1 STP: IL PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE TRA GLI SWITCH

1.1 Reti locali "segmentate"

Le moderne reti locali sono "segmentate", cioè suddivise in parti più piccole, dette **segmenti**, tramite **switch** (o bridge, ma nel seguito parleremo solo di switch) al fine di isolare il traffico tra i segmenti e raggiungere una maggiore ampiezza di banda per ogni computer grazie alla creazione di domini di collisione più piccoli.

Il **dominio di collisione** di una rete è un'area in cui può verificarsi una collisione. Per esempio, se abbiamo 5 computer connessi allo stesso mezzo condiviso, i dati inviati da uno di essi possono collidere con i dati inviati da un altro. In questo caso abbiamo un dominio di collisione che contiene 5 host.

Oltre alle LAN segmentate con switch, è possibile creare segmenti di LAN utilizzando i **router** (FIGURA 1). Questa soluzione rende più lenta la trasmissione rispetto alla soluzione con gli switch (a meno di usare router che implementino funzionalità di switching).

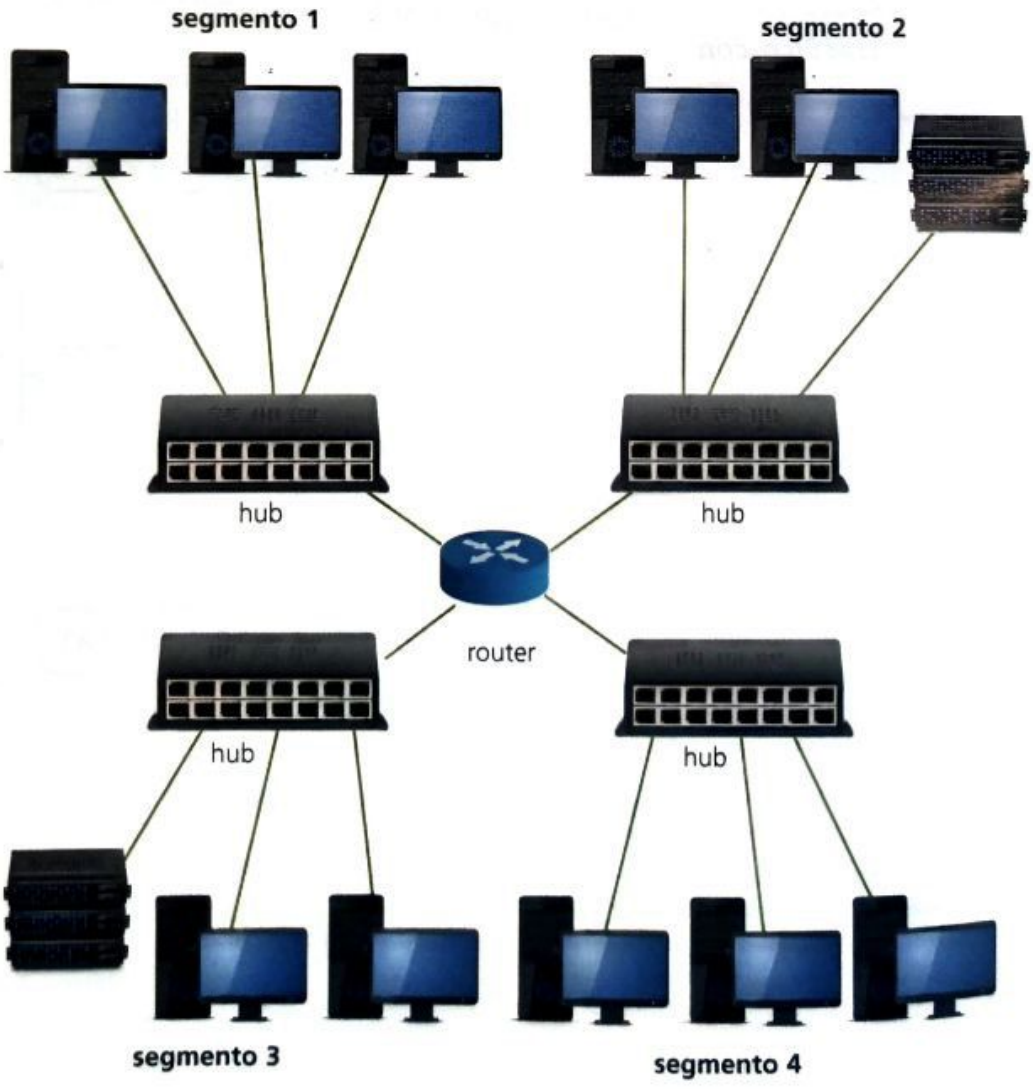


FIGURA 1 LAN segmentata con un router in 4 segmenti

Infatti il router è un apparato che opera a livello Network, basa le sue decisioni sugli indirizzi di rete (IP address) e non su quelli fisici (MAC address) e implementa algoritmi per trovare il percorso migliore che richiedono più tempo di elaborazione.
Spesso le reti con switch sono progettate con **percorsi fisici ridondanti** al fine di evitare che il guasto di un cavo o di una porta di un apparato possa portare al blocco delle trasmissioni sulla rete.
Se da un lato la duplicazione dei percorsi offre maggiori garanzie in termini di affidabilità e fault tolerance, dall'altro può dar luogo a effetti indesiderati (side effects), come la creazione di loop che portano al fenomeno detto "broadcast storm" che può in breve tempo bloccare la rete.
Un **broadcast storm** (letteralmente "tempesta di broadcast") avviene quando ci sono così tanti frame broadcast in un loop da impegnare tutta la banda disponibile. Un broadcast storm è inevitabile su una rete con percorsi ridondanti (FIGURA 2).

