Reti di calcolatori

Modulo V vers. 4.0
IP ed il livello di rete

Claudio Covelli

claudio.covelli@gmail.com

Facoltà di Scienze Matematiche,Fisiche e Naturali

Università di Trento

Agenda

IP , ROUTER e PROTOCOLLI COROLLARI AD IP

- Indirizzi IP e loro struttura
- Protocollo IP
- Interconnessione di LAN mediante router
- Sintesi finale stack TCP/IP
- Protocolli ARP ed ICMP

Agenda

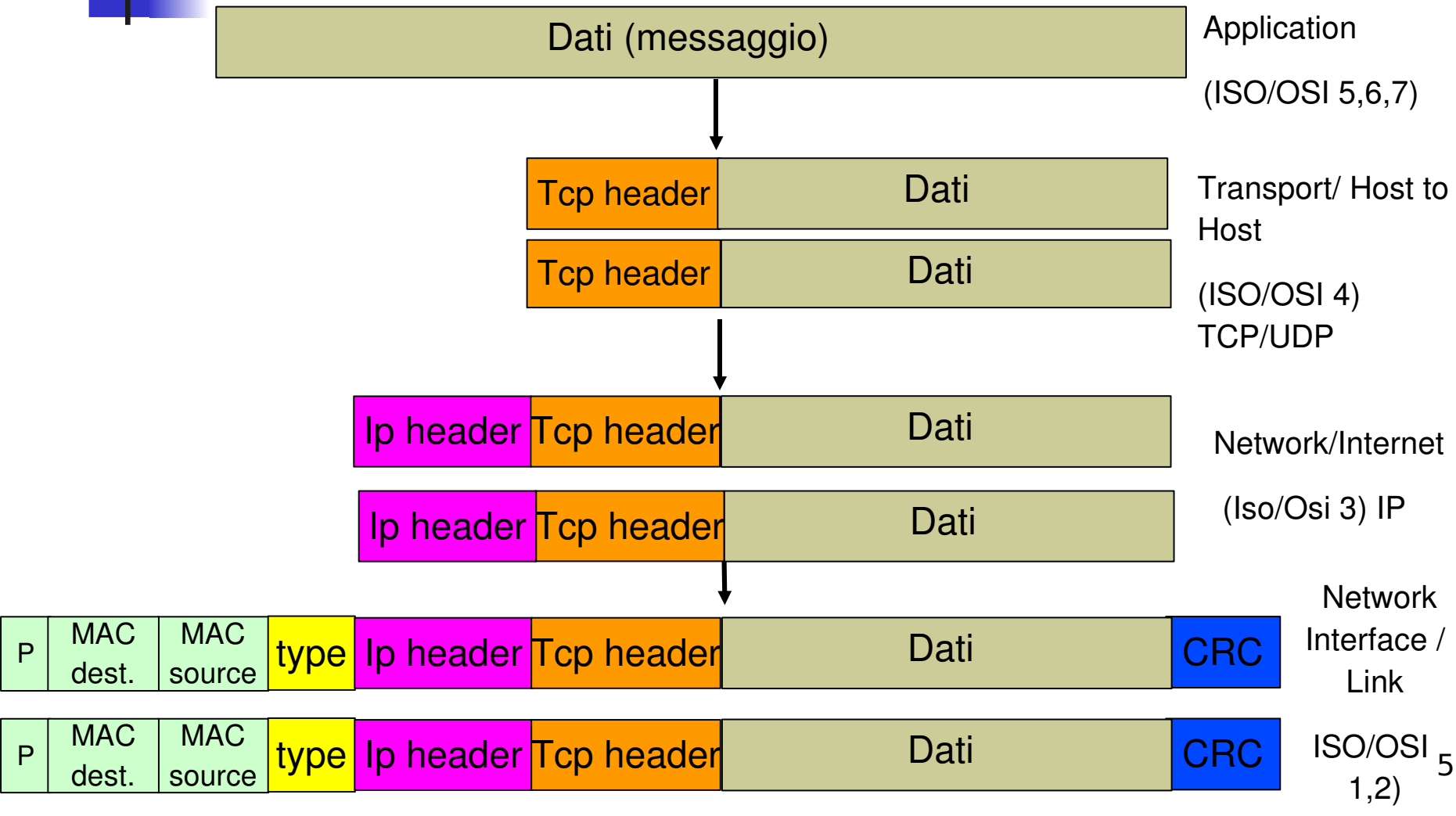
ESERCITAZIONI

- Esercizio di distribuzione di un range di indirizzi IP fra più LAN (VLSM variable length subnet mask)
- Analisi dello stack TCP/IP con Ethereal (WireShark)
- Esercizi di progettazione di semplici reti interconnesse con router (Laboratorio Netsimk)

Indirizzi IP

- Per la trasmissione vera e propria dei pacchetti, nell'ambito di una specifica WAN o LAN (rete locale) si usano indirizzi fisici (detti anche locali, in quanto utilizzati solo all'interno della LAN/WAN), funzione della specifica tecnologia utilizzata:
  - Per le reti Ethernet (standard più diffuso per le LAN), tale indirizzo è rappresentato, come meglio vedremo in seguito, dal MAC Address, ossia un numero binario di 6 bytes che individua, in modo univoco, la scheda di rete Ethernet destinataria del pacchetto. Al pacchetto da inviare (frame) viene infatti anteposto un header contenente l'indirizzo fisico di destinazione (MAC destination) ed indirizzo fisico mittente (MAC source); cfr slide seguente

Indirizzi IP



Indirizzi IP

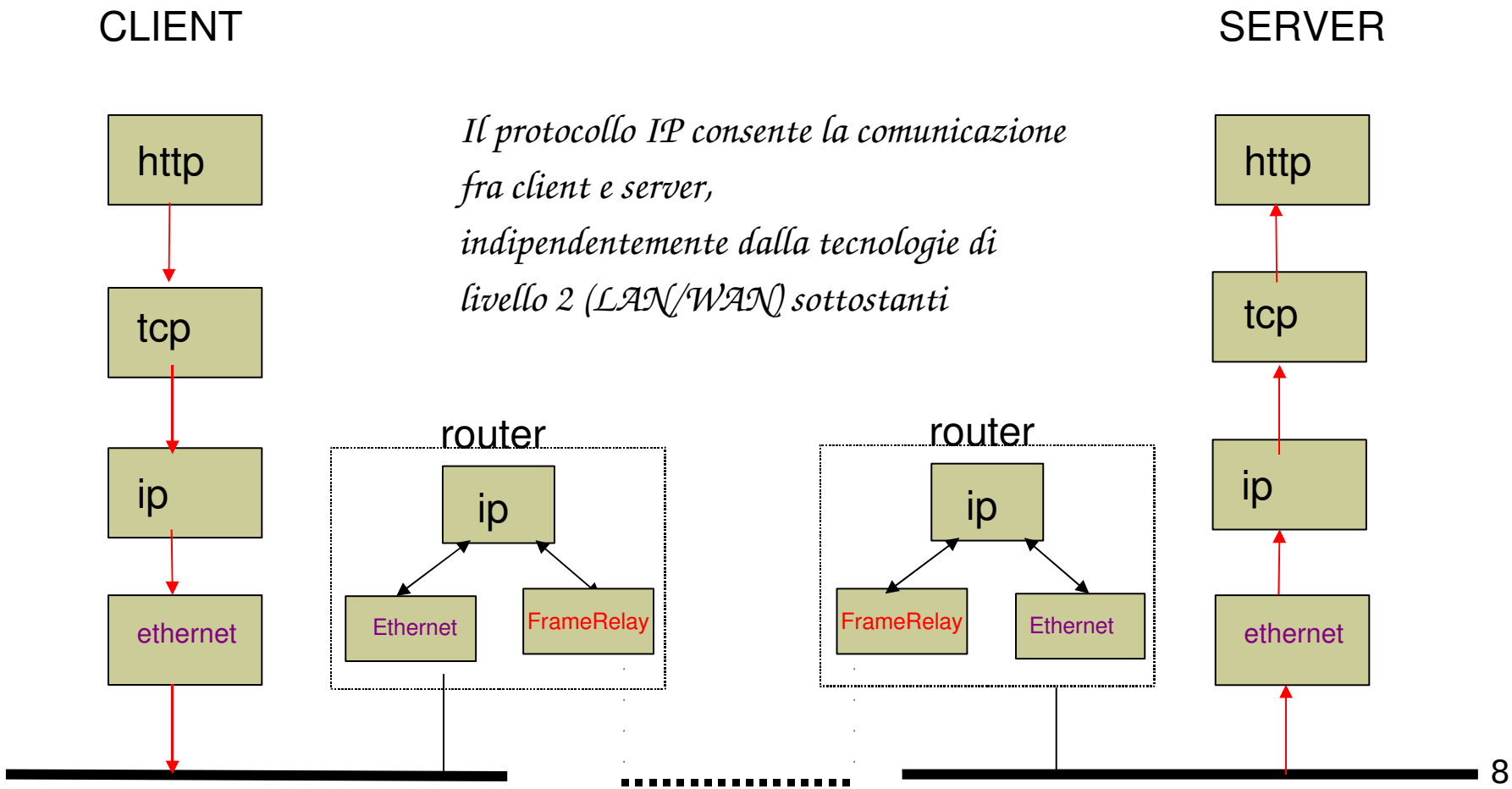
- Per le reti WAN abbiamo invece già visto che le modalità di trasmissione sono differenti: nel pacchetto non si registra l'indirizzo fisico del destinatario (si tratta in effetti di link punto a punto) , ma il valore di virtual channel che verrà utilizzato dal successivo switch per capire la provenienza del pacchetto e decidere, in base ad apposite tabelle, il successivo switch di inoltro

- In linea puramente teorica, l'indirizzo fisico sarebbe sufficiente per la trasmissione dei pacchetti all'interno di una singola LAN/WAN ma questo solo ammettendo che vi siano protocolli applicativi in grado di utilizzarli direttamente

Indirizzi IP

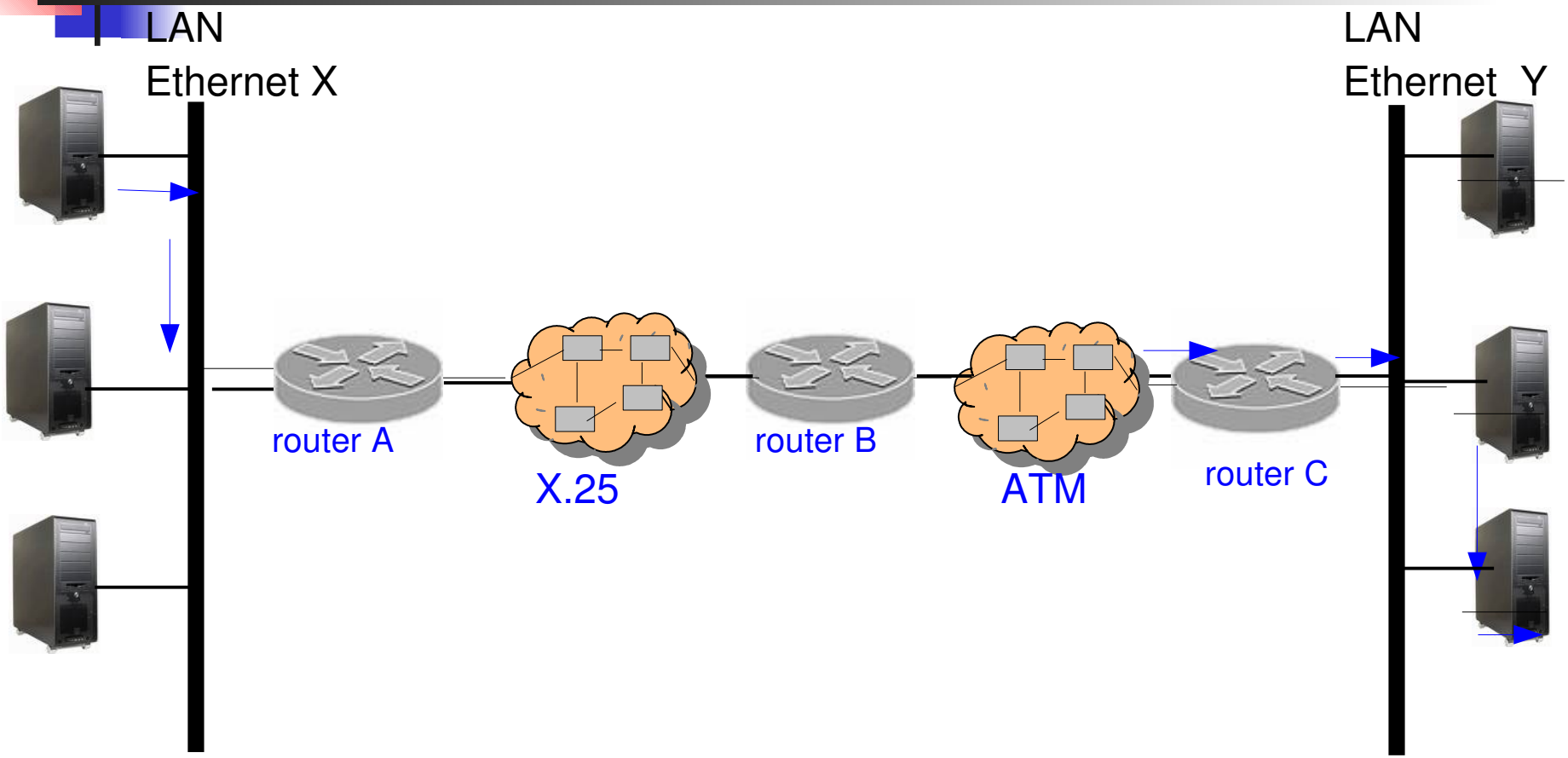
- In realtà i protocolli applicativi devono essere utizzabili anche in un contesto di internetworking, che consenta la comunicazione trasparente fra host appartenenti a reti geograficamente separate e caratterizzate da tecnologie differenti (ad es. un client in una rete X.25 che colloquia con un server dislocato in una LAN Ethernet)
- Nel caso di internetworking realizzato tramite Internet, il protocollo IP consente di individuare in modo univoco a livello mondiale ogni host ,assegnando alla sua scheda di rete un indirizzo detto IP address (oppure logical address). Tale indirizzo serve soprattutto per l'inoltro dei pacchetti dalla rete del mittente a quella del destinatario, indipendentemente dalla sottostanti tecnologie LAN/ WAN utilizzate
- In sintesi, IP consente la comunicazione, indipendentemente dalla tecnologia di livello 2 sottostante

