

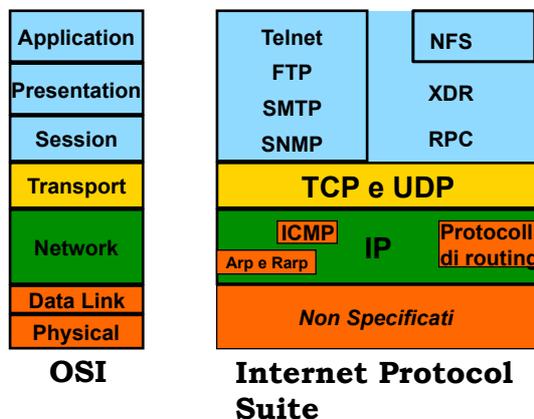
**Lucidi del corso di
"Reti di Calcolatori e Comunicazione Digitale"**

Modulo 3 - TCP/IP: Lo strato di rete (parte I)

Prof. Sebastiano Pizzutilo
Dipartimento di Informatica

ISO-OSI e TCP/IP

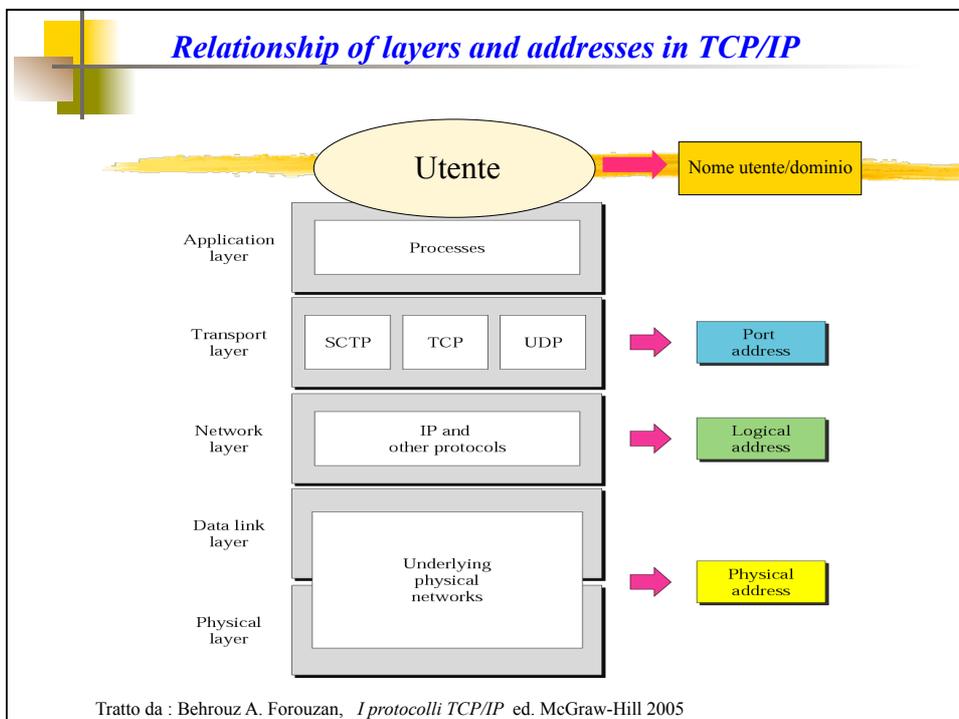
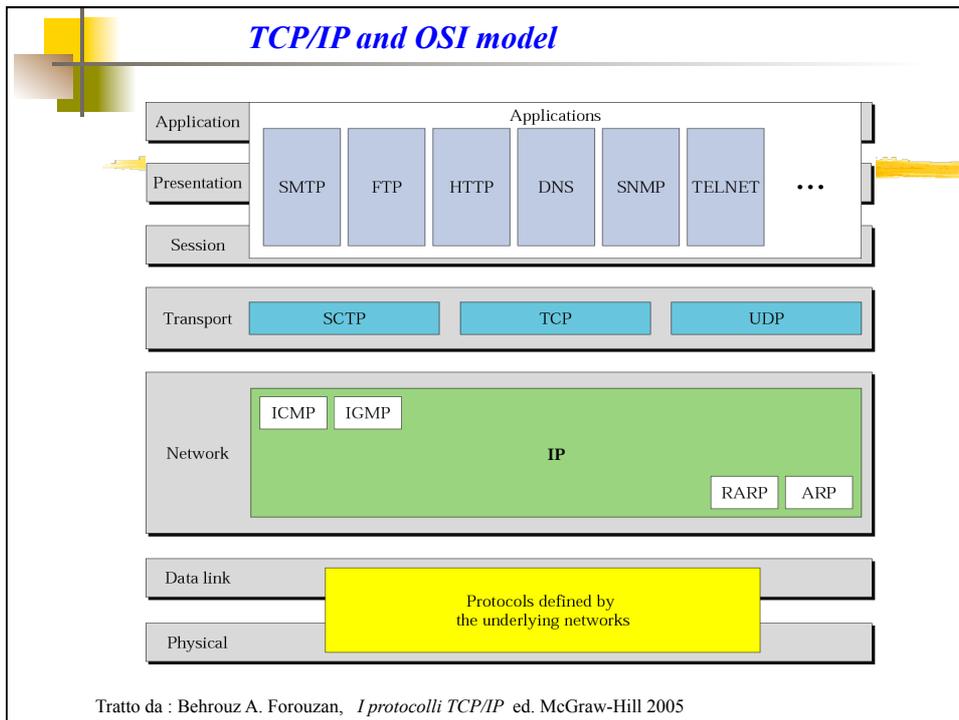
In TCP/IP i livelli 1 e 2 non sono specificati per cui è possibile utilizzare per le LAN i protocolli Ethernet, Token Ring, FDDI e per le WAN i protocolli X.25, Frame Relay, ATM,....