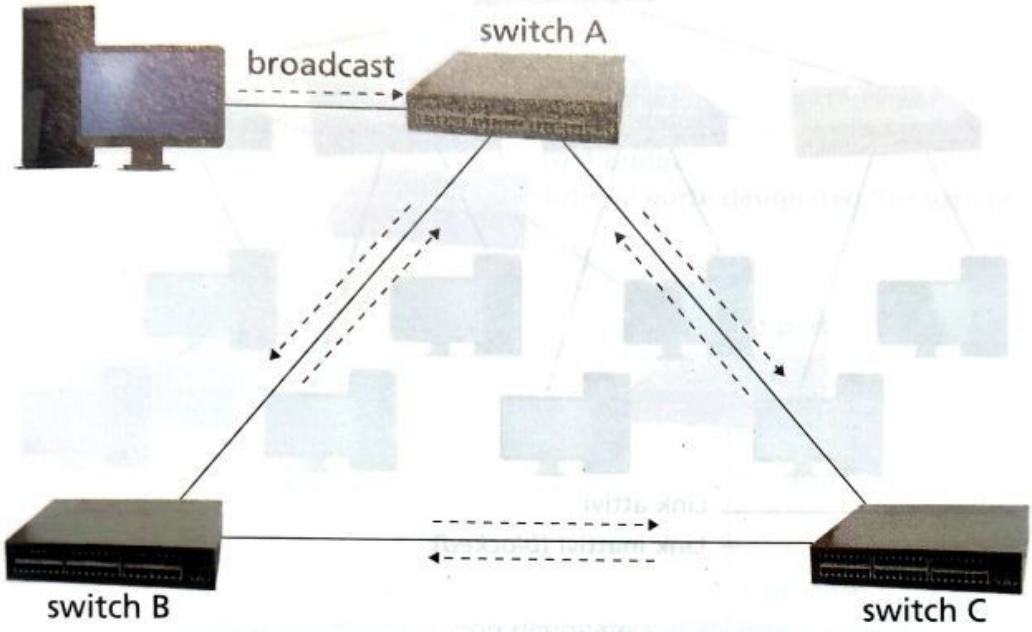


FIGURA 2 Loop con broadcast storm

Per evitare questi loop gli switch usano un protocollo per la gestione dei collegamenti, denominato **#STP** (Spanning Tree Protocol).

#techwords

STP (Spanning Tree Protocol) è così denominato in quanto il risultato dell'eliminazione dei loop è quello di creare un albero logico gerarchico.

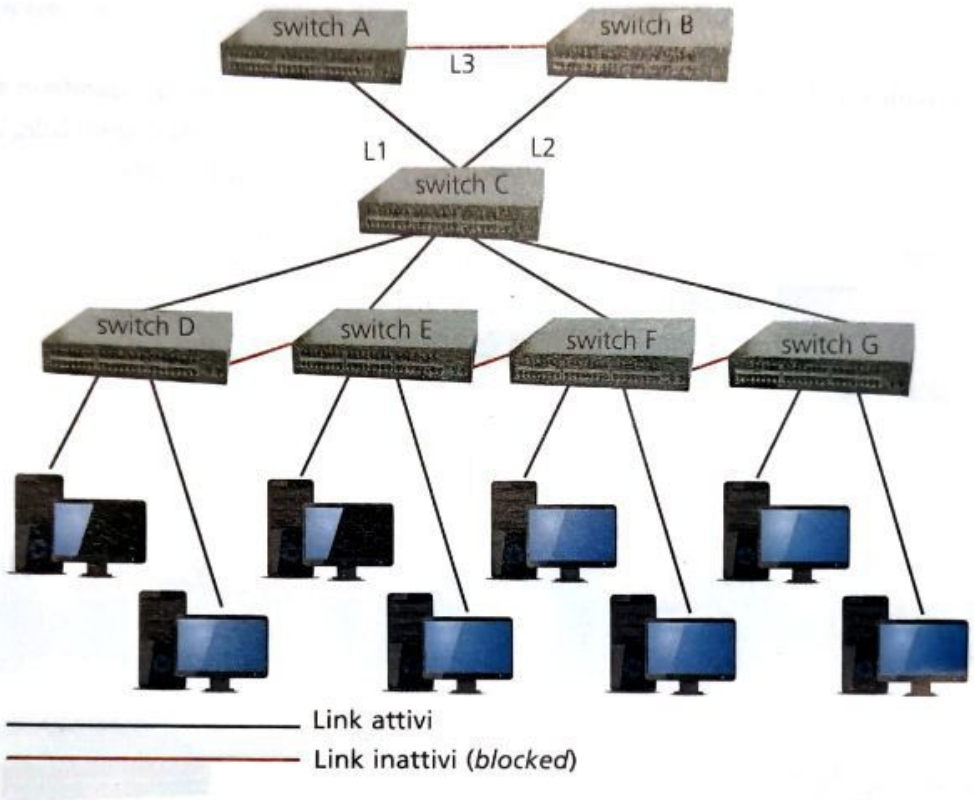
1.2 Spanning Tree Protocol

STP è un protocollo definito nello standard IEEE 802.1 per realizzare reti LAN complesse senza loop. Con STP si crea un albero gerarchico che mantiene ancora disponibili i percorsi alternativi da usare in caso di necessità, quindi si lasciano loop fisici ma si eliminano a livello di topologia logica.
Infatti, una volta rilevato che esistono più percorsi tra i nodi della rete (loop), il protocollo STP crea una struttura ad albero relegando i percorsi ridondanti a uno stato di standby (*blocked*) della relativa porta dello switch.

STP permette che venga stabilito un solo percorso attivo alla volta tra due dispositivi della rete per evitare i loop, tuttavia stabilisce collegamenti ridondanti come alternative nel caso in cui il collegamento primario dovesse non essere più disponibile. Se in un certo istante un segmento della rete dovesse diventare irraggiungibile, l'algoritmo di Spanning Tree riconfigurerà la topologia logica, ristabilendo il

collegamento attraverso l'attivazione del percorso in standby (cioè attivando la porta prima inattiva).
Se non ci fosse la struttura di Spanning Tree, entrambi i collegamenti ridondanti potrebbero essere considerati il percorso primario, producendo così un loop infinito di traffico sulla LAN.
Nella FIGURA 3 si mostra un esempio di rete locale con 3 switch interconnessi A, B e C.

