

Architettura TCP/IP: indirizzamento e routing

Manlio Astolfi

Servizio Reti e Telecomunicazioni

m.astolfi@src.cnr.it

STORIA

- **1964: proposta di una rete resistente agli attacchi**
- **Le caratteristiche dovevano essere:**
 - **Struttura reticolare, magliata, non gerarchica e con parti ridondanti.**
 - **Modalità di trasferimento senza connessione e senza garanzie di qualità del servizio, rimandando queste ultime ai livelli superiori dell'architettura protocollare.**

STORIA

- **1968: implementazione del primo commutatore di pacchetto e installazione presso UCLA.**
- **1969: installazione di altri 4 nodi (Stanford, UC Santa Barbara, University of Utah) - Nascita di ARPANET.**
- **1972: prima dimostrazione pubblica di ARPANET (basata sul protocollo Network Control Protocol) e definizione della e-mail.**

STORIA

- **1972: Kahn introduce il concetto di architettura aperta per poter interconnettere altre reti al nucleo iniziale ed inizia ad elaborare un nuovo protocollo per sostituire NCP.**

STORIA

- **Idee base di Kahn:**

- Nessuna modifica alle reti da interconnettere.
- Principio del *best effort*.
- Reti interconnesse da gateway che non mantengono informazioni sullo stato dei flussi di pacchetti che li attraversano.
- Nessun controllo globale.
- Non progettare solo in vista di una particolare applicazione.
- Progettare non solo protocolli di rete ma anche applicazioni.

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

STORIA

- **1973: Kahn e Cerf iniziano a definire il Transmission Control Protocol (che includeva IP).**
- **Ci si rende conto che non sempre è necessario stabilire connessioni e IP viene separato da TCP.**
- **DoD sovvenziona Stanford, BBN e UCL per implementare TCP/IP: si hanno così le prime tre implementazioni.**
- **1980: si sviluppano LAN e PC (Ethernet nasce nel 1973).**

STORIA

- **ARPANET cresce --> DNS, IGP, EGP.**
- **Il DoD affida a Bolt, Berenek e Newman il compito di implementare tali protocolli in ambiente UNIX e sovvenziona l'Università di Berkeley per integrare i suoi protocolli nella distribuzione del software UNIX; grazie a questa strategia DARPA riesce a raggiungere oltre il 90% dei calcolatori usati in ambito scientifico.**

STORIA

- **Nel 1983 il DoD decreta che tutti i calcolatori connessi ad ARPANET adottino i protocolli TCP/IP e separa la rete in due parti: una civile (ARPANET) ed una militare (MILNET).**
- **Nel 1985 la National Science Foundation finanzia lo sviluppo di una rete di trasporto a lunga distanza (NSFnet) e di reti regionali, che consentono di interconnettere LAN di altre università e di enti di ricerca (NASA, NSF, etc.) alla rete ARPANET.**

STORIA

- **Nel 1988 un comitato del National Research Council (presieduto da Kleinrock e con membri Kahn e Clark) raccomanda di finanziare collegamenti ad alta velocità.**
- **1990: ARPANET cessa le sue attività.**
- **1990: Berners-Lee (CERN) definisce il WWW.**
- **1993: Andreessen (NCSA, Illinois) sviluppa il primo WWW browser.**

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

2-6 Luglio 2001 Hotel Santa Tecla Palace Acireale (CT)

STORIA

- **1995: NSF smette di finanziare NSFNET.**
- **Evoluzione:**
 - **Servizi - e-mail, ftp, telnet, news gopher e www**
 - **Velocità tipica delle portanti: 64Kbit/sec --> 2/34Mbit/sec.**
 - **Applicazioni principali: e-mail, ftp e www.**
- **Problematiche future:**
 - **Qualità del servizio.**
 - **Sicurezza.**
 - **Nuove applicazioni.**

Concetti preliminari

- **Protocollo: insieme di regole e modalità di attuazione di una funzione o gruppo di funzioni.**
- **Le funzioni di un processo di comunicazione possono essere strutturate secondo un modello a strati.**

Concetti preliminari

- **Ogni strato tratta unità informative dette PDU (Protocol Data Unit) composte dall'informazione utile da trasferire (SDU, Service Data Unit) e da un intestazione (PCI, Protocol Control Information).**
- **La PDU di uno strato viene incapsulata nella SDU dello strato inferiore.**

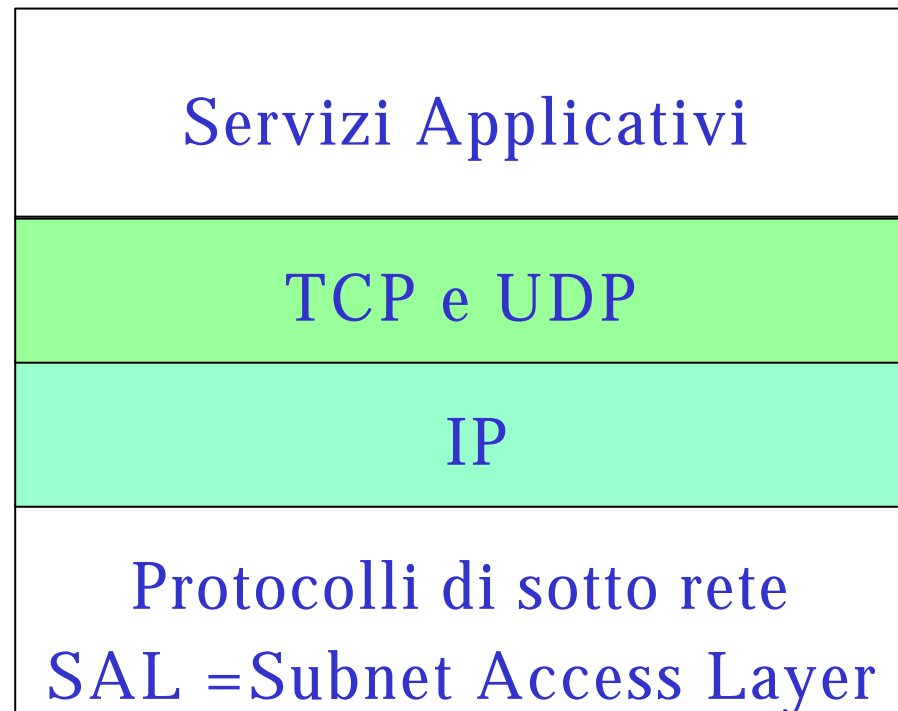
Caratteristiche generali

- **Architettura di rete composta da diversi protocolli, i piu' importanti:**
 - **TCP**
 - **IP**
- **Da questi deriva il nome TCP/IP usato per l'intera architettura.**

