 octets)

4. Remote interface IP address (4 octets)

5. Traffic engineering metric (4 octets)

6. Maximum bandwidth (4 octets)

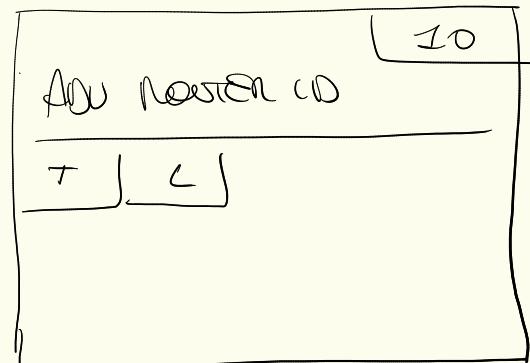
7. Maximum reservable bandwidth (4 octets) for each setup priority

8. Unreserved bandwidth (32 octets)

9. Administrative group (4 octets)

TE ATTRIBUTES

LSA-TE GENERATO PER OGNI CONNESSIONE  
DIRIGENTE CONNESSO E TRASMESSO ALL'INTERNO DELLA Rete -



| Type                  | Length                | Value...              |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0                     | 1                     | 2                     |
| 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 |
| +                     | +                     | +                     |
|                       |                       |                       |
| .                     | .                     | .                     |



# Traffic Engineering Database

- Each router has knowledge of the values of all **attributes** of all links in a single area
- Link attributes are stored in the Traffic Engineering Database (TED)

## — Static link attributes

- Maximum Bandwidth or Administrative Groups

## — Dynamic link attributes

### • Unreserved bandwidth

Quando RESTRIZIONI UN NUOVO CSP LA CB CATA

- COSTI CAMBIATI E NON ANCORA RIELEVATI
- LINK DOWN E NON ANCORA RIELEVATI

TED ACCORDI,  
DISTANZA TRA LA COPIA  
DISTROBUITA DEL DATABASE

E CA  
TOPOLOGIA  
REALE

INDIRETTAMENTE RICEVUTE  
ISTANTANEAMENTE CON  
STATO DEL LNK

When to distribute  
link state updates?

VOLERELLO IL DB PUÒ ACCEDERWATO  
POSSIBILE

PARTENDO DA OSPF, VA BENE QUINDI SORTEARE

AUMENTO DI  
TUTTI I COSTI  
PER UN  
PERCENTUALE  
DEI SECONDI -



PERIODIC ADVERTISEMENT → REFRESHING THE STATE OF THE LINK  
AD Ogni Cambio Di Topologia L'Aggiornamento Viene Inviatò Instantaneamente.

# Traffic Engineering Database

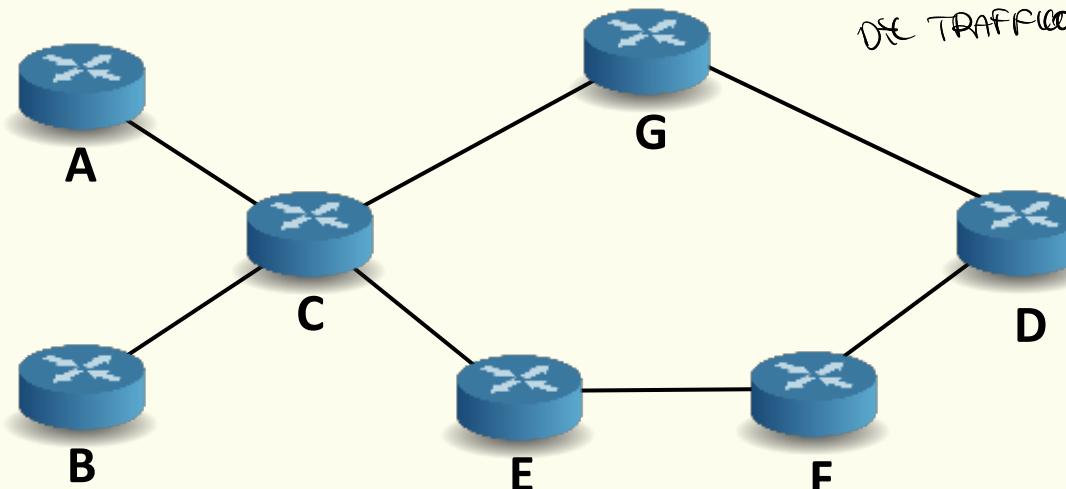
A SOLO DEGLI INTERNET WORKS IL DB E' MAI ACCESO DA CERTE AREE  
Facciamo Questo Tanto E' solo RISMETTO.

