# Laboratorio: Design OSPF Scalabile (Single-Area vs. Multi-Area)

## 1. Obiettivo di Design

Questo laboratorio ha lo scopo di analizzare, testare e confrontare due diversi approcci di design per un routing domain OSPF:

* **Design Piatto (Single-Area):** Veloce da implementare, ma con notevoli problemi di scalabilità.
* **Design Gerarchico (Multi-Area):** Richiede pianificazione (design), ma garantisce stabilità, isolamento dei guasti e prestazioni ottimali.

L'obiettivo non è configurare OSPF, ma **capire l'impatto architetturale** delle Aree OSPF sulla Link-State Database (LSDB), sulla CPU dei router e sulla propagazione dei guasti.

## 2. Prerequisiti

* **Piattaforma:** PNetLab
* **Immagine:** Cisco IOL (es. i86bi\_linux-l3-adventerprisek9-ms.bin)
* **Router:** 9

## 3. Piano di Cablaggio (IOL)

| **Dispositivo A** | **Interfaccia A** | **Dispositivo B** | **Interfaccia B** | **Area / Scopo** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Backbone** |  |  |  | **Area 0** |
| R1 | Eth0/1 | R2 | Eth0/1 | R1 <-> R2 |
| R1 | Eth0/2 | R3 | Eth0/1 | R1 <-> R3 |
| R2 | Eth0/2 | R3 | Eth0/2 | R2 <-> R3 |
| **Area 1** |  |  |  | **Area 1** |
| R2 | Eth0/3 | R4 | Eth0/1 | ABR <-> Area 1 |
| R4 | Eth0/2 | R5 | Eth0/1 | R4 <-> R5 |
| R4 | Eth0/3 | R6 | Eth0/1 | R4 <-> R6 |
| R5 | Eth0/2 | R6 | Eth0/2 | R5 <-> R6 |
| **Area 2** |  |  |  | **Area 2** |
| R2 | Eth0/0 | R7 | Eth0/1 | ABR <-> Area 2 |
| R7 | Eth0/2 | R8 | Eth0/1 | R7 <-> R8 |
| R7 | Eth0/3 | R9 | Eth0/1 | R7 <-> R9 |
| R8 | Eth0/2 | R9 | Eth0/2 | R8 <-> R9 |

## 4. Tabella Indirizzamento IP (IOL)

| **Dispositivo** | **Interfaccia** | **Indirizzo IP** | **Subnet Mask** | **Note / Link a** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R1 (Area 0)** | Loopback0 | 192.168.0.1 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.0.12.1 | 255.255.255.0 | R2 |
|  | Eth0/2 | 10.0.13.1 | 255.255.255.0 | R3 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R2 (ABR)** | Loopback0 | 192.168.0.2 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/0 | 10.2.27.2 | 255.255.255.0 | R7 (Area 2) |
|  | Eth0/1 | 10.0.12.2 | 255.255.255.0 | R1 (Area 0) |
|  | Eth0/2 | 10.0.23.2 | 255.255.255.0 | R3 (Area 0) |
|  | Eth0/3 | 10.1.24.2 | 255.255.255.0 | R4 (Area 1) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R3 (Area 0)** | Loopback0 | 192.168.0.3 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.0.13.3 | 255.255.255.0 | R1 |
|  | Eth0/2 | 10.0.23.3 | 255.255.255.0 | R2 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R4 (Area 1)** | Loopback0 | 192.168.0.4 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.1.24.4 | 255.255.255.0 | R2 |
|  | Eth0/2 | 10.1.45.4 | 255.255.255.0 | R5 |
|  | Eth0/3 | 10.1.46.4 | 255.255.255.0 | R6 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R5 (Area 1)** | Loopback0 | 192.168.0.5 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.1.45.5 | 255.255.255.0 | R4 |
|  | Eth0/2 | 10.1.56.5 | 255.255.255.0 | R6 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R6 (Area 1)** | Loopback0 | 192.168.0.6 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.1.46.6 | 255.255.255.0 | R4 |
|  | Eth0/2 | 10.1.56.6 | 255.255.255.0 | R5 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R7 (Area 2)** | Loopback0 | 192.168.0.7 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.2.27.7 | 255.255.255.0 | R2 |
|  | Eth0/2 | 10.2.78.7 | 255.255.255.0 | R8 |
|  | Eth0/3 | 10.2.79.7 | 255.255.255.0 | R9 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R8 (Area 2)** | Loopback0 | 192.168.0.8 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.2.78.8 | 255.255.255.0 | R7 |
|  | Eth0/2 | 10.2.89.8 | 255.255.255.0 | R9 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **R9 (Area 2)** | Loopback0 | 192.168.0.9 | 255.255.255.255 |  |
|  | Eth0/1 | 10.2.79.9 | 255.255.255.0 | R7 |
|  | Eth0/2 | 10.2.89.9 | 255.255.255.0 | R8 |

