



La Sapienza

Università degli Studi di Roma

Dipartimento di Informatica e Sistemistica

RETI DI CALCOLATORI II

Indirizzamento IPv4

Emiliano Trevisani

trevisani@dis.uniroma1.it

A.A. 2008/2009

Indirizzamento IP (v4)

- Indirizzo unico di 32 bit per ciascuna interfaccia presente nella rete
 - Un host puo' avere interfacce multiple
 - Alcuni indirizzi possono essere assegnati piu' volte --> VPN, NAT (piu' avanti)
- Interfaccia --> scheda di rete
- Formato degli indirizzi
 - A classi (classful) --> proposta originale
 - Senza classi (classless) --> permette di risparmiare indirizzi

Indirizzamento IP (v4)

- Indirizzo IP:
 - in origine (1981, RFC 1166) era definito da due componenti
 - Net_Id: identificativo di sotto-rete
 - Host_Id: identificativo di host all'interno della sotto-rete
- $IP_Address = Net_Id . Host_Id$
- La divisione tra Net_Id e Host_Id non è fissa

Indirizzi IP - formato classful

Classe	Bit iniziali	Net_Id	Host_Id	“Reti” disponibili	“Host” disponibili
A	0	7 bit	24 bit	128	16.777.216
B	10	14 bit	16 bit	16384	65.536
C	110	21 bit	8 bit	2.097.152	256
D	1110	Indirizzo multicast: 28 bit Indirizzi possibili: 268.435.456			
E	11110	Riservata per usi futuri: 27 bit Indirizzi possibili: 134.217.728			

Indirizzi IP - formato classful

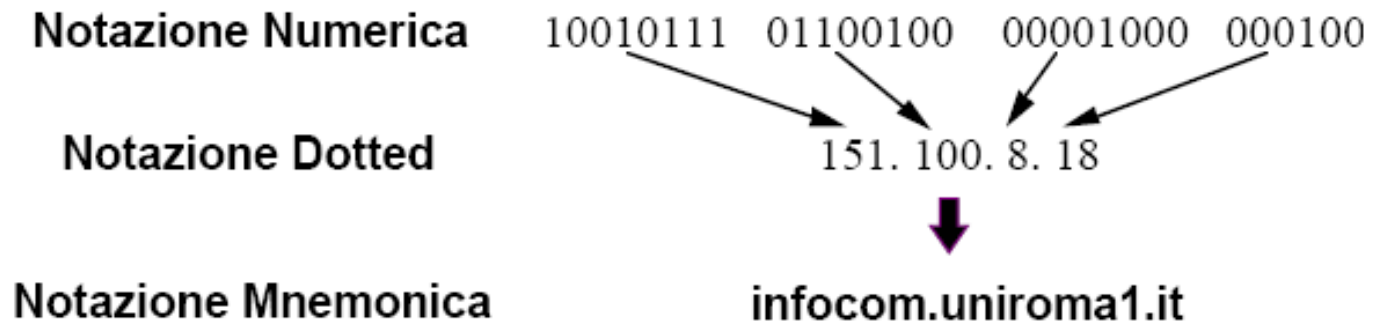
Classe

A	0 rete	host	1.0.0.0 a 127.255.255.255
B	10 rete	host	128.0.0.0 a 191.255.255.255
C	110 rete	host	192.0.0.0 a 223.255.255.255
D	1110	Indirizzo multicast	224.0.0.0 a 239.255.255.255
E	11110	Riservato	240.0.0.0 a 247.255.255.255

← 32 bit →

Schema d'indirizzamento

- Notazione numerica, “dotted” e “mnemonica”



- Un opportuno protocollo (DNS) provvede a tradurre un indirizzo numerico in mnemonico e viceversa

Schema d'indirizzamento

- Se un host si muove dalla rete in cui si trova, il suo indirizzo deve essere generalmente cambiato
 - Mobilità: protocollo Mobile IP
- Convenzioni

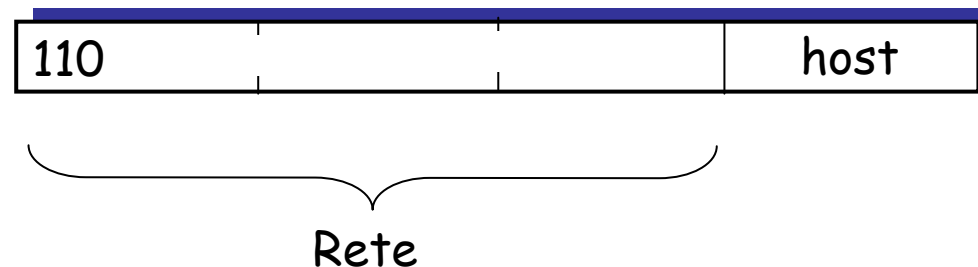
Rete locale	Tutti "0"	
Host nella rete locale	Tutti "0"	Host_Id
Broadcast sulla rete locale	Tutti "1"	
Broadcast sulla rete Net_Id	Net_Id	Tutti "1"

Convenzioni per il broadcast

- Broadcast verso la rete cui l'interfaccia appartiene
 - Tutti i bit a 1 (prefisso di rete + host)
- Broadcast verso gli host di un'altra rete
 - Prefisso di rete valido
 - Bit della parte host dell'indirizzo a 1
 - Non standard: bit della parte host a 0
- Un broadcast IP si traduce (se possibile) in un broadcast Hw sulla rete di destinazione

Vantaggi dell'indirizzamento a classi

- Indirizzo della rete e dell'host (interfaccia) identificati senza ulteriori informazioni
- Es.: primi 3 bit 110 --> indirizzo di classe C