Lo strato 3 Internet del TCP/IP, in cui viene implementato il protocollo IP, corrisponde al livello 3 del modello OSI: entrambi si occupano dell'instradamento (routing) dei dati.

» Lo strato 4 di trasporto nei due modelli è analogo, ed entrambi permettono che tra i processi dei due host si stabilisca una sessione.

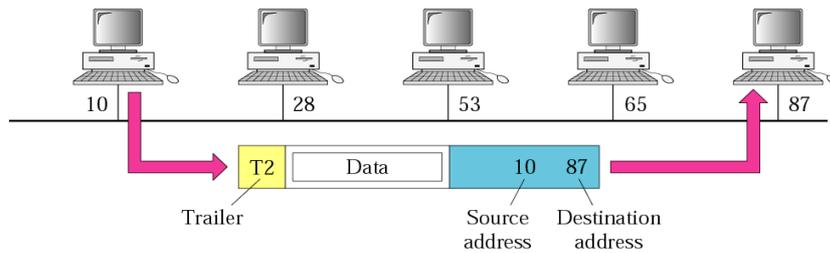
» Lo strato 5 dell'applicazione TCP/IP, comprende gli strati di applicazione, presentazione e sessione del modello OSI



Physical addresses

07:01:02:01:2C:4B

A 6-byte (12 hexadecimal digits) physical address.



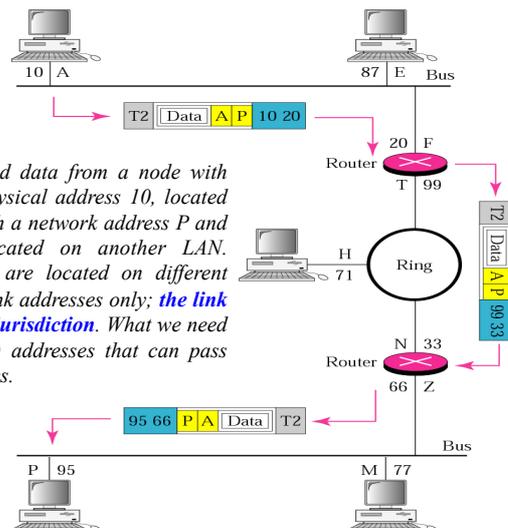
In Figure a node with physical address 10 sends a frame to a node with physical address 87. The two nodes are connected by a link. At the data link level this frame contains physical (link) addresses in the header. These are the only addresses needed. The rest of the header contains other information needed at this level. The trailer usually contains extra bits needed for error detection.

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

IP addresses

132.24.75.9

An internet address in IPv4 in decimal numbers



In Figure we want to send data from a node with network address A and physical address 10, located on one LAN, to a node with a network address P and physical address 95, located on another LAN. Because the two devices are located on different networks, we cannot use link addresses only; **the link addresses have only local jurisdiction**. What we need here are network (logical) addresses that can pass through the LAN boundaries.

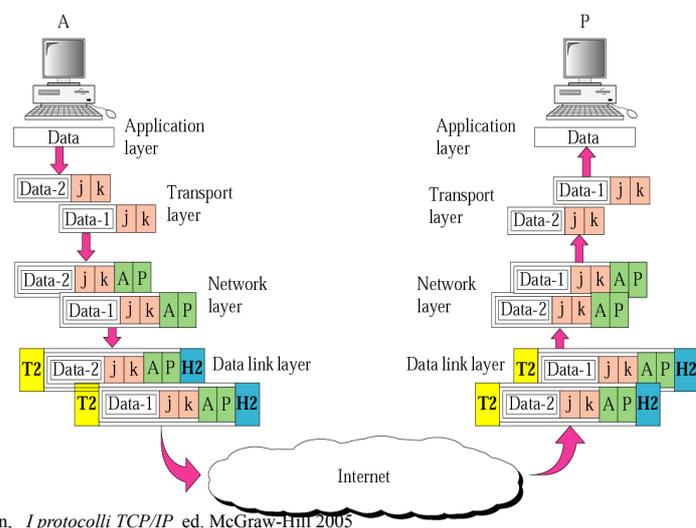
Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Port addresses

753

A 16-bit port address represented as one single number.