- **Link status change, as with regular OSPF**
  - State of the interface (up/down)
  - Manual configuration change

SE DOVESSI MUovere UN ACCESSRIMENTO AD  
UN OSPF AREA AVREI UN FEEDBACK  
UBI L'AREA E' PESO-

POTREMO FARLO COSÌ DA  
PER QUESTO TIPO DI INFORMAZIONE  
NON E' CONVENIENTE.

IL TED NON E' PRECISO COME  
LO OSPF-DB, PER CHE'  
ATTUALMENTE C'È UN GRANDE DIVERTIMENTO  
IN QUESTO SENSO A CAUSA  
DEL TRAFFICO CENTRATO DELL'SA.



# Traffic Engineering Database



- TE-related status change
    - Change in the Unreserved Bandwidth: a router can be configured so that flooding is triggered only if the UB crosses certain thresholds

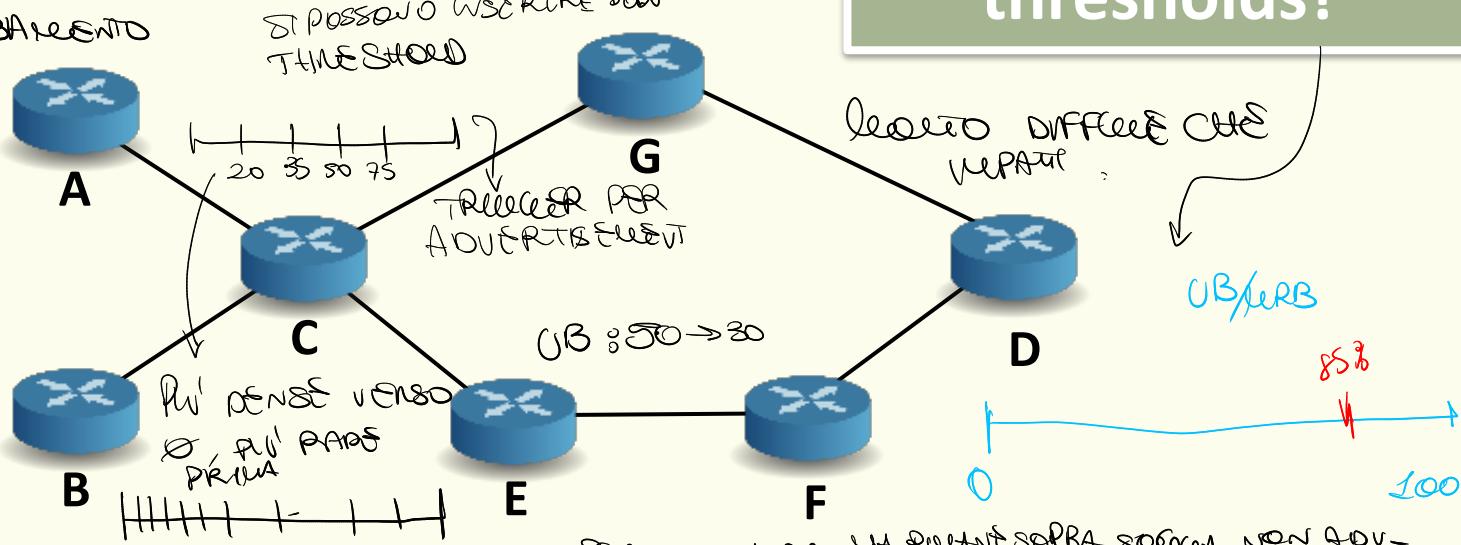
① RIVERBED AQUIFERINE TURBID, RIVER SUBMERGED (FLOODING)

SE ABBALEO UN CLUBAMENTO  
SVELLEO, TUPA UN  
CSP DE RESERVA  
POCHISSIMA BANPA -

1 mbps up / 1

16 kbps RESERVATO

SENOR ANVERSALES  
ABBALOS  
INACCURACY



# How to configure thresholds?



Se non utilizzo Router DEC GIGABITICO → POTREI ANDARE DI LESSAGE DI  
Trovare.