FIGURA 3 Esempio di LAN con STP



In assenza di STP, tra questi switch si avrebbe un loop, ma se STP è attivo, il link L3 (rosso) è messo in stato *blocked*, così non può essere usato per la trasmissione dati. Se si verificasse un guasto sui link L1 oppure su L2, il link L3 verrebbe attivato automaticamente. Questa soluzione fornisce quindi una condizione di ridondanza per la rete, senza incorrere nel problema dei loop.
Anche gli switch D, E, F e G forniscono una ridondanza sui link (per via dei collegamenti segnati in rosso) e se STP è attivo, vale quanto indicato prima per gli switch A, B e C.

Annotiamo che, per tradizione, il termine "bridge" continua a essere usato anche quando STP si applica a una rete con switch, poiché STP fu sviluppato per essere utilizzato con i bridge. Quindi quando si legge "bridge" (per esempio, root bridge) si deve pensare "switch" (root switch).

Ogni switch della LAN invia dei messaggi detti **BPDU** (Bridge Protocol Data Unit), trasmessi da tutte le porte per conoscere l'esistenza di altri switch e per eleggere un **root bridge** nella rete (cioè la radice dell'albero logico che si verrà a creare).

I BPDU contengono informazioni per:
- selezionare un solo switch come root dello Spanning Tree;
- calcolare il percorso più breve da ogni switch alla root;

- eleggere il **designated switch**, che per ogni LAN è lo switch più vicino alla root, attraverso cui passano tutte le comunicazioni della LAN;
- scegliere per ogni switch la **root port**, cioè l'interfaccia che dà il miglior percorso verso la root.

Le porte che fanno parte dello Spanning Tree sono le **designated port**, le altre sono bloccate.
Quando si attiva l'algoritmo per la creazione dello Spanning Tree, trascorre un certo tempo, da 30 a 50 secondi, prima che la topologia logica della rete *converga*, ossia che tutte le porte degli switch siano nello stato *blocked* o *forwarding*. Quando la topologia cambia, gli switch ricalcolano lo Spanning Tree.
Quando la LAN ha ottenuto la convergenza e si è creato l'albero gerarchico (FIGURA 4), si hanno i seguenti elementi:

- un root bridge per LAN;
- una root port per i non root bridge;
- una designated port per segmento;
- porte non usate.

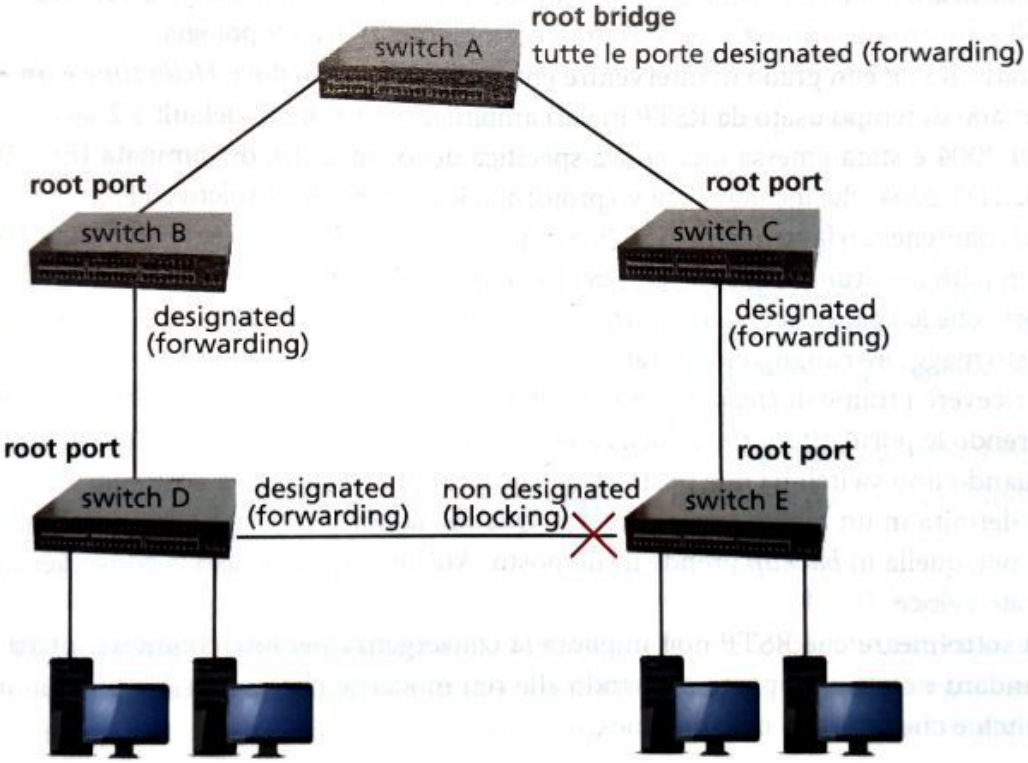


FIGURA 4 Esempio di gerarchia creata con STP

Ogni porta dello switch in STP si può quindi trovare in uno dei seguenti stati:

- **blocking**: può solo ricevere le BPDU, scarta i frame e non è in grado di apprendere nessun indirizzo fisico;
- **listening**: sta costruendo la topologia "attiva" della rete, ossia lo switch determina se ci sono altri percorsi verso il root bridge;
- **learning**: sta costruendo la tabella di bridging, quindi è in grado di apprendere gli indirizzi fisici, ma non invia né riceve dati;
- **forwarding**: può inviare e ricevere dati e in generale è in grado di svolgere tutte le funzioni possibili;
- **disabled**: è stata disabilitata (cioè resa *down*) dall'amministratore.

chwords

enerale, il **tempo di con-genza** della rete è il tem-he la rete stessa impiega ggiornare i percorsi in uito a una modifica (per npio, il guasto o l'aggiun-i un nodo, l'attivazione algoritmo Spanning Tree).

