



---

**Complementi di Reti e Sistemi di Telecomunicazioni**

**4. Livello Rete**

---

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.1

### Sommario

---

- Indirizzamento a Classi.
- Traduzione degli indirizzi di rete in indirizzi fisici (ARP-RARP).
- IP:
  - formato pacchetto;
  - Significato campi.
- MTU: Frammentazione.
- Reti private – Instradamento.

---

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.2

### Indirizzi IP

---

- Gli indirizzi IP sono indirizzi **univoci**, assegnati da una autorità centrale, e hanno una lunghezza di **32 bit**.
- Tali indirizzi sono composti da due o tre parti:
  - l'indirizzo della rete (**netid**)
  - l'indirizzo della sottorete (**subnet**) (opzionale)
  - L'indirizzo del *host* (**hostid**)

---

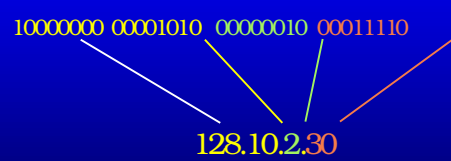
Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.3

### Notazione decimale

---

10000000 00001010 00000010 00011110



128.10.2.30

---

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.4

## 4. Rete

### Classi di Indirizzi

	0	1	2	3	4	8	16	24	31											
A	0				netid						hostid									
	0 - 127								16 000 000											
B	1		0		netid						hostid									
	128 - 191				64 000															
C	1		1		0		netid						hostid							
	192 - 223				256															
D	1		1		1		0		multicast address											
	224 - 239																			
E	1		1		1		1		0		per usi futuri									
	240 - 255																			

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.5

### Indirizzi e host

- Ogni indirizzo è associato, in realtà, ad una interfaccia e non ad un nodo o *host*. Quindi individuano una connessione ad una rete
- Questo significa che macchine connesse a più reti hanno un indirizzo diverso per ogni interfaccia.
- Una conseguenza del fatto che l'indirizzo contenga l'identificatore di una rete è che quando una macchina viene fisicamente spostata il suo indirizzo deve essere opportunamente modificato.

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.6

### Indirizzi speciali

This Host	Tutti 0	
Host on this net.	Tutti 0	host
Limited broadcast	Tutti 1	
Directed broadcast	net	Tutti 1
Loopback	127	Qualunque numero

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.7

### Sotto-rete e super-rete

- Anni '80 indirizzamento sotto-rete (subnetting):
  - Suddivisione di una rete di classe in più sottoreti
- Anni '90 indirizzamento senza classi:
  - Supera la suddivisione in classi permettendo una suddivisione arbitraria tra prefisso e suffisso

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.8

### Autorità per l'indirizzamento

- IANA (Internet Assigned Number Authority)
  - Fino al 1998 (Jon Postel) unico ad assegnare indirizzi
- ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers):
  - Politica globale d'indirizzamento e assegna i valori dei nomi e delle costanti usate nei protocolli e negli indirizzi
  - Vengono assegnati gli indirizzi di rete non degli host

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.9

### Ordine dei byte di rete

- Non tutte le architetture memorizzano i numeri interi a 32 bit
  - Iniziale grande
  - Iniziale piccolo
- Ordine standard dei byte di rete
- Il campo dati utente non vengono toccati
- Standard: prima il byte più significativo

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.10

### Problema: Indirizzamento trasparente

- Scopo: fare in modo di nascondere gli indirizzi fisici ai livelli superiori consentendo ai programmi di livelli più alto di funzionare solo con gli indirizzi di rete
- La comunicazione su reti fisiche deve essere effettuata con l'indirizzamento proprio che l'hardware della rete fornisce
- Due soluzioni scelte da Ethernet e proNET (token ring)

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.11

### ProNET

- Indirizzi fisici scelti dall'utente come numeri interi piccoli
- Possibile scegliere per l'indirizzo fisico una parte dell'indirizzo di rete (ad esempio ultimo numero dell'indirizzo IP in notazione decimale nel caso di classe C)
- Esistono altre possibilità tutto si risolve scegliendo una funzione hash
- Velocità di associazione

