



Livello Rete e protocollo IP

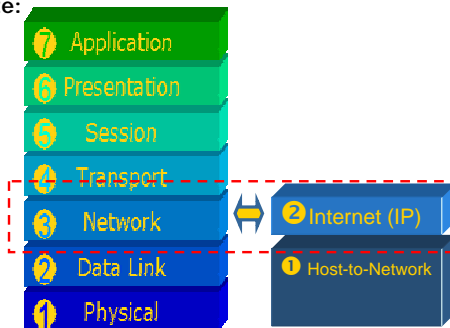


- Concetti generali
 - Servizi del livello Rete
 - Circuiti Virtuali vs. Datagrammi
 - Algoritmi di Routing
 - Problema della congestione
 - Internetworking
- Internet: protocollo IP
 - IPv4
 - Datagrammi IP: formato
 - Indirizzi IP: formato
 - IPv6

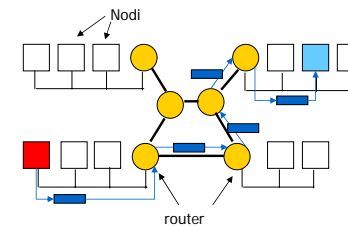


Funzionalità del livello Rete:

1. Interconnette gli host e le reti locali.
2. Controlla il cammino ed il flusso dei dati (**routing + indirizzamento**).
3. Gestisce la congestione.
4. Implementa l'interfaccia per la comunicazione fra reti di tipo diverso (**internetworking**)



- Trasmissione punto-punto di pacchetti dalla sorgente fino alla destinazione (attraverso una sequenza variabile di router e link)
- Schema di indirizzamento globale
- I router instradano i pacchetti sulle linee di comunicazione in modo da consegnarli alla destinazione
 - Store-and-forward



Tipi di servizio offerti al livello di trasporto

■ Con connessione

- L'entità di trasporto del trasmittente deve instaurare una connessione con l'entità del ricevente
- I processi si accordano sulla qualità e sul costo del servizio
- La comunicazione avviene nelle due direzioni
- Il controllo di flusso evita che il trasmittente possa sovraccaricare il ricevente

■ Senza connessione

- Non c'è alcuna connessione
- Non c'è alcuna garanzia sulla qualità del servizio offerto.

Organizzazione del livello Rete

■ Circuiti virtuali (servizio con connessione)

- La creazione della connessione prevede la definizione del percorso di consegna dalla sorgente alla destinazione.
- Non si deve scegliere il percorso per ogni pacchetto.
- I pacchetti contengono indicazione dei circuiti virtuali a cui appartengono.
- I router devono mantenere memoria dei circuiti virtuali che passano attraverso di essi.
- Maggiore qualità

■ Datagrammi (servizio senza connessione)

- I pacchetti fra due host possono seguire anche percorsi diversi.
- I router hanno tabelle che indicano quale linea di uscita utilizzare per ogni possibile router destinazione
- Maggiore robustezza

Implementazione di un servizio con Circuito Virt.