Nelle reti attuali un **#tempo di convergenza** di 30-50 secondi risulta inadeguato alle velocità elevate delle LAN, di conseguenza molti produttori hanno sviluppato delle modifiche, proprietarie, al protocollo STP standard al fine di ottenere tempi di convergenza inferiori.
Un'altra modifica è quella di permettere all'amministratore di configurare manualmente le porte alle quali è connesso un computer (e non un altro switch), così da evitare che la porta transiti attraverso tutti gli stati previsti dal protocollo, ma passi direttamente da *blocked/disabled* a *forwarding*.
Tutte queste migliorie hanno consentito di abbassare il tempo di convergenza, ma, nonostante ciò, sui link a elevata velocità che necessitano di ridondanza, gli switch di livello 2 sono sostituiti da apparati di livello superiore, chiamati **MultiLayer Switch**.

1.3 Evoluzione del protocollo Spanning Tree: RSTP

Negli anni STP ha subito varie evoluzioni: sul sito di IEEE (*www.ieee.org*) è possibile avere informazioni sugli sviluppi in corso che riguardano STP.
Nel 2001 IEEE definì il nuovo protocollo **Rapid Spanning Tree Protocol** (RSTP), identificato dalla sigla IEEE 802.1w, allo scopo di rendere più veloce la convergenza dell'algoritmo Spanning Tree a fronte di cambiamenti della topologia.
Infatti, RSTP è in grado di intervenire entro: 3 · *Hello time*, dove *Hello time* è un intervallo di tempo usato da RSTP in vari ambiti; il suo valore di default è 2 secondi.
Nel 2004 è stata emessa una nuova specifica dello standard, denominata IEEE Std 802.1D™-2004, che include il nuovo protocollo RSTP e rende obsoleto STP.
Pur mantenendo la struttura di STP, con un root bridge da cui parte lo Spanning Tree e un path costituito dagli switch, RSTP calcola un percorso alternativo definendo le porte che lo costituiscono *alternate*; eventuali porte da cui partono altri percorsi con costo maggiore rimangono in stato *blocking*. Quando una porta in *forwarding* smette di ricevere i frame di *Hello* e i timer scadono, viene subito attivato un altro percorso aprendo le porte *alternate*, velocizzando notevolmente il processo di convergenza.
Quando uno switch ha due porte in un stesso segmento, quella a costo più alto viene definita in un nuovo modo: *backup*. Quando la porta in *forwarding* non funziona più, quella in *backup* prende il suo posto. Anche in questo caso la convergenza è molto veloce.
Da sottolineare che RSTP non migliora la convergenza nei link condivisi, infatti lo standard è stato sviluppato pensando alle reti moderne che non usano più hub ma switch e che lavorano in full-duplex.

FISSA LE CONOSCENZE

- Che cosa significa "segmentare" una rete locale?
- Che cosa si intende con dominio di collisione?
- Che differenza c'è tra una LAN segmentata usando uno switch e una segmentata usando un router?
- Quali problemi può creare l'operazione di rendere ridondante la rete?
- Spiega il protocollo Spanning Tree Protocol.
- Quali sono gli stati in cui si può trovare una porta di uno switch in cui è attivo STP?

2 LE RETI LOCALI VIRTUALI (VLAN)

2.1 Dominio di broadcast

Nella Lezione precedente si è visto come l'impiego di switch in una LAN consenta di segmentare la rete in domini di collisione separati. Oltre a ciò, è utile avere anche domini di broadcast separati, in modo da poter implementare tra i diversi segmenti di rete funzioni tipiche del livello Network, come la sicurezza o la qualità del servizio.

Il **dominio di broadcast** di una rete è un insieme di computer che riceve un messaggio di broadcast trasmesso da uno di essi.
La TABELLA 1 mostra come l'impiego di apparati di rete diversi (hub, switch o router) comporti un diverso rapporto con i domini di collisione e di broadcast.

apparato di rete	dominio di collisione	dominio di broadcast
hub	uno per tutte le porte	uno per tutte le porte
switch	uno per ogni porta	uno per tutte le porte
router	uno per ogni porta	uno per ogni porta

TABELLA 1 Descrizione dei domini per tipo di apparato

La tipica configurazione di uno switch prevede quindi che tutti gli host collegati a esso siano parte dello stesso dominio di broadcast, mentre vi possono essere molti domini di collisione. Infatti una coppia di host che comunica tramite lo switch forma un singolo dominio di collisione, di conseguenza con gli switch non si eliminano del tutto le collisioni (se due host vogliono inviare l'uno all'altro un messaggio esattamente nel medesimo istante, si avrà ancora una collisione).
Se quindi le collisioni non sono più un problema nelle reti che usano switch, il fatto che questi inoltrino su tutte le porte un messaggio di broadcast può generare molto traffico su reti con centinaia di host.

Per ovviare a questo problema, gli switch attuali offrono due diverse tecnologie:

1. **Virtual LAN (VLAN)**: si creano delle sottoreti nella rete locale che, in realtà, esistono solo sugli switch. La rete rimane configurata con la stessa topologia fisica, mentre cambia la topologia logica; quando un computer su una data sottorete invia un messaggio broadcast, esso verrà trasmesso solo ai computer appartenenti a quella sottorete e non a tutta la rete locale;
2. **Layer 3 switching**: quando un host su una VLAN deve comunicare con un host su un'altra VLAN, è necessaria la presenza di un router che interconnette le due VLAN, dopo di che intervengono i rispettivi switch (questo processo viene anche detto: *route once, switch many*). Se invece si usano switch con funzionalità di routing, detti **switch Layer-3** (il riferimento è al livello 3 del modello OSI che si occupa dell'instradamento dei pacchetti), non è più necessario avere un router, in quanto questi switch sono in grado di leggere l'indirizzo di rete contenuto nel pacchetto e individuare verso quale switch inviare i pacchetti. In questo modo viene minimizzata l'attività di routing tra VLAN, effettuandola solo quando è assolutamente necessario.