Indirizzi IP



Il protocollo IP consente la comunicazione fra client e server, indipendentemente dalla tecnologie di livello 2 (LAN/WAN) sottostanti

Internetworking



Le due LAN X,Y si interconnettono mediante router,a loro volta interconnessi mediante WAN di vario tipo

Indirizzi IP

- L'indirizzo logico (IP address) :
  - Individua, in modo univoco nell'ambito di Internet, non solo la specifica scheda di rete dell'host ma anche la rete (LAN/ WAN) di appartenenza
  - E' assegnato da specifiche Authorities
  - Contiene due valori :
    - il numero che identifica la LAN/WAN di appartenenza (net-id)
    - il numero che identifica la specifica scheda di rete nell'ambito della LAN/WAN (host-id)
  - Viene rappresentato in notazione dotted decimal (i 32 bits dell'indirizzo sono suddivisi in 4 bytes, riportandone il valore decimale separato da punti)

Indirizzi IP

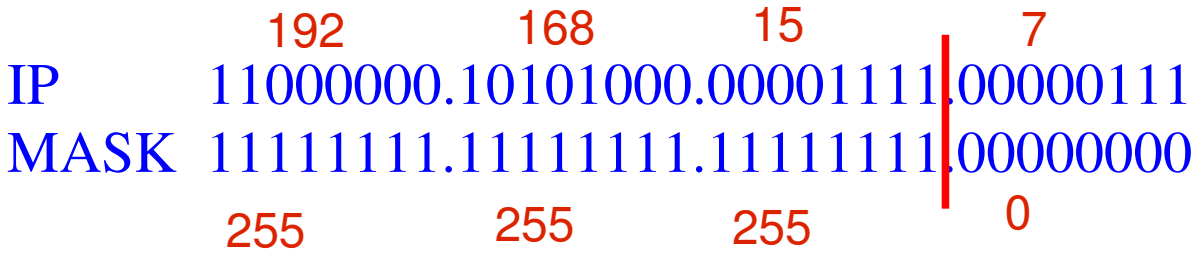
- L' indirizzo IP, di 32 bit, è diviso in due parti distinte:
  1) I bit iniziali , in numero variabile, rappresentano l'identificativo della LAN/WAN di appartenenza (net-id)
  2) I rimanenti bit costituiscono l'identificativo univoco della scheda di rete nell'ambito della LAN/WAN (host-id)

- Il numero di bit che costituisce il net-id è fornito dal parametro subnet-mask

- I bit ad 1 di questo parametro rappresentano i bit dell' indirizzo IP che formano il net-id

Indirizzi IP

- Indirizzo IP 192.168.15.7 mask 255.255.255.0



- Tale indirizzo contiene, nei 24 bits iniziali, il net-id 192.168.15

- Host-id = rimanenti 8 bit = 7

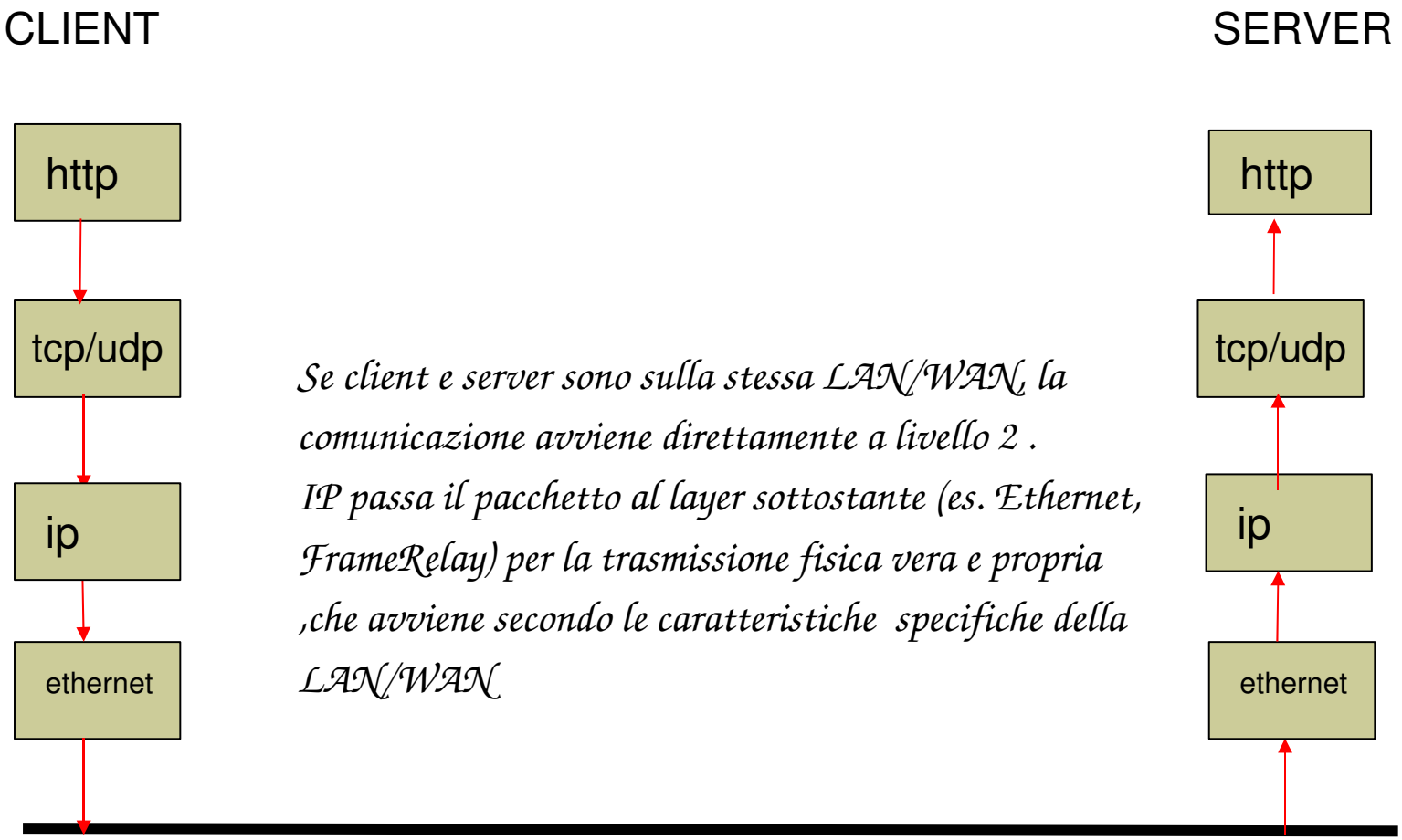
Indirizzi IP

- Slash notation: anziché indicare la subnet-mask in notazione dotted decimal, si può specificare, a fianco dell'indirizzo IP ed usando come carattere di separazione il simbolo “/”, il numero di bits corrispondenti al net-id (es 192.15.32.2/20)

- Tale notazione non è sempre implementata nei vari apparati di rete ma è preferibile per semplicità e compattezza

- Due host possono fra loro comunicare, nell'ambito di una specifica LAN/WAN, solo se le loro schede di rete hanno indirizzo IP con medesimo net-id (un frequente errore di configurazione consiste nell'assegnare a due host sulla stessa LAN indirizzi IP con net-id diverso)

Indirizzi IP



Se client e server sono sulla stessa LAN/WAN, la comunicazione avviene direttamente a livello 2 .
IP passa il pacchetto al layer sottostante (es. Ethernet, FrameRelay) per la trasmissione fisica vera e propria ,che avviene secondo le caratteristiche specifiche della LAN/WAN

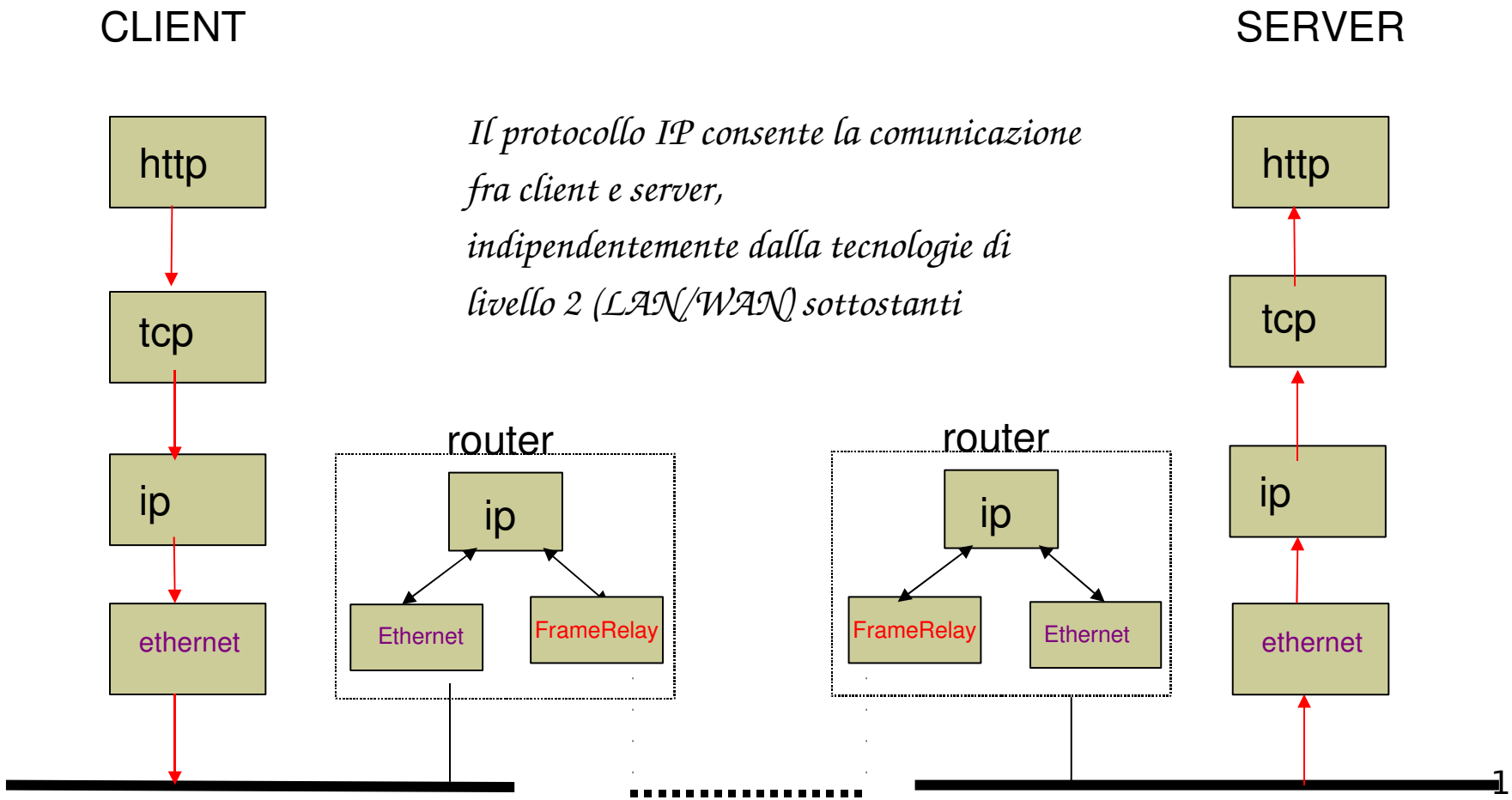
Indirizzi IP

- Due host, aventi schede di rete con net-id diverso, possono comunicare solo attraverso un apparato detto router

- Il router, come già visto, ha tante schede di rete quante sono le LAN/WAN direttamente collegate

- Il router, grazie al layer IP in esso presente, è in grado di instradare i pacchetti, che riceve, ad una delle reti direttamente collegate, basandosi sul net-id riportato nell'indirizzo IP di destinazione e su apposite tabelle (tabelle di routing che approfondiremo in seguito)