Figure shows an example of transport layer communication. Data coming from the upper layers have port addresses *j* and *k*. Since the data size is larger than the network layer can handle, the data are split into two packets, each packet retaining the service-point addresses (*j* and *k*). Then in the network layer, network addresses (*A* and *P*) are added to each packet.



Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

TCP/IP : Protocolli nello strato Internet (livello 3)

Lo strato di **RETE** si occupa della consegna di **pacchetti dati (datagram)** da un nodo mittente ad un nodo destinatario attraverso varie reti, determinando il **modo migliore per spostare i dati da un host all'altro**.

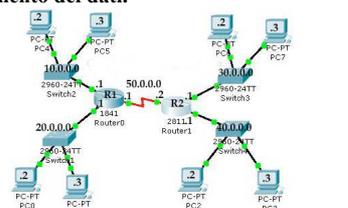
Lo **strato 3 della suite TCP/IP** si occupa quindi dei problemi legati al **routing dei pacchetti** (con l'utilizzo di un sistema di indirizzamento logico dei pacchetti, detto **IP**) e dei problemi relativi al **passaggio dei pacchetti al livello inferiore di data link ed al livello superiore di trasporto e viceversa**.

Il **protocollo IP** non svolge alcun tipo di controllo per assicurarsi del buon esito dei trasferimenti dei dati, è infatti **connectionless** ed **inaffidabile** (servizio di consegna detto **best-effort**). Quindi i pacchetti di questo livello OSI possono andare perduti o non arrivare in sequenza.

Il ruolo svolto da IP è quello di aggiungere a ciascun pacchetto una intestazione contenente una serie di informazioni per poter effettuare il corretto instradamento dei dati.

L'attività di instradamento dei pacchetti tra le reti avviene attraverso PSE dedicati detti **router**.

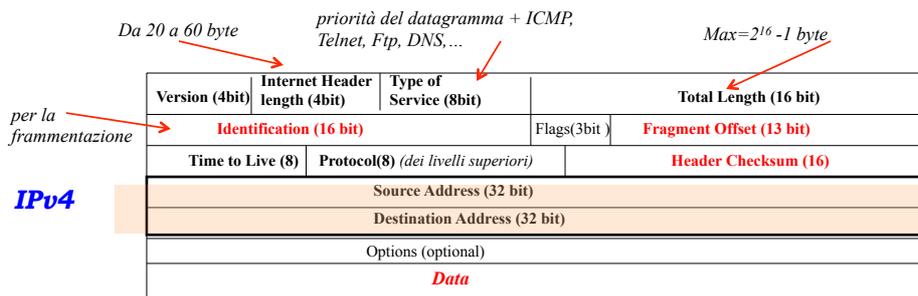
Il **sistema di indirizzamento logico** utilizzato in questo livello deve prevedere tipi di indirizzi che consentano un'efficiente operazione di instradamento.



Layout del datagramma IP v4

Un pacchetto del livello IP, detto “datagramma”, consiste di 2 parti: **header e data**.

Lo header ha lunghezza variabile da 20 a 60 byte e contiene tutte le informazioni utili al routing ed all’invio del pacchetto.



IPv4 packet layout

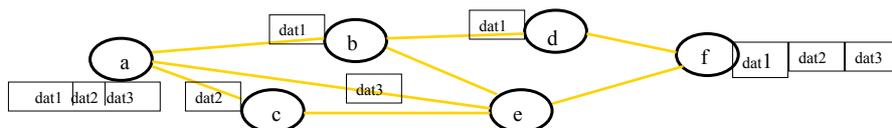
L'intestazione IPv4 di un datagramma contiene:

- ☑ l'indirizzo IP del mittente,
- ☑ l'indirizzo IP del destinatario,
- ☑ il protocollo di trasporto (TCP o UDP): serve ad indicare all'host destinatario il tipo di trasporto e di conseguenza il modo in cui manipolare i dati ricevuti,
- ☑ lo header checksum: è un sistema di controllo che permette di verificare l'integrità dell'header,
- ☑ il TTL (Time-To-Live): il tempo di durata in vita di un datagram; alla partenza viene assegnato un valore predefinito che diminuisce ad ogni attraversamento di un router; quando il TTL raggiunge il valore zero il datagram viene tolto dalla rete.

Multidatagram messages

MTU = Maximum Transfer Unit = dimensione limite dei dati trasmissibili in una unità di tempo (*legato alla tipologia della rete*)

Al Livello di **rete** un messaggio viene suddiviso in pacchetti per essere inviato. Il pacchetto in un servizio **senza connessione (connectionless)**, denominato **datagramma**, viene spedito seguendo un percorso indipendente dagli altri datagrammi. Ciascun datagramma, infatti, segue le strade stabilite dai router, e queste possono cambiare per evitare router non più attivi o congestioni di rete. Diversamente, se la scelta del routing path viene fatta in anticipo, si parlerà di **circuito virtuale connection oriented**.