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.12

### Ethernet

- Indirizzo di rete codifica a 48 bit
  - Non è possibile ricavarlo dagli indirizzi IP 32 bit
  - Cablato sulla scheda
- Idea: risoluzione dinamica
  - Trasmissione broadcast
  - Utilizzo tabelle dinamiche
- Soluzione protocollo di Livello “basso” per la risoluzione degli indirizzi • ARP

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.13

### ARP e RARP

- I protocolli ARP (*Address Resolution Protocol*) e RARP (*Reverse Address Resolution Protocol*) servono per definire in modo automatico le corrispondenze fra indirizzi di livello 2 ed indirizzi IP e viceversa.
- Sono specificati nel RFC 826.
- Si appoggiano direttamente sui protocolli di livello 2 della sottorete e non su IP. Si può quindi considerare come parte del sistema fisico di rete e non dei protocolli d'inter-rete

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.14

### Il funzionamento di ARP

- La stazione A manda in *broadcast* un pacchetto ARP contenente l'indirizzo IP di cui vuol conoscere il corrispondente indirizzo di livello 2.
- La stazione B che riconosce il proprio ind. IP risponde fornendo il suo indirizzo di livello 2.
- Con il primo pacchetto ARP la stazione A fornisce anche il proprio indirizzo di livello 2, così che B può risponderle senza usare un *broadcast*.

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.15

### Cache

- Per migliorare il funzionamento viene introdotta una cache
- Problema: Ethernet non garantisce la consegna e le informazioni possono diventare obsolete
- Per ottimizzare il funzionamento è prevista una cache con un timeout standard di 20 minuti.
  - Autonomia contrapposta a ritardo

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.16

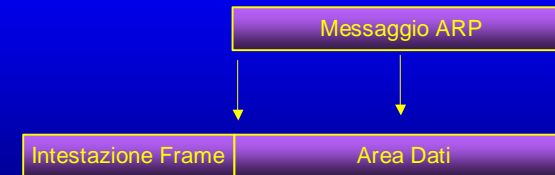
## Cache

- Timer riparte ad ogni pacchetto broadcast ricevuto per un determinato indirizzo IP
- Se ci sono ulteriori richieste dei protocolli di livello superiore mentre si è in attesa di una risposta al broadcast il protocollo aspetta non invia altre richieste

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.17

## Incapsulamento



Nell'intestazione è specificato il tipo di trama trasportato: ad esempio in Ethernet  $0806_{16}$

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.18

## Pacchetto ARP

0		4		8		16		19		24		31	
Hardware type (1 per Ether.)						Protocol type (0800)							
HLEN			PLEN			Operation (1:Request-2:Response)							
Sender Hardware Address (bytes 0 - 3)													
Sender Hardware Address (bytes 4 - 5)						Sender IP Address (bytes 0 - 1)							
Sender IP Address (bytes 2 - 3)						Target Hardware Address (bytes 0 - 1)							
Target Hardware Address (bytes 2 - 5)													
Target IP Address													

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.19

## RARP

- Utilizzo su macchine che non hanno sistema operativo locale:
  - Problema identificarsi per determinare l'indirizzo IP
- Protocol type per ethernet  $8035_{16}$
- Server RARP
  - Primario e di backup
  - Più livelli con ritardi di risposta differenziati

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.20

## 4. Rete

### RARP

- Protocollo direttamente su livello fisico
  - Consegna non garantita
  - Reti locali con probabilità di errore bassa come ethernet
  - RARP gestisce direttamente la ritrasmissione in caso di mancata risposta
- Dettagli in RFC 903
- In RFC 906 inizializzazione stazione di lavoro con protocollo TFTP
- A livello superiore DHCP e BOOTP