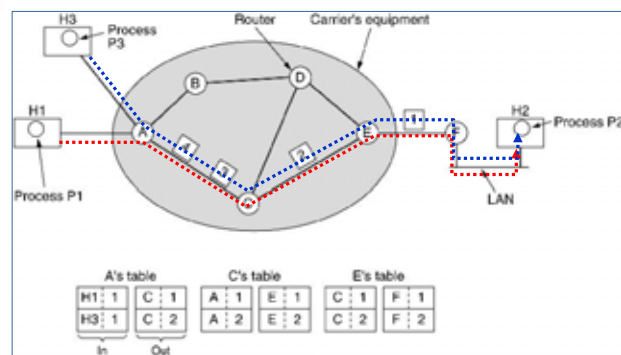


Tabelle dei circuiti virtuali

Implementazione di un servizio a datagrammi

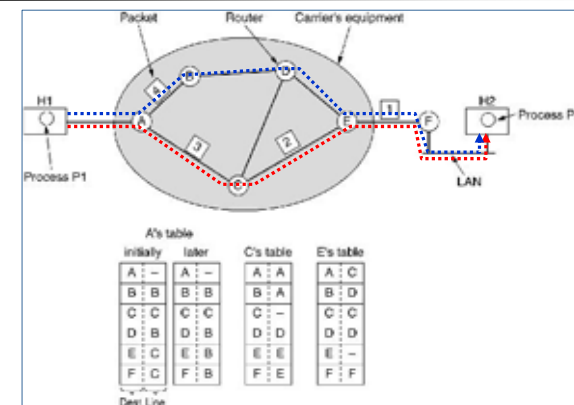


Tabelle di instradamento



Routing

- Definizione
 - Un algoritmo di routing decide quale connessione usare per instradare i pacchetti dalla macchina sorgente alla macchina destinazione.
- Requisiti:
 - Correttezza nel routing dei datagrammi
 - Semplicità e efficienza delle implementazioni del routing
 - Robustezza: la rete deve funzionare anche in presenza di guasti
 - Stabilità: le informazioni nelle tabelle di routing devono raggiungere un punto di equilibrio
 - Imparzialità ed Ottimalità nel routing dei datagrammi
- Alcuni criteri di ottimalità:
 - Percorso minimo, ottimizzazione traffico, ...



Generazione delle Tabelle di routing

- Manuale
 - Tabella creata ad hoc
 - Utile in piccole reti
 - Utile se l'instradamento non cambia.
- Automatica
 - Il software crea/aggiorna le tabelle
 - Necessario in grandi reti
 - L'instradamento cambia in caso di guasti
- Due tipi di algoritmi
 - **non adattivi (Routing Statico):**
 - calcolano i percorsi quando la rete non è ancora attiva.
 - **adattivi (Routing Dinamico):**
 - modificano i percorsi in base alle situazioni di traffico ed ad altre informazioni locali come congestione, guasti, ecc.



Tipi di algoritmi di routing

- **Isolati**
 - routing calcolato con sole informazioni locali, indipendentemente dal resto (stato degli altri nodi e stato della rete). (Es. SNA/IBM)
 - Es: flooding
- **Centralizzati**
 - Un centro di controllo conosce lo stato globale. calcola il cammino ottimo per ogni coppia (mittente,destinatario) e dirama le tabelle. (Es. TYMNET)
- **Distribuiti**
 - I nodi cooperano e comunicano frequentemente il proprio stato e quello della rete. (Es. Internet)
 - Es: stato dei collegamenti



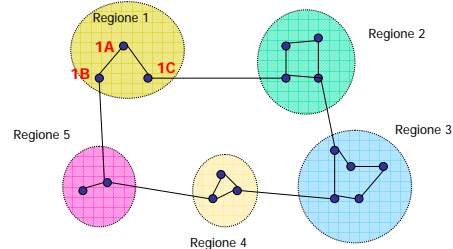
Routing gerarchico

- Il numero di host di Internet diventa sempre più grande.
 - Le tabelle di routing crescono di conseguenza.
- Quindi conviene dividere i router in regioni.
 - Ogni router conosce i dettagli della propria regione e come comunicare con le altre, ma non conosce la struttura interna delle altre regioni.

Routing gerarchico

Due (o più) livelli di routing:

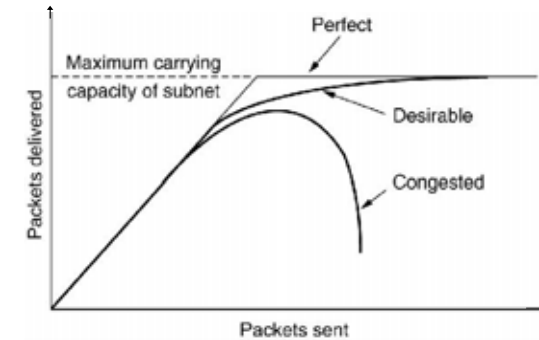
- un primo livello di **routing interno** ad ogni regione
 - sanno come arrivare a tutti gli altri router della regione;
- un secondo livello di routing fra **router di confine**.
 - particolari router a cui i router interni inviano i dati che devono pervenire ai router di un'altra regione.