- Non servono informazioni aggiuntive

Svantaggi dell'indirizzamento a classi

- Problema: potenziale spreco di indirizzi
- Esempio:
 - Rete con 2000 host
 - Occorre richiedere una rete di classe B
 - -> circa 63000 indirizzi inutilizzati
- Soluzione (RFC 1519): Classless InterDomain Routing
 - Piu' avanti

Assegnazione di indirizzi IP

- Tutti gli host sulla stessa rete hanno lo stesso prefisso di rete
 - Prefissi assegnati da un'autorità centrale
 - Richiesti dall'ISP o istituzione ecc.
- Ogni host (interfaccia) su una rete ha un suffisso distinto
 - Assegnato localmente
 - L'amministratore di rete garantisce l'unicità

Alcune questioni aperte

- Multicast
 - Trasferimento 1 --> molti
 - Molte proposte ma ancora nessuno standard diffuso
- Host multi-homed
 - Es.: utenti mobili
 - Piu' indirizzi possibili
 - Discusso piu' avanti

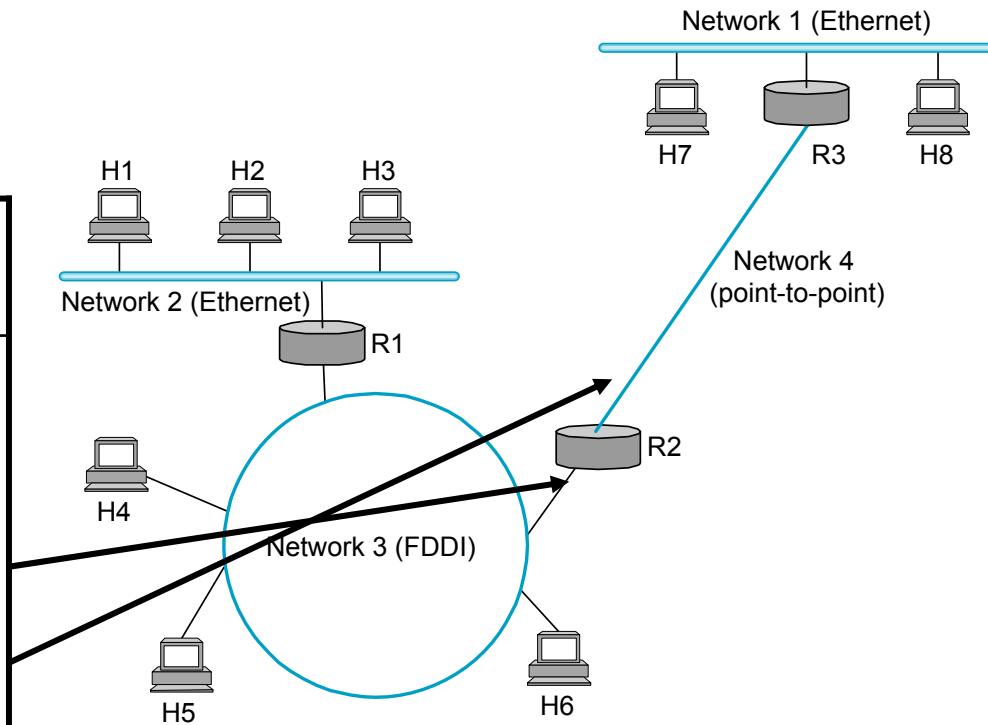
Datagram forwarding

- Scelta della porta di uscita in base all'indirizzo IP di destinazione e alla Routing Table
- Il routing riguarda invece la costruzione delle RT
- Struttura fondamentale di una riga della RT:
 - (DestinationNetwork, Cost, NextHop)
 - NextHop puo' essere un'interfaccia cui la rete di destinazione e' direttamente collegata
- Sempre presente un NextHop di default

Datagram forwarding/cont.

- RT del router R2

DestNet	NextHop
1	R3
2	R1
3	Interface1
4	Interface0



Costo = numero di hop

Forwarding algorithm

if (DestNet == ThisNetNum su qualche interfaccia) /* Sia essa x */

<Invia il pacchetto sull'interfaccia x>

else if

(DestNet e' nella RT)