Un messaggio più grande della MTU **viene frammentato a livello di trasporto** in più MTU, ciascun **frammento** viene spedito separatamente al **livello inferiore IP**, dove vengono inseriti **header IP** creando così i **datagrammi**.

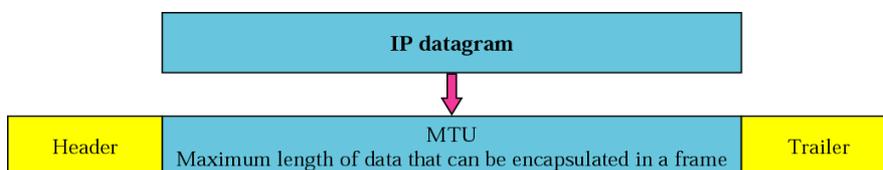
L'assemblaggio ed il disassemblaggio dei **frammenti** è compito del livello di **trasporto**.

L'assemblaggio ed il disassemblaggio dei **datagrammi** è compito del livello di **rete**.

L'assemblaggio ed il disassemblaggio dei **frame** è compito del livello di **data link**.

Frammentazione e MTU

Il formato e la dimensione di un frame (a livello data link) dipende dal protocollo usato a livello fisico (token ring, ethernet, ...) . Un Datagramma può essere frammentato in base al protocollo.



Protocol	MTU
Hyperchannel	65,535
Token Ring (16 Mbps)	17,914
Token Ring (4 Mbps)	4,464
FDDI	4,352
Ethernet	1,500
X.25	576
PPP	296

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Il Checksum dell'Header IP

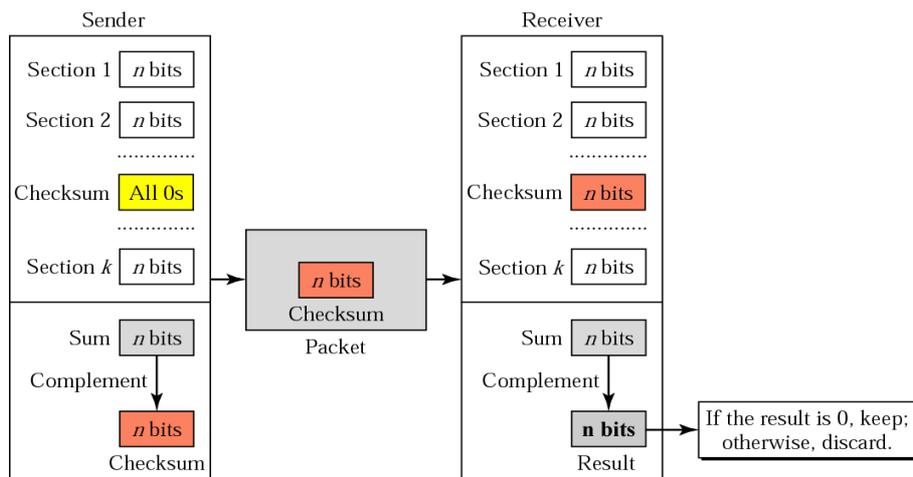
The error detection method used by most TCP/IP protocols is called the checksum. The checksum protects against the corruption that may occur during the transmission of a packet. It is redundant information added to the packet.

To create the checksum the sender does the following:

- The packet is divided into k sections, each of n bits.
- All sections are added together using 1's complement arithmetic.
- The final result is complemented to make the checksum.

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Checksum concept



Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Example of checksum calculation in binary

	5	0	28
	1	0	0
	4	17	0
	10.12.14.5		
	12.6.7.9		

4, 5, and 0	→	01000101	00000000
28	→	00000000	00011100
1	→	00000000	00000001
0 and 0	→	00000000	00000000
4 and 17	→	00000100	00010001
0	→	00000000	00000000
10.12	→	00001010	00001100
14.5	→	00001110	00000101
12.6	→	00001100	00000110
7.9	→	00000111	00001001
Sum	→	01110100	01001110
Checksum	→	10001011	10110001

Per calcolare il checksum IP di un frame in uscita per prima cosa il valore viene posto a zero, quindi viene calcolata la somma a 16 bit con complemento a uno dell'intero header.

Il complemento a 1 di questa somma viene quindi memorizzata nel campo checksum dell'intestazione IP.

Quando il frame IP giunge all'host destinatario, viene calcolata la somma a 16 bit con complemento a uno.

Essendo il checksum calcolato da chi ha trasmesso il frame già compreso nel frame stesso, se l'intestazione è stata ricevuta correttamente, il checksum calcolato dal ricevitore dovrà avere tutti i bit a 1 (ffff in notazione esadecimale).