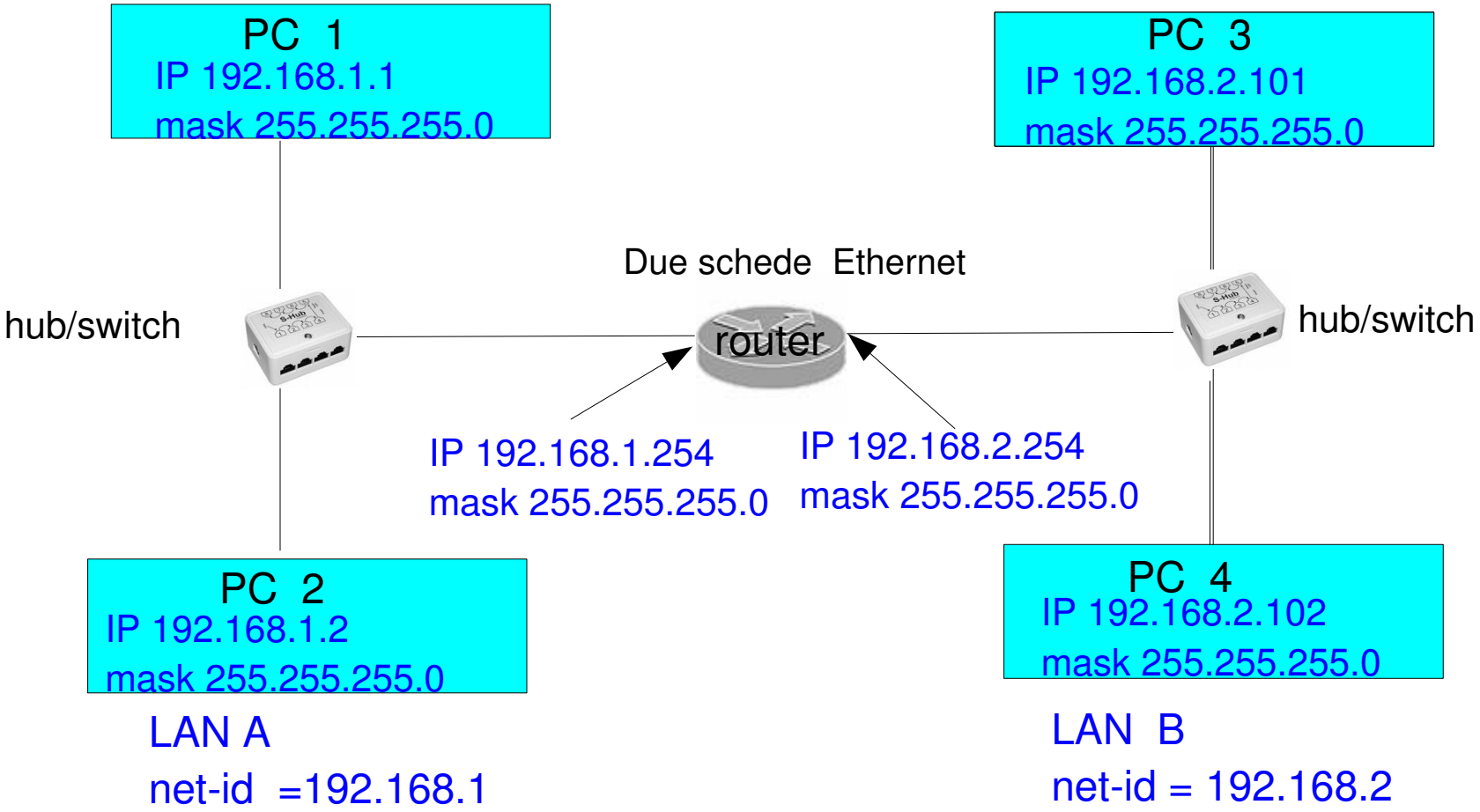
Indirizzi IP



Il protocollo IP consente la comunicazione fra client e server, indipendentemente dalla tecnologie di livello 2 (LAN/WAN) sottostanti

Indirizzi IP

Esempio di due LAN Ethernet connesse tramite router



Indirizzi IP

- L' indirizzo IP , nel quale tutti i bit dell'host-id sono posti eguali a 0, viene usato per indicare il network-address, ossia il net-id, in forma di 32 bit, e non può essere assegnato ad un host (network-address)

  Esempio:

  192.15.32.0/24 indica la rete con net-id 11000000|00001111|00100000|
  192.15.32.192/27 indica la rete con net-id 11000000|00001111|00100000|110|

- Analogamente, l'host-id può essere rappresentato in forma di indirizzo IP ponendo eguali a 0 tutti i bit corrispondenti al net-id (host-address)

  Esempio

  host-id = 2 può essere scritto come 0.0.0.2 per la rete di appartenenza

Indirizzi IP

Indirizzo IP: particolarità

- Quando l'host-id assume il valore massimo (ossia tutti i bit eguali ad 1), si è in presenza dell'indirizzo IP di broadcast, usato da particolari protocolli di rete (es. DHCP) quando un host deve comunicare con tutti i rimanenti della stessa rete

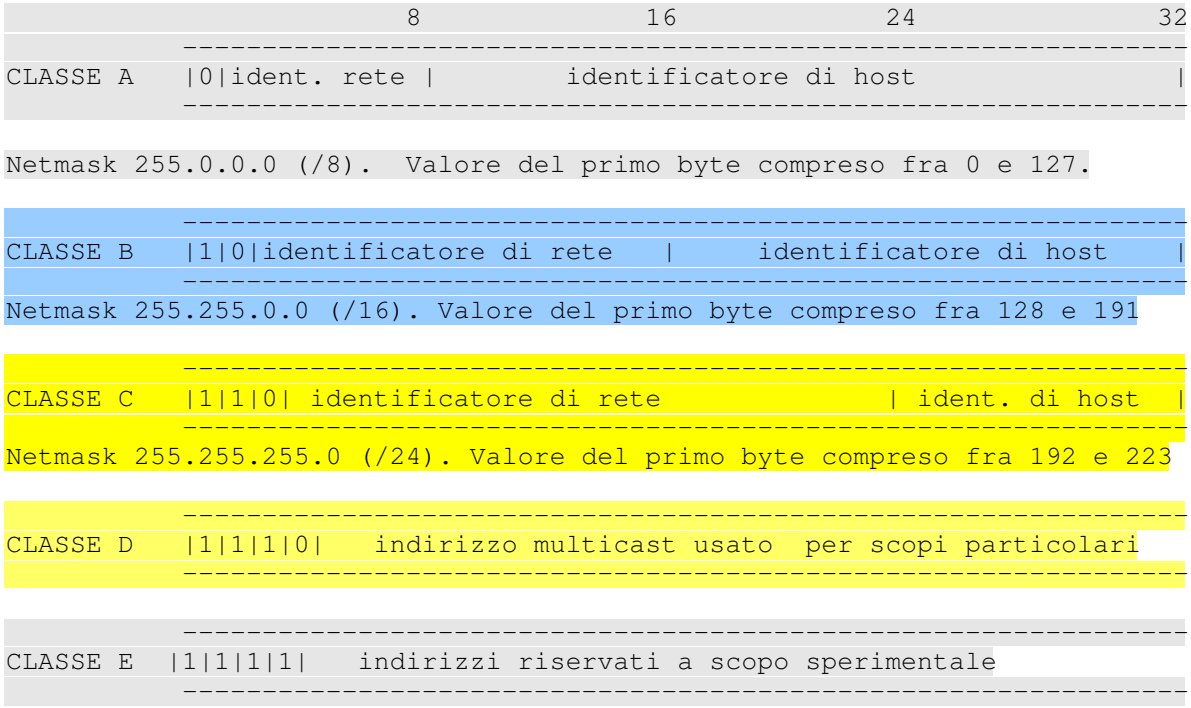
- In tal caso il pacchetto IP viene esaminato dal layer IP di tutti gli host, il cui net-id sia coincidente con quello dell'indirizzo di broadcast

- Esempio: 192.15.13.255/24 = broadcast per network address 192.15.13.0

- In definitiva gli indirizzi IP con host-id = 0 oppure host-id = valore massimo non possono mai essere assegnati ad un host !

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia



2^{24} -2 hosts

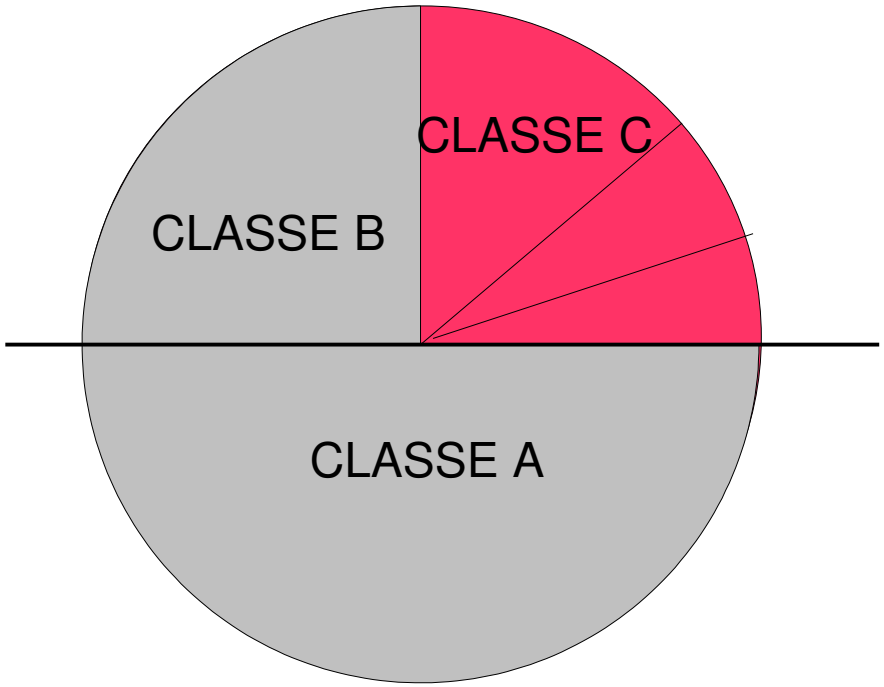
2^{16} -2 hosts

2^{8} -2 hosts

Inizialmente non si usavano subnet-mask, in quanto il numero di bits corrispondente al net-id era rigidamente prefissato in base alla classe (A,B,C,D,E) identificata dal valore dei bits iniziali (0, 10, 110,1110,1111)

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia



Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia

- Questa rigidità, dovuta inizialmente anche ad esigenze di semplicità nella progettazione dei router, ha comportato sprechi di indirizzi IP, specialmente in classe A e B
- Ad esempio aziende con poche centinaia di host acquistavano, per comodità, un indirizzo IP in classe B
- Dal 1993 non viene più utilizzato il concetto di classe e gli indirizzi IP sono sempre associati a subnet-mask di lunghezza variable (VLSM variable length subnet mask)
- I router interpretano quindi gli indirizzi IP sempre in base al subnet-netmask ad essi associato (CIDR classless inter-domain routing)

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia

- A fronte di un indirizzo IP di destinazione, il layer IP del router individua, con un meccanismo che verrà spiegato successivamente, fra le LAN direttamente collegate, quella che maggiormente combacia a livello di net-id

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia

- Gli indirizzi IP vengono assegnati, da IANA (Internet Assigned Number Authorities), per blocchi:
  - ad organizzazioni denominate RIR (Regional Internet Registries) le quali, a loro volta, li distribuiscono, in sottoblocchi, a vari
  - NIR (National Internet Registries) e/o LIR (Local Internet Registries), dai quali
  - gli ISP acquistano i range di indirizzi a loro necessari

- Infine gli ISP distribuiscono sottoblocchi di indirizzi IP ai vari clienti secondo le rispettive necessità

Indirizzi IP

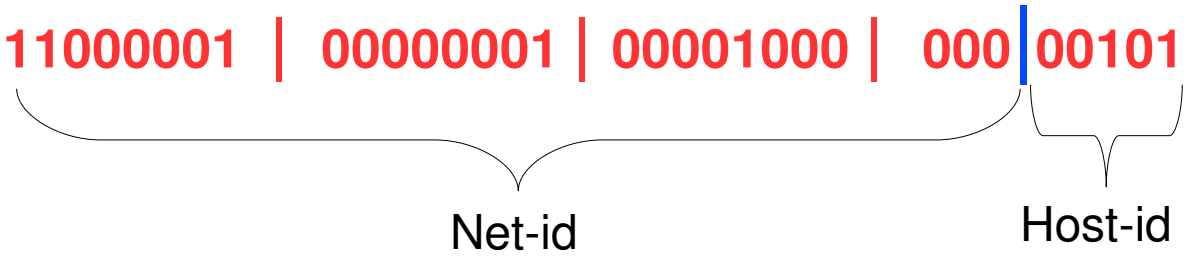
Organizzazione degli indirizzi IP: un po' di storia

- Questo procedimento, reso possibile dalla tecnica VLSM, semplifica il funzionamento dei router
- Ad esempio è sufficiente che il router di un ISP instradi un certo net-id verso il router di interconnessione di uno specifico cliente; sarà quest'ultimo, poi, a farsi carico di instradare i vari pacchetti secondo le sottoreti definite all'interno della sua rete
- Lo stesso dicasi per gli instradamenti dei router gestiti dalle Authorities di livello superiore

Indirizzi IP

VLSM (Variable Length Subnet Mask)