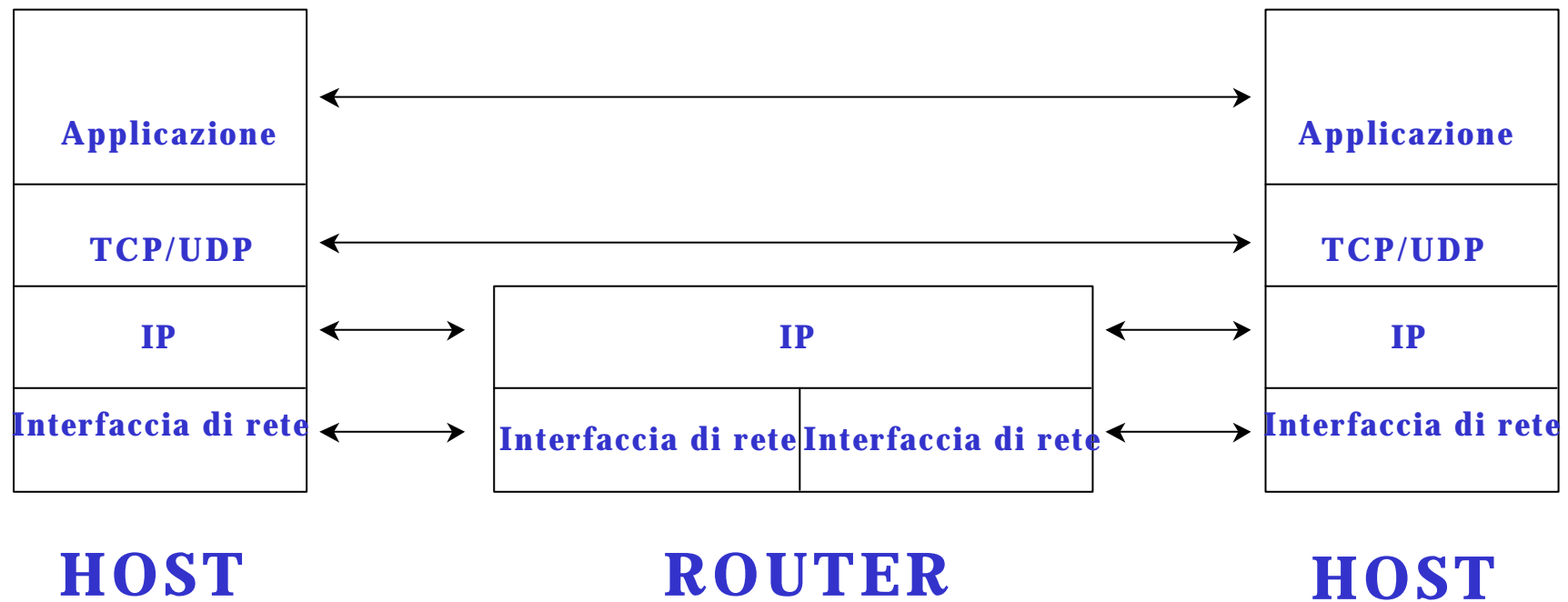
Caratteristiche generali

- **TCP/IP comprende anche diversi altri protocolli**
 - **UDP, ICMP, ARP ...**
- **E' di dominio pubblico.**
- **Implementata da tutti i costruttori di elaboratori.**
- **Molto spesso e' l'unica architettura di rete fornita.**
- **Standardizzata con dei documenti detti RFC (Request For Comment).**

Architettura TCP/IP



Architettura TCP/IP



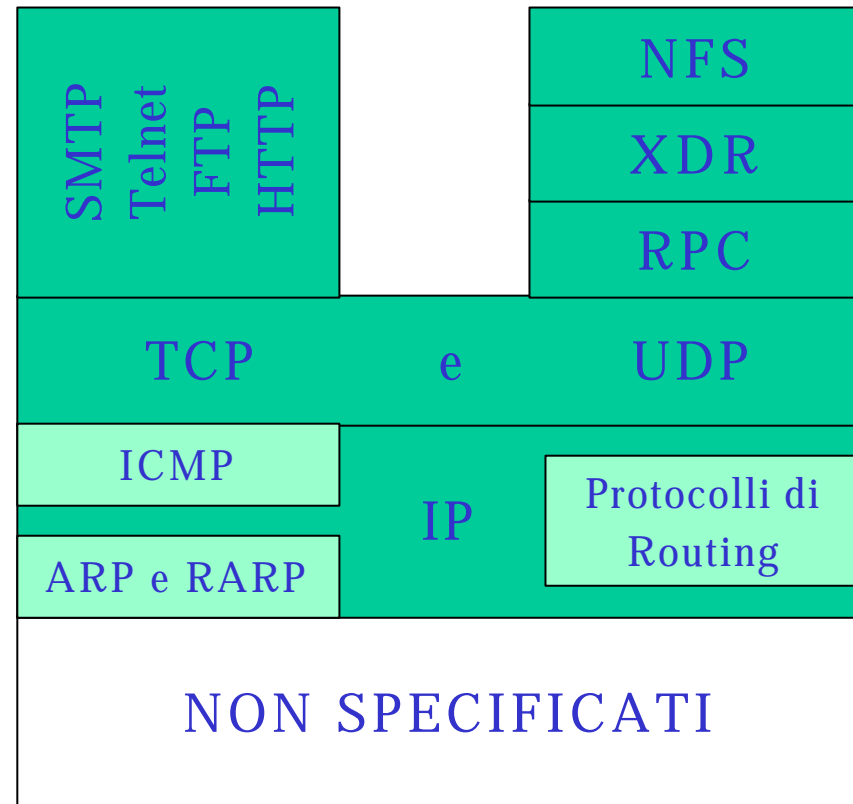
" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

2-6 Luglio 2001 Hotel Santa Tecla Palace Acireale (CT)

Architettura TCP/IP



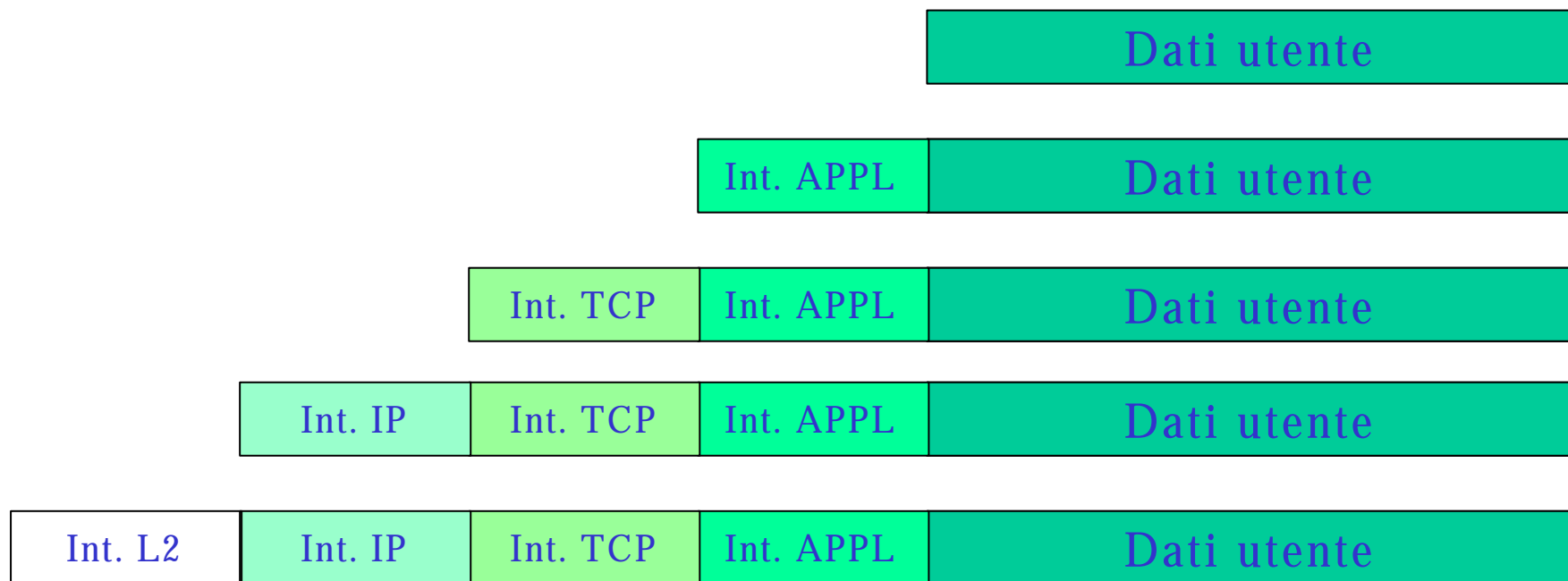
OSI



Internet Protocol Suite

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

Architettura TCP/IP



" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

2-6 Luglio 2001 Hotel Santa Tecla Palace Acireale (CT)