<Invia il pacchetto a NextHop>

else

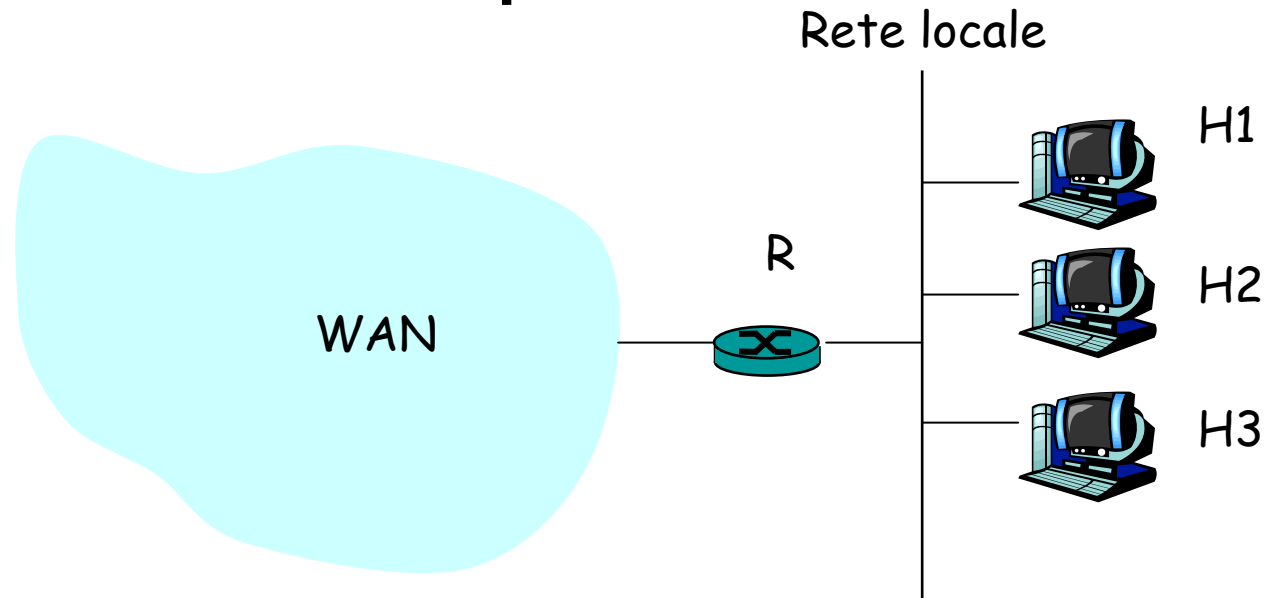
<Invia il pacchetto a default router>

Estensioni

- Problema principale: notevole spreco di indirizzi
 - Soprattutto in classe B
- Soluzioni
 - Router trasparenti e ARP promiscuo (soluzioni obsolete)
 - Indirizzamento di sottorete
 - Indirizzamento senza classi (CIDR - Classless Inter-Domain Routing)

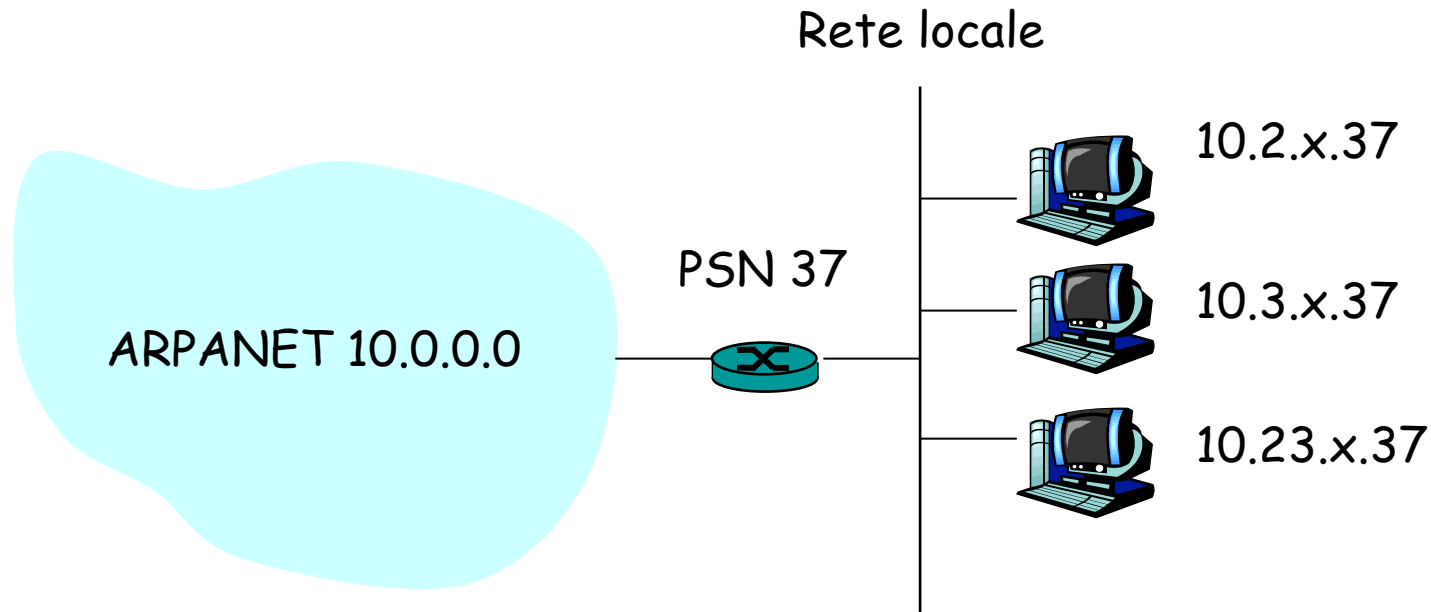
Router trasparenti

- H1, H2 E H3 “credono” di essere connessi direttamente alla WAN
- La rete locale non ha un proprio prefisso IP



- R demultipla i datagrammi da e per la rete locale
- R suddivide gli indirizzi IP in porzioni che interpreta separatamente

Esempio: ARPANET



- Indirizzo di rete in forma 10.h.x.p
- h-->host, p--> PSN, x non interpretato
- Nota: 10.2.5.37 e 10.2.10.37 --> stesso host

Vantaggi/svantaggi

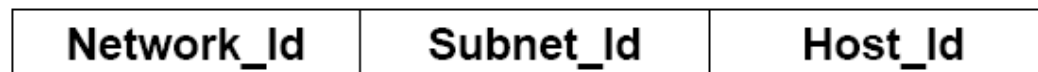
- Vantaggi
 - Necessari meno indirizzi di rete
 - Possibile bilanciamento del carico
- Svantaggi
 - Non funziona con reti di classe C
 - I router trasparenti possono non offrire tutti i servizi standard (ICMP, SNMP.....)

Indirizzi LAN e IP (cont.)