193.1.8.5/27 corrisponde a

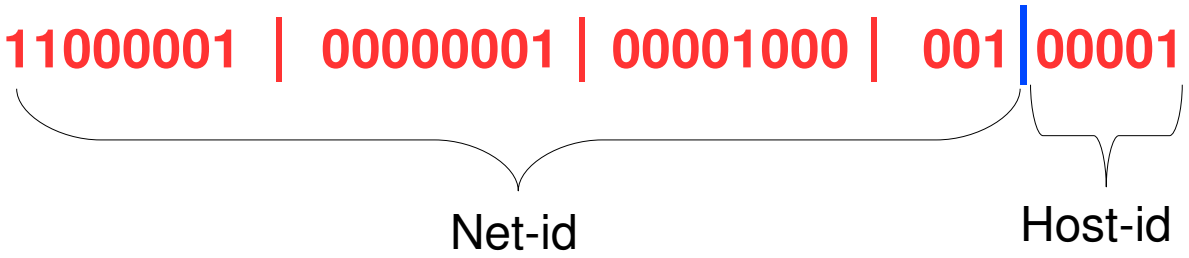


- Network address = 193.1.8.0 (host-id = 00000)
- Host-id = 5
- Broadcast address = 193.1.8.31 (host-id = 11111)

Indirizzi IP

VLSM (Variable Length Subnet Mask)

193.1.8.33/27 corrisponde a



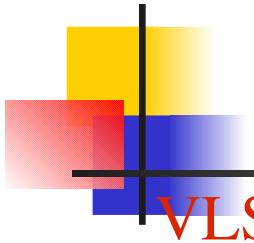
- Network address = 193.1.8.32 (host-id = 00000)
- Host-id = 1
- Broadcast address = 193.1.8.63 (host-id = 11111)

Indirizzi IP

VLSM (Variable Length Subnet Mask) : un esempio

- Un ISP ha a disposizione il range di indirizzi 193.1.8.0 – 193.1.100.255
- ISP vende ad un'azienda X un sottoblocco di questi indirizzi , ad esempio 193.1.8.0/24, supponendo che questa necessiti di gestire al massimo una rete con 254 hosts ed aggiorna i propri router in modo che ogni pacchetto, con IP di destinazione ricadente in questo blocco, sia diretto verso il router di X
- Tale blocco può essere lasciato inalterato, dall'azienda X, oppure suddiviso in un numero differente di sottoreti a seconda del subnet-mask utilizzato

Indirizzi IP



VLSM (Variable Length Subnet Mask) : un esempio

- Lasciando inalterato il blocco, ossia usando un subnet-mask /24, l'azienda X crea un'unica LAN 193.1.8.0 con indirizzo di broadcast 193.1.8.255 ed indirizzi IP assegnabili agli host compresi fra 193.1.8.1 ed 193.1.8.254

- Si possono, in alternativa, creare due sottoreti distinte usando una subnet-mask /25

Indirizzi IP

VLSM (Variable Length Subnet Mask) : un esempio

- Con subnet-mask /25 si hanno le due seguenti reti

  193.1.8.0 (broadcast 193.1.8.127; host 193.1.8.1-126)

  193.1.8.128 (broadcast 193.1.8.255; host 193.1.8.129-254)

- Con subnet-mask /26 si hanno le quattro seguenti reti

  193.1.8.0 (broadcast 193.1.8.63; host 193.1.8.1-62)

  193.1.8.64 (broadcast 193.1.8.127; host 193.1.8.65-126)

  193.1.8.128 (broadcast 193.1.8.191; host 193.1.8.129-190)

  193.1.8.192 (broadcast 193.1.8.255; host 193.1.8.193-254)

- Procedendo in modo analogo con /27 si ottengono le 8 reti riportate nella tabella della slide seguente

Indirizzi IP

Indirizzo IP: Subnetting

Esempio di sottoreti ottenute con gli indirizzi IP
193.1.8.0-255 netmask 255.255.255.224 (/27)

Sottorete	*host address range(*)*	*network-address*	*IP broadcast*
193.1.8.0	**193.1.8.1-30**	**193.1.8.0**	**193.1.8.31**
193.1.8.32	**193.1.8.33-62**	**193.1.8.32**	**193.1.8.63**
193.1.8.64	**193.1.8.65-94**	**193.1.8.64**	**193.1.8.95**
193.1.8.96	**193.1.8.97-126**	**193.1.8.96**	**193.1.8.127**
193.1.8.128	**193.1.8.129-158**	**193.1.8.128**	**193.1.8.159**
193.1.8.160	**193.1.8.161-190**	**193.1.8.160**	**193.1.8.191**
193.1.8.192	**193.1.8.193-222**	**193.1.8.192**	**193.1.8.223**
193.1.8.224	**193.1.8.225-254**	**193.1.8.224**	**193.1.8.255**

Indirizzi IP

VLSM (Variable Length Subnet Mask) : un esempio

- Infine si riporta l'esempio di una suddivisione in 64 reti usando una subnet-mask /30.

- Tale valore viene usato per i link di collegamento punto a punto fra i router. Essi devono ovviamente appartenere ad una specifica LAN; con /30 si ottiene la definizione di una rete con due soli indirizzi IP assegnabili agli host secondo lo schema della tabella seguente:

Indirizzi IP

Indirizzo IP: Subnetting

Sottoreti ottenute con gli indirizzi IP

193.1.8.0-255 netmask 255.255.255.252 (/30)

Sottorete	*host address range(*)*	*network-address*	*IP broadcast*
193.1.8.0	**193.1.8.1-2**	**193.1.8.0**	**193.1.8.3**
193.1.8.4	**193.1.8.5-6**	**193.1.8.4**	**193.1.8.7**
193.1.8.8	**193.1.8.9-10**	**193.1.8.8**	**193.1.8.11**
193.1.8.12	**193.1.8.13-14**	**193.1.8.12**	**193.1.8.15**
193.1.8.16	**193.1.8.17-18**	**193.1.8.16**	**193.1.8.19**
193.1.8.20	**193.1.8.21-22**	**193.1.8.20**	**193.1.8.23**
.....	**.....**	**.....**	**.....**
193.1.8.252	**193.1.8.253-254**	**193.1.8.252**	**193.1.8.255**

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

- E' importante notare che l'instradamento di ISP non cambia in funzione della suddivisione in sottoreti effettuata dall'azienda X.
- L'instradamento di ISP resta sempre verso la LAN 193.1.8.0/24 ossia verso il blocco di 256 indirizzi IP venduti all'azienda X
- L'azienda X può suddividere il blocco di indirizzi in modo arbitrario secondo le specifiche esigenze

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

- Questo procedimento può essere iterato: ad esempio una sotttorete, originariamente definita con una certa subnet-mask, può essere ulteriormente suddivisa (cfr. esempio seguente)

- In tal modo viene a crearsi una gerarchia di LAN, con ampie possibilità di adattare gli indirizzi IP alle proprie esigenze specifiche

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

Esempio di suddivisione gerarchica

Situazione di partenza

Sottorete	*host address range(*)*	*network-address*	*IP broadcast*
193.1.8.0	193.1.8.1-30	193.1.8.0	193.1.8.31
193.1.8.32	193.1.8.33-62	193.1.8.32	193.1.8.63
193.1.8.64	193.1.8.65-94	193.1.8.64	193.1.8.95
193.1.8.96	193.1.8.97-126	193.1.8.96	193.1.8.127
193.1.8.128	193.1.8.129-158	193.1.8.128	193.1.8.159
193.1.8.160	193.1.8.161-190	193.1.8.160	193.1.8.191
193.1.8.192	193.1.8.193-222	193.1.8.192	193.1.8.223
193.1.8.224	193.1.8.225-254	193.1.8.224	193.1.8.255

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

Situazione di arrivo: una LAN è stata divisa in due nuove sottoreti usando un valore più alto di subnet-mask

Sottorete	*host address range(*)*	*network-address*	*IP broadcast*
193.1.8.0/27	**193.1.8.1-30**	**193.1.8.0**	**193.1.8.31**
193.1.8.32/27	**193.1.8.33-62**	**193.1.8.32**	**193.1.8.63**
193.1.8.64/27	**193.1.8.65-94**	**193.1.8.64**	**193.1.8.95**
193.1.8.96/27	**193.1.8.97-126**	**193.1.8.96**	**193.1.8.127**
193.1.8.12/27	**193.1.8.129-158**	**193.1.8.128**	**193.1.8.159**
193.1.8.160/27	**193.1.8.161-190**	**193.1.8.160**	**193.1.8.191**
193.1.8.192/27	**193.1.8.193-222**	**193.1.8.192**	**193.1.8.223**
193.1.8.224/28	**193.1.8.225-238**	**193.1.8.224**	**193.1.8.239**
193.1.8.240/28	**193.1.8.241-254**	**193.1.8.240**	**193.1.8.255**

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

- Questo modo di operare, basato sul superamento del concetto di classi di indirizzi IP e sull'uso di subnet-mask a dimensione variabile (VSLM), viene usato dalle varie Autorithies che distribuiscono gli indirizzi IP in base ad un criterio di tipo gerarchico
- Ad esempio IANA assegna ad un RR un range di indirizzi appartenenti ad un net-id /8 (es. 62.0.0.0-62.255.255.255)
- Questo blocco viene distribuito fra ulteriori Authorities (NIR,LIR,ISP) usando subnet-mask differenti in funzione delle specifiche esigenze
- Infine gli ISP vendono blocchi di indirizzi alle varie organizzazioni private

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

- Si ottimizzano, in tal modo, sia l'uso degli indirizzi IP sia il numero di entry nelle tabelle di instradamento (CIDR: classless interdomain routing)

- La tecnica VLSM viene spesso denominata subnetting o supernetting, anche se questi termini, ad essere precisi, sono storicamente legati alla suddivisione di indirizzi in classi. VLSM sarebbe quindi il termine corretto da utilizzare

Indirizzi IP

Organizzazione degli indirizzi IP

- Esempio Netsimk di suddivisione di indirizzi IP

Indirizzi IP

Indirizzi IP privati

- Da qualche anno è però invalso l'uso di utilizzare, all'interno delle LAN, indirizzi IP privati (vedi slide seguente) al posto di quelli pubblici
- Ciò consente di utilizzare indirizzi il cui net-id è allineato al byte, semplificando la gestione degli indirizzamenti negli host e nei router della LAN
- La conversione degli indirizzi IP da privati a pubblici viene effettuata mediante particolari tecniche (natting) nel router di interconnessione ad ISP
- Ciò ha ridotto di molto il problema di scarsità di indirizzi IP (esaurimento previsto per 2016 anziché 2004)

Indirizzi IP

Indirizzi privati

- Indirizzi privati (non utilizzabili su Internet) usati nelle LAN

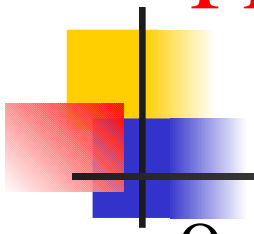
  da 10.0.0.0 a 10.255.255.255

  da 172.16.0.0 a 172.31.255.255

  da 192.168.0.0 a 192.168.255.255

- Una LAN con indirizzi privati si può collegare ad Internet tramite un router che effettui il **natting** ossia sostituisca l'indirizzo IP mittente privato con uno pubblico
- Anche gli indirizzi 127.0.0.0/8 non sono utilizzabili su Internet in quanto vengono usati per il cosiddetto loopback (il layer IP, nel caso che il destinatario corrisponda ad un indirizzo di loopback, non consegna il pacchetto al livello 2 ma lo inoltra direttamente sulla coda IP dei pacchetti in arrivo allo stesso host)

Protocollo IP

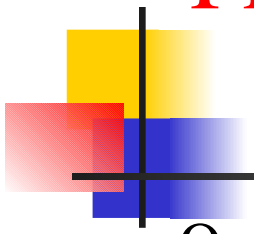


- Qualora il client sia su una LAN/WAN avente lo stesso net-id della LAN/WAN dove è dislocato il server, IP lato mittente consegna il pacchetto al layer immediatamente inferiore (link) in modo che la trasmissione vera e propria secondo il protocollo di livello 2 specifico della LAN/WAN di appartenenza (es. Ethernet per LAN o FrameRelay per reti di tipo WAN)

- E' in tal caso il protocollo di livello 2 che si fa carico di risolvere l'indirizzo IP di destinazione (server) nel relativo indirizzo fisico, da esso utilizzato per la trasmissione vera e propria

- Ad esempio il driver della scheda di rete Ethernet utilizza ARP per risolvere un indirizzo IP nel corrispondente MAC Address; analoghi protocolli vengono usati per FrameRelay ed ATM

Protocollo IP



- Qualora il client sia su una LAN/WAN avente net-id diverso della LAN/WAN dove è dislocato il server, IP lato mittente consegna il pacchetto al layer immediatamente inferiore (link), ma in tal caso il protocollo di livello 2 incapsula il pacchetto e lo invia al default gateway, ossia alla scheda di rete del router collegata alla LAN/WAN del mittente

- Al pacchetto, arrivato al router, viene tolto l'header di livello 2 ed il pacchetto risultante (pacchetto IP) viene passato al layer IP del router

- Il protocollo IP del router, decide, in base a specifiche tabelle, come inoltrare il pacchetto