Architettura TCP/IP

- **IP Internet Protocol e i livelli 1 e 2**
 - **L'architettura TCP/IP e' concepita come un mezzo per fare internetworking tra reti locali e/o geografiche.**
 - **E' in grado di operare su tutte le reti di livello 2**
 - **Ethernet, Token-Ring, FDDI**
 - **SLIP, PPP**
 - **ATM, Frame Relay**

Architettura TCP/IP

- **Funzionalità**

- **Frammentazione e ri-assemblaggio dei pacchetti.**
- **E' il livello Network del TCP/IP.**
- **Offre un servizio non connesso.**
- **Gestione indirizzi a 32 bit.**

Architettura TCP/IP

- **Indirizzi IP**

- **Formati da 32 bit (4byte).**
- **Vengono scritti in formato decimale, come 4 numeri separati dal carattere “.”**
- **Ogni numero rappresenta il valore di un byte, quindi è compreso tra 0 e 255.**

10.213.47.114

Architettura TCP/IP

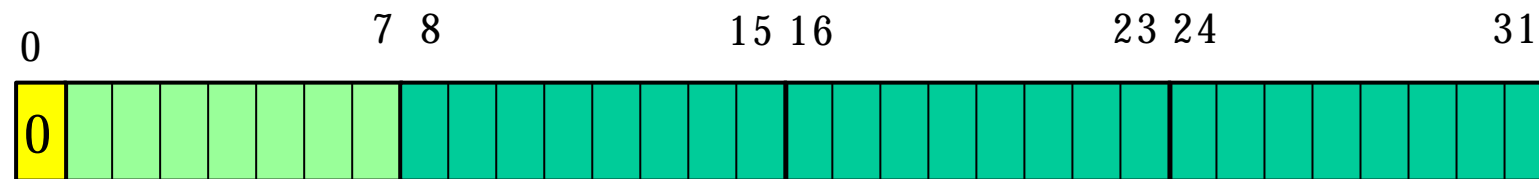
- **Gli indirizzi devono essere unici in tutta la rete (è possibile attribuire indirizzi arbitrari ad una sub-rete TCP/IP solo se questa non è connessa con le altre reti).**
- **Un indirizzo IP identifica un host e non uno specifico utente. L'identificazione di un utente all'interno di un host è affidata ai protocolli di strato superiore.**

Architettura TCP/IP

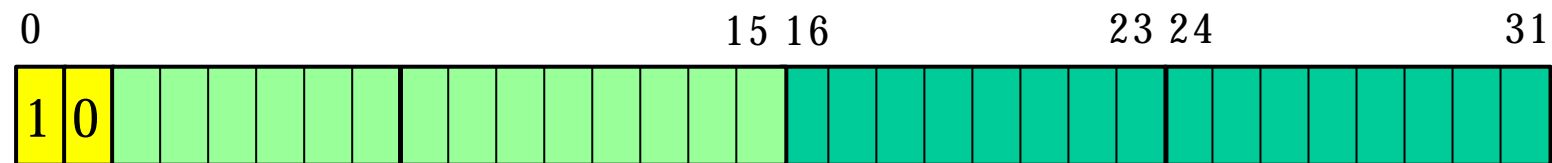
- **Lo schema di indirizzamento IP è stato progettato per consentire un efficiente instradamento. Un indirizzo IP identifica prima la rete a cui un host è connesso e poi l'host all'interno di quella rete; si può fare un parallelo con il sistema di numerazione telefonica.**