Se il checksum contiene un solo bit diverso da 1 allora il frame viene scartato e non viene generato nessun errore. Sarà compito di uno dei protocolli soprastanti IP (es. TCP) a richiedere la ritrasmissione del frame.

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Indirizzamento IP

L'indirizzo IP identifica univocamente un host (computer, router, AP, ...) su una rete. Gli indirizzi IP sono indirizzi LOGICI strutturati in maniera tale da agevolare l'operazione di routing. Hanno infatti un formato tale da consentire la netta separazione dell'indirizzo di rete da quello dell'host sulla rete.

Gli indirizzi IP su Internet sono assegnati da un comitato internazionale (*IANA – Internet Assigned Number Authority*).

A livello nazionale italiano l'autorità che assegna le classi di indirizzi IP è il *GARR/NIS*.

In genere però i privati non si rivolgono a tale ente ma al proprio provider (*ISP – Internet Service Provider*) che ha precedentemente provveduto a richiedere all'autorità nazionale un insieme di indirizzi che mette a disposizione dei propri clienti in maniera dinamica.

Questo non è strettamente valido nel caso delle cosiddette *Intranet aziendali*, che non hanno accesso diretto alla rete pubblica Internet mondiale. In questo caso si può utilizzare teoricamente qualsiasi indirizzo, anche se per le *Intranet* esistono delle raccomandazioni relative agli indirizzi logici privati da utilizzare (in genere 10.0.0.1, ...).

Indirizzi IP

Rappresentazione binaria e dot notation

Gli indirizzi IP sono lunghi **32 bit (4 byte)** e si scrivono come **4 numeri decimali** separati dal carattere “.” ; Ogni numero rappresenta il contenuto di un byte ed è quindi compreso tra **0 e 255**.

- L'indirizzo IP è rappresentato nella forma: **x.y.z.w** dove **x, y, z e w** sono dei numeri decimali compresi tra **0 e 255**.
- In pratica un indirizzo IP è composto dalla sequenza di **32 bit** (quindi un long integer che rende possibile generare fino a $2^{32} - 1$ possibili indirizzi) anche se esso viene sempre rappresentato nella cosiddetta **dot notation**.

Per esempio:

L'indirizzo IP=127.0.0.1 corrisponde in “dot notation binaria” a :

01111111.00000000.00000000.00000001

Questi 32 bit, se fossero rappresentati “senza dot notation”, sarebbero uguali a **01111111000000000000000000000001** che corrisponde al valore decimale **2130706433**.

L'indirizzo in **dot notation** rappresenta quindi il valore di ciascuno dei quattro byte componenti l'indirizzo IP e serve a discriminare l'indirizzo di rete dall'indirizzo degli host presenti in quella rete.

Indirizzi IP Classful

Gli indirizzi **IP Classful** si suddividono in **cinque classi** di appartenenza, identificate con le lettere da **A** ad **E**.

- **Classe A**___Un indirizzo di classe A riserva il **primo byte all'indirizzamento della rete**, e gli altri **tre byte all'indirizzamento degli host**.
Il **primo bit del byte che individua la rete è imposto essere 0**, di conseguenza è possibile indirizzare teoricamente solo 127 reti, ciascuna con un massimo teorico di 16.777.216 host.
In pratica le reti sono 126 in quanto la rete 127 è riservata per gli indirizzi di loopback, e gli host sono 16.777.214, in quanto gli indirizzi x.0.0.0 e x.255.255.255 non sono ammessi.
- **Classe B**___Gli indirizzi di classe B riservano **16 bit alla rete e 16 agli host**.
Dei 16 bit riservati alla rete, i **primi due sono obbligatoriamente 1 e 0**, e questo di conseguenza implica che il primo byte possa avere valore tra 128 e 191. Il numero di reti ammesso in questa classe è quindi 16.384, e gli host 65.534 (non essendo ammessi anche in questo caso gli host x.y.0.0 e x.y.255.255).
- **Classe C**___La classe C riserva i **primi tre byte alla rete ed il quarto agli host**.
Poiché i **primi tre bit del primo byte sono fissati a 110**, il numero di reti univoche in questa classe è superiore a 2 milioni. Il primo byte può assumere valore tra 192 e 223.
Il numero di host per ciascuna rete è di 254.