# Traffic Engineering Database

- TE-related status change
  - LSP setup failure

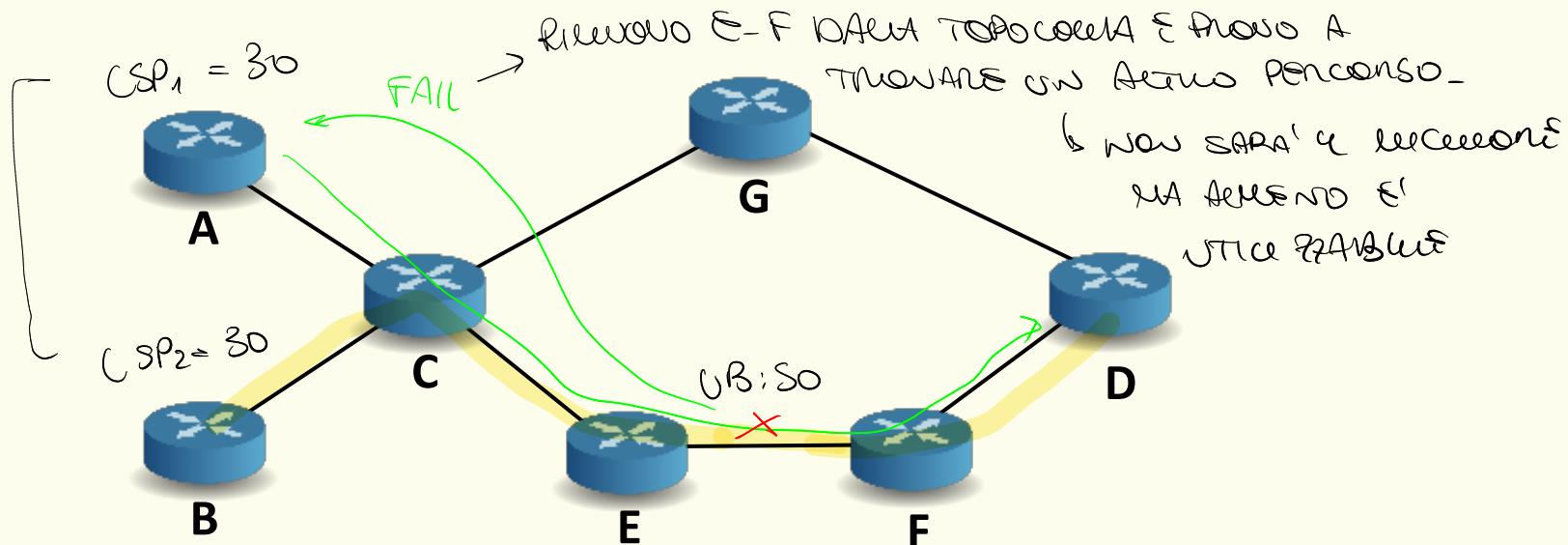
Riduttore di latenza per certe Rete  
condizioni non sono a causa delle  
time stamp.

ACCUMULAMENTO DA SO A SO.

Se volevo configurare un  
LSP con BANDA  
RESERVATA di 200.



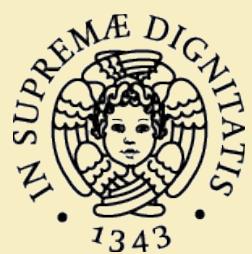
NON POSSO  
**ERRORE**





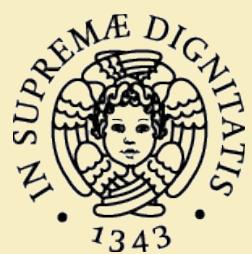
# Traffic Engineering Database

- Periodic
  - Needed to complement changes that do not trigger an update (180s by default on Cisco routers)
- Thresholds help reducing control traffic overhead
- TEDs are not 100% up to date and therefore path computation is **not always accurate**



# Constraint-based routing

- 1. Link characterization (in a consistent manner)**  
beyond the cost
  - Attributes
- 2. Extended routing protocol**
  - To convey the enriched link characterization
- 3. Constraint-based path computation algorithm**
  - Constrained Shortest Path First (CSPF)



# Constraint-based path computation

- Constrained Shortest Path First algorithm is used
  - Path metric
  - Local (LSP specific) constraints on link attributes
  - TED content
- Enhanced version of **Dijkstra's algorithm** (SPF)
  - apply the constraints to all the links in the TED, so as to obtain a “pruned” network graph
  - apply **SPF** on the pruned network graph so as to find the Shortest Path Tree that connects the source to any reachable destination