Architettura TCP/IP

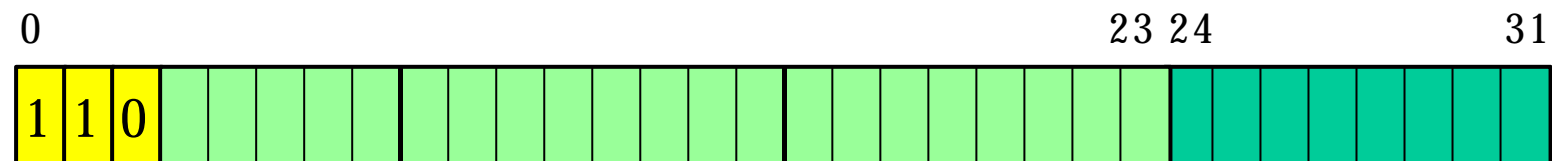
- Indirizzamento



Classe A



Classe B

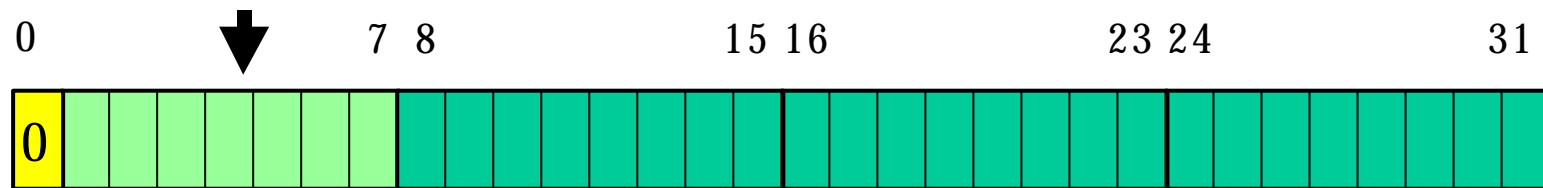


Classe C

IP - Indirizzamento - Classe A

- **Campo NETWORK**

- 7 bit, max 128 di reti
- valori compresi tra 0 e 127

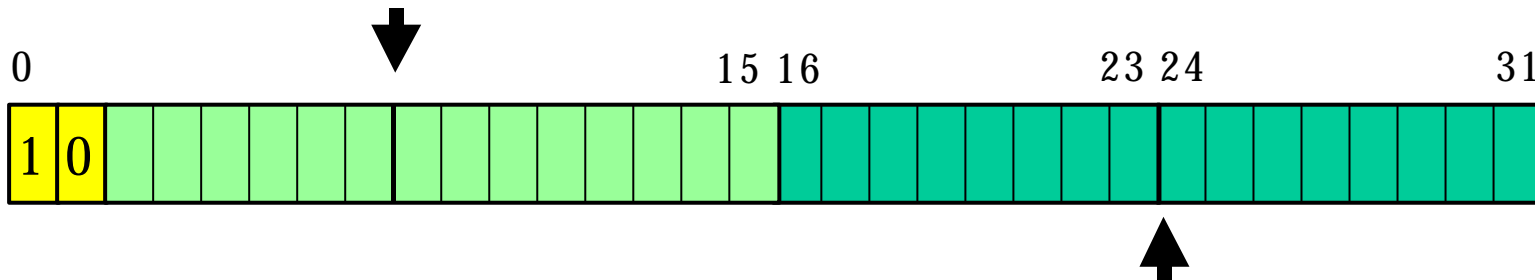


- **Campo HOST**

- 24 bit max 16milioni di host

IP - indirizzamento - Classe B

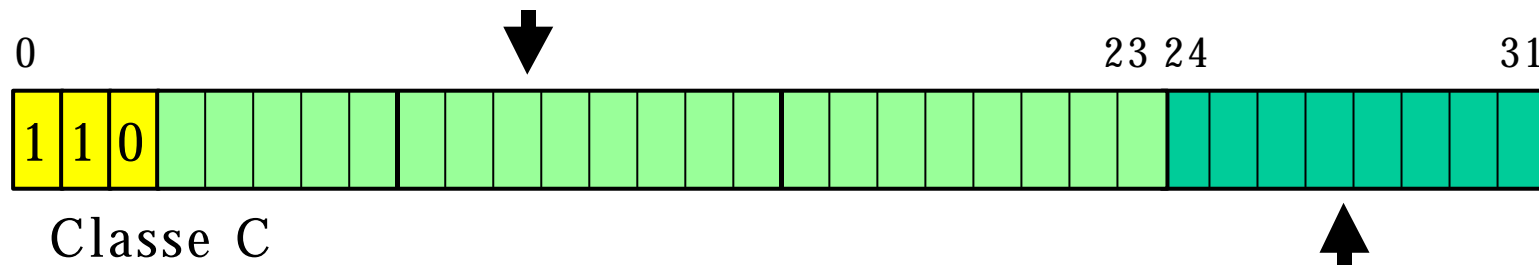
- **Campo NETWORK**
 - 14 bit, max 16000 reti
 - valori compresi tra 128 e 191



- **Campo HOST**
 - 16 bit max 65000 host

IP - indirizzamento - Classe C

- **Campo NETWORK**
 - 21 bit, max 2 milioni di reti
 - valori compresi tra 192 e 223

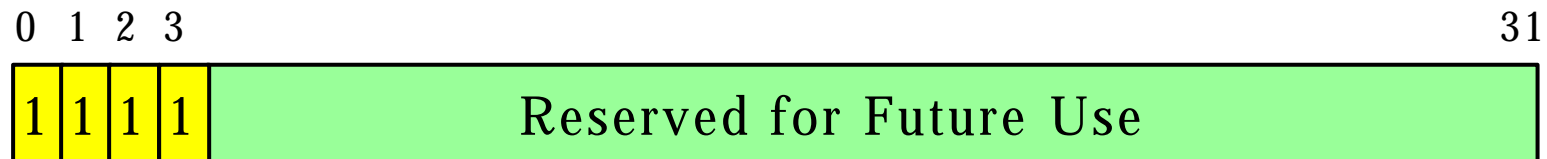


- **Campo HOST**
 - 8 bit max 254 host

IP - indirizzamento - Classi D ed E



Classe D



Classe E

Protocollo IP

DATAGRAMMA IP

0	4	8	16	19	31
vers	hlen	Serv type	Total length		
identification			flags	Fragment offset	
Time to live		protocol	Header checksum		
Source ip address					
Destination ip address					
options					PAD

Protocollo IP

- **Vers: (4bit) versione del protocollo usata; grazie a tale campo è possibile che più versioni di IP operino contemporaneamente.**
- **Hlen: (4bit) lunghezza dell'intestazione (specificata in parole da 32 bit).**
- **Service Type: (8bit) specifica i parametri della qualità di servizio richiesti dall'utente (affidabilità, velocità di trasferimento).**

Protocollo IP

- **Total length: (16bit) specifica la lunghezza del datagramma, misurata in ottetti, includendo l'intestazione ed i dati ($2^{16}=65536$ byte).**
- **Identification: (16bit) numero del datagramma; è un valore indicativo assegnato dal processo sorgente al datagramma o ai suoi frammenti.**

Protocollo IP

- **Flags: (3bit)**
 - **X: non usato** posto a 0.
 - **DF: Don't fragment**; se 0 indica che il datagramma può essere frammentato, se 1 no.
 - **MF: More Fragment**; se 0 indica che è l'ultimo frammento, se 1 che ci sono altri frammenti.
- **Fragment Offset: (13bit)** **posizione del frammento all'interno del datagramma, espresso in unità di 8 byte può numerare 8192 frammenti; se uno dei frammenti non viene ricevuto, verrà scartato l'intero datagramma.**

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

Protocollo IP

- **Time To Live: (8bit)** indica quanto tempo il datagramma può rimanere all'interno della rete (salti).
- **Protocol: (8bit)** indica a quale protocollo dello strato superiore deve essere trasferito il contenuto informativo del datagramma.

Protocollo IP

- **Header Checksum: (16bit)** l'intestazione è protetta da un controllo d'errore.
- **Source Address: (32bit)** indirizzo IP sorgente (indirizzo dell'interfaccia e non dell'utente).
- **Destination Address: (32bit)** indirizzo IP destinatario (indirizzo dell'interfaccia e non dell'utente).

Protocollo IP

- **Options: campo di lunghezza variabile a multipli di 8 bit che può essere omesso. E' composto da tanti ottetti quante sono le opzioni implementate. Ad esempio:**

- **Record Route Option (RRO):** consente al mittente di creare una lista vuota di indirizzi IP in modo che ogni nodo attraversato inserisce il suo indirizzo in questa lista.
- **Timestamp Option:** come RRO con in più l'istante temporale in cui il datagramma attraversa i diversi nodi.
- **Source Route Option:** consente al mittente di specificare i nodi attraverso i quali vuole che transiti il datagramma.

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

Protocollo IP

- **Le reti individuali possono avere diverse limitazioni per la lunghezza dei pacchetti;il datagramma deve quindi poter essere frammentato per attraversare le diverse reti.**
- **Le procedure di segmentazione e ri-assemblaggio devono essere in grado di frammentare il pacchetto originario in un numero arbitrario di unità che, giunte a destinazione, devono poter essere ricomposte nella forma originaria.**

IP - indirizzamento

- **Non si possono utilizzare tutte le combinazioni binarie del campo host per gli indirizzi delle macchine.**
- **Indirizzi riservati**
 - **127.0.0.1**
 - **255.255.255.255**
 - **Le combinazioni con tutti i bit di valore 0 è riservata per indirizzare la rete.**