2.2 Vantaggi e svantaggi delle VLAN

La segmentazione e l'isolamento del traffico che si realizzano con le VLAN consentono di ridurre il traffico non necessario, migliorando notevolmente le prestazioni di rete. Questo importante vantaggio compensa la difficoltà nel configurare le VLAN, attività che richiede un notevole lavoro di pianificazione e realizzazione.

Con le VLAN, infatti:

- è semplice aggiungere, cambiare o spostare gli host sulla rete;
- si definiscono più domini di broadcast, di dimensioni ridotte, all'interno di una stessa rete locale switched, e questo implica un miglioramento delle prestazioni della rete;
- migliora la sicurezza della rete;
- riduce i costi relativi agli apparati di rete impiegati.

Le VLAN non sono da considerarsi una soluzione alternativa alle reti con router per realizzare la comunicazione tra reti differenti (internetworking).

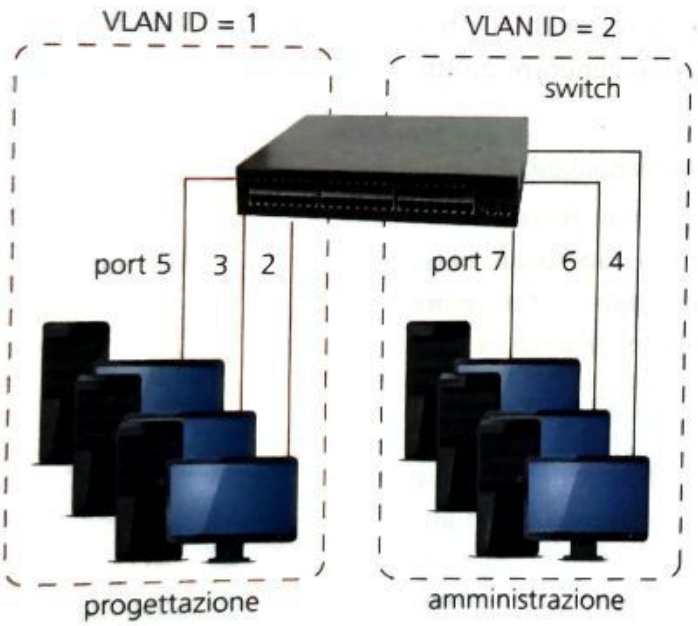
2.3 Creazione di una VLAN

#prendinota

Quando si configura una VLAN, la topologia logica è indipendente da quella fisica.

Una **Virtual Local Area Network** (VLAN) è un insieme di computer, stampanti, server o altri device di rete che sono trattati come se fossero collegati a una singola rete, mentre, in realtà, si trovano su LAN fisiche diverse.
La tecnica di realizzazione delle VLAN permette di raggruppare, per esempio, una o più porte di uno switch in modo da considerarle parte di una stessa rete virtuale alla quale possono essere aggiunte porte di altri switch.
A ogni host della LAN può essere assegnato un numero identificativo (**VLAN ID**) per identificare la VLAN di appartenenza (FIGURA 5). Host con lo stesso VLAN ID si comportano come se si trovassero nella stessa rete fisica.

FIGURA 5 Esempio di realizzazione di 2 VLAN per gruppi di porte



Una VLAN può essere creata in più modi:

- per **gruppi di porte**, a questo scopo si utilizza l'identificativo della porta; è la modalità più comune ed è tipica delle LAN che utilizzano un indirizzamento dinamico a livello Network (per esempio tramite il protocollo DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol, per l'assegnazione degli indirizzi IP);
- per **utenti**, tramite l'indirizzo fisico (MAC) dell'host; questa modalità è poco usata in quanto più difficile da gestire;
- per **protocolli**, la modalità è simile alla precedente, ma invece di indirizzi fisici usa indirizzi logici (per esempio l'indirizzo IP); da quando si è diffuso l'uso del DHCP per assegnare gli indirizzi IP non è più comunemente usata.

Vediamo con un esempio cosa significa che le VLAN permettono di raggruppare dispositivi indipendentemente dalla loro locazione fisica.
Supponiamo di dover suddividere una rete LAN in 3 aree distinte che corrispondono a 3 diversi gruppi di utenti: gli amministrativi, i progettisti e i venditori.

2.2 Vantaggi e svantaggi delle VLAN

La segmentazione e l'isolamento del traffico che si realizzano con le VLAN consentono di ridurre il traffico non necessario, migliorando notevolmente le prestazioni di rete. Questo importante vantaggio compensa la difficoltà nel configurare le VLAN, attività che richiede un notevole lavoro di pianificazione e realizzazione.

Con le VLAN, infatti:

- è semplice aggiungere, cambiare o spostare gli host sulla rete;
- si definiscono più domini di broadcast, di dimensioni ridotte, all'interno di una stessa rete locale switched, e questo implica un miglioramento delle prestazioni della rete;
- migliora la sicurezza della rete;
- riduce i costi relativi agli apparati di rete impiegati.

Le VLAN non sono da considerarsi una soluzione alternativa alle reti con router per realizzare la comunicazione tra reti differenti (internetworking).