- 1B e 1C sono i router di confine per la regione 1
- La tabella di routing di 1A contiene 6 entrate (invece di 16)

Controllo della congestione

- Quando nella rete (o in una sottorete) sono presenti troppi pacchetti le prestazioni degradano (si ha **congestione**).



Scelte che influiscono sul controllo della congestione

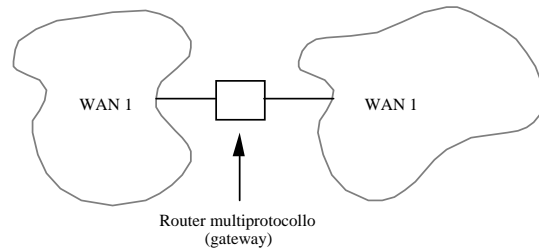
- Nei livelli Data link e Trasporto
 - Criterio di ritrasmissione
 - Criterio di gestione dei pacchetti fuori sequenza
 - Criterio per l'acknowledgement
 - Controllo del flusso
- Nel livello Rete
 - Algoritmo di routing
 - Criterio di gestione dei buffer di pacchetti
 - Criterio di scelta dei pacchetti da scartare
 - Vita utile dei pacchetti

Controllo della congestione

- Il controllo della congestione è cosa diversa dal controllo di flusso che viene effettuato nei livelli 2 e 4 (singola connessione sorgente-destinazione)
- La congestione può essere dovuta a diverse cause:
 - traffico troppo intenso!
 - i buffer dei router sono limitati: se sono pieni, i pacchetti in arrivo vengono scartati
 - processori dei router troppo lenti
 - linee di trasmissione troppo lente
- La congestione alimenta se stessa, perché i timeout sul trasmettitore scadono, ed i pacchetti vengono ritrasmessi aumentando il traffico

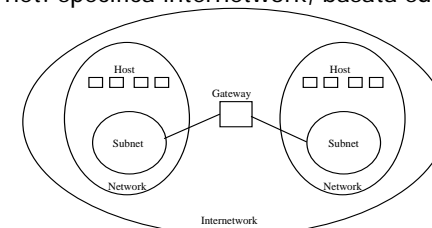
Interconnessione di reti (Internetwork)

- Reti diverse (LAN, MAN o WAN) sono collegate fra loro.
- Connettesione di reti (progettualmente) diverse tramite router multiprotocollo (o gateway)



Internetworking

- sottorete (subnet): l'insieme dei router e delle linee di trasmissione
- rete (network): una subnet più tutti gli host collegati
- internet(-work): interconnessione di più network, anche non omogenee
- Internet: specifica internetwork, basata su TCP/IP.



Internetworking

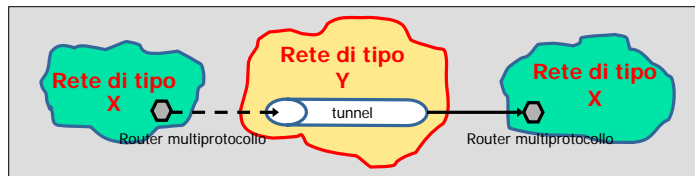
- Reti eterogenee possono differire per:
 - tipi di servizio (con connessione o senza connessione)
 - formati e dimensione dei pacchetti
 - indirizzamento
 - multicast (supportato o non supportato)
 - meccanismi di controllo dell'errore
 - meccanismi di controllo della congestione
 - politiche di sicurezza
 - politiche di accounting
 - ...

Soluzioni per l'Internetworking

- Livello 1: i **ripetitori** copiano bit tra i cavi di interconnessione
- Livello 2: i **bridge** memorizzano e inviano frame di data link tra reti differenti (possono anche selezionare la rete: **switch**)
- Livello 3: i **router multiprotocollo** inviano pacchetti tra reti differenti
- Livello 4: i **gateway di trasporto** connettono flussi di dati
- Livelli > 4: i **gateway di applicazione** convertono i dati a livello delle applicazioni.