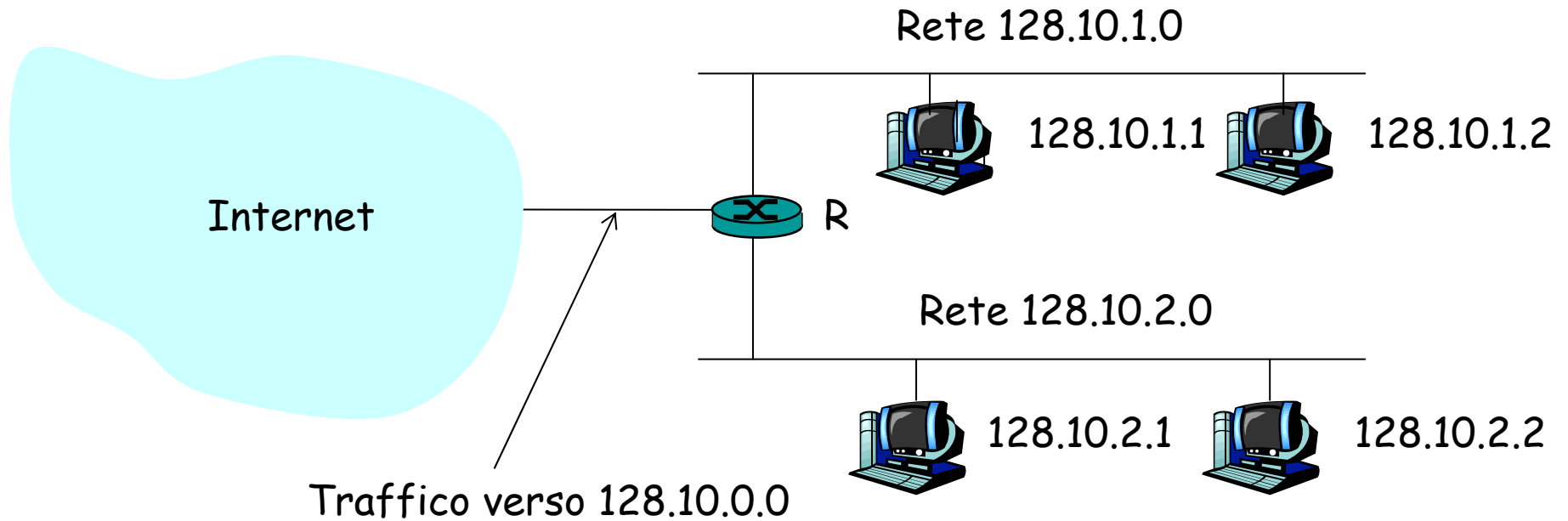
- Gli indirizzi MAC sono amministrati dalla IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- Ogni costruttore acquista una porzione dello spazio di indirizzamento (per assicurare unicità)
- Analogia:
 - (a) indirizzo MAC -> codice fiscale
 - (b) indirizzo IP -> indirizzo postale
- Indirizzamento MAC piatto => portabilità
- Indirizzo IP gerarchico non portabile
- Indirizzo Broadcast LAN: 1111.....1111
- **D.: perché non si usano soltanto gli indirizzi IP?**

Indirizzamento di sottorete

- La struttura di indirizzamento a due livelli gerarchici era sufficiente nella fase iniziale di Internet
 - Nel 1984 è stato aggiunto un terzo livello gerarchico: il livello di sottorete (Subnet)
 - Tecnica standardizzata
 - Spesso usata su reti di classe B
 - Idea
 - Router (R) responsabile dell'instradamento da/verso l'esterno
 - R conosce la suddivisione della rete in sottoreti
 - L'esterno "vede" un'unica rete, accessibile da R
 - Si utilizzano alcuni bit dell'Host_Id per codificare il Subnet_Id



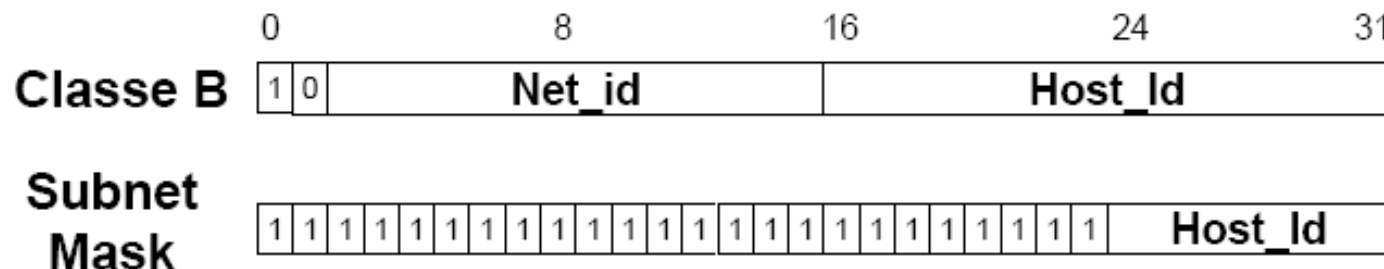
Esempio



- Le reti 128.10.1.0 e 128.10.2.0 non sono visibili all'esterno
- R interpreta gli indirizzi di dest. dei datagrammi provenienti dall'esterno

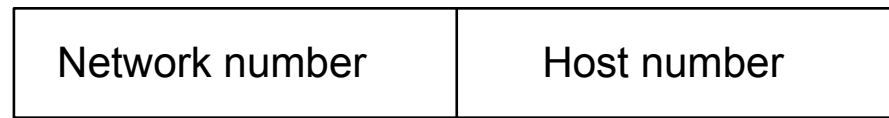
Subnetting

- Il campo Subnet.Id è identificato da una maschera denominata “Subnet Mask”
- Una Subnet Mask è una parola di 32 bit in cui
 - i bit uguali a “1” identificano i bit del Net_Id e del Subnet_Id
 - i bit uguali a “0” identificano i bit dell’Host_Id
- La Subnet_Id ha significato solo nel router a cui sono connesse le sottoreti