→ INPUT EA ON ACHIEVEMENT COST  
THESE

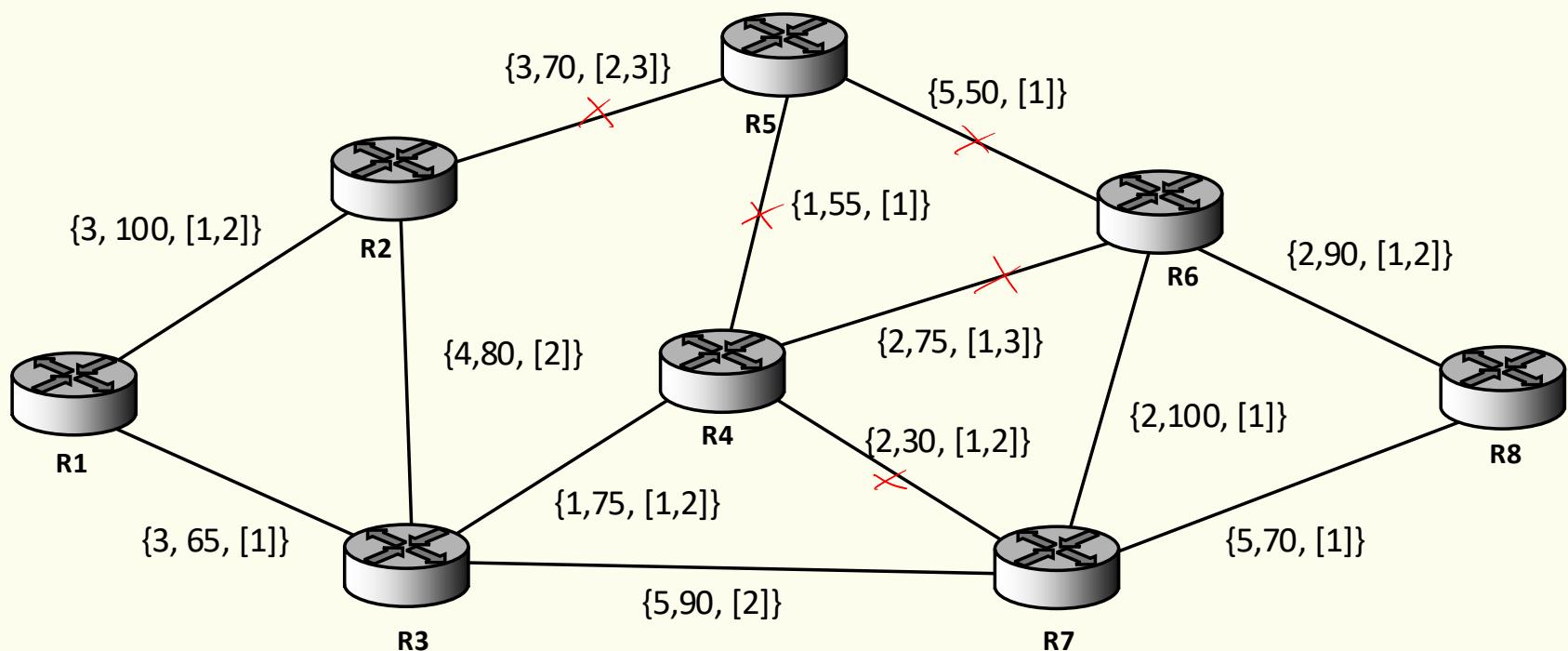
→ RELEASING THE AREA ARE NOW RESPONDING TO YOU

# CSPF example

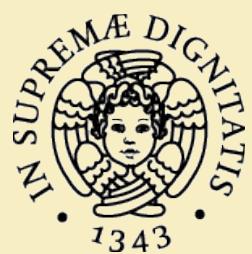
ASSUREALIS UN K RONZEZARAE COW  
CARATORE ESTATEC CereAef