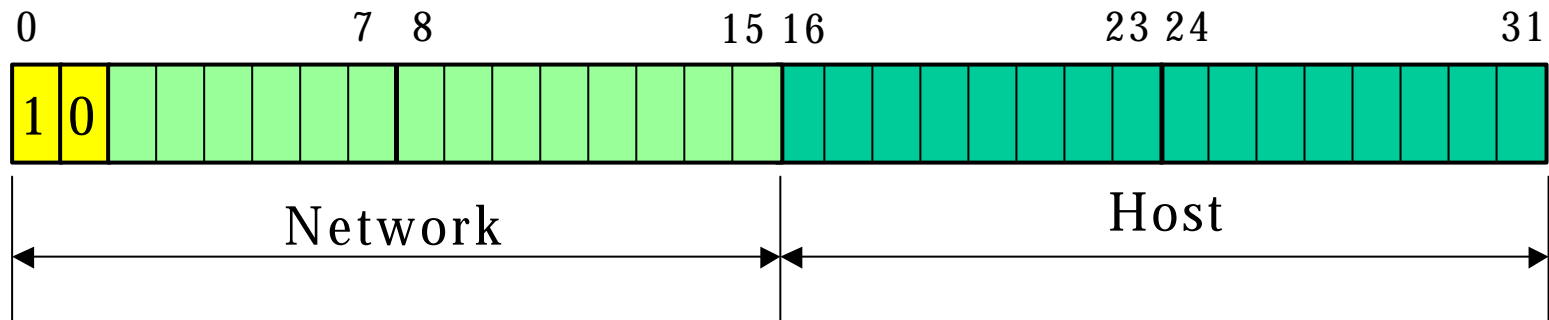
IP - indirizzamento - subnetting

- **Netmask**

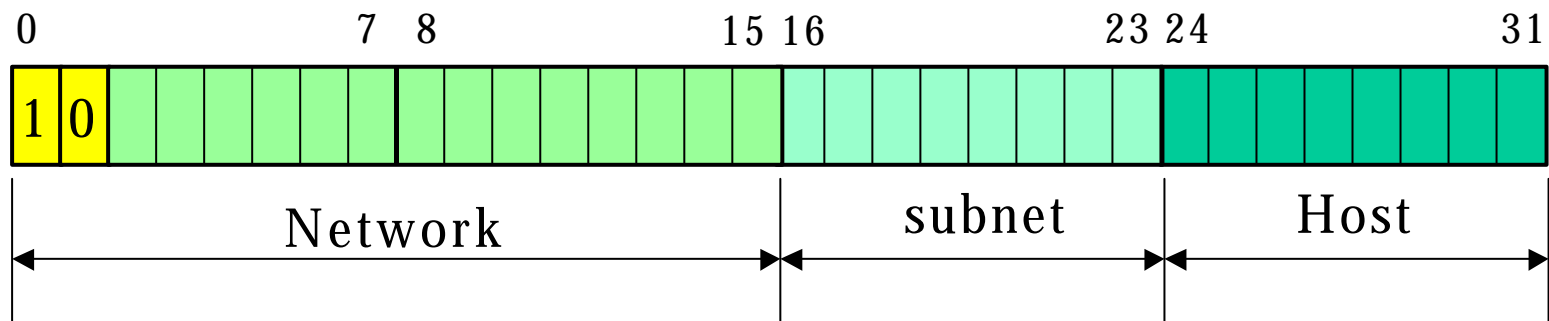
- **E' il parametro che specifica il subnetting**
 - **Bit a 1 in corrispondenza dei campi network e subnetwork**
 - **Bit a 0 in corrispondenza dei campi host**
- **La RFC 1878 definisce le modalità di subnetting**
- **Il valore del netmask si può indicare come indirizzo e lunghezza del subnet espressa in numero di bit a 1**
 - **Es: 150.146.1.0 netmask: 255.255.255.0**
 - **Es: 150.146.1.0/24**

IP - indirizzamento - subnetting

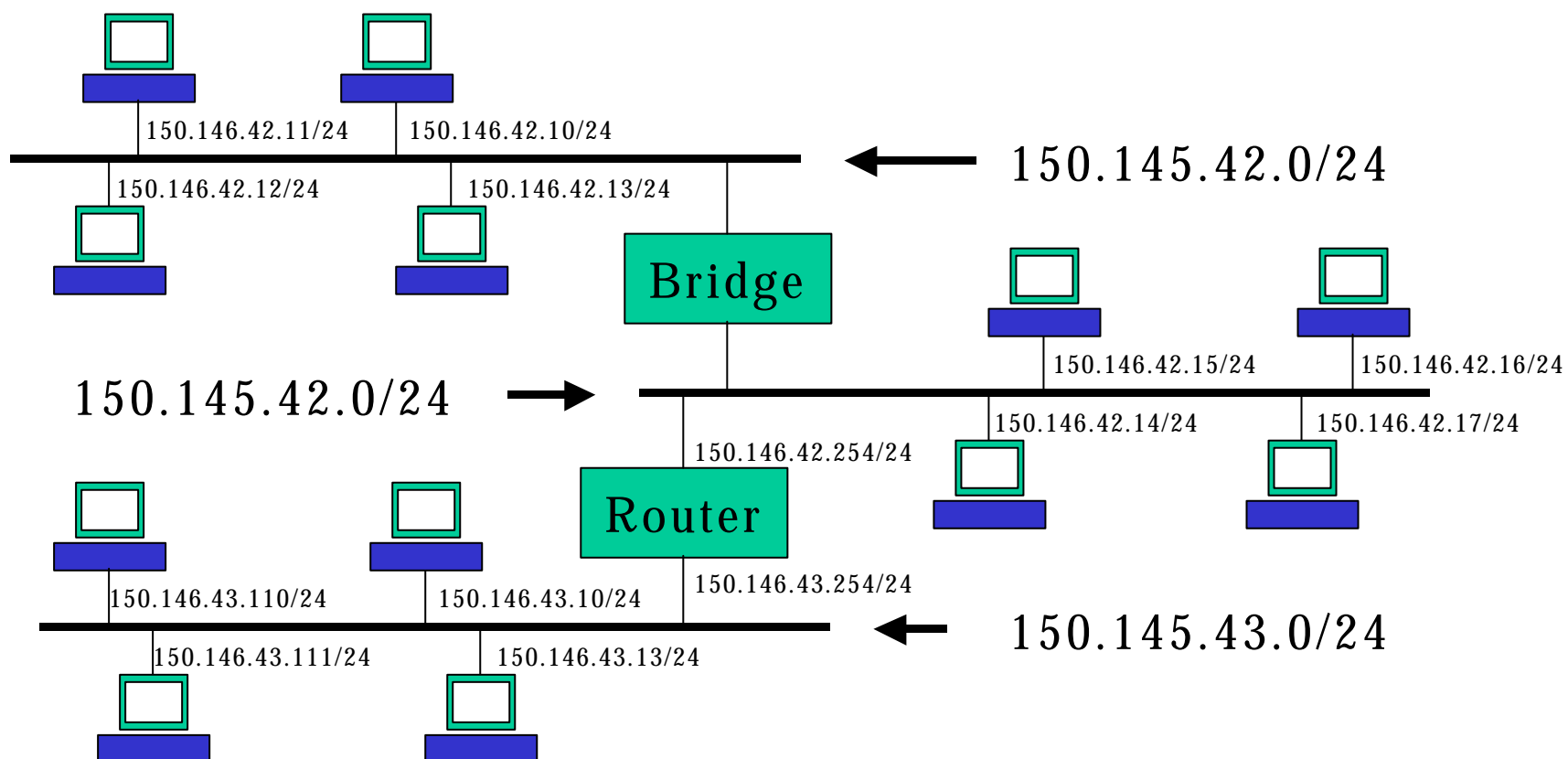
Indirizzo di classe B prima del subnetting



Indirizzo di classe B dopo il subnetting



Protocollo IP - reti logiche e fisiche



" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

Protocollo IP - instradamento

- **Ogni datagramma IP attraversa un cammino composto da routers e da sotto reti**
- **Quando un router consegna un datagramma ad una sottorete questo diventa unità di dati di servizio propria di questa sotto rete.**
- **La rete individuale consegna tale unità dati al prossimo router o a destinazione (se la destinazione è all'interno della rete stessa) con le stesse modalità con cui tratta le unità dati ad essa “appartenenti”.**