## 5. Diagramma di Rete (Codice Mermaid)

**Snippet di codice Mermaid**

graph TD  
 subgraph "Area 0 (Backbone)"  
 R1(R1) --- |"Eth0/1 - Eth0/1"| R2(R2 - ABR)  
 R1(R1) --- |"Eth0/2 - Eth0/1"| R3(R3)  
 R3(R3) --- |"Eth0/2 - Eth0/2"| R2(R2 - ABR)  
 end  
  
 subgraph "Area 1 (Uffici)"  
 R2(R2 - ABR) --- |"Eth0/3 - Eth0/1"| R4(R4)  
 R4(R4) --- |"Eth0/2 - Eth0/1"| R5(R5)  
 R4(R4) --- |"Eth0/3 - Eth0/1"| R6(R6)  
 R5(R5) --- |"Eth0/2 - Eth0/2"| R6(R6)  
 end  
  
 subgraph "Area 2 (Data Center)"  
 R2(R2 - ABR) --- |"Eth0/0 - Eth0/1"| R7(R7)  
 R7(R7) --- |"Eth0/2 - Eth0/1"| R8(R8)  
 R7(R7) --- |"Eth0/3 - Eth0/1"| R9(R9)  
 R8(R8) --- |"Eth0/2 - Eth0/2"| R9(R9)  
 end  
  
 %% Stile per evidenziare l'ABR  
 style R2 fill:#f9d,stroke:#333,stroke-width:2px

## 6. Fase 1: Il Design "Piatto" (Tutto in Area 0)

In questa fase, configuriamo tutti i router per appartenere alla stessa Area 0, simulando una rete cresciuta "organicamente" senza un design gerarchico.

### 6.1. Configurazione (Template)

Applica una configurazione simile a questa su *tutti i 9 router*, adattando gli IP e le interfacce.

**Template per R1:**

Cisco CLI

hostname R1  
!  
interface Loopback0  
 ip address 192.168.0.1 255.255.255.255  
!  
interface Ethernet0/1  
 description LINK-TO-R2  
 ip address 10.0.12.1 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
interface Ethernet0/2  
 description LINK-TO-R3  
 ip address 10.0.13.1 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
router ospf 1  
 ! Abilita OSPF su tutte le interfacce configurate  
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
!

**Template per R2 (Router Centrale):**

Cisco CLI

hostname R2  
!  
interface Loopback0  
 ip address 192.168.0.2 255.255.255.255  
!  
interface Ethernet0/0  
 description LINK-TO-R7-AREA2  
 ip address 10.2.27.2 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
interface Ethernet0/1  
 description LINK-TO-R1  
 ip address 10.0.12.2 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
interface Ethernet0/2  
 description LINK-TO-R3  
 ip address 10.0.23.2 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
interface Ethernet0/3  
 description LINK-TO-R4-AREA1  
 ip address 10.1.24.2 255.255.255.0  
 no shutdown  
!  
router ospf 1  
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
!

### 6.2. Analisi del Design (Piatto)

Una volta che tutti i router sono configurati e le adiacenze sono FULL, esegui queste verifiche.

**1. Analisi Tabella di Routing (Su R5, Area 1):**

R5# show ip route ospf

* **Osservazione:** Noterai che *tutte* le rotte OSPF (per i loopback e i link) sono marcate come **"O" (Intra-Area)**. Non c'è distinzione gerarchica.

**2. Analisi della LSDB (Su R5 e R8):**

R5# show ip ospf database  
R8# show ip ospf database

* **Osservazione:** Le due LSDB sono **assolutamente identiche**. Ogni router nella rete (R1, R5, R9...) ha una mappa topologica completa e dettagliata (LSA Type 1 e 2) dell'intera infrastruttura.
* **Domanda di Design:** È efficiente che R5 (Area 1) conosca i dettagli di ogni singolo link del Data Center (Area 2)?

### 6.3. Test di Impatto (Fault Isolation)

Questo è il test cruciale. Simuleremo un guasto in Area 2 e vedremo l'impatto sulla CPU di un router in Area 1.

1. **Su R5 (Area 1), attiva il debug dell'SPF:**  
     
   R5# debug ip ospf spf
2. **Su R8 (Area 2), spegni un link:**  
     
   R8(config)# interface Ethernet0/2  
   R8(config-if)# description LINK-TO-R9  
   R8(config-if)# shutdown
3. Osserva l'output su R5:  
   Vedrai immediatamente un log simile a questo:  
   \*Nov 4 10:30:00.123: OSPF: Rcv LSUPD from 192.168.0.7 on Eth0/x, length 84  
   \*Nov 4 10:30:00.123: OSPF: SFP RUN: OLD STATE: 1, NEW STATE: 1  
   \*Nov 4 10:30:00.123: OSPF: SFP: Schedule SPF calculation...