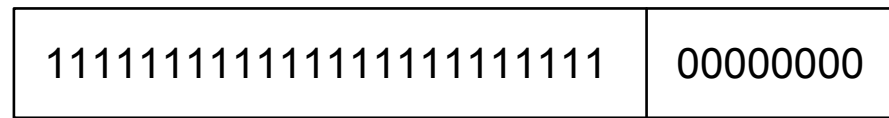


Subnetting

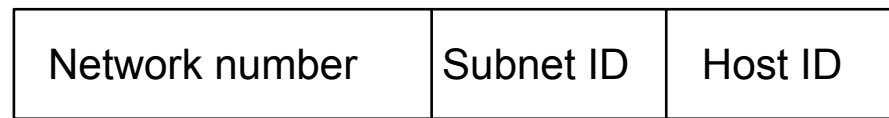
- Adding another level to address/routing hierarchy: *subnet*
- *Subnet masks* define variable partition of host part
- Subnets visible only within site



Class B address



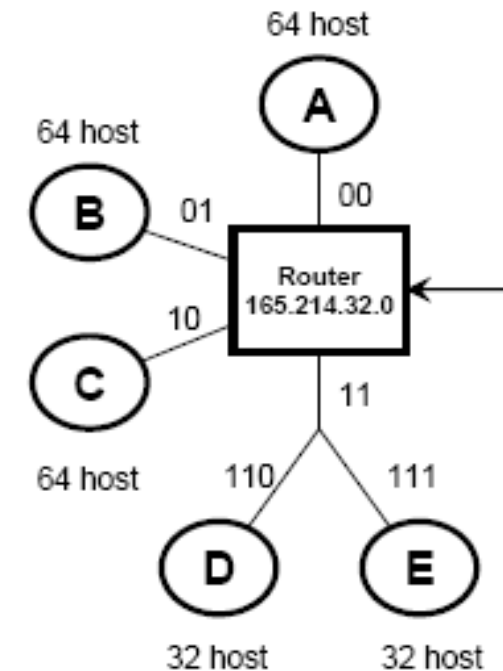
Subnet mask (255.255.255.0)



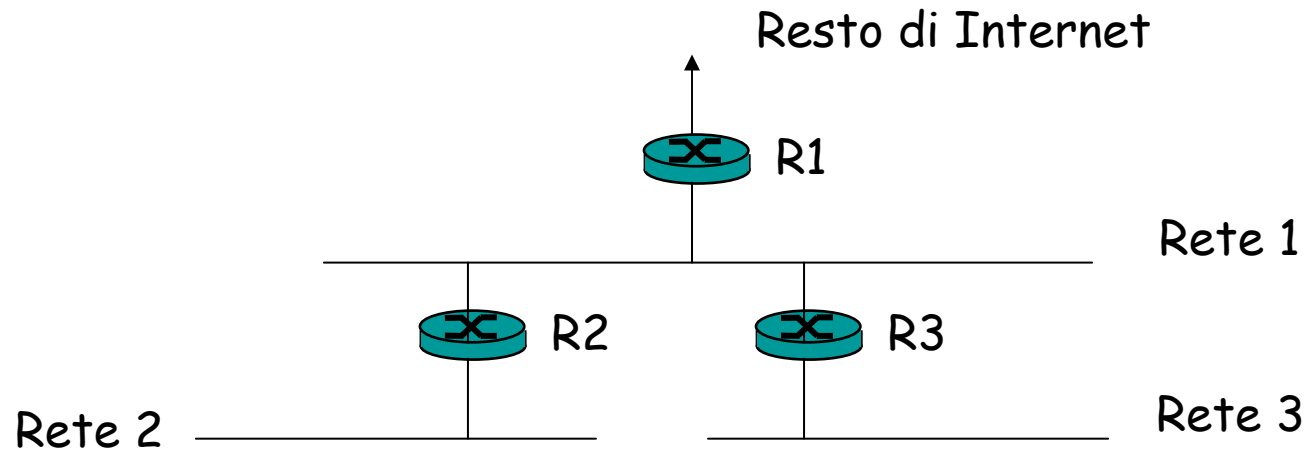
Subnetted address

Subnetting a lunghezza variabile

- Le sotto-reti di una rete usano maschere diverse
 - Consente di gestire reti di dimensione diversa
- Esempio:
 - Router con un indirizzo di classe C [165.214.32.0]
 - 5 Sottoreti:
 - Subnet A, Subnet B, Subnet C: 50 host
 - Subnet D, Subnet E: 30 host
 - Subnetting
 - 4 sottoreti con 64 host ciascuna (Host_id: 6 bit) (subnet mask 255.255.255.192)
 - 1 sottorete divisa in due ulteriori sottoreti con 32 host ciascuna (Host_id: 5 bit) (subnet mask 255.255.255.224)



Esempio



- R2 deve sapere quanti bit individuano il prefisso della rete 3
- Il resto di Internet ignora l'esistenza di R2 e R3
- Svantaggi: occorre comunque assegnare un indirizzo di rete iniziale di classe A, B o C