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.21

### Rete Virtuale

- Gli utenti vedono la rete con una singola rete virtuale che collega tutti gli host
- L'architettura di rete sottostante è nascosta e irrilevante
- Filosofia



Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.22

### Sistema di consegna senza connessione

- Inaffidabile: un pacchetto
  - può essere perso
  - duplicato
  - ritardato
  - consegnato non in ordine
- I problemi intervengono solo se le risorse sono esaurite o le reti sottostanti non funzionano

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.23

### Sistema di consegna senza connessione

- Senza Connessione (datagram)
  - Ogni pacchetto indipendente
  - Percorsi diversi
  - Qualcuno perso
- Protocollo IP
  - Formato preciso di tutti i dati
  - Instradamento
  - Regole per la consegna e lo scambio di dati tra le entità
  - Gestione dell'errore e condizione scarto pacchetti

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

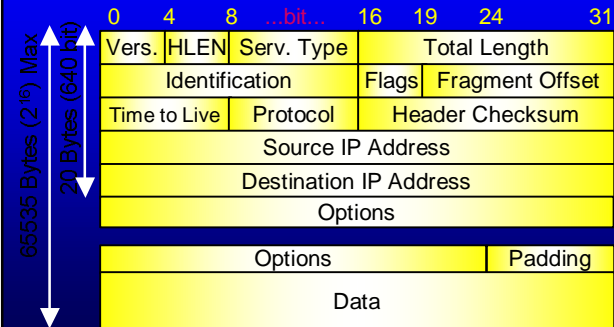
1.24

## Incapsulamento



L'analogia tra rete TCP-IP e rete fisica è molto forte basti pensare all'associazione indirizzo sorgente-destinazione: ovviamente in un caso indirizzi fisici nell'altro indirizzi IP

## IP Datagram

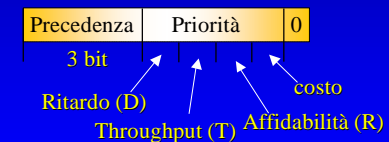


## Formato

- VERS: Versione protocollo (4)
- HLEN: Lunghezza Intestazione (in parole a 32 bit; max  $2^4 \cdot 32$  bit = 512 bit = 64 byte)
- TOTAL LENGHT: lunghezza datagram in ottetti
- HLEN – TOTAL LENGH: lunghezza area dati
  - 16 bit =  $2^{16}$  ovvero 65.535 ottetti
- IP OPTION e PADDING: la lunghezza e la presenza sono rilevabili da HLEN – 5 (parte fissa dell'header)

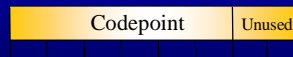
## IP Datagram

- Service Type
  - tipo di servizio, attualmente non usato ma importante in prospettiva.
  - La precedenza va da 0 (normale) a 7 (controllo di rete)

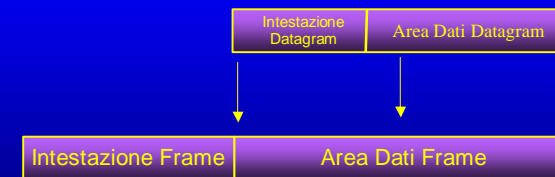


## Tipo di servizio

- Fine anni '90 nuovo standard per supportare i DS (Differential Service)
  - Ultimi 3 bit Codepoint a 0 codifica precedente
- Sono solo suggerimenti la rete non garantisce nulla



## Incapsulamento



Nell'intestazione è specificato il tipo di trama trasportato: ad esempio in Ethernet  $0800_{16}$

## MTU e Frammentazione

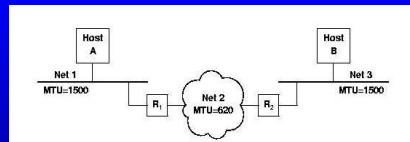
- Problema: dimensioni Datagram e dimensioni Frame:
- Reti fisiche hanno limiti massimi diversi:
  - Ethernet: 1500 ottetti
  - FDDI: 4470 ottetti
- **Maximum Transfer Unit**
  - Frammentazione avviene su router in un punto qualsiasi del percorso tra sorgente datagram e destinazione