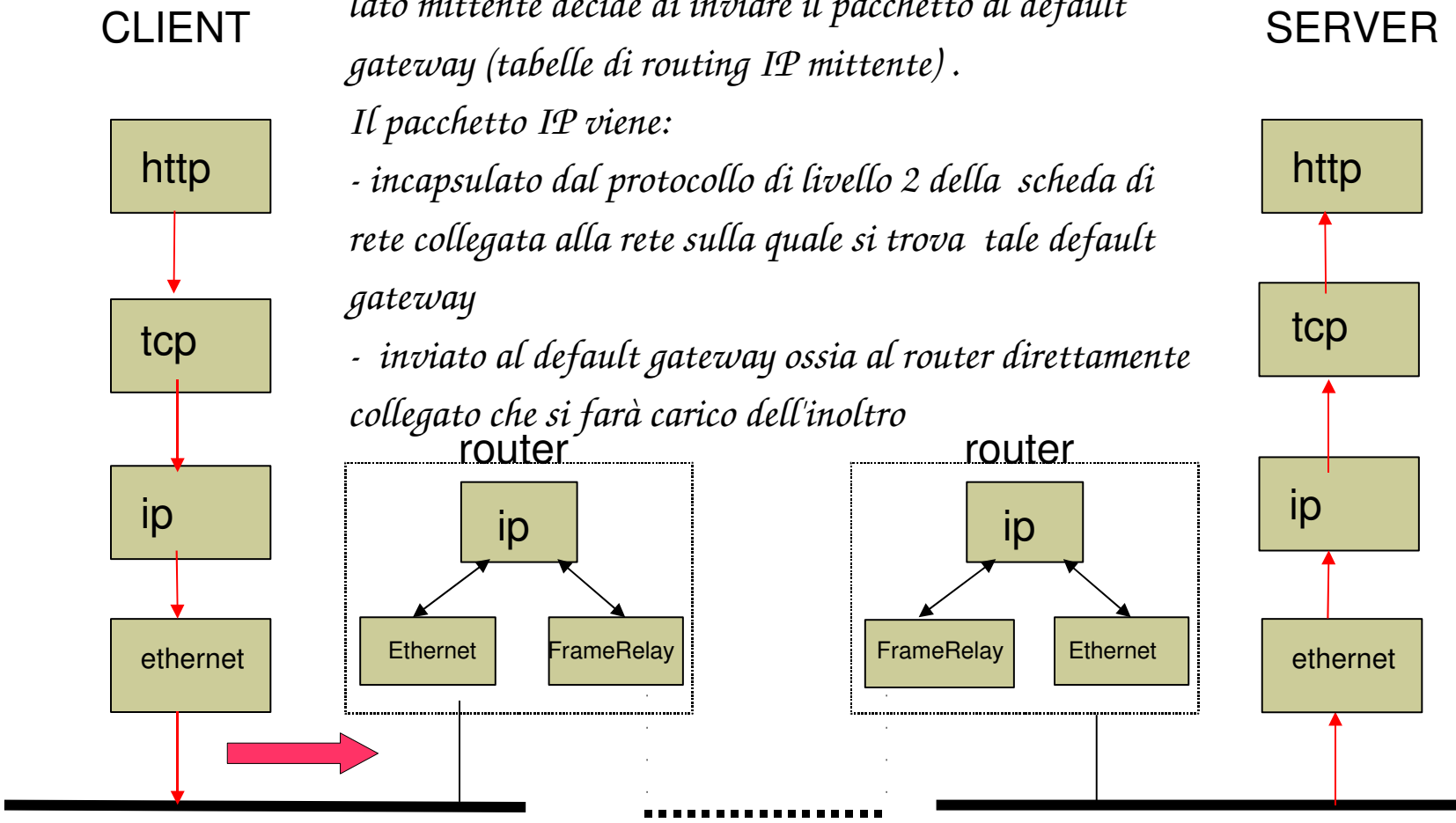
Protocollo IP

Quando client e server sono su LAN/WAN differenti, IP lato mittente decide di inviare il pacchetto al default gateway (tabelle di routing IP mittente) .

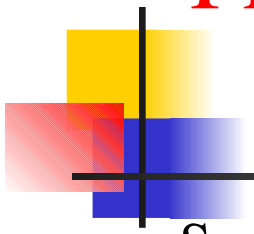
Il pacchetto IP viene:

- incapsulato dal protocollo di livello 2 della scheda di rete collegata alla rete sulla quale si trova tale default gateway

- inviato al default gateway ossia al router direttamente collegato che si farà carico dell'inoltro



Protocollo IP

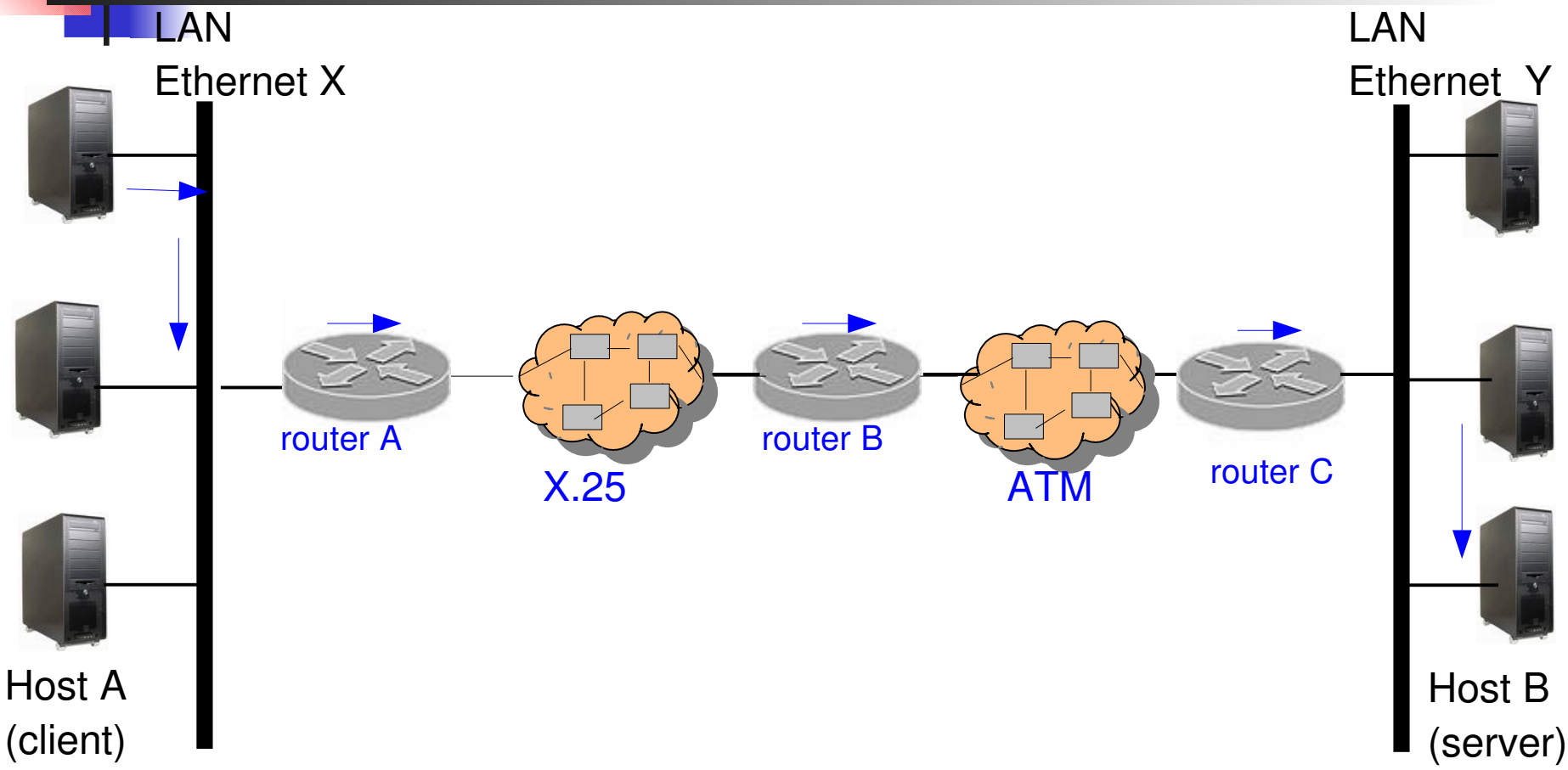


- Se il server di destinazione è su una LAN/WAN direttamente collegata al router, IP consegna il pacchetto al driver della relativa scheda di rete per la trasmissione fisica vera e propria al destinatario

- Se il server di destinazione è su una LAN/WAN non direttamente collegata, IP individua, tramite le tabelle di routing, il next hop, ossia la scheda di rete di un altro router, presente su una delle reti direttamente collegate, al quale inoltrare il pacchetto

- Questo secondo router si comporta in modo analogo al precedente ed il processo continua fino a quando il pacchetto perviene alla LAN/WAN dove si trova l'host destinatario

Internetworking



Protocollo IP

Laboratorio

- Esempio: tabella di routing di un host linux

Protocollo IP

Note importanti

- Vi possono essere più next-hop in funzione della topologia della rete e delle varie LAN collegate ai router
- Il next-hop è l'indirizzo IP del router direttamente collegato che è in grado di inoltrare il pacchetto alla rete di destinazione desiderata
- Il default gateway di un router è il next-hop al quale vanno destinati i pacchetti per i quali non esiste una regola di instradamento specifica

Protocollo IP

Note importanti

- Gli indirizzi IP del mittente e destinatario restano invariati nei vari passaggi fra i router dell'IP datagram, mentre gli indirizzi fisici cambiano in continuazione, a seconda del tratto di LAN/WAN percorso dal frame che incapsula l'IP datagram

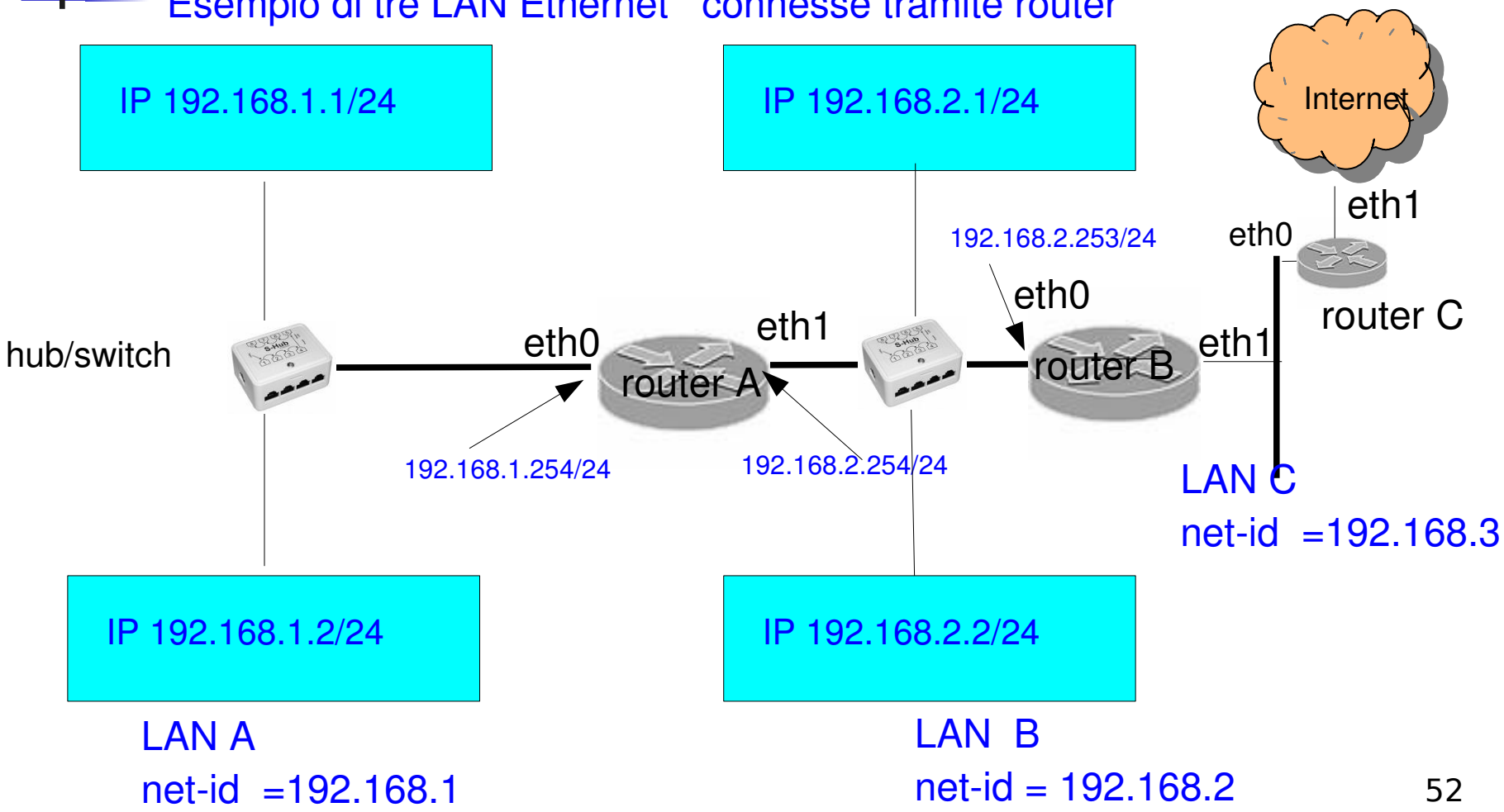
- L'indirizzo IP è infatti un indirizzo globale; l'indirizzo fisico è sempre locale, ossia limitato alla LAN/WAN, alla quale l'host appartiene