Tabelle di routing

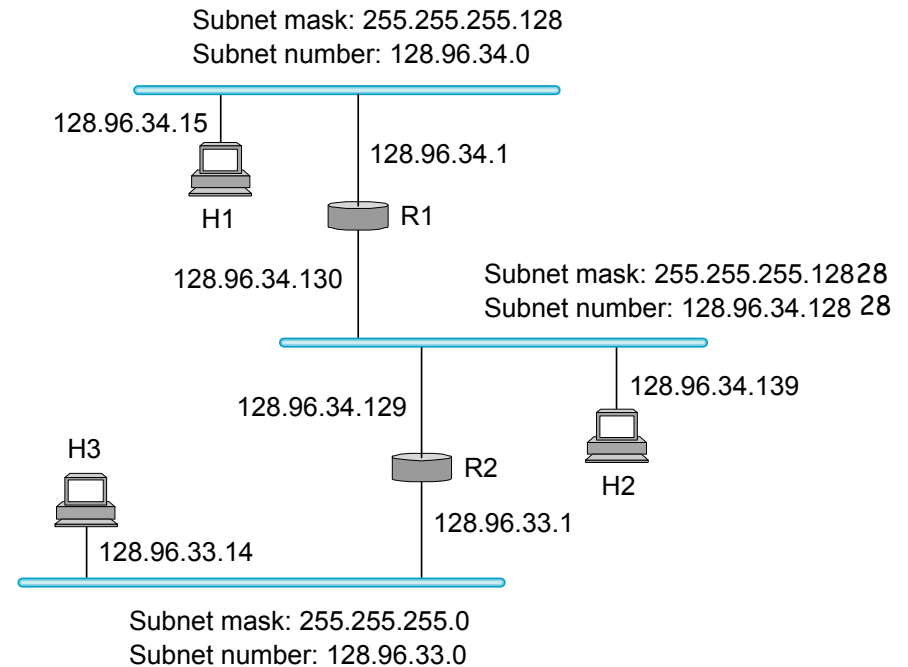
- Le tabelle di routing devono essere modificate (nel seguito sono omessi i costi)
- Generica entry:
(M, D, H)
- Significato dei campi
 - D --> indirizzo rete di destinazione
 - H --> indirizzp prox. router lungo il percorso verso Dest
 - M --> maschera: campo di 32 bit che consente di delimitare il prefisso di rete

Tabelle di routing - cont.

		
I	255.255.0.0	151.100.0.0	220.190.16.22
I+1	255.255.255.0	220.190.16.0	220.190.15.1
		

- Esempio: Risolvere indirizzo 220.190.16.3
 - Prova entry I: AND bit a bit con 255.255.0.0 da' 220.190.0.0 \neq 151.100.0.0
 - Prova entry I+1: AND bit a bit con 255.255.255.0 da' 220.190.16.0 --> prox. salto e' 200.190.15.1

Subnet Example



Forwarding table at router R1

Subnet Number	Subnet Mask	Next Hop
128.96.34.0	255.255.255.128	interface 0
128.96.34.128	255.255.255.128	interface 1
128.96.33.0	255.255.255.0	R2

Forwarding Algorithm

```
D = destination IP address
for each entry (SubnetNum, SubnetMask, NextHop)
  D1 = SubnetMask & D
  if D1 = SubnetNum
    if NextHop is an interface
      deliver datagram directly to D
    else
      deliver datagram to NextHop
```

- Use a default router if nothing matches
- Not necessary for all 1s in subnet mask to be contiguous
- Can put multiple subnets on one physical network
- Subnets not visible from the rest of the Internet

Maschere di sottorete

- Sono consentite maschere arbitrarie
- Soluzione solitamente scelta (non e' una scelta obbligata):
 - Numero costante di bit della parte locale per individuare la sottorete
 - Allocazione contigua
 - Esempio: data la rete 151.100.0.0 di classe B, gli 8 bit piu' significativi della parte locale per la sottorete e gli 8 bit meno significativi per l'host
 - In questo caso la maschera di sottorete sarebbe 255.255.255.0

Classless Inter Domain Routing [CIDR]

- Nel 1996 erano stati assegnati
 - 100 % degli indirizzi di classe A
 - 61.95 % degli indirizzi di classe B (rischio esaurimento)
 - 36.44 % degli indirizzi di classe C
- CIDR è stato ideato per
 - affrontare l'esaurimento dello spazio di indirizzamento di IP (raddoppio degli host ogni anno)
 - diminuire la complessità delle tabelle di instradamento nei router
 - velocizzare le operazioni di instradamento nei router
- Il CIDR tende ad eliminare le classi di indirizzo

Indirizzamento senza classi

- Detto anche di super-rete (super-netting)
- Motivazioni:
 - Pochi indirizzi di classe A e B disponibili
 - Molti indirizzi di classe C disponibili, ma piccola frazione assegnata
- Obiettivo: assegnare soprattutto indirizzi di classe C
- Soluzione: CIDR (Classless Inter-Domain Routing)

Indirizzamento senza classi

CIDR è basato sulla tecnica Supernetting

- la metà superiore della classe A (da 64 a 127) è stata riservata per usi futuri
- un indirizzo di classe B è assegnato solo se la rete ha
 - almeno 32 sotto-reti
 - oltre 4096 host complessivi
- gli indirizzi della metà inferiore della classe C (da 192.0.0 a 207.255.255) sono divisi in otto blocchi assegnati ciascuno ad una autorità geografica
 - gli indirizzi della metà superiore della classe C (da 208.0.0 a 223.255.255) non sono assegnati
- ad una rete che non soddisfa i requisiti per la classe B è assegnato un certo numero di blocchi contigui di indirizzi di classe C
 - la rete sia caratterizzata da un unico prefisso (insieme dei bit più significativi)
 - la rete sarà individuata nei router solo dal prefisso

Indirizzamento senza classi

- Pianificazione geografica degli indirizzi di classe C

Multiregional	192.0.0	193.255.255
Europe	194.0.0	195.255.255
Others	196.0.0	197.255.255
North America	198.0.0	199.255.255
Central/South America	200.0.0	201.255.255
Pacific Rim	202.0.0	203.255.255
Others	204.0.0	205.255.255
Others	206.0.0	207.255.255

- Tutte le reti appartenenti ad una regione geografica sono identificate dagli stessi 7 bit di prefisso
 - Esempio: Europa
 - 11000010 0 [194]
 - 11000011 1 [195]

Indirizzamento senza classi

- Esempio 1
 - Assegnazione degli indirizzi nel Nord America
 - CIDR mask per il North America = 198.0.0.0/7
 - Ad un grande Internet Service Provider (ISP) sono assegnati 2048 blocchi di indirizzi di classe C
 - da 198.24.0.0 (11000110.00011000.00000000.0)
 - a 198.31.255.0 (11000110.00011111.11111111.0)
 - CIDR mask per il grande ISP = 198.24.0.0/13
 - Un piccolo ISP locale richiede al grande ISP 16 blocchi di indirizzi di classe C
 - da 198.24.16.0 (11000110.00011000.00010000.0)
 - a 198.24.31.0 (11000110.00011000.00011111.0)
 - CIDR mask per il piccolo ISP locale = 198.24.16.0/20