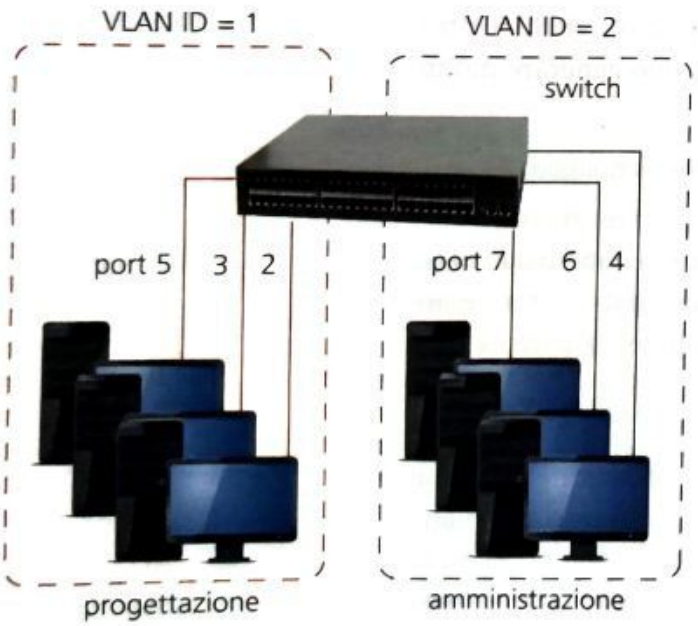
2.3 Creazione di una VLAN

#prendinota

Quando si configura una VLAN, la topologia logica è indipendente da quella fisica.

Una **Virtual Local Area Network** (VLAN) è un insieme di computer, stampanti, server o altri device di rete che sono trattati come se fossero collegati a una singola rete, mentre, in realtà, si trovano su LAN fisiche diverse.
La tecnica di realizzazione delle VLAN permette di raggruppare, per esempio, una o più porte di uno switch in modo da considerarle parte di una stessa rete virtuale alla quale possono essere aggiunte porte di altri switch.
A ogni host della LAN può essere assegnato un numero identificativo (**VLAN ID**) per identificare la VLAN di appartenenza (FIGURA 5). Host con lo stesso VLAN ID si comportano come se si trovassero nella stessa rete fisica.

FIGURA 5 Esempio di realizzazione di 2 VLAN per gruppi di porte



Una VLAN può essere creata in più modi:

- per **gruppi di porte**, a questo scopo si utilizza l'identificativo della porta; è la modalità più comune ed è tipica delle LAN che utilizzano un indirizzamento dinamico a livello Network (per esempio tramite il protocollo DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol, per l'assegnazione degli indirizzi IP);
- per **utenti**, tramite l'indirizzo fisico (MAC) dell'host; questa modalità è poco usata in quanto più difficile da gestire;
- per **protocolli**, la modalità è simile alla precedente, ma invece di indirizzi fisici usa indirizzi logici (per esempio l'indirizzo IP); da quando si è diffuso l'uso del DHCP per assegnare gli indirizzi IP non è più comunemente usata.

Vediamo con un esempio cosa significa che le VLAN permettono di raggruppare dispositivi indipendentemente dalla loro locazione fisica.
Supponiamo di dover suddividere una rete LAN in 3 aree distinte che corrispondono a 3 diversi gruppi di utenti: gli amministrativi, i progettisti e i venditori.

La FIGURA 6 mostra due diverse soluzioni per realizzare la segmentazione di rete richiesta da questo scenario:

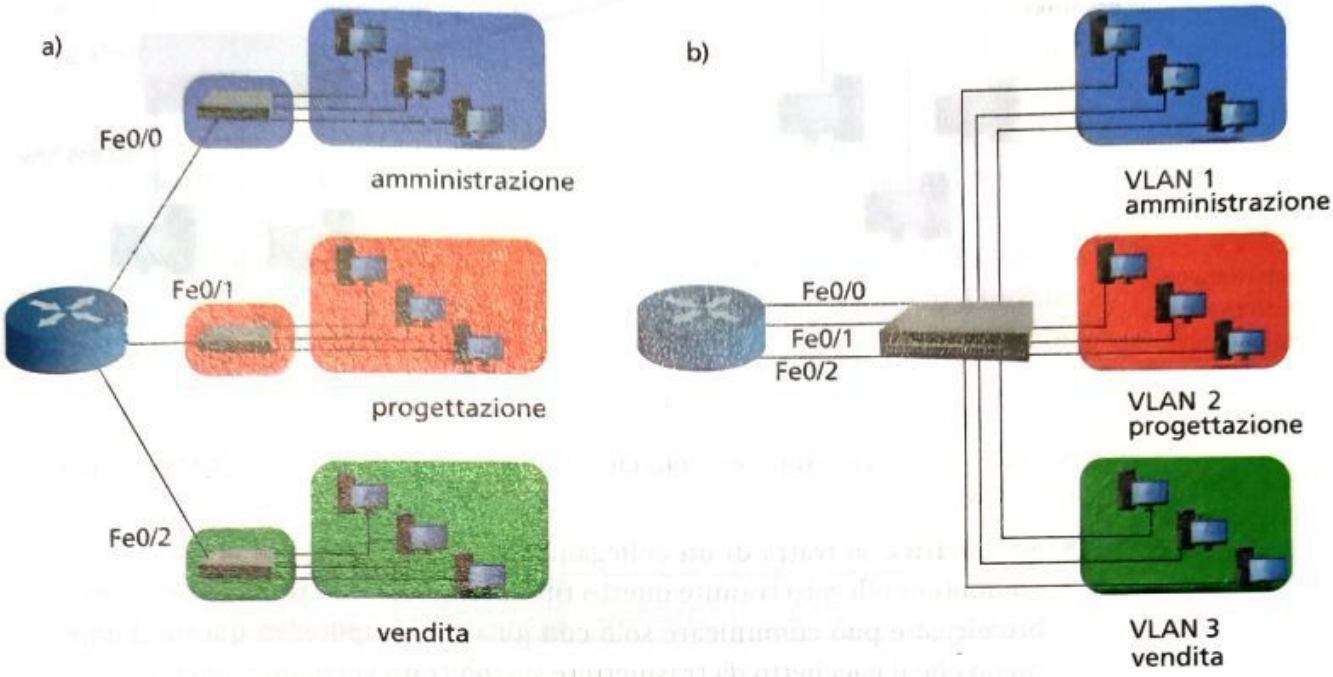


FIGURA 6 (a) Rete locale segmentata con 3 switch; (b) rete locale con uno switch e 3 VLAN

a) la LAN è divisa in 3 segmenti di rete realizzati tramite l'impiego di 3 switch;
b) la LAN è divisa in 3 segmenti di rete realizzati tramite la configurazione software di 3 VLAN.