Protocollo IP

- Le tabelle di routing riportano:
  - Network address e subnet-mask delle reti direttamente collegate
  - Network address e subnet-mask delle reti, NON direttamente collegate, raggiungibili attraverso un router adiacente; si specifica in tal caso anche l'indirizzo IP della scheda di rete di tale router, al quale andranno inoltrati i pacchetti per raggiungere tali reti (next hop)
  - Default route, contenente la destinazione generica 0.0.0.0 e l' indirizzo IP della scheda del router adiacente al quale vanno inviati tutti i pacchetti, se l'indirizzo di destinazione non ricade in uno dei 2 casi precedenti

Protocollo IP

Esempio di tre LAN Ethernet connesse tramite router



Protocollo IP

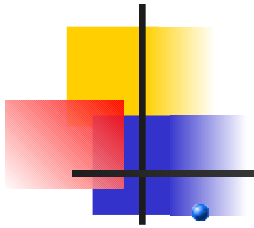
Tabella di routing del router A di interconnessione fra le LAN A e B (es Unix/Linux)

Destination	Gateway	Genmask	Iface	
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth0	*Direttamente*
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth1	*collegate*
192.168.3.0	192.168.2.253	255.255.255.0	Eth1	Non direttamente collegata
0.0.0.0	192.168.2.253	0.0.0.0	Eth1	Default route

ROUTER A

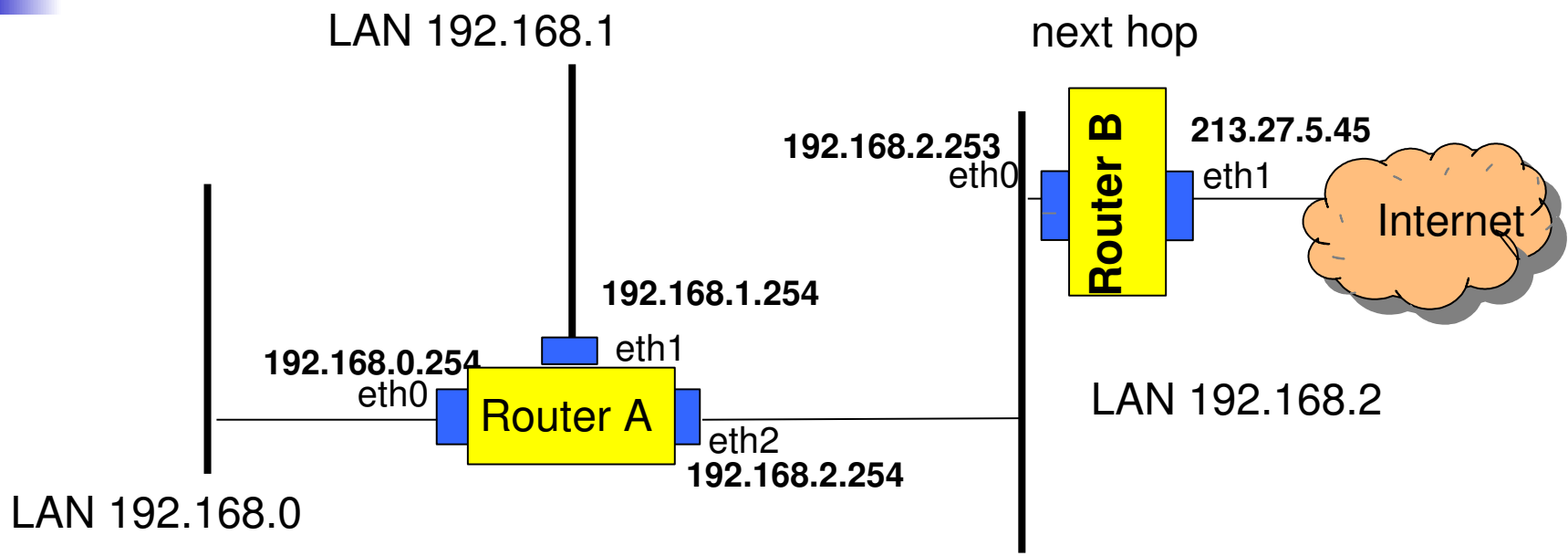
La tabella si può ottenere con il comando Linux netstat -nr

Laboratorio



- Vediamo ora alcuni esempi concreti di LAN collegate mediante router usando Netsimk

Laboratorio: primo esercizio



Se arriva un pacchetto al router A destinato ad una rete ad esso collegata (es. 192.168.1), il router inoltra il pacchetto alla scheda della relativa LAN e da qui in poi avvengono le stesse modalità di trasmissione già viste per la LAN

Se invece il pacchetto è destinato ad altra rete, non direttamente collegata, viene inviato ad un altro router (next hop)

Laboratorio:primo esercizio

Esempio di tabella di routing semplificata (Router A)

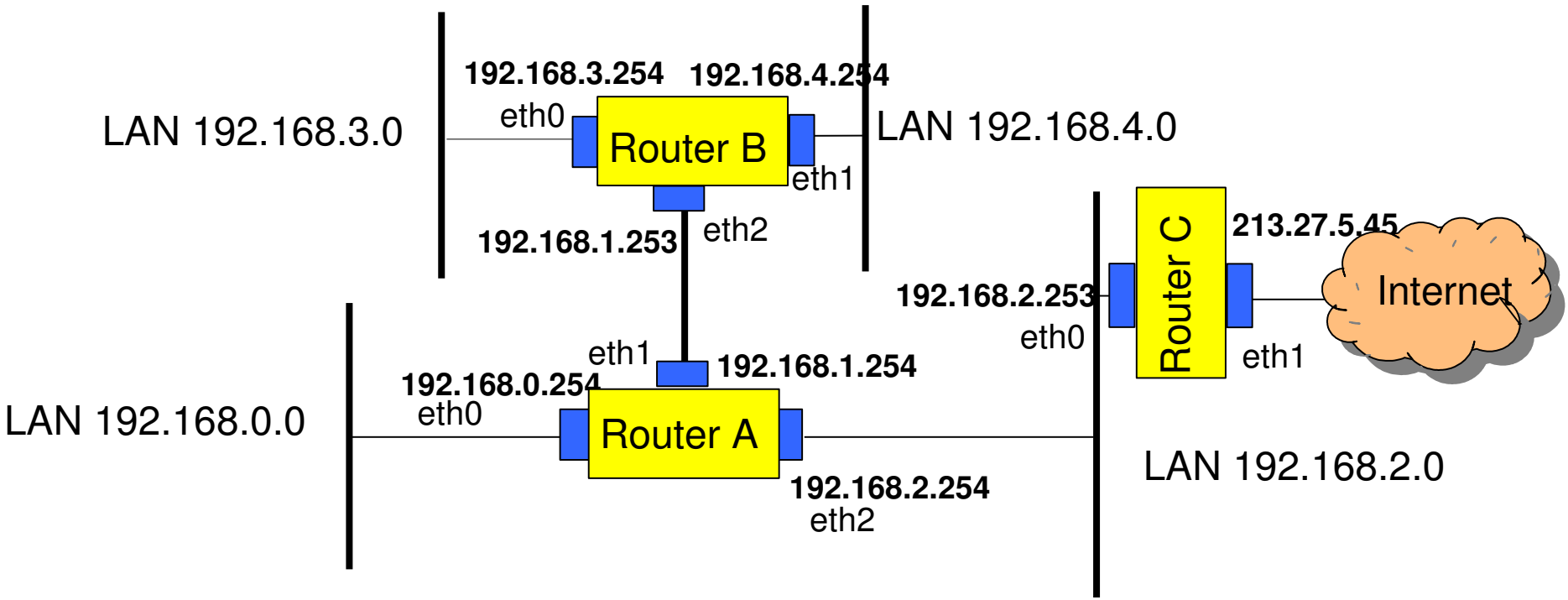
Destination	Gateway	Genmask	Iface
192.168.0.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth0
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth1
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth2
0.0.0.0	192.168.2.253	0.0.0.0	Eth2

- *Tutti i pacchetti destinati alla rete 192.168.0.0, mandali alla scheda eth0*
- *Tutti i pacchetti destinati alla rete 192.168.1.0, mandali alla scheda eth1*
- Tutti i pacchetti destinati alla rete 192.168.2.0, mandali alla scheda eth2
- Tutto quello che non cade nei casi precedenti, mandalo al next hop router 192.168.2.253 collegato alla scheda eth2
- Tale tabella può essere visualizzata con il comando netstat -nr in Unix (Unix)

Laboratorio:primo esercizio

- Progettazione di questa rete usando il toolNesimk ed il sistema operativo dei router Cisco (Cisco IOS)

Laboratorio:secondo esercizio



Laboratorio:secondo esercizio

Esempio di tabella di routing per router A

Destination	Gateway	Genmask	Iface	
192.168.0.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth0	
192.168.1.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth1	
192.168.2.0	0.0.0.0	255.255.255.0	Eth2	
192.168.3.0	192.168.1.253	255.255.255.0	Eth1	
192.168.4.0	192.168.1.253	255.255.255.0	Eth1	
0.0.0.0	192.168.2.253	0.0.0.0	Eth2	← default route

- *Tutti i pacchetti destinati alla tre reti direttamente collegate (0.0, 1.0, 2.0), mandali alla rispettiva scheda di rete*
- *Tutti i pacchetti destinati alle reti 3.0 e 4.0 mandali al router B (192.168.1.253) attraverso la scheda eth1*
- Tutto quello che non cade nei casi precedenti, mandalo al next hop router 192.168.2.253 collegato alla scheda eth2 (default route)

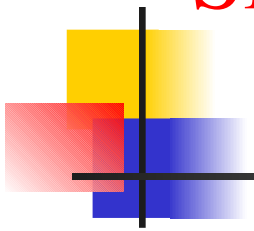
Laboratorio:secondo esercizio

- Progettazione di questa rete usando il toolNesimk ed il sistema operativo dei router Cisco (Cisco IOS)

Sintesi finale: stack TCP/IP

- Il trattamento dei pacchetti è, nel caso della sequenza di protocolli Applicativo/TCP/IP ,il seguente:
  - il protocollo applicativo (es. http,ftp, smtp), gestito da un programma client, invia un certo messaggio ad un server (es. GET /path/index.html), appartenente alla stessa LAN oppure ad una LAN differente
  - il protocollo applicativo specifica anche:
    - l'indirizzo logico (indirizzo IP) del server destinatario, risolvendo eventualmente, tramite DNS, il relativo nome mnemonico

Sintesi finale: stack TCP/IP



- porta del destinatario ossia numero identificativo del processo del destinatario, al quale va consegnato il messaggio (well-known port)
- porta del mittente ossia numero identificativo del processo mittente (es. browser) che invia il messaggio ed al quale vanno consegnate le risposte (ephemeral port)
- indirizzo logico (IP) del mittente, anch'esso riportato per la consegna delle risposte
- tipo di protocollo di trasporto (TCP; in casi particolari si usa UDP che effettua un numero minore di controlli e che non verrà considerato nelle successive slides)

Sintesi finale: stack TCP/IP

- La combinazione dei 5 valori suddetti (indirizzi logici mittente e destinatario, porte mittente e destinatario, tipo di protocollo) prende il nome di socket

- Il messaggio applicativo viene quindi passato dal protocollo applicativo, tramite la socket, a quello immediatamente inferiore, (si considera per semplicità che sia TCP)

- TCP suddivide il messaggio applicativo in pacchetti (TCP segment) ed aggiunge ad ognuno di essi un header contenente delle informazioni necessarie alla corretta consegna (ad es. porte mittente e destinatario e sequence number in modo da verificare che nessun pacchetto vada perso e sia consegnato in modo ordinato alla porta destinataria)

Sintesi finale: stack TCP/IP

- TCP consegna quindi ogni singolo pacchetto al protocollo immediatamente inferiore (IP) che, a sua volta, aggiunge un suo header riportante ulteriori informazioni necessarie per il corretto instradamento dei pacchetti (indirizzi IP mittente e destinatario, TTL, Qos etc)

- IP passa infine ogni pacchetto al protocollo di livello 2 (driver della schda di rete Ethernet o di altri protocolli), che si fanno carico di risolvere l'indirizzo IP destinatario in indirizzo fisico