## MTU e Frammentazione

- Il TCP-IP risolve il problema di dimensione datagram
  - Si sceglie una dimensione iniziale
  - Si trova il modo di ridurre i datagram quando devono attraversare una rete con MTU più piccola
  - I datagram vengono ricomposti alla destinazione
- Il processo si chiama **frammentazione**, le varie parti del pacchetto **frammenti** e a destinazione si **riasmonta** il datagram originale

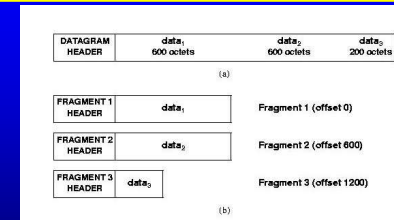


## Esempio Frammentazione



Le reti 1 e 3 hanno mtu di 1500 ottetti (tipica di Ethernet) i router frammenteranno i datagram  $R_1$  quelli inviati da A a B e  $R_2$  quelli da B ad A; IP rappresenta lo scostamento dei dati in multipli di 8 ottetti la frammentazione deve avvenire scegliendo la dimensione in modo da avvicinarsi il più possibile alla MTU. Solitamente l'ultima parte del datagram è più corta.

## Frammentazione



Ogni frammento contiene un intestazione derivata da quella originale con esclusione del FLAGS che indica il frammento e TOTAL LENGTH che indica la dimensione e OFFSET per lo scostamento

## Riassemblaggio

- I Datagram frammentati solo a destinazione vengono riassemblati (nell'esempio non in  $R_1$  o  $R_2$ )
  - Svantaggi:
    - » Frammenti trasportati separatamente quindi se la capacità di una rete attraversata è estesa non viene sfruttata
    - » Se viene perso un frammento, il datagram non può essere riassemblato (Timer di riassemblaggio)
  - Ogni frammento è indipendente e non richiede capacità particolari per il "riassemblaggio" ai router

## Controllo Frammentazione

- Scopo: permettere di ricostruire il datagram originale
- Identification (16 bit)
  - ID univoco del pacchetto (costante nel caso di frammentazione), necessario per riassemblare (contatore globale)
- Flags (3 bit)
  - DF: Don't Fragment (1 sul secondo bit)
  - MF: More Fragments (terzo bit: 0 sull'ultimo frammento)
- Fragment Offset (13 bit) (misurato in 8 ottetti fino a 65 535 byte) (la lunghezza è relativa al pacchetto corrente)

### TTL – Protocol – Header Checksum

- Time To Live (8 bit)
  - contatore decrementato ad ogni hop e per ogni secondo di attesa nel router (di una unità).
  - Gestisce i datagram senza orologi sincronizzati.
  - Nelle reti attuali funziona come limite dei salti.
- Protocol (8 bit) (Amministrato da un'autorità centrale)
  - TCP (6), UDP (17), ICMP, ...
- Header Checksum (solo sull'intestazione)
  - Somma come sequenza numeri interi di 16 bit usando il complemento a 1 e poi complemento a 1 del risultato (si suppone HC tutti 0)

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.37

### Checksum – Option

- La scelta di usare il checksum solo sull'header consente/obbliga (vantaggi e svantaggi) i livelli superiori di scegliere il livello di protezione dei dati inviati.
- IP Option ha lunghezza variabile in quanto alcune sono lunghe un otetto (codice dell'opzione) altre no.
- Le opzioni sono adiacenti senza separatori particolari

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.38

### IP OPTION

Copy	Class	Number
1 bit	2 bit	5 bit

- Il *copy bit* decide se le opzioni vanno copiate in tutti i pacchetti in caso di frammentazione.
- Class e Number indicano la classe dell'opzione e l'opzione contenuta