Struttura di un indirizzo IP Classful

	ind rete	ind. host	Dimensione dei campi in bit				Range degli indirizzi
Classe A	0 1010000	11001101	01010101	110011000			Da 1.0.0.0 a 127.255.255.255 128 reti e 16.777.214 host
Classe B	10 101010	11100110	00000110	11101010			Da 128.0.0.0 a 191.255.255.255 16.384 reti e 65.534 host
Classe C	110 10111	10101011	11100000	10101010			Da 192.0.0.0 a 223.255.255.255 2.097.152 reti e 254 host
Multicast	1110 0000	10101010	11100110	10101010			Da 224.0.0.0 a 239.255.255.255
Riservati per usi futuri	1111 0000	11100011	11111111	10101001			Da 240.0.0.0 a 255.255.255.255
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4			

Indirizzi riservati (1)

- Network:** quando i bit dell'ottetto che rappresenta l'host hanno tutti valore 0, l'indirizzo è detto di rete (Network Address): l'indirizzo 192.168.5.0 oppure in binario 11000000.10101000.00000101.00000000, rappresenta la rete 192.168.5;
- Quando tutti i bit hanno valore zero (0.0.0.0), si identifica "questo host".
- Broadcast:** quando i bit del numero che rappresenta l'host hanno tutti valore 1, l'indirizzo è detto di broadcast o broadcast address, e rappresenta tutti gli host di quella rete:
Inviare un pacchetto all'indirizzo 192.168.5.255
(11000000.10101000.00000101.11111111)
equivale a mandare un pacchetto a tutti gli host della rete 192.168.5.0
- Broadcast di rete:** abbiamo questo tipo di indirizzo quando tutti i bit, sia della parte relativa all'host sia della parte relativa alla rete hanno valore 1 :
Inviare un pacchetto a 255.255.255.255 o in binario 11111111.11111111.11111111.11111111 significa inoltrarlo verso tutti gli host della rete corrente.

Indirizzi riservati (2)

❑ **Loopback**: è utilizzato per funzioni di **test** del protocollo TCP/IP, non genera traffico di rete e corrisponde all'indirizzo **127.0.0.1**

❑ **Indirizzi di rete locale** : una serie di indirizzi IP sono dedicati all'uso su reti locali, all'interno di firewall e server proxy. Questi indirizzi sono:

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**

Università di Bari Aldo Moro - CdL ICD - corso di Reti - A.A.2009-2010

Maschere di rete

Le maschere di rete servono ad individuare quali byte dell'indirizzo IP indirizzano la rete e quali gli host.

Le maschere di rete utilizzate dalle varie classi sono:

Class	Mask in binary	Mask in dotted-decimal
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0

Ogni macchina va dunque configurata su una rete con due informazioni :

- 1) **netmask per individuare la rete (o sottorete) a cui la macchina appartiene,**
- 2) **numero IP della macchina all'interno della rete (o sottorete).**

Con un'operazione di **AND** tra **netmask** ed **IP number** si ottiene la parte di indirizzo che identifica la rete cui è collegata la macchina.

Ad es.	Host number : 193.204.187.33	AND	11000001.11001100. 10111011. 00100001
	Netmask : 255.255.255.0		111111 11.111111 11. 11111111. 00000000

	Rete cui è collegato l'host : 193.204.187.0		11000001.11001100. 10111011. 00000000

esempio

*Il processo consiste nel confrontare il risultato dell'operazione di **AND** bit a bit tra il proprio indirizzo e la propria netmask con quello tra l'indirizzo del destinatario e la sua netmask per determinare se il destinatario dei propri pacchetti si trova sulla stessa rete .*

Avendo un **Host A** con IP **192.168.3.5** con netmask **255.255.255.0** che vuole inviare dei pacchetti ad un **Host B** **192.168.3.25** con netmask **255.255.255.0**, occorre determinare se B è sulla stessa rete di A.

Host A: 192.168.3.5	11000000 . 10101000 . 00000011 . 00000101	
netmask	<u>11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000</u>	AND
	11000000 . 10101000 . 00000011 . 00000000	

Host B: 192.168.3.25	11000000 . 10101000 . 00000011 . 00011001	
netmask	<u>11111111 . 11111111 . 11111111 . 00000000</u>	AND
	11000000 . 10101000 . 00000011 . 00000000	

Il risultato è identico, quindi, i due host possono inviarsi **direttamente** i pacchetti in quanto sulla stessa rete (cioè **senza impegnare il router per l'instradamento**).

Qualora il processo di **AND** avesse evidenziato valori diversi, i due host **non** avrebbero potuto comunicare direttamente, ma sarebbe stato necessario utilizzare un router tra di essi.

Subnetting

*L'indirizzamento **classful** è rigido (numero prefissato di classi e di indirizzi di host) e non sempre riesce a soddisfare tutte le richieste di assegnazione di indirizzi IP.*

*Necessario prevedere la possibilità di organizzare diversamente le proprie reti (i propri indirizzi IP assegnati) effettuando **subnetting** o **supernetting**.*

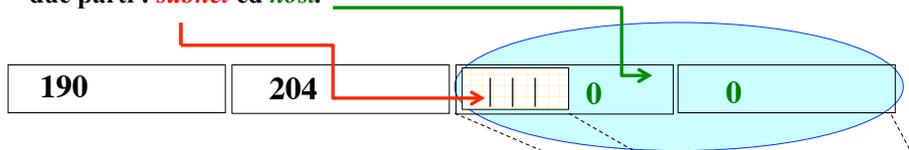
- IP assume una **corrispondenza biunivoca tra reti fisiche e subnet**:
 - **routing implicito** all'interno di una rete;
 - **più subnet** sulla stessa **rete fisica**;
 - **mai** invece, **più reti fisiche** sulla stessa **subnet**.
- All'interno della **subnet** l'instradamento deve essere fornito dalla rete fisica.