Protocollo IP - instradamento

- **L'instradamento in Internet può essere diviso in due classi**
 - **Diretto**
 - **Indiretto**
- **L'instradamento diretto è possibile solo se l'host mittente e l'host destinatario sono connessi dalla stessa sub-rete fisica ed omogenea.**
- **L'instradamento indiretto si applica quando l'host destinatario è connesso ad una sub-rete diversa da quella relativa all'host mittente.**

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR "

Protocollo IP - instradamento diretto

- **Lo scambio di datagrammi tra host connessi alla stessa rete non coinvolge i router e, previa un'operazione di traduzione di indirizzi ed incapsulamento, la risultante unità dati viene inviata direttamente a destinazione.**
- **L'instradamento all'interno delle sub-reti può essere qualunque e non significativo globalmente. Utilizza i meccanismi propri della rete in questione per inviare il datagramma.**

Protocollo IP - instradamento indiretto

- **Il mittente deve identificare un router a cui inviare il datagramma; il router deve inviare il datagramma verso la rete di destinazione. I router non si occupano dell'instradamento attraverso le sub-reti.**
- **Il mittente invia il datagramma al router più vicino utilizzando la sotto-rete fisica a cui è connesso.**
- **Il router esamina il datagramma ricevuto e decide verso quale altro router indirizzarlo.**

Protocollo IP - instradamento indiretto

- **Il processo si ripete di router in router finchè si arriva alla rete di destinazione; qui tramite un indirizzamento diretto il datagramma viene inviato allo specifico host di destinazione.**
- **I router formano una struttura inter-connessa e cooperativa. I datagrammi passano di router in router finchè ne raggiungono uno che può consegnare il datagramma direttamente (cioè tramite un indirizzamento diretto).**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **Il meccanismo per l'instradamento il IP è basato su una tabella che ogni host o router mantiene allo scopo di conoscere le possibili destinazioni e le modalità per raggiungerle.**
- **Una tabella di instradamento contiene delle coppie (R,I) dove R è l'indirizzo della rete di destinazione e I è l'indirizzo del prossimo router lungo la strada che porta alla rete di destinazione.**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **La tabella di instradamento specifica quindi solo un passo lungo il cammino verso la destinazione.**
- **Un router non conosce quindi il cammino completo che il datagramma dovrà compiere.**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

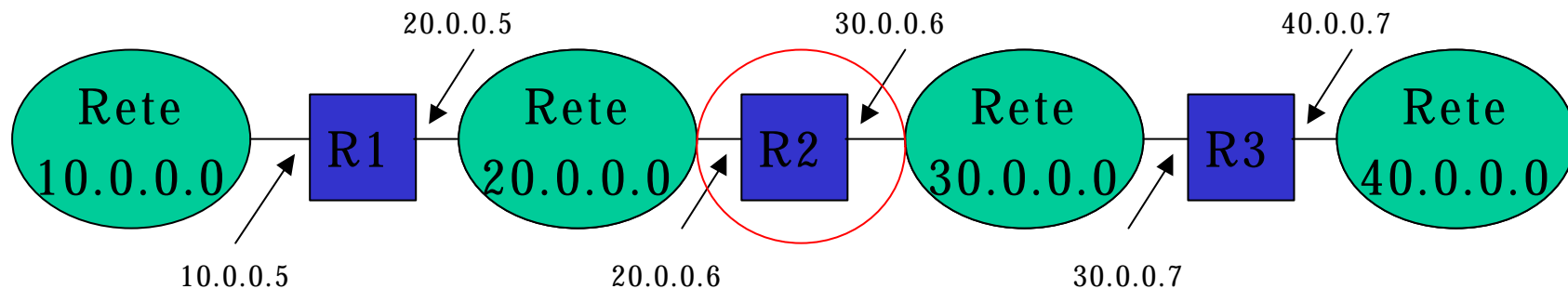


Tabella di instradamento di R2

Per raggiungere host indirizzati alla rete:	Indirizzare i datagrammi verso questo router
20.0.0.0	Inoltare direttamente
30.0.0.0	Inoltare direttamente
10.0.0.0	20.0.0.5
40.0.0.0	30.0.0.7

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **Al fine di nascondere il più possibile i dettagli inerenti la rete, mantenere piccole le tabelle di instradamento e consentire un instradamento efficiente, le tabelle contengono solo informazioni sulle reti di destinazione e non sui singoli host.**
- **Se un router non trova una strada nella sua tabella allora indirizza i suoi datagrammi verso un router di default, generalmente una macchina più potente, destinata ad operazioni di instradamento.**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **Il meccanismo del router di default è usato:**
 - **Da piccoli host, che possono anche non avere per nulla una tabella, ed inviare tutti i datagrammi non diretti alla rete cui sono collegati al router di default.**
 - **Da router o host con una tabella di discrete dimensioni ma che tuttavia non copre tutte le possibili destinazioni; quando arriva un datagramma destinato ad una destinazione non contemplata dalla tabella, essi si rivolgono ad un router di default.**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **Le tabelle di instradamento sono dinamiche: ogni router ed ogni host imparano nel tempo ed aumentano le informazioni di instradamento in loro possesso aggiornandole nel tempo.**
- **La necessità di un aggiornamento dinamico è dovuta al fatto che una rete geografica non può essere considerata stabile.**
- **Inoltre in caso di guasti alcune strade non sono utilizzabili.**

Protocollo IP - tabelle di instradamento

- **Infine se l'instradamento usa un algoritmo adattativo, allora l'aggiornamento deve anche tener conto dello stato di occupazione delle risorse di rete.**
- **Le tabelle di instradamento devono tener conto di tutti questi cambiamenti ed essere aggiornate continuamente.**
- **Questa operazione è attuata mediante opportuni protocolli che consentono ad i router di comunicare tra loro per definire le strade da usare per l'indirizzamento.**

Protocollo IP

- **Per collegare un Pc ad una rete TCP/IP ho bisogno:**
- **Indirizzo IP univoco da assegnare alla scheda di rete e subnet mask**
 - **150.145.42.67 mask 255.255.255.0**
- **Default router (nella stessa sotto rete IP)**
 - **150.145.42.245**
- **Name server (per la risoluzione dei nomi)**
 - **150.145.1.2**

Protocollo IP

- **Registrare il nome del pc all'interno del nameserver per il dominio di appartenenza.**
- **A questo punto posso utilizzare la rete per lo scambio di informazioni quali :**
 - **E-mail**
 - **Web**
 - **News**
 - **Chat**
 - **Ftp**

Protocollo IP ARP

- **Ogni calcolatore collegato ad una rete ha un indirizzo che lo contraddistingue nell'ambito di quella rete, ad esempio l'indirizzo Ethernet contenuto nella scheda fisica del calcolatore.**
- **Il protocollo ARP permette di associare dinamicamente l'indirizzo fisico all'indirizzo IP e aggiorna contemporaneamente la tabella ARP contenente le corrispondenze già risolte.**

Protocollo IP - ARP - Address Resolution Protocol

- **La tabella svolge la funzione di cache, cioè permette di ottenere rapidamente quelle informazioni che vengono richieste ripetutamente in brevi intervalli di tempo.**
- **Periodicamente le informazioni vengono cancellate in modo da garantire la consistenza con le mutate condizioni della topologia di rete.**