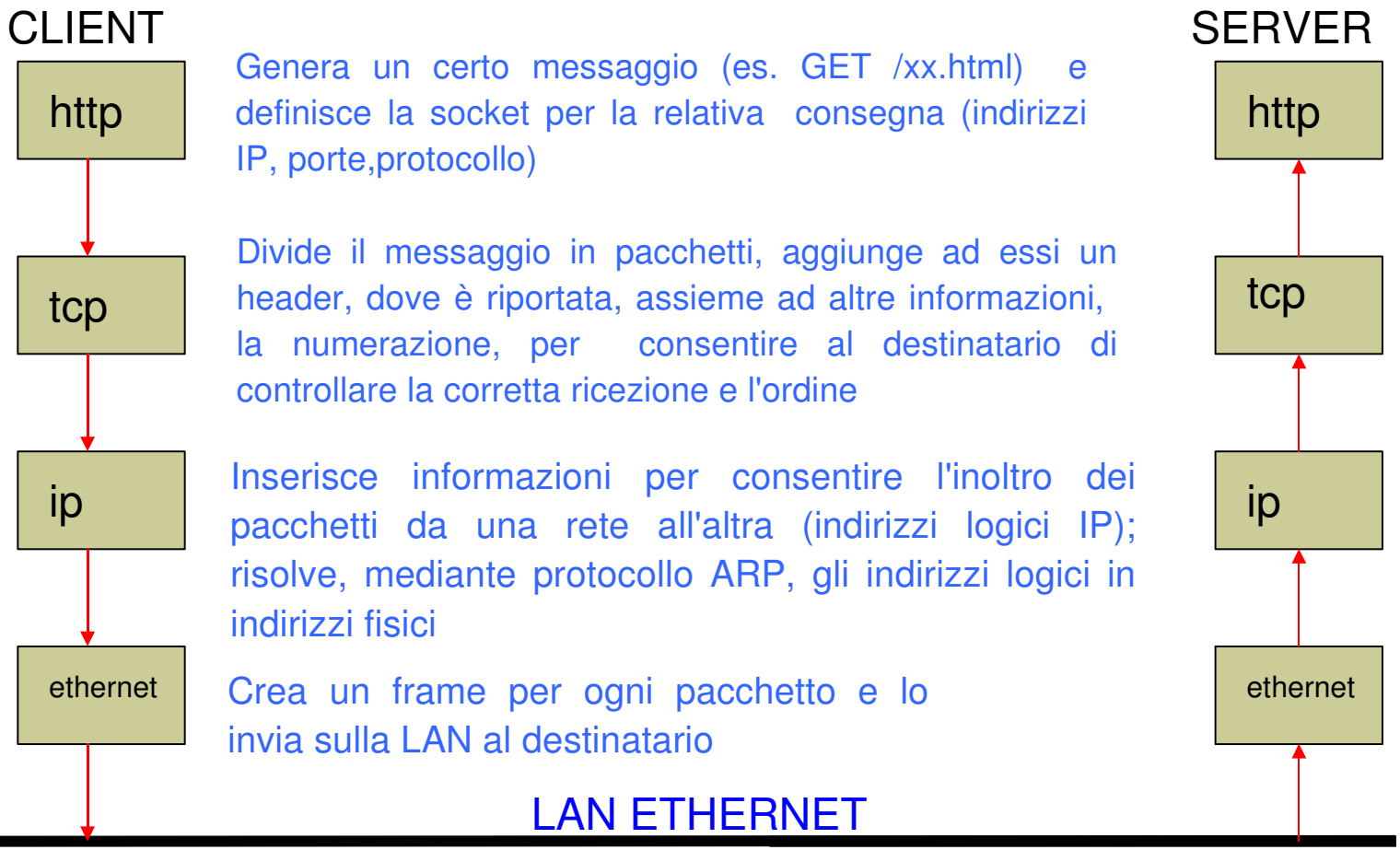
- La risoluzione dell'indirizzo logico in indirizzo fisico viene effettuata da un protocollo corollario ad IP, denominato ARP (che approfondiremo in seguito per Ethernet)

Sintesi finale: stack TCP/IP

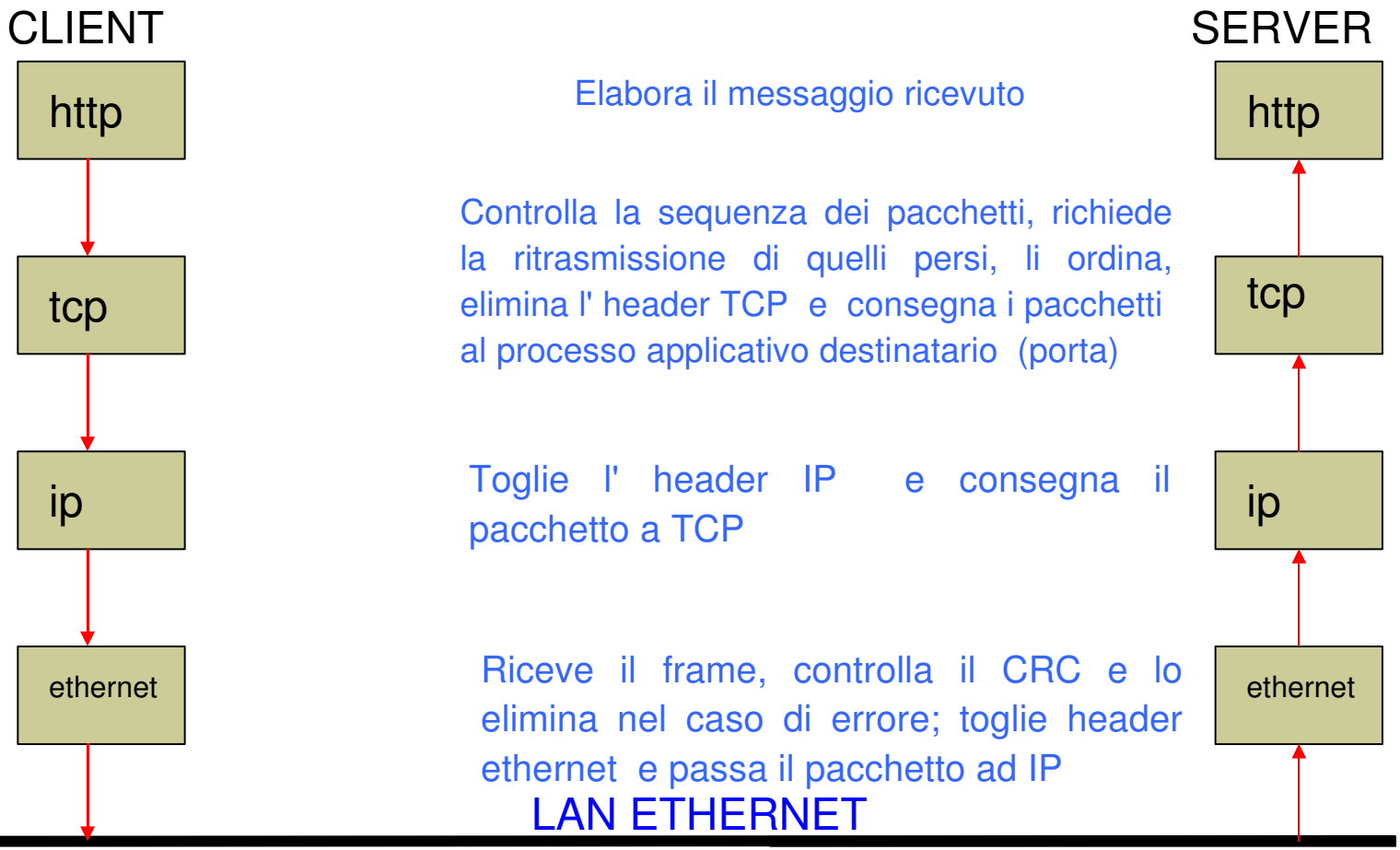
- Supponendo che il protocollo di livello 2 sia Ethernet, il pacchetto viene incapsulato in un frame con header specifico (preambolo, Mac address destinatario e mittente, type etc) ed inviato fisicamente al destinatario

- Se IP di destinazione non si trova all'interno della LAN (net-id differente), il MAC di destinazione corrisponde a quello della scheda di rete del router collegato alla LAN (default gateway)

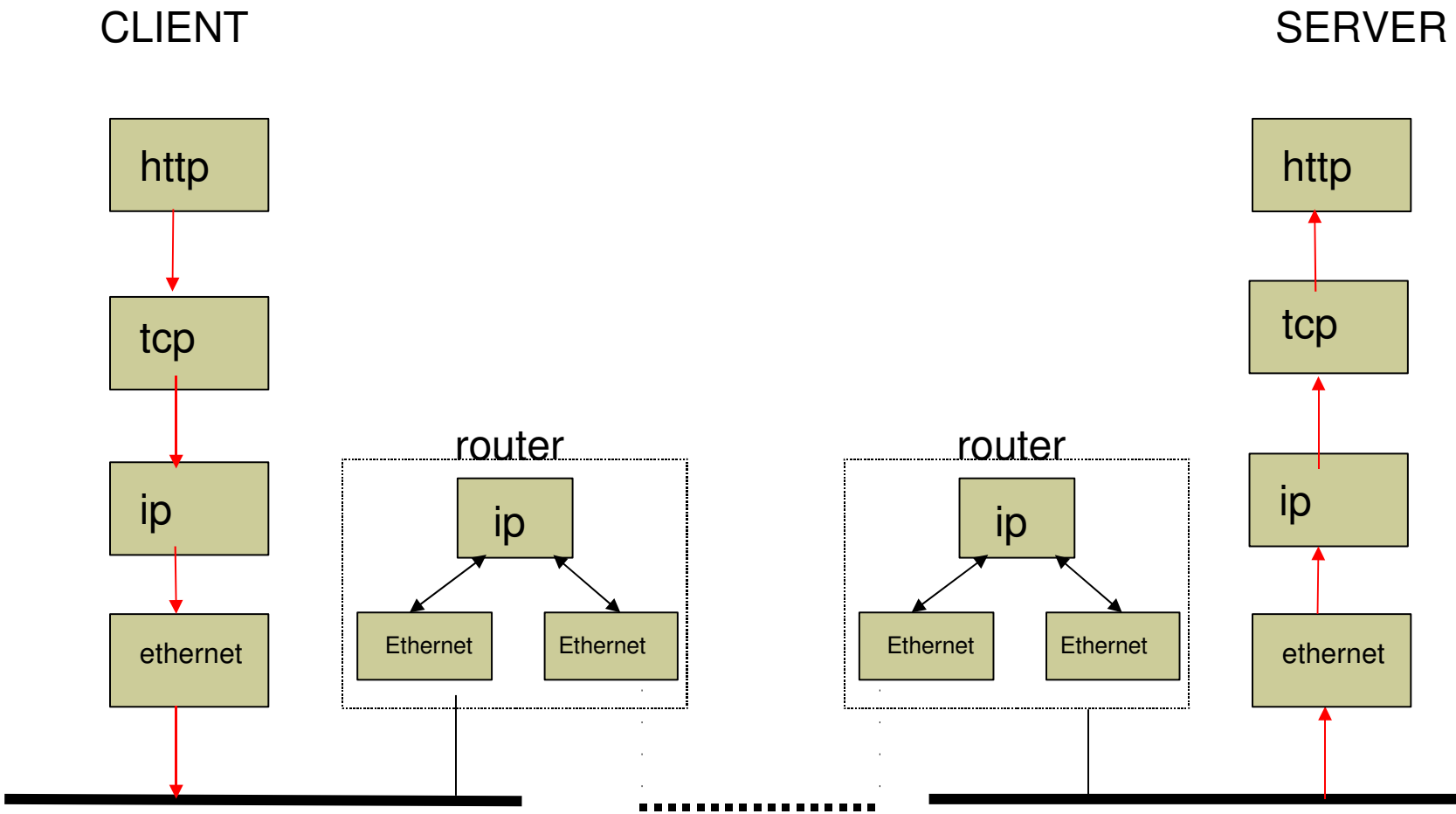
Sintesi finale: stack TCP/IP



Sintesi finale: stack TCP/IP



Sintesi finale: stack TCP/IP

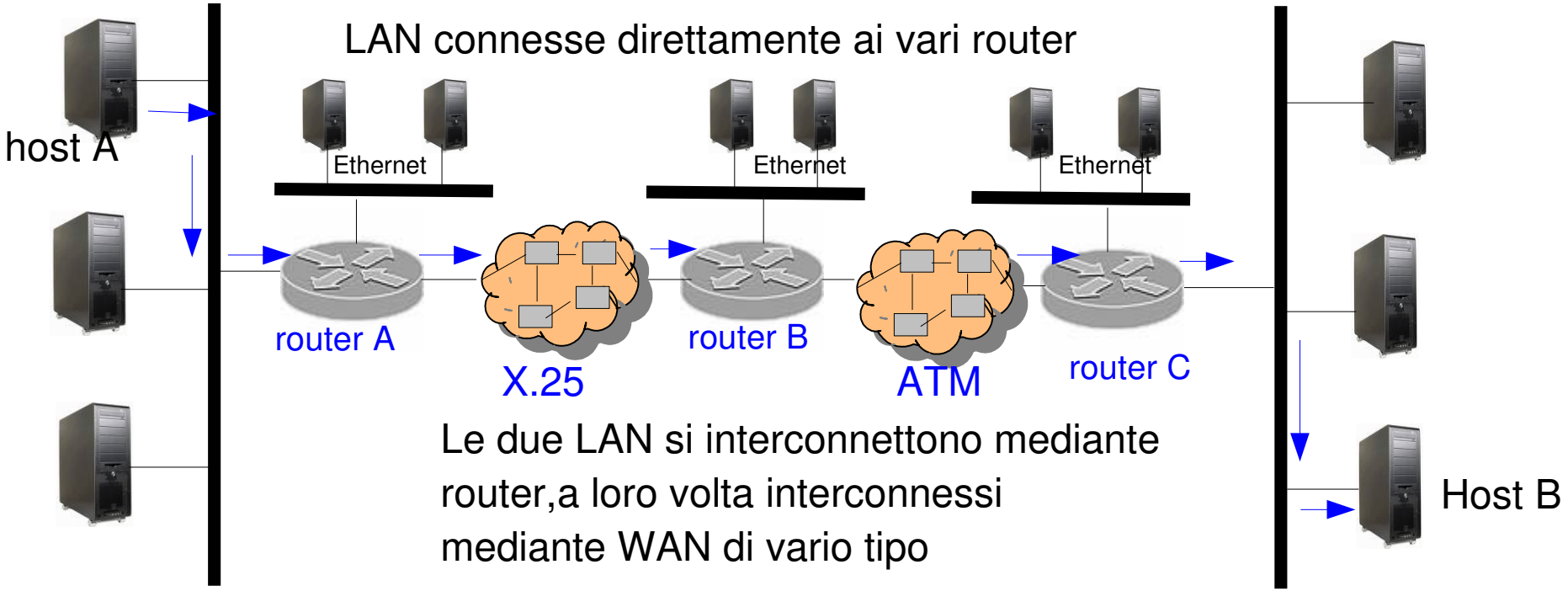


Stack TCP/IP

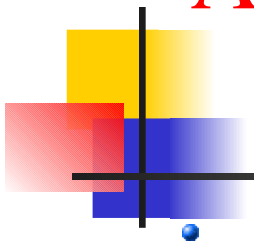
Laboratorio

- Analisi dello stack TCP/IP mediante Ethereal, nel caso di un client (browser) che si connette ad un server Http sulla stessa LAN (switch od hub)