Tunneling

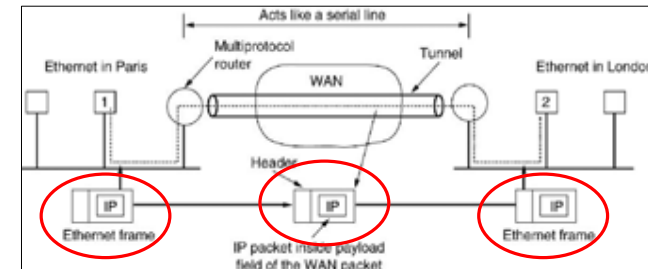
- Quando l'host sorgente e l'host destinazione appartengono allo stesso tipo di rete ma bisogna attraversare reti differenti si può usare la tecnica del **tunneling** (incapsulamento).



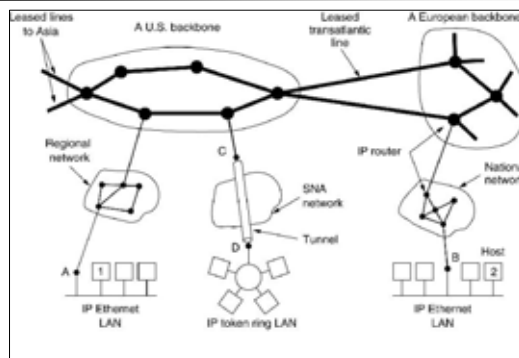
- la rete Y non ha router multiprotocollo.
- un router nelle due reti X è multiprotocollo, e incapsula i pacchetti delle reti di tipo X dentro pacchetti di tipo Y, consegnandoli alla rete di tipo Y.

Esempio di Tunneling

- L'invio di un pacchetto IP da una rete Ethernet ad un'altra rete Ethernet tramite una WAN (che non usa IP)



Internet



Internet è una collezione di reti basata su IP

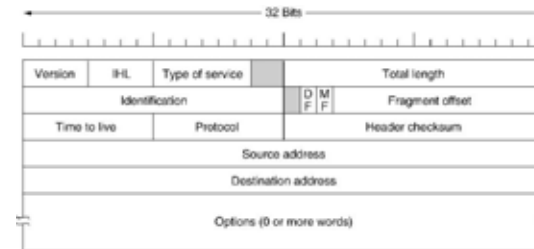
Internet Protocol (IP)

- Lo standard **IPv4** è il più diffuso protocollo di livello 3
 - specificato da IETF (Internet Engineer Task Force) come RFC 791
- E' la base dell'attuale Internet.
- IP è un protocollo **senza connessione**:
 - I pacchetti contengono l'indirizzo completo della destinazione.
 - Ogni pacchetto viene spedito/gestito indipendentemente.

Datagramma IP

- Lunghezza massima di un datagramma IP= 65.536 byte.
 - Di solito ha lunghezza pari a circa 1024 byte.
- Formato del datagramma IP: blocchi di 32 bit (4 byte).
- Un datagramma IP consiste di:
 - un **preambolo** (header) di 20 byte fissi più massimo di 40 byte opzionali e
 - una **parte dati**.

Formato del preambolo IP



- **Version**: numero di versione del protocollo (4 bit)
- **IHL**: lunghezza preambolo (header) in parole di 32 bit, da 5 a 15 word.
- **Total length**: lunghezza del pacchetto (in byte), massimo 65.535 byte.
- **Type of service**: affidabilità e velocità richieste - ignorato dai router

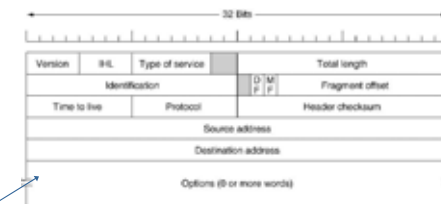
Formato del preambolo IP

- **Source address**
- **Destination address**

Gestione dei frammenti

- **Identification**: identifica i frammenti di uno stesso pacchetto
- **DF don't fragment** =1, non frammentare
- **MF more fragments** =1, il pacchetto non è ancora finito
- **Fragment offset**: indice del frammento nel pacchetto (multiplo di 8 byte)
- **Time to live**: contatore (inizialmente impostato a un numero ≤ 255); è decrementato ad ogni hop (o sec); se=0 il pacchetto viene scartato
- **Protocol**: tipo di servizio di livello trasporto cui consegnare i dati
- **Header checksum**: verifica la correttezza dell'header: si calcola ad ogni hop, perché il *time to live* cambia