Si noti che affinché un membro del personale di vendita della VLAN 3 possa condividere delle risorse con il dipartimento della progettazione della VLAN 2, è necessario introdurre un router o scegliere uno switch Layer-3.
Tra router e switch occorrono, però, tante linee quante sono le VLAN definite, quindi sul router deve essere configurata un'interfaccia per ogni VLAN. In questa modalità, il traffico fluisce attraverso il router come se si usassero LAN fisiche e non virtuali. Dal momento che un router deve effettuare maggiori elaborazioni sui pacchetti rispetto a uno switch, le prestazioni che offre questa realizzazione dipendono da quanto traffico rimane all'interno di una singola VLAN e quanto deve essere instradato verso altre VLAN.

Inoltre, dedicare un'interfaccia per ogni VLAN realizzata richiede di riservare un certo numero di porte sia sullo switch che sul router; spesso però i router di fascia bassa non hanno un elevato numero di porte Ethernet, quindi si dovrebbe scegliere un router più costoso.
Un'alternativa a questa realizzazione è quella di usare un trunk.

2.4 VLAN Trunking

Un metodo per permettere la comunicazione tra host collocati in VLAN diverse è di realizzare tra switch e router, oppure tra switch e switch, un canale comune, detto **trunk**, sul quale far transitare le comunicazioni tra VLAN diverse (FIGURA 7).
Di norma per realizzare questo collegamento si sceglie la porta più veloce disponibile sull'apparato di rete, in quanto sarà usato per trasportare grossi volumi di traffico.

#prendinota

Il concetto di **trunk** ha origine nella tecnologia radio, dove rappresenta una linea di comunicazione che trasporta più canali con segnali radio.

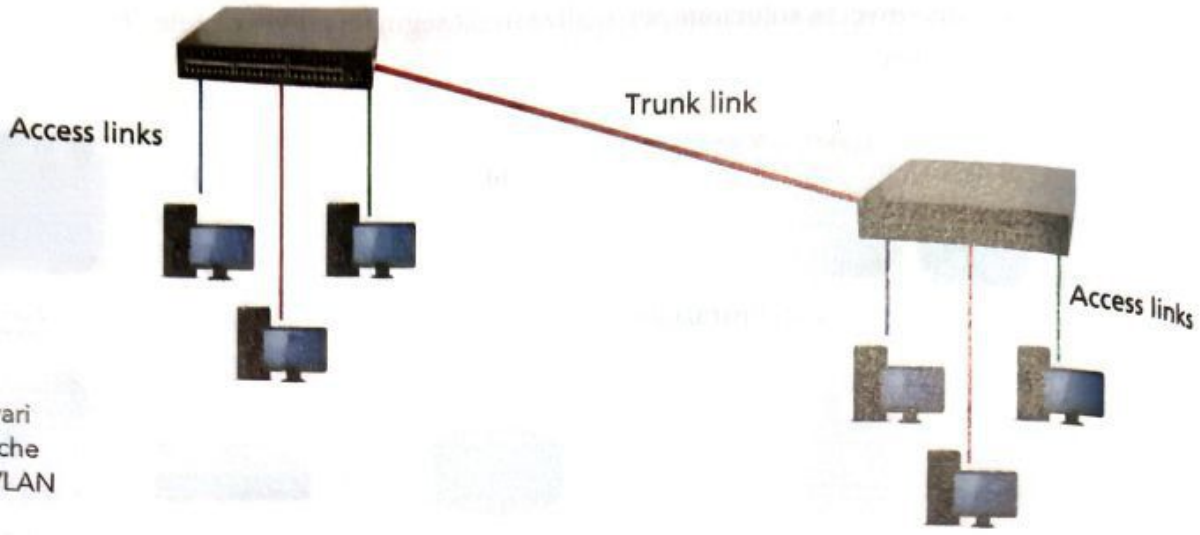


FIGURA 7 Le VLAN si possono estendere tra vari switch utilizzando trunk che convogliano traffico di VLAN diverse

Nella Figura 7 vengono evidenziati i due tipi di collegamento presenti nelle reti VLAN:

- **access link**: si tratta di un collegamento che fa parte di una sola VLAN; un computer collegato tramite questo tipo di link diventa parte di un dominio di broadcast e può comunicare solo con gli altri computer di questo dominio, a meno che il pacchetto da trasmettere sia inoltrato verso un router; il computer non è consapevole di appartenere a una VLAN, in quanto lo switch rimuove ogni informazione a essa relativa prima di inviargli il pacchetto;
- **trunk link**: è un collegamento punto-punto sul quale transita il traffico appartenente a VLAN diverse (fino a 4096); può essere usato tra due switch, tra uno switch e un server o anche tra uno switch e un router.

La **FIGURA 8** visualizza un trunk attraverso il quale transitano le comunicazioni relative a 3 diverse VLAN.