Indirizzamento senza classi

- Esempio 2
 - Assegnazione degli indirizzi in Europa
 - CIDR mask per l'Europa = 194.0.0.0/7
 - Ad una organizzazione sono assegnati 2048 indirizzi di classe C
 - da 194.32.136.0 (11000010.00100000.10001000.0)
 - a 194.32.143.0 (11000010.00100000.10001111.0)
 - CIDR mask per il grande ISP = 198.32.136.0/21

Indirizzamento senza classi

- Da un indirizzo IP a 32 bit e dalla relativa maschera di rete a 32 bit si individua il prefisso con una operazione di AND
- In una routing table un blocco di indirizzi può essere rappresentato da un unico elemento corrispondente al prefisso (Supernetting)
- Viene scelto l'instradamento verso la direzione corrispondente al prefisso di lunghezza maggiore (Longest Prefix Matching)

```
11000000 00100000 10001000 00000000 = 192.32.136.0 (class C address)
11111111 11111111 11111000 00000000   255.255.248.0 (network mask)
===== logical_AND
11000000 00100000 10001          = 192.32.136 (IP prefix)
11000000 00100000 10001111 00000000 = 192.32.143.0 (class C address)
11111111 11111111 11111000 00000000   255.255.248.0 (network mask)
===== logical_AND
11000000 00100000 10001          = 192.32.136 (same IP prefix)
```

Longest Prefix Matching

Instradamento

- indirizzo 198.15.7.3
- indirizzo 198.15.7.4

198.15.7.3

- porta 1: matching prefisso 16
- porta 7: matching prefisso 24
- porta 4: matching prefisso 32

198.15.7.4

- porta 1: matching prefisso 16
- porta 7: matching prefisso 24
- porta 4: no matching

Tabella di instradamento

Prefix	Porta d'uscita
198.15.0.0/16	1
198.15.7.0/24	7
198.15.7.3/32	4

198.15.7.3 \Rightarrow porta 4

198.15.7.4 \Rightarrow porta 7

Indirizzamento senza classi

- Problema: una rete di classe C corrisponde a 256 indirizzi IP
- Molte organizzazioni hanno bisogno di piu' indirizzi
- Soluzione: assegnare ad una stessa organizzazione blocchi contigui di indirizzi in classe C
- Esempio: l'organizzazione X riceve i tre blocchi contigui 220.123.16.x, 220.123.17.x e 220.123.18.x
 - 768 indirizzi disponibili

Indirizzamento senza classi

- Come rappresentare il blocco di indirizzi assegnati?
- Informazioni necessarie: indirizzo + basso del blocco e No. blocchi
- In pratica:
 - CIDR usa le seguenti informazioni:
 - Valore a 32 bit dell'indirizzo piu' basso del blocco
 - Maschera a 32 che funziona come una maschera di sottorete standard
- CIDR compatibile con versioni meno recenti dei protocolli di routing

Differenze rispetto a subnetting

- L'indirizzamento CIDR prevede che la maschera usi bit contigui
- CIDR richiede che ogni blocco di indirizzi sia una potenza di 2
- Esempio:
 - 11111111 11111111 00011000 01000000 e' una maschera di sottorete valida ma non e' una maschera CIDR consentita

Convenzioni CIDR

- la riga aggregata corrisponde ad un numero di righe nella tabella non aggregata pari ad una potenza di due
 - si possono aggregare 2, 4, 8, 16, ... righe
 - non si possono aggregare, per esempio, 5 righe
- le righe da aggregare corrispondono a zone contigue nello spazio degli indirizzi ip (non si devono lasciare “buchi”)
- l’interfaccia a cui i pacchetti sono destinati deve essere uguale per tutte le righe da aggregare
- se le righe non aggregate differiscono nell’*n*-esimo byte, il valore di quel byte della prima riga deve essere un multiplo del numero delle linee aggregate

Notazione CIDR

- Prefisso della rete + No. bit per il prefisso
- Esempio: per un blocco di indirizzi da 220.16.128.0 a 220.16.255.255:

220.16.128.0/17

11111111.11111111.10000000.00000000

Esempio

- Un ISP riceve il blocco di indirizzi 210.20.128.0/17
- L'ISP crea (ad esempio) 128 reti da 256 indirizzi IP ciascuna:
 - 210.20.128.0/24
 - 210.20.129.0/24
 -
- La maschera di rete che corrisponde al blocco principale e' 255.255.128.0
- Ciascuno dei sotto-blocchi ha maschera 255.255.255.0

Instradamento con CIDR

- Indirizzi con classi sono auto-identificanti
- Indirizzamento senza classi: occorre separare il prefisso di rete dall'indirizzo dell'host
- Nelle tabelle si memorizzano soltanto i prefissi di rete
- Esempio: arriva Datagram con IP destinazione 150.122.19.30
 - Qual e' il prefisso di rete?
 - Non e' possibile stabilirlo a priori se si usa la convenzione CIDR

Forwarding con CIDR - cont.