Formato del preambolo IP



- **Options**: solo cinque tipi oggi definiti (il primo byte identifica il tipo)
 - **security**: livello di segretezza del pacchetto (spesso ignorato);
 - **strict source routing**: cammino esatto da seguire;
 - **loose source routing**: lista di router da non mancare;
 - **record route**: ogni router deve inserire il suo indirizzo: 40 bytes non sono sufficienti!
 - **timestamp**: oltre all'indirizzo inserire il timestamp



Datagrammi IP

IP fornisce un servizio **best effort**

I datagrammi possono essere:

- ritardati
- duplicati
- distribuiti fuori ordine
- persi
- possono seguire percorsi diversi

Questi problemi devono essere affrontati e risolti dal protocollo di trasporto (es. TCP); il protocollo di trasporto UDP **non** li risolve.



Indirizzi IP

- Un indirizzo IP **non identifica** un computer, ma una connessione computer-rete.
 - Un computer con connessioni multiple di rete (es. un router) ha assegnato un indirizzo IP per ogni connessione.
- Gli indirizzi sono assegnati alle interfacce di rete
 - un host con N interfacce di rete (es. router connesso ad una LAN e ad N-1 linee punto-punto) ha N indirizzi
 - un host con una interfaccia di rete ha un unico indirizzo IP



Indirizzi IP: dettagli

- Sono divisi in due parti
 - **network (o prefisso)**: identifica la sottorete
 - **host (o suffisso)**: identifica host e interfaccia
- Assegnamento **indirizzi univoci**:
 - autorità nazionali (NIC, Network Information Center) coordinate a livello mondiale
 - L'amministratore locale assegna un unico suffisso ad ogni coppia host-interfaccia



Classi di Indirizzi IP

32 Bits			
Class	Network	Host	Range of host addresses
A	0		127.0.0.0 to 127.255.255.255
B	10		128.0.0.0 to 191.255.255.255
C	110		192.0.0.0 to 223.255.255.255
D	1110		224.0.0.0 to 239.255.255.255
E	1111		240.0.0.0 to 255.255.255.255

4 CLASSI DI FORMATO
I 4 bit iniziali determinano la classe, che a sua volta determina il confine tra Network e Host.

Modo semplice per esprimere indirizzi IP: **rappresentare ogni byte in decimale usando punti come separatori tra i byte**

	32-bit Binary Number	Equivalent Dotted Decimal
Esempio: 196.145.63.1	10000001 00110100 00000110 00000001	129.52.6.0
	11000000 00000101 00110000 00000011	192.5.48.3
	00001010 00000010 00000000 00100101	10.2.0.37
	10000000 00001010 00000010 00000011	128.10.2.3
	10000000 10000000 11111111 00000000	128.128.255.0

Dimensioni delle Reti

La massima dimensione di una rete dipende dalla classe

- Classe A: fino a più di 16 milioni di host
- Classe B: fino a 65536 host
- Classe C: al più 256 host.

Address Class	Bits In Prefix	Maximum Number of Networks	Bits In Suffix	Maximum Number Of Hosts Per Network
A	7	128	24	16777216
B	14	16384	16	65536
C	21	2097152	8	256

Indirizzi Speciali

0 0	Questo host
0 0 ... 0 0 Host	Un host della rete locale
1 1	Broadcast sulla rete locale
Network 1 1 1 1 ... 1 1 1 1	Broadcast su una rete remota
127 (Anything)	Loopback

Loopback: messaggi che non lasciano mai il computer locale; sono usati per i test.