Internetworking



Arp



- IP usa indirizzi logici usati per l'internetworking; il livello 2 indirizzi fisici (es. MAC Address per Ethernet) utilizzati per la consegna fisica all'interno della singola LAN

- Esiste quindi la necessità di un protocollo che consenta la trasformazione degli indirizzi logici in indirizzi fisici

- Tale protocollo viene denominato ARP (Address Resolution Protocol)

Arp

- Si tratta quindi di un protocollo complementare ad IP , di raccordo fra i livelli 3 e 2 (alcuni lo considerano di livello 3; altri di livello 2)

- In effetti, anche se è un protocollo di livello superiore rispetto ad Ethernet, non avviene alcun routing durante la sua esecuzione e quindi può, in tal senso, essere considerato un protocollo di livello 2

- Al di là dei diversi punti di vista, sembra logico considerarlo un protocollo di livello 2, visto che viene di solito utilizzato, nella maggior parte dei casi, direttamente dal driver della scheda di rete

Arp

- Una transazione ARP nasce quando il protocollo di livello 2 deve inviare un pacchetto al destinatario sulla stessa sottorete oppure, in alternativa, al router

- In entrambi i casi, si conosce l'indirizzo IP del destinatario (proviene dal livello applicativo oppure, nel caso del gateway, da IP) ma NON il suo indirizzo fisico

- IP delega ad ARP l'ottenimento di questa informazione

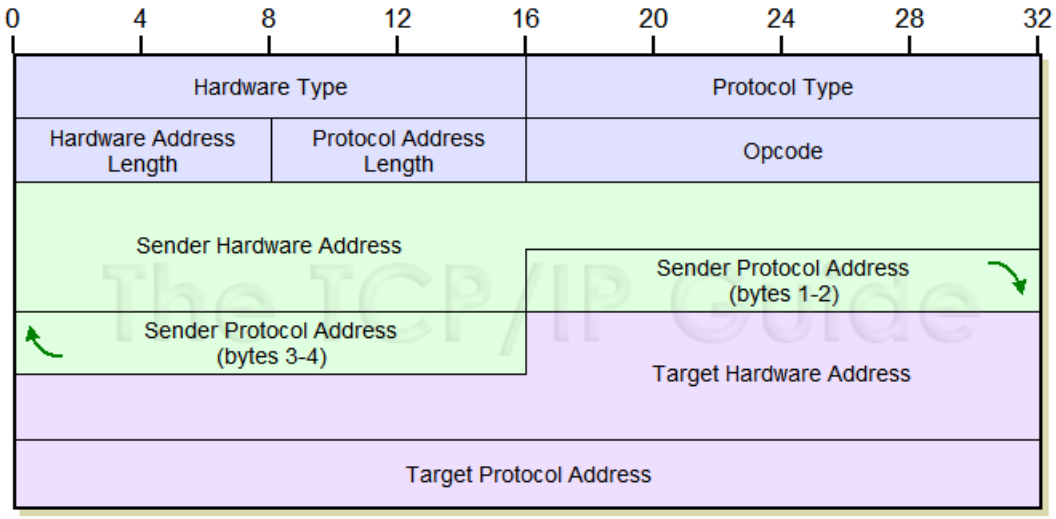
Arp

- ARP chiede ad Ethernet di inviare sulla rete un particolare frame (Arp request) contenente la richiesta dell'indirizzo MAC

- Tale frame ha come MAC source quello della scheda di rete del mittente e come MAC destinatario, un valore corrispondente a tutti 1 (FF:FF:FF:FF:FF:FF) in modo che sia letta da tutte le schede di rete della LAN (broadcasting di livello 2)

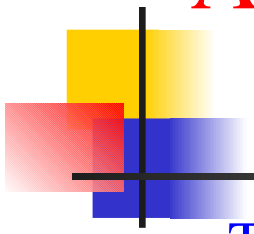
- Nella richiesta sono inoltre riportati l'indirizzo IP mittente e destinatario

Arp



Frame ARP

Arp



- Tutte le schede di rete leggono il frame in quanto esso è di broadcasting
- Solo la scheda di rete avente indirizzo IP corrispondente a quello del destinatario, risponde, inviando al richiedente un frame (ARP reply) riportante il suo MAC
- ARP mittente archivia il MAC destinatario in una tabella di cache

Arp

- Anche il destinatario aggiorna la sua tabella di cache riportandovi IP e MAC ADDRESS mittente; per tale motivo nel frame di richiesta è presente anche l'indirizzo IP del mittente (cross-resolution)

- La tabella di cache consente di evitare continui broadcasting che possono portare a collisioni e rallentamenti nella rete

- La tabella viene aggiornata ad intervalli regolari per eliminare la presenza di informazioni obsolete

ICMP

- IP è stato progettato come protocollo “leggero”, con l'esclusivo compito di trasmettere i pacchetti fra le LAN (internetworking)
- Esso opera negli host mittente e destinatario ma soprattutto nei vari router, interposti fra tali host, prendendosi carico del corretto instradamento di tutti i pacchetti trasmessi
- IP è connectionless, unreliable and unacknowledged nel senso che si limita ad instradare tali pacchetti, demandando a TCP lato destinatario tutti gli aspetti riguardanti la loro corretta ricezione, la notifica al mittente (acknowledgment) e l'eventuale richiesta di ritrasmissione

ICMP

- Possono però verificarsi errori in uno dei vari router che compongono il percorso di instradamento dei pacchetti fra il mittente ed il destinatario (errori di livello 3)

- Ad esempio potrebbe accadere che un router sia configurato in modo errato e quindi non riesca ad inoltrare i pacchetti alla rete di destinazione (perchè manca banalmente la entry nella relativa tabella di routing oppure è errato il gateway impostato per una certa destinazione etc)

- Può anche succedere che un certo router tutto ad un tratto non sia più disponibile (blocco o sovraccarico) e quindi alcuni pacchetti vadano persi

ICMP

- In tutti i casi nei quali si verificano questi errori, è importante notificare IP lato mittente del problema verificatosi, in modo che possano essere adottate le necessarie contromisure

- E' infatti da notare che TCP lato destinatario, in casi come questi, o non riceverebbe alcun pacchetto (es. errore di configurazione) oppure li riceverebbe in modo incompleto (blocco o sovraccarico), limitandosi a chiederne la ritrasmissione, senza poter notificare il mittente circa i motivi della perdita

- Si deduce quindi che esiste la necessità di informare IP lato mittente che esistono problemi in fase di instradamento dei pacchetti in modo che siano date indicazioni precise sul tipo di errore verificatosi

ICMP

- Ip delega ad uno specifico protocollo (ICMP) la notifica ad IP mittente di tutti i problemi riscontrati in fase di instradamento, usando messaggi opportunamente codificati

- Si può quindi considerare ICMP un protocollo corollario ad IP, nel senso che è parte integrante di quest'ultimo

- I messaggi ICMP sono inglobati, come se fossero dati, in pacchetti IP

- ICMP è stato progettato per notificare non solo errori (error messages) ma anche informazioni di vario tipo (informational messages)

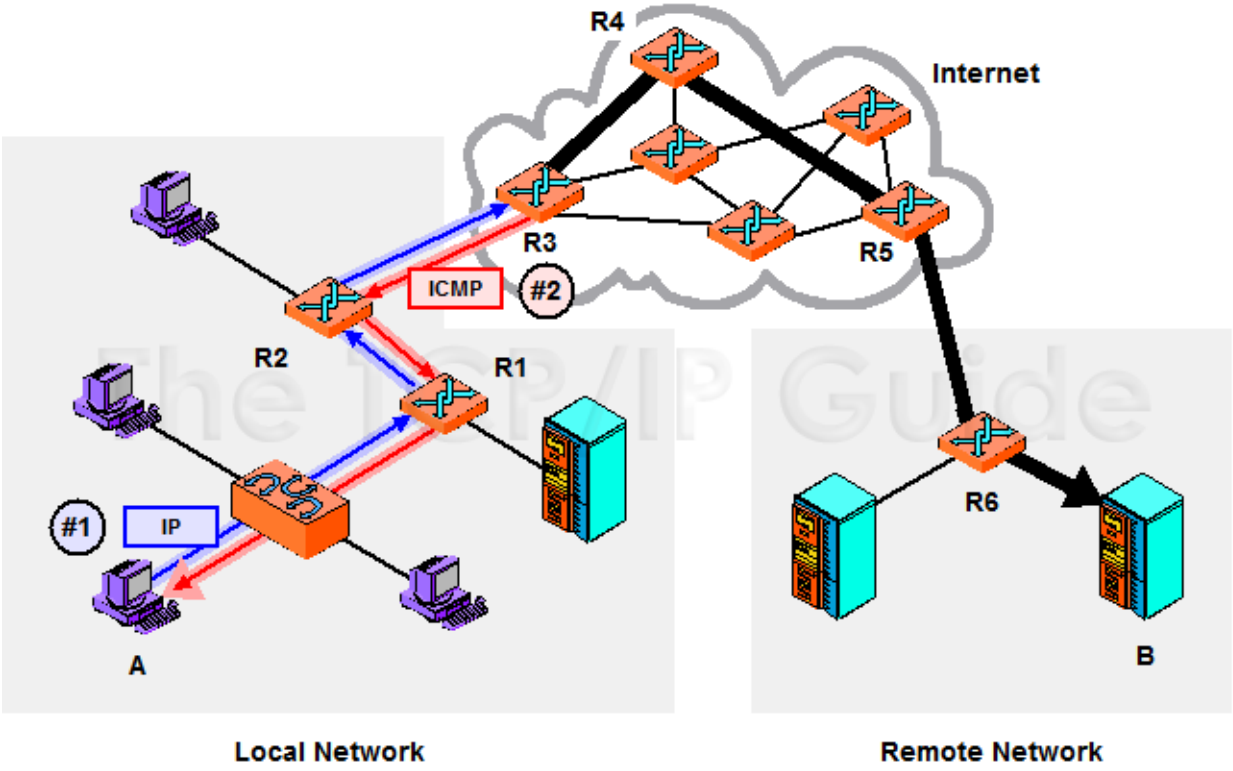
ICMP

- I messaggi ICMP di tipo error sono trasmessi dal layer IP del router che riscontra problemi nell'instradamento del pacchetto, anche nei casi nei quali questi dipendano da uno dei router precedentemente attraversati

- Questo comporta evidentemente dei limiti nella tracciabilità dell'errore ma semplifica sensibilmente la progettazione e gestione del protocollo

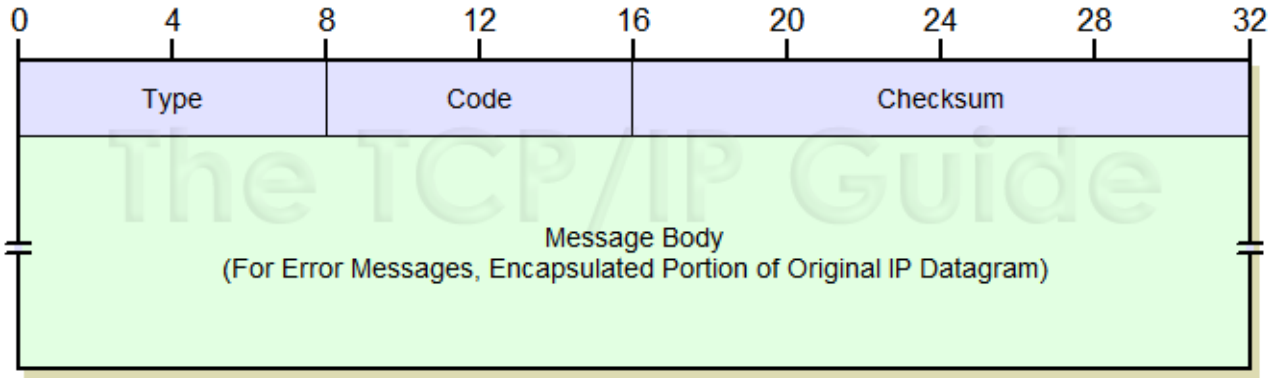
ICMP

ICMP


R4
Internet
R3
R5
ICMP
#2
R2
R1
#1
IP
A
R6
B
Local Network
Remote Network

ICMP

ICMP (dati inviati tramite pacchetti IP)



- Type (da 1 a 127 error messages; da 128 a 255 informational messages)
- Code (ulteriore specificazione di type)
- Checksum
- Dati (valore funzione del type)

ICMP

ICMP

- Due tipi di informational messages frequentemente utilizzati :
  - Echo request (inviato dal mittente)
  - Echo reply (inviato in risposta dal destinatario)
- Questi messaggi sono importanti per capire il motivo di errori di connettività e vengono utilizzati dal comando ping
- Un altro comando che usa ICMP è traceroute