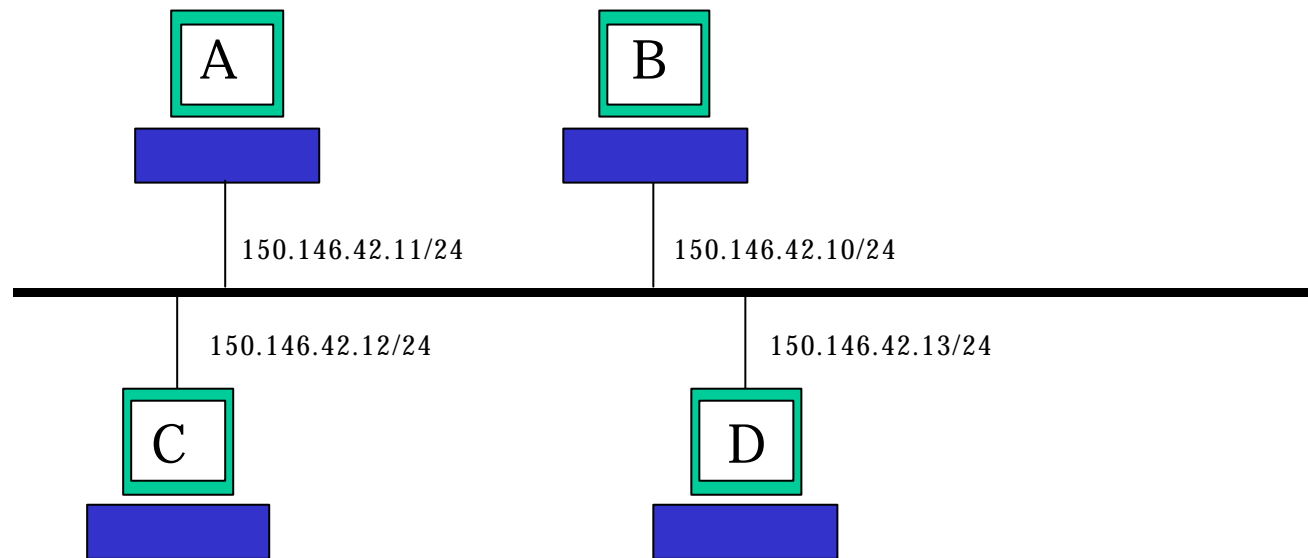
Protocollo IP - ARP - RARP

- **Il protocollo RARP è utilizzato da calcolatori connessi in rete privi di sistemi di memorizzazione di massa, per determinare, durante la fase di inizializzazione, il proprio indirizzo IP a partire dall'indirizzo fisico della particolare interfaccia di rete.**
- **RARP assume che in rete siano presenti uno o più server RARP a cui inviare la richiesta.**

Protocollo IP - ARP - RARP

- **Il RARP server una volta ricevuta la richiesta risponde inviando l'indirizzo IP cercato.**
- **E' utilizzato per le stampanti di rete nella fase di prima accensione.**
- **Diverso dal DHCP, che fornisce alla macchina molte altre informazioni oltre all'indirizzo IP, quali:**
 - **netmask, dns primario, dns secondario, wins primario, wins secondario, default gateway**

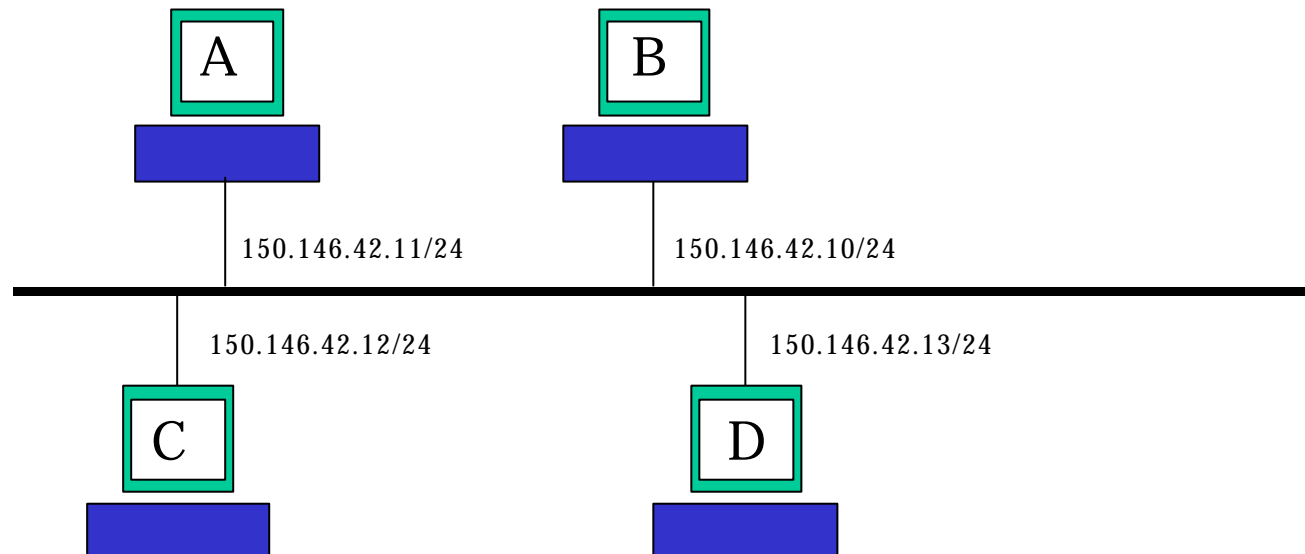
Protocollo IP - ARP



**Il computer “A” IP 150.146.42.11 deve spedire dati
al computer “B” IP 150.146.42.10 essendo sulla
stessa rete IP provvederà tramite una consegna diretta**

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

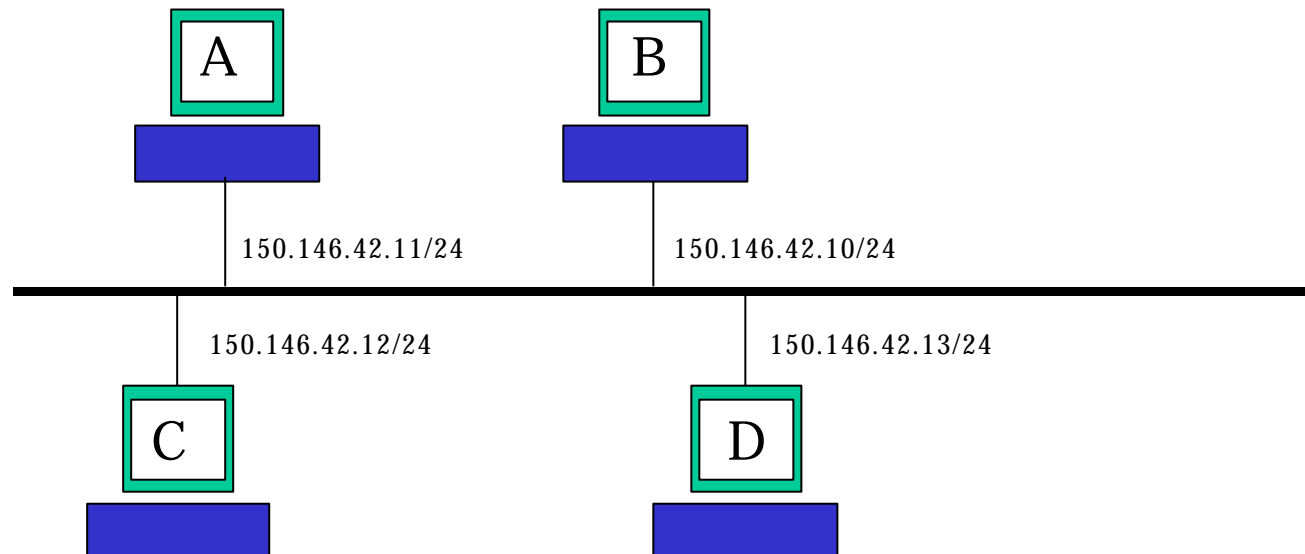
Protocollo IP - ARP



Per costruire la trama ethernet necessita del MAC address della scheda Ethernet di B, per ottenerla emette un pacchetto con indirizzo destinatario broadcast, di tipo ARP con la richiesta del MAC address dell'indirizzo IP 150.146.42.10