Il subnetting di una rete comporta diversi vantaggi:

- **Riduzione del traffico di rete**: in quanto si riduce il dominio di broadcast (*broadcast domain*);
- **Miglioramento delle performance della rete**: in conseguenza della riduzione del traffico;

SUBNETTING

Il subnetting consiste nel suddividere il campo **HOST** di un indirizzo IP in due parti : **subnet** ed **host**.



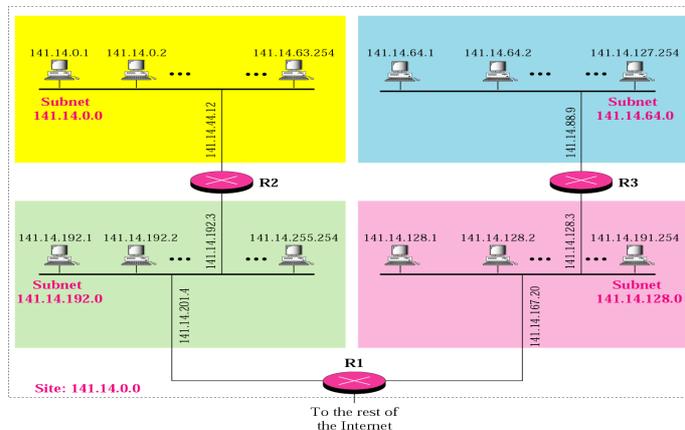
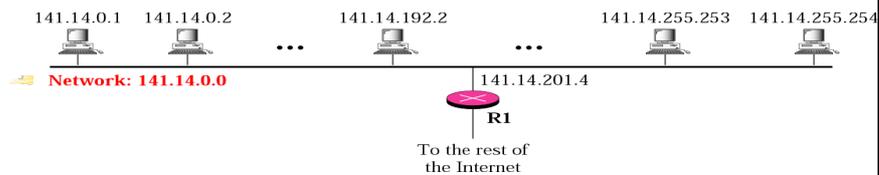
Ad esempio, in un indirizzo IP di classe B i primi 2 byte (16 bit) rappresentano l'indirizzo della rete e gli ultimi 2 byte servono per indirizzare gli host di quella rete.

La tecnica del **subnetting** consiste nell'utilizzare i bit più significativi degli ultimi 2 byte (riservati agli host) per definire più sottoreti all'interno di una stessa rete .

0000	0000	00000000
0001	0000	00000000
0010	0000	00000000
0011	0000	00000000
0100	0000
.....

2^4 subnet $2^{12} - 2$ host per ogni subnet

A network with two levels of hierarchy (not subnetted)



A network with three levels of hierarchy (subnetted)

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Esempio Subnetting

Ad es. dividere una rete di classe C in 4 subnet ciascuna con al max 60 host

$4 \text{ subnet} = 2^2 \text{ indirizzi di subnet} = 2 \text{ bit nell'ultimo byte}$



Le **4 subnet** ricavate avranno ciascuna al **max 64 indirizzi di host** da **000000** a **111111** (**62** utilizzabili per gli host e **due** indirizzi riservati : 000000 per la rete e 111111 per il broadcast).

Netmask = **11111111.11111111.11111111.11000000** =: 255.255.255.**192**

Indirizzi generati:

Da :	a:	indirizzo di rete	indir. di broadcast
00 000000	00 111111	00000000	00111111
01 000000	01 111111	01000000	01111111
10 000000	10 111111	10000000	10111111
11 000000	11 111111	11000000	11111111

Subnetting

In notazione decimale :

193.204.176.0 = 11000001.11001100.10110000. 00000000

Subnet mask : 11111111.11111111.11111111.11000000 = 255.255.255.192

Netmask	n.subnet	ind.rete	ind. Broadcast	host IP da ...a..	n.host
255.255.255.192	4	0	63	1 62	62
		64	127	65 126	62
		128	191	129 190	62
		192	255	193 254	62
tot.					248

Supernetting

*E' possibile definire un'unica **supernet** effettuando una operazione che consiste nel raggruppare indirizzi IP (fondere più subnet) per realizzare una subnet più grande, operando sulla netmask.*

*Nell'esempio precedente è possibile raggruppare le ultime due subnet in un'unica supernet con un numero di 125 host e netmask pari a **11111111.11111111.11111111.10000000***

Host address

Da :	a:	indirizzo di rete	indir. di broadcast
00 000001	00 111110	00000000	00111111
01 000001	01 111110	01000000	01111111
10 000001	10 111111	10000000	10111111
11 000000	11 111110	11000000	11111111

