



*Complementi di Reti e Sistemi di
Telecomunicazioni*

4. Livello Rete

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.1

Sommario

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

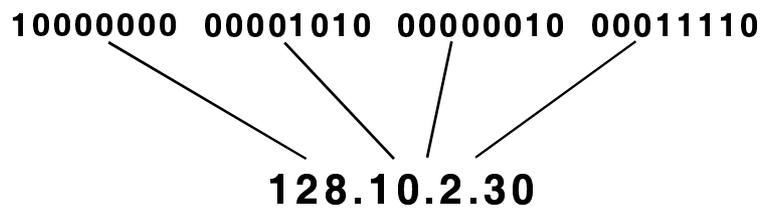
Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.2

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)

Notazione decimale



Classi di Indirizzi

	0	1	2	3	4	8	16	24		
A	0	netid				hostid				3
	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	per usi futuri					
	240 - 255									

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.5

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 R. Bolla, C. Nobile

4.6

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

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

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

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

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 R. Bolla, C. Nobile

4.11

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 $P_A = f I_A$
- Velocità di associazione

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.12

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

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

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*.

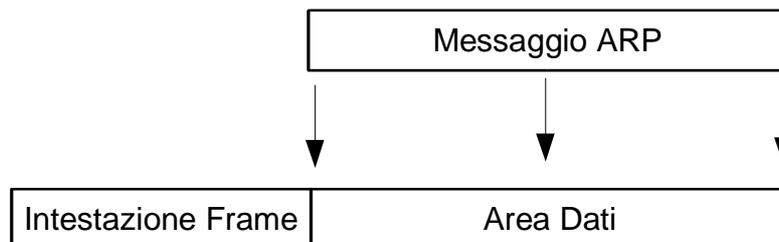
Cache

- 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

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

Incapsulamento



Nell'intestazione è specificato il tipo di trama trasportato:
ad esempio in Ethernet 0806₁₆

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 R. Bolla, C. Nobile

4.19

RARP

- Utilizzo su macchine che non hanno sistema operativo locale:
 - Problema identificarsi per determinare l'indirizzo IP
- Protocol type per ethernet 8035₁₆
- Server RARP
 - Primario e di backup
 - Più livelli con ritardi di risposta differenziati

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.20

RARP

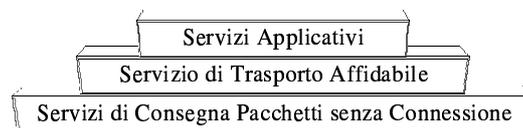
- Protocollo direttamente su livello fisico
 - Consegna non garantita
 - Reti locali con probabilità di errore bassa come ethernet
 - RARP gestisce direttamente la ritrasmissione in caso di mancata risposta
- Dettagli in RFC 903
- In RFC 906 inizializzazione stazione di lavoro con protocollo TFTP
- A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

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.21

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 R. Bolla, C. Nobile

4.22

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

Sistema di consegna senza connessione