* **Conclusione di Design (Fase 1):** In un design "piatto", **qualsiasi instabilità (flap di link) ovunque nella rete forza *ogni singolo router* a ricalcolare il proprio albero SPF**. Questo è un enorme spreco di CPU e rende la rete instabile e lenta a convergere su larga scala.

## 7. Fase 2: Il Design Gerarchico (Multi-Area)

Ora modifichiamo il design per introdurre la gerarchia, senza cambiare un singolo cavo. Trasformeremo R2 in un **Area Border Router (ABR)**.

### 7.1. Modifica Configurazione (Refactoring)

1. Su R2 (Il nuovo ABR):

Dobbiamo rimuovere il comando "catch-all" e specificare le aree per interfaccia.

hostname R2  
!  
router ospf 1  
 ! Rimuove la vecchia regola "catch-all"  
 no network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
 !  
 ! Interfacce assegnate all'Area 0 (Backbone)  
 network 192.168.0.2 0.0.0.0 area 0  
 network 10.0.12.2 0.0.0.0 area 0  
 network 10.0.23.2 0.0.0.0 area 0  
 !  
 ! Interfaccia assegnata all'Area 1  
 network 10.1.24.2 0.0.0.0 area 1  
 !  
 ! Interfaccia assegnata all'Area 2  
 network 10.2.27.2 0.0.0.0 area 2  
!

2. Su R4, R5, R6 (Router Area 1):

Sposta tutto in Area 1.

hostname R4 (o R5, o R6)  
!  
router ospf 1  
 ! Rimuove la vecchia regola "catch-all"  
 no network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
 !  
 ! Abilita OSPF su tutte le interfacce in Area 1  
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 1  
!

3. Su R7, R8, R9 (Router Area 2):

Sposta tutto in Area 2.

hostname R7 (o R8, o R9)  
!  
router ospf 1  
 ! Rimuove la vecchia regola "catch-all"  
 no network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0  
 !  
 ! Abilita OSPF su tutte le interfacce in Area 2  
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 2  
!

### 7.2. Analisi del Design (Gerarchico)

Dopo che le adiacenze tornano FULL:

**1. Verifica ABR (Su R2):**

R2# show ip ospf

* **Osservazione:** L'output ora indicherà: It is an area border router.

**2. Analisi Tabella di Routing (Su R5, Area 1):**

R5# show ip route ospf

* **Osservazione:** La tabella è cambiata!
  + Le rotte interne all'Area 1 (es. 192.168.0.4, 192.168.0.6) sono ancora **"O"**.
  + Tutte le rotte per l'Area 0 e l'Area 2 (es. 192.168.0.8, 10.0.12.0/24) sono ora **"O IA" (Inter-Area)**.
* **Domanda di Design:** Qual è il vantaggio di vedere le rotte esterne come "Inter-Area"? (Risposta: Sono riepiloghi. R5 ora sa solo "per andare in Area 2, vai a R2". Non conosce la topologia *interna* dell'Area 2).

**3. Analisi della LSDB (Su R5):**

R5# show ip ospf database

* **Osservazione:** La LSDB di R5 è ora **significativamente più piccola**.
  + Contiene LSA Type 1 e 2 (Router e Network) *solo* per l'Area 1.
  + *Non contiene* i LSA Type 1 e 2 dell'Area 0 e 2.
  + Contiene invece LSA Type 3 (Summary) generati da R2, che riepilogano le reti delle altre aree.

### 7.3. Test di Impatto (Fault Isolation)

Ripetiamo lo stesso test di prima.

1. **Su R5 (Area 1), assicurati che il debug sia attivo:**

R5# debug ip ospf spf

1. **Su R8 (Area 2), riattiva e spegni di nuovo il link:**  
     
   R8(config)# interface Ethernet0/2  
   R8(config-if)# no shutdown  
   R8(config-if)# shutdown
2. **Osserva l'output su R5:**
   * **Osservazione:** **NON VEDRAI NESSUN RICALCOLO SPF!**
   * R5 riceverà un LSA Type 3 (Summary) aggiornato da R2, ma poiché la sua topologia interna (LSA 1/2) non è cambiata, e il suo next-hop (R2) è ancora valido, non ha bisogno di rieseguire l'algoritmo SPF.

## 8. Conclusioni di Design

* **Single-Area (Piatto):** Facile da implementare, ma **non scala**. Ogni modifica topologica impatta la CPU di ogni router, creando una rete "nervosa" e instabile. La LSDB cresce esponenzialmente.
* **Multi-Area (Gerarchico):** Richiede pianificazione per definire i confini delle aree (ABR). **Isola i guasti**, riduce la dimensione della LSDB e della tabella di routing, e limita l'utilizzo della CPU solo ai router nell'area interessata dal guasto. Questo è un design **stabile e scalabile**.

## Network Diagram (with Mermaid)