*Nell'esempio precedente in decimale, la **super rete** raggruppa la **193.204.176.128** e la **193.204.176.192***

Netmask	n.subnet	ind.rete	ind. Broadcast	host IP da ... a	n.host
255.255.255.192	3	0	63	1 62	62
		64	127	65 126	62
255.255.255.128		128	255	129 254	126
tot.					250

Default mask, subnet mask e supernet mask in reti di classe C

Subnet Mask Divide 1 network into 8 subnets

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0

Subnetting ↑

3 more
1s →

Default Mask

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Supernetting ↓

3 less
1s ←

Supernet Mask

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

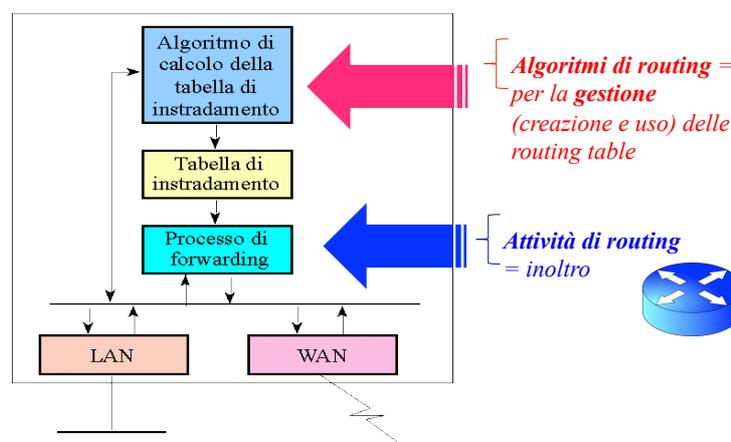
Combine 8 networks into 1 supernet

Tratto da : Behrouz A. Forouzan, *I protocolli TCP/IP* ed. McGraw-Hill 2005

Il routing classful

- la procedura di routing (instradamento) dei pacchetti IP è molto semplice, in quanto **nell'indirizzo IP di un pacchetto è codificato il numero della rete alla quale appartiene l'host destinazione**,
- ogni router possiede una **tabella di routing** aggiornata staticamente (nel caso delle reti più piccole) o dinamicamente,
- la **tabella di routing** serve a **determinare i percorsi verso intere reti, non verso singoli host**. Infatti da ciascun indirizzo IP è sempre possibile determinare la classe sulla base dei primi bit dell'indirizzo e ricavare quindi la netmask ed il numero della rete.

Il routing

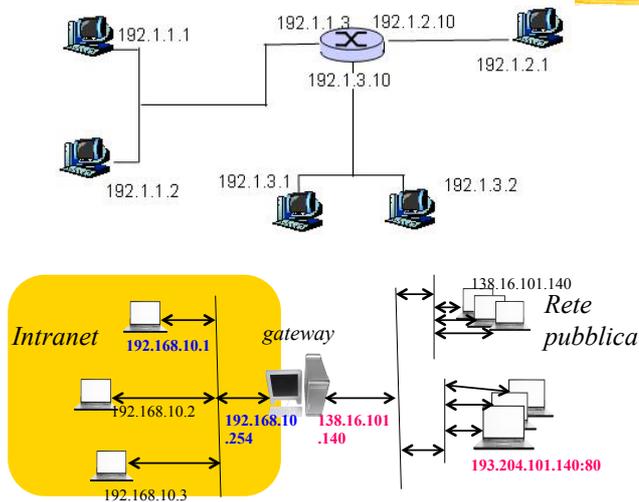


Host e interfacce di rete

Un *host* è caratterizzato da una o più interfacce di rete.

E' necessaria una identificazione univoca di un *host* nella Rete.

E' necessario quindi assegnare un indirizzo IP ad ogni interfaccia dell'*host*.



Da classful a classless addressing

L'indirizzamento **classful** crea problemi di spreco di indirizzi : l'indirizzamento classful cioè è troppo rigido (numero prefissato di classi e di indirizzi => $A=2^8$ reti e 2^{24} host, $B=2^{16}$ reti e 2^{16} host e $C=2^{24}$ reti e 2^8 host) e non riesce a soddisfare nuove o diverse richieste di assegnazione di indirizzi IP.

Una intera classe A o B rischia di essere sovradimensionata per una singola organizzazione con un conseguente spreco di indirizzi . Una classe C (255 indirizzi di host) potrebbe essere insufficiente per le necessità di una singola organizzazione.

Nell'indirizzamento classless l'intero spazio di indirizzi IP (2^{32}) viene diviso in **blocchi** di diverse dimensioni assegnati in base alle specifiche esigenze della rete gestita da una organizzazione.

Notazione CIDR (Classless Inter-Domain Routing) per gestire in maniera più agile questa nuova forma di indirizzamento.