- La tabella di routing ha la forma: (Mask, Dest. network, Next hop)
- Si tentano le entry in ordine decrescente di lunghezza delle maschere
 - Quelle con la maschera piu' lunga prima
- Esempio: indirizzo 150.122.19.30
 - La tabella contiene 2 entry, corrispondenti alle destinazioni 150.122.19./24 e 150.122.16./17
 - L'entry giusta e' la prima, corrispondente al prefisso comune piu' lungo (longest prefix matching)

Implementazione

- Si usano strutture di ricerca ad albero binario (trie) o loro evoluzioni
- Ogni percorso dalla radice ad una foglia corrisponde ad un possibile prefisso
- In pratica, la ricerca del prefisso comune piu' lungo avviene in memoria principale

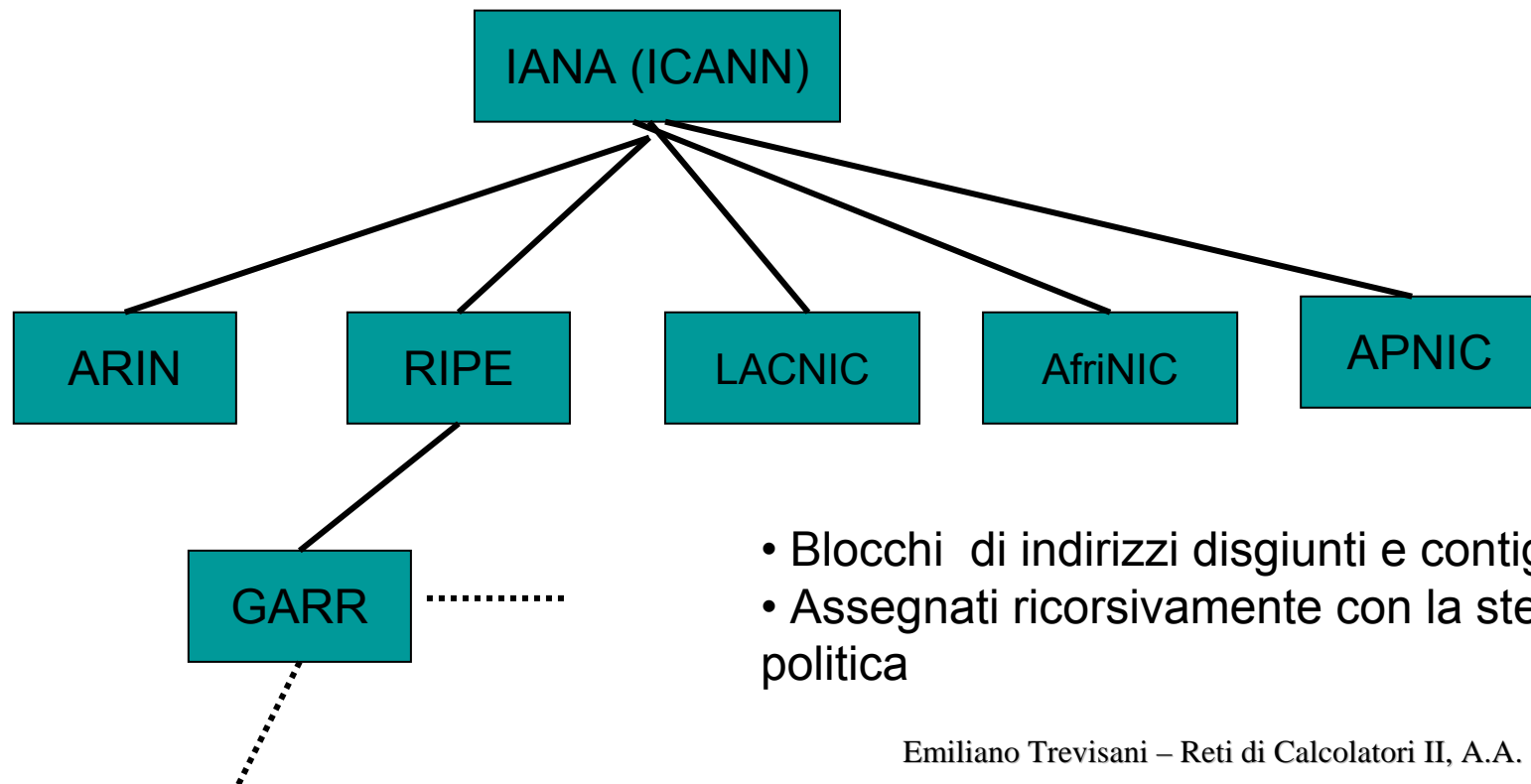
Esempio

- Tabella (solo destinazioni indicate):

Indirizzo a 32 bit	Pref. univoco
01101010000000000000000000000000	01101
01000110000000000000000000000000	0100
01010110000000000000000000000000	0101
01100001000000000000000000000000	01100
10101010111000000000000000000000	1010
10110000000000100000000000000000	10110
10111011000010100000000000000000	10111

Perche' funziona

- Assegnazione dei blocchi di indirizzi IP gerarchica
- Verificare acronimi



Indirizzi IP privati

- I seguenti intervalli di indirizzi sono riservati per reti private che non richiedono connettività con Internet

16 blocchi di Indirizzi di classe B	172.16.0	172.31.0
256 blocchi di Indirizzi di classe C	192.168.0	192.168.255

- Ogni rete può utilizzare al suo interni qualsiasi indirizzo appartenente a questi insiemi
- I router della rete che usa indirizzi privati non propagheranno all'esterno informazioni di instradamento relativi agli host interni
- Un host con un indirizzo privato non ha la possibilità di connettersi ad Internet direttamente, ma ha bisogno di un “Application Level Gateway (Proxy)”

Riferimenti

- Rif. 1. Cap 4
- Rif. 4, 3.1.7
- Descrizione di una tabella di instradamento su Windows server 2003:
<http://technet2.microsoft.com/WindowsServer/en/library/63158f32-9fcd-42ea-ba2f-8008bb7bb5241033.mspx?mfr=true>
- ARIN: <http://www.arin.net/index.shtml>
- RIPE: <http://www.ripe.net/> -> Contiene materiale didattico