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR "

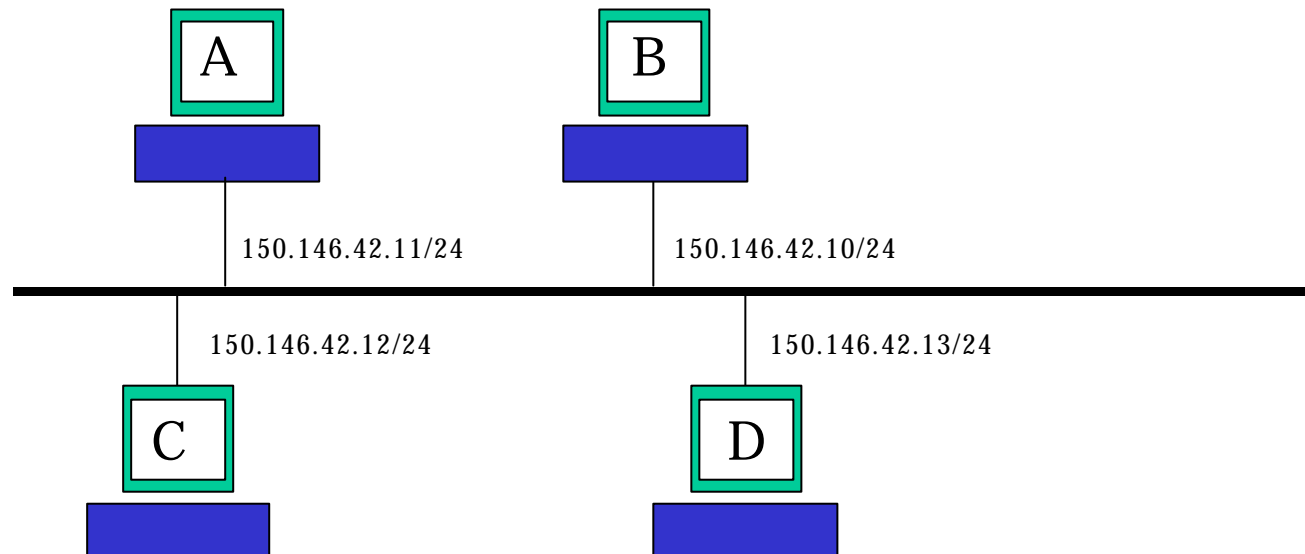
Protocollo IP - ARP



Tutti i computer che si affacciano sulla ethernet leggono il pacchetto, in quanto questo è indirizzato in broadcast, ma soltanto “B” risponderà spedendo ad “A” un pacchetto di risposta ARP con l’indicazione del MAC address cercato

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR"

Protocollo IP - ARP



A questo punto “A” possiede le informazioni necessarie per Comunicare con “B”, manterrà nella tabella ARP il valore dell’indirizzo MAC di “B” per un determinato tempo per evitare di ripetere la stessa operazione ad una

successiva comunicazione

" Gestione della infrastruttura e dei servizi nella rete CNR "

2-6 Luglio 2001 Hotel Santa Tecla Palace Acireale (CT)

Protocollo IP - ICMP

- **Il protocollo IP è senza connessione e non affidabile.**
- **Se un gateway non riesce ad instradare o a consegnare un datagramma o se riscontra situazioni anomale (tra cui congestione di rete) deve poter notificare il mittente del datagramma affinché siano attuate opportune operazioni per correggere il problema.**

Protocollo IP

- **Possibili problemi possono essere:**
 - **Un dispositivo di rete non funziona correttamente o non funziona del tutto (incluse linee di collegamento) .**
 - **L'host di destinazione è temporaneamente o permanentemente disconnesso dalla rete.**
 - **Il contatore Time To Live arriva a zero.**
 - **I gateway o le linee intermedie sono talmente congestionate da non poter gestire il traffico in transito.**

Protocollo IP - ICMP

- **Per consentire ai gateway di potersi scambiare informazioni su tali situazioni si usa ICMP.**
- **ICMP è una parte integrante di IP e deve essere incluso in ogni implementazione di IP.**
- **I messaggi ICMP sono trasportati in rete per mezzo dei datagrammi IP.**
- **Il messaggio ICMP viene incapsulato nella parte dati del datagramma IP.**

Protocollo IP - ICMP

- **In caso di malfunzionamento della rete, ICMP provvede ad uno scambio di messaggi coinvolte per notificare l'errore.**
- **I messaggi di ICMP viaggiano in rete come il traffico di utente.**
- **Il destinatario di un messaggio ICMP è il software che implementa il protocollo IP.**

Protocollo IP - ICMP

- **ICMP può essere considerato un sub-strato di IP (visto che serve a trasportare messaggi tra due entità IP) ma è funzionante al di sopra di IP (visto che i suoi messaggi governano il funzionamento di IP) .**
- **La funzione di ICMP è solo di notifica degli errori al host di origine e non specifica le azioni che devono essere prese per rimediare agli errori ed ai malfunzionamenti.**

Protocollo IP - ICMP

- **Sarà poi l'host di origine a porre in relazione il particolare errore con il relativo programma applicativo (ad esempio con un protocollo di instradamento, o con IP) ed a decidere cosa fare per correggere il problema.**
- **ICMP notifica eventuali errori solo ai gateway o all'host che ha originato un datagramma e non a gateway od host intermedi lungo la strada attraversata dal datagramma stesso.**

Protocollo IP - ICMP

- **Questo perché ogni datagramma contiene solo l'indirizzo del mittente e quello della destinazione e quindi non è possibile, esaminando un datagramma, scoprire che strada ha percorso.**
- **La conclusione è che, se causa del problema è un sistema intermedio, ICMP non lo può identificare; può solo notificare che esiste un problema ma non quale è.**

Protocollo IP - ICMP

- **I messaggi di ICMP viaggiano come comuni datagrammi, anch'essi possono essere soggetti ad errore e contribuire alla congestione di rete.**
- **La procedura di gestione dei datagrammi prevede un'unica differenza tra i datagrammi che trasportano i messaggi ICMP e gli altri:**
 - **Non vengono generati messaggi ICMP in seguito ad errori causati da datagrammi che trasportano messaggi ICMP.**

Protocollo IP - ICMP

- **Ogni messaggio ICMP è in relazione ad uno specifico datagramma.**
- **Un messaggio ICMP contiene quindi anche un identificativo del particolare datagramma che ha generato l'errore o la situazione anomala.**
- **Un'applicazione che utilizza il protocollo ICMP è il ping che chiede al nodo destinatario di rispondere con un messaggio ICMP di tipo "echo" .**