① Pmnwnc

{Cost, Unreserved bandwidth, [Groups]}

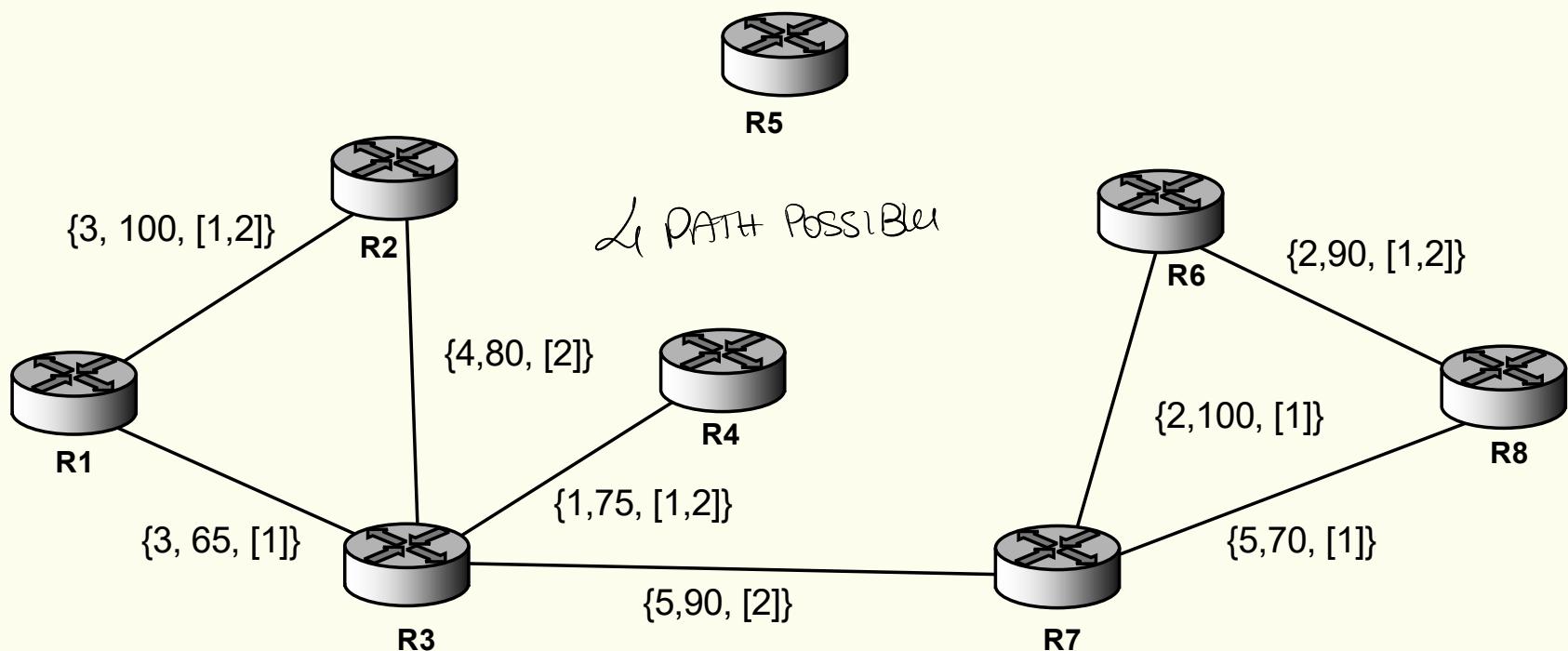


LSP: R1 → R8, 60Mb/s, exclude Group 3



# CSPF example

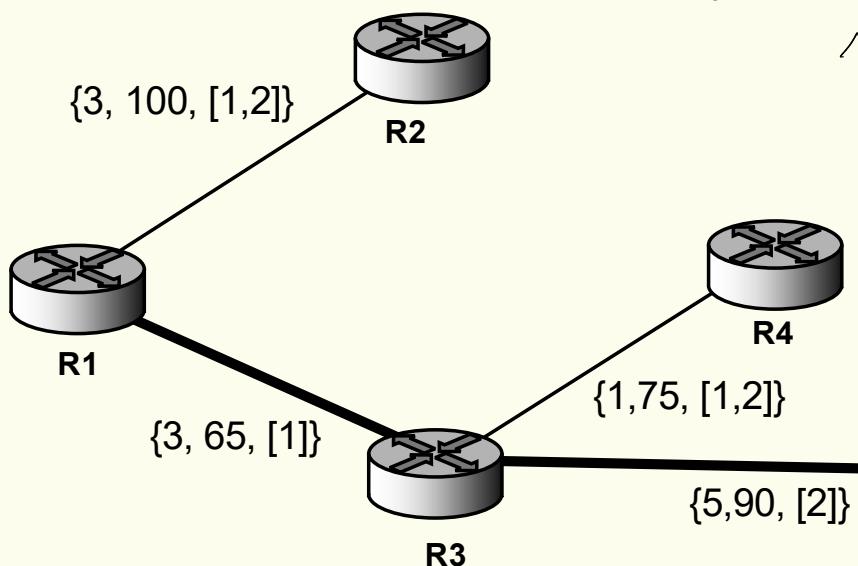
{Cost, Unreserved bandwidth, [Groups]}



LSP: R1→R8, 60Mb/s, exclude Group 3

# CSPF example

Se sono due path con lo stesso costo  
ma diverso costi di riserva  
(equal cost multipath)