IP - Protocolli di Controllo

- ICMP (Internet Control Message Protocol)
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)

Uso di ICMP

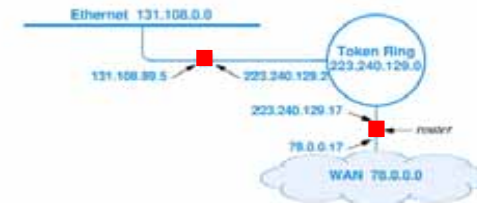
IP utilizza ICMP per migliorare le performance
I messaggi ICMP sono incapsulati in datagrammi IP

- Programma **ping** (sintassi: **ping <host>**, terminare con CTRL-C)
 - Utilizza il messaggio ICMP **echo request** per verificare la raggiungibilità di un host e calcolare i tempi di risposta
- Programma **tracert** (sintassi: **tracert <host>**)
 - Restituisce il percorso completo verso un host
 - Il programma invia datagrammi con TTL=1, 2 ecc.
 - Quando un router riceve un datagramma con TTL=0, invia al mittente un messaggio **time exceeded**
 - Il programma intercetta i messaggi ICMP e ricostruisce il percorso, calcolando i tempi di risposta

Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

- Serve per assegnare in maniera dinamica gli indirizzi IP e gli altri parametri di configurazione
- Con DHCP è possibile evitare le configurazioni manuali.
- All'avvio gli host chiedono il proprio indirizzo IP ai server DHCP, inviando le richieste in broadcast
- I server DHCP assegnano due tipi di indirizzi: permanenti (es. per altri server) e volatili
- Gli indirizzi IP volatili sono validati sulla base di un predefinito periodo di assegnazione.

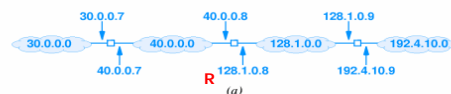
Routers e Indirizzamento



- Nel router è necessario un indirizzo per connessione: in questo esempio ogni router ne ha due
- Il router dispone di una tabella che associa, ad ogni rete di destinazione, il prossimo router cui inviare i dati
- Il router possiede informazioni di instradamento per ogni rete conosciuta, non per ogni host.

Tabella del router

- Una maschera di indirizzo consente di individuare la rete di appartenenza dell'host destinazione.
- Viene effettuata una operazione di AND tra l'indirizzo dell'host destinazione ed ognuna delle maschere.
 - Quando il risultato dell'AND è uguale alla rete destinazione, si invia il pacchetto al router indicato nella colonna a destra.
- Es: cosa succede se l'host destinazione è 128.1.10.12?



Destination	Mask	Next Hop
30.0.0.0	255.0.0.0	40.0.0.7
40.0.0.0	255.0.0.0	deliver direct
128.1.0.0	255.255.0.0	deliver direct
192.4.10.0	255.255.255.0	128.1.0.9

Tabella di instradamento di R

Sottoreti e subnet mask

- Ottenere un indirizzo per una nuova rete non è semplice e conveniente
 - Una organizzazione può suddividere la sua rete in sottoreti
 - Es., università -> dipartimenti
 - Un router per ogni sottorete e un router per la rete originaria
- Modifica dello schema di indirizzamento
 - una parte (iniziale) dei bit per l'indirizzo dell'host sono usati per specificare la sottorete di appartenenza
 - All'esterno l'indirizzo IP di un host della sottorete appare ancora un indirizzo della rete originaria
- Subnet-mask:
 - sequenza di 16 bit che demarcano le due parti
 - Una sequenza di 1 seguita da una sequenza di 0:
 - gli 0 corrispondono ai bit che specificano l'indirizzo dell'host (nella sottorete)
 - Il router centrale smista ai router delle sottoreti mettendo la maschera in AND con l'indirizzo IP richiesto



Il futuro: una nuova versione di IP

IPv6: IP versione 6, successore di IP versione 4.

Principali differenze rispetto a IPv4

- indirizzi di 16 byte -> 2^{128} ($\approx 10^{38}$) indirizzi IP possibili!
- header semplificato: 7 campi contro 13 (risparmio nei tempi di computazione dei router)
- funzioni di autenticazione e privacy, basate su crittografia
- supporto delle classi di servizio e della priorità
- supporto più flessibile delle opzioni (header addizionali)

Non completamente compatibile con IPv4: coesistenza decennale.