Classe di Opzioni	Significato
0	Controllo del datagram o della rete
1	Riservato per uso futuro
2	Verifica e unità di misura
3	Riservato per uso futuro

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.39

### Opzioni IP

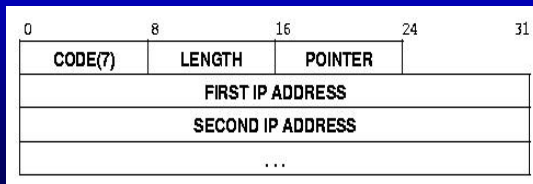
Classe di Opzioni	Numero di Opzioni	Lunghezza	Descrizione
0	0	-	Fine elenco
0	1	-	Nessuna funzionalità
0	2	11	Indirizzo e sicurezza (multicast)
0	3	Var	Instradamento lasco
0	7	Var	Rilevazione d'instradamento
0	11	4	Richiesta MTU
0	12	4	Risposta MTU
0	20	4	Segnale di allarme al router
2	4	Var	Timestamp della rete
2	18	Var	Traceroute

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.40

### Rilevazione d'istradamento

- Classe 0 opzione 7
- La sorgente crea una lista vuota di indirizzi IP e ordina a ciascun router che gestisce il datagram di aggiungere il proprio indirizzo



Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.41

### Rilevazione d'istradamento

- LENGHT
  - Contiene la lunghezza totale dell'opzione compresi i primi 3 ottetti
- POINTER
  - Se minore uguale a LENGHT aggiunge il proprio indirizzo nella posizione indicata da LENGHT e incrementa di 4 il valore del campo; altrimenti la lista è completa
- La sorgente e la destinazione devono collaborare affinché il richiedente (sorgente) riceva l'elenco richiesto

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.42

### Instradamento dalla sorgente

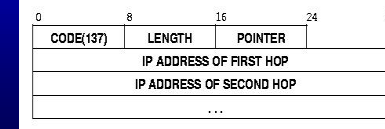
- Permette al mittente di scegliere il percorso sulla rete
- Utile a chi conosce la topologia della rete
- Due versioni
  - Stretto: sequenza indirizzi IP
  - Lasco: sono ammessi più salti tra indirizzi successivi
- I Router del percorso sovrascrivono le voci dell'elenco con indirizzi di rete locale

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.43

### Instradamento dalla sorgente

- Formato simile a rilevazione d'istradamento
- Ogni router esamina LENGTH e POINTER se  $P \leq L$  sovrascrive con indirizzo dell'interfaccia su cui instrada e aggiorna P; altrimenti inoltra utilizzando l'indirizzo del datagram



Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile

1.44

### Timestamp

- Come opzione di rilevazione instradamento
  - Elenco vuoto, ciascun router riempie una voce della lista
  - Due elementi a 32 bit nella lista
    - » Indirizzo IP del router
    - » Timestamp intero a 32 bit
- LENGTH e POINTER lunghezza e posizione nella lista
- FLAGS: opzione esatta – 0 solo timestamp; 1 indirizzo IP più timestamp; 3 indirizzi IP specificati dal mittente, quindi timestamp solo dei router inclusi nella lista

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile 1.45

### Timestamp

- Il timestamp viene calcolato in millisecondi dalla mezzanotte ora universale; se non disponibile si usa ora locale e si setta il bit più significativo del campo timestamp

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile 1.46

### Reti private – Instradamento

- Su reti locali è possibile usare alcuni indirizzi particolari che non possono essere raggiunti direttamente da Internet perchè definiti locali

10.0.0.0 - 10.255.255.255	1 rete di classe A 16.777.216 host
172.16.0.0 - 172.31.255.255	16 reti di classe B 65.535 host
192.168.0.0 - 192.168.255.255	254 reti di classe C 254 host

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile 1.47

### Esempio di rete

Complementi di Reti e Sistemi C. Nobile 1.48