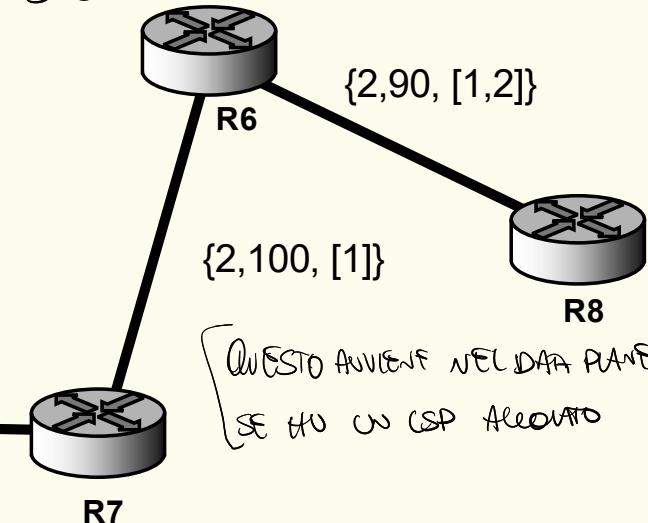


LSP: R1 → R8, 60Mb/s, exclude Group 3

{Cost, Unreserved bandwidth, [Groups]}

Non so quanta banda devo riservare per uno  
e l'altro -

Se a sono due path con lo stesso costo  
ma diverso scorrimento uno

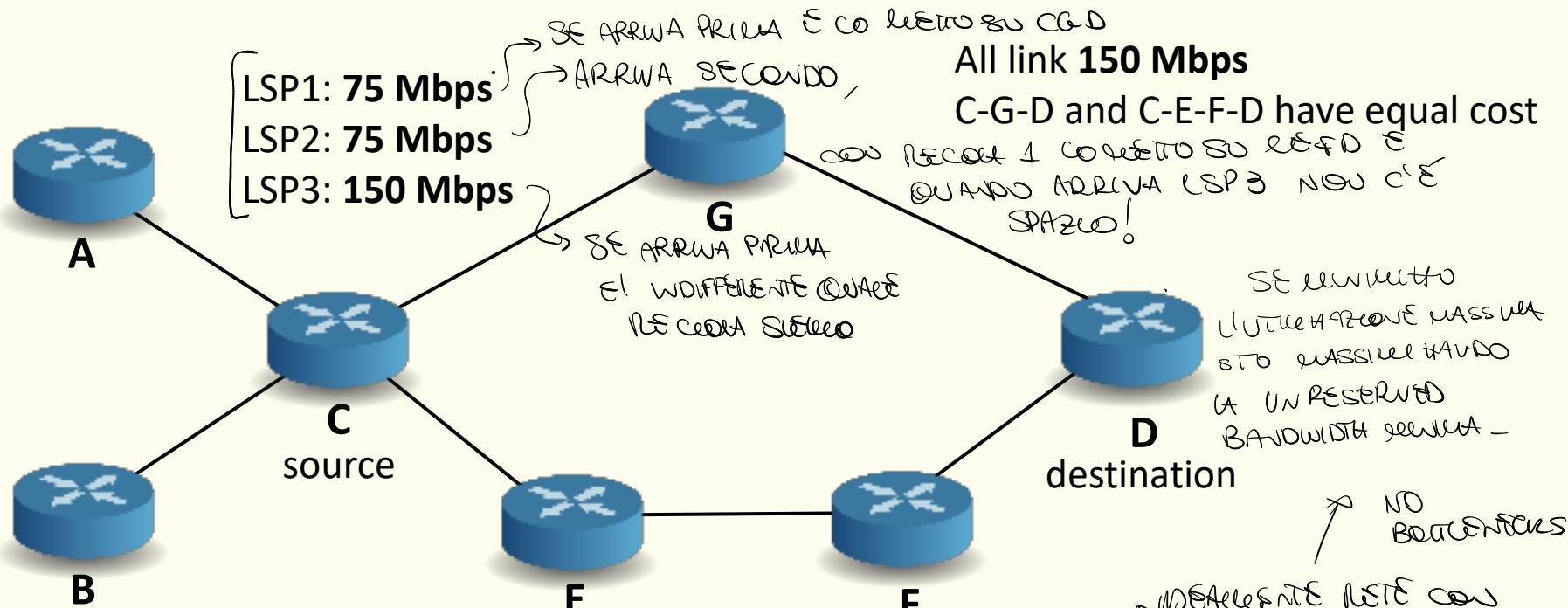


R1 - R3 - R4 - R6

$$3 + 5 + 2 + 2 = \underline{\underline{12}}$$

# Tie-breaking rules

COSA FANCI QUANDO ABBIANO  
PIÙ PARTI CON LO  
STESO COSTO?

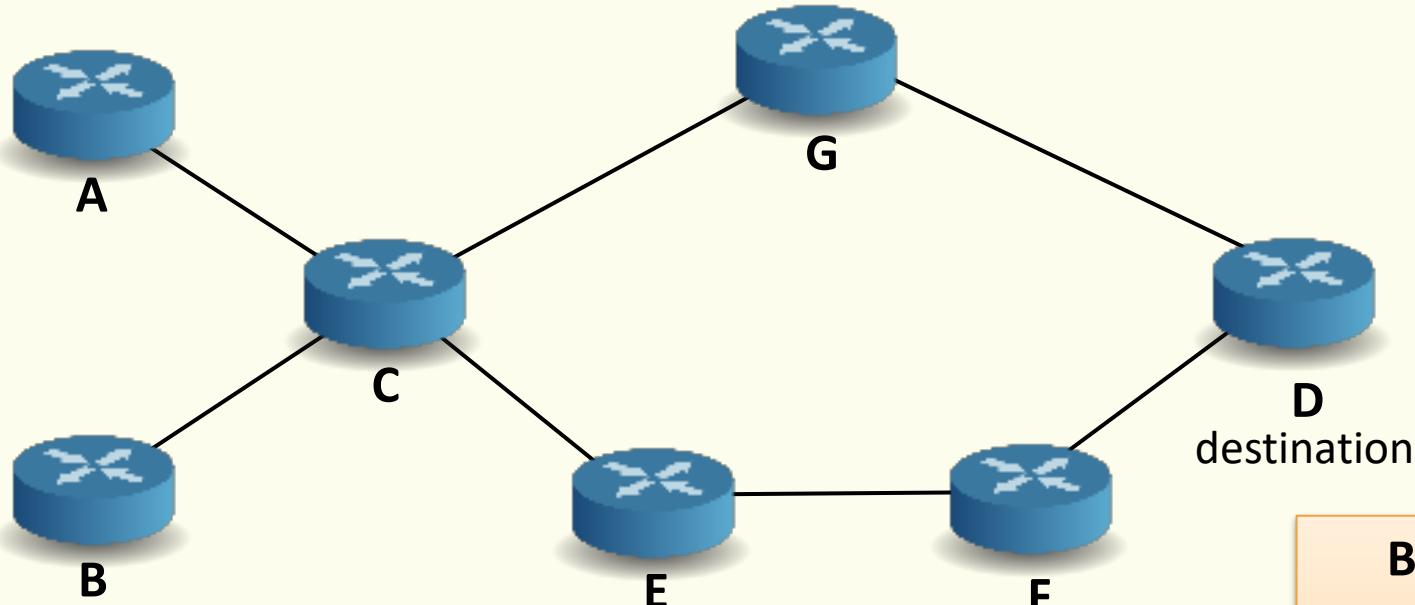


- NON ROSSO DUE SE E' ATTIVATO O NO ALTRIMENTE NO SO RICHIESTE IN ANTICIPO

  - Largest minimum Unreserved Bandwidth first:** the path with the largest minimum Unreserved Bandwidth is selected
  - Smallest minimum Unreserved Bandwidth first:** the path with the smallest minimum Unreserved Bandwidth is selected
  - Random** → NON E' UN SISTEMA OTTIMALE



# Requirements for TE



Computing paths that comply with a set of constraints

Enforcing traffic to be forwarded along these paths

By decoupling service from transport, MPLS is fundamental to support TE requirements