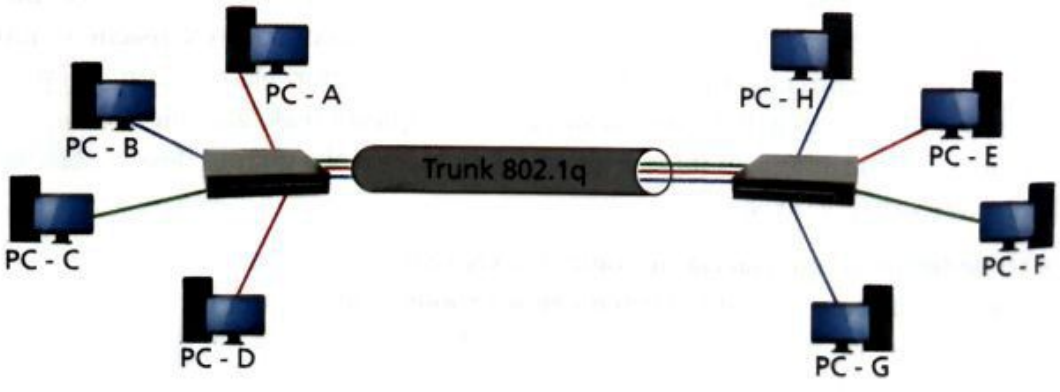


FIGURA 8 Rappresentazione di un trunk usato per mettere in comunicazione 3 diverse VLAN

#prendinota

Affinché uno switch possa inoltrare il messaggio al destinatario tramite un trunk, esso deve contenere un riferimento alla VLAN di appartenenza del computer di destinazione; la tecnica usata prevede l'uso di un **tag** e viene detta **VLAN tagging**.

Il frame Ethernet non prevede un campo per effettuare il **tagging delle VLAN** (le VLAN sono state inventate successivamente), esistono quindi vari metodi per associare un tag ai messaggi (frame) inviati sul trunk; per esempio, Cisco ha definito, per alcuni suoi switch, il protocollo Inter-Switch Link (ISL) e 3COM il protocollo Virtual LAN Trunk (VLT).
Attualmente, però, si tende ad abbandonare i protocolli proprietari, preferendo a questi degli standard internazionali.
Lo standard definito a livello internazionale, quindi protocollo non proprietario, è: **IEEE 802.1q**.

IEEE 802.1Q

Questo standard prevede di inserire un campo di 4 byte per la gestione del tag (FIGURA 9), suddiviso come di seguito indicato.

- **Tag Protocol ID** (TPID), 2 byte, usato per identificare il frame come un frame IEEE 802.1q (il valore è 0x8100).
- **Tag Control Information** (TCI), 2 byte, così suddiviso:
  - **User Priority**, 3 bit, indica il livello di priorità del frame; va da 1, bassa priorità, a 7, alta priorità. Lo zero indica nessuna priorità (best effort).
  - **Canonical Format Indicator** (CFI), 1 bit, usato in passato per indicare se gli indirizzi nel frame erano in forma canonica, ora è chiamato **Drop Eligible Indicator** (DEI) e, usato insieme a User Priority, segnala i frame da scartare (drop) in caso di congestione in rete;
  - **VLAN ID**, 12 bit, indica a quale VLAN appartiene il frame (ID = 0 e ID = 4096 sono riservati).

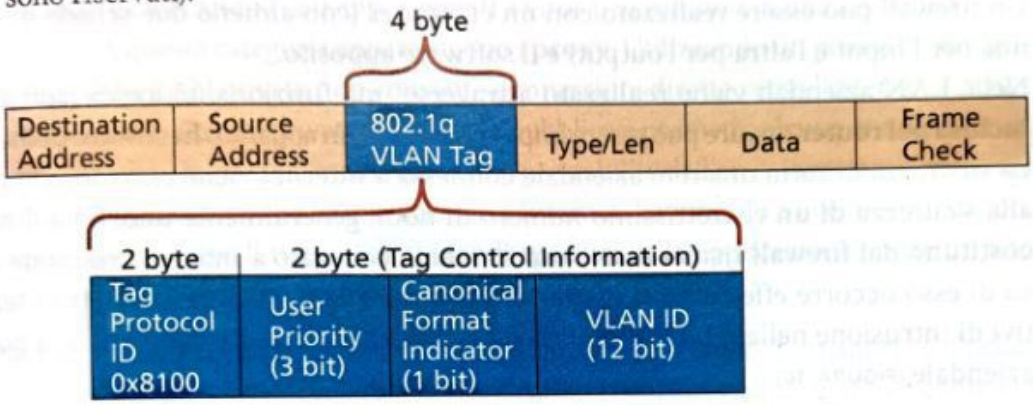


FIGURA 9 Frame Ethernet modificato con l'inserimento del campo per il tagging delle VLAN

VLAN TRUNKING PROTOCOL (VTP)

In reti complesse, la gestione delle VLAN richiede molto tempo e si possono commettere facilmente errori. Una soluzione a questo problema è l'utilizzo del protocollo **VTP** (VLAN Trunking Protocol), proprietario Cisco, che permette di gestire centralmente su uno switch i nomi e i membri di una VLAN e poi distribuire in automatico la configurazione sugli altri switch.

Dal punto di vista del protocollo VTP, gli switch si suddividono in:

- **VTP server**: switch sui quali si effettuano le modifiche di configurazione delle VLAN;
- **VTP client**: switch ai quali sono propagati i cambiamenti effettuati sui VTP server;
- **VTP transparent**: switch che ricevono e inoltrano gli aggiornamenti, ma non li applicano alla propria configurazione; eventuali modifiche su questi switch dovranno essere fatte manualmente.

Nella Lezione 7 vedremo come realizzare delle VLAN con trunk e come STP risolva i loop mediante un'esercitazione con Cisco Packet Tracer.

FISSA LE CONOSCENZE

- Che cos'è una VLAN?
- In quale standard si trovano le specifiche per le VLAN?
- In che modo è possibile comunicare tra VLAN?
- Spiega l'uso di trunk con le VLAN.

Case study
Progettazione di una rete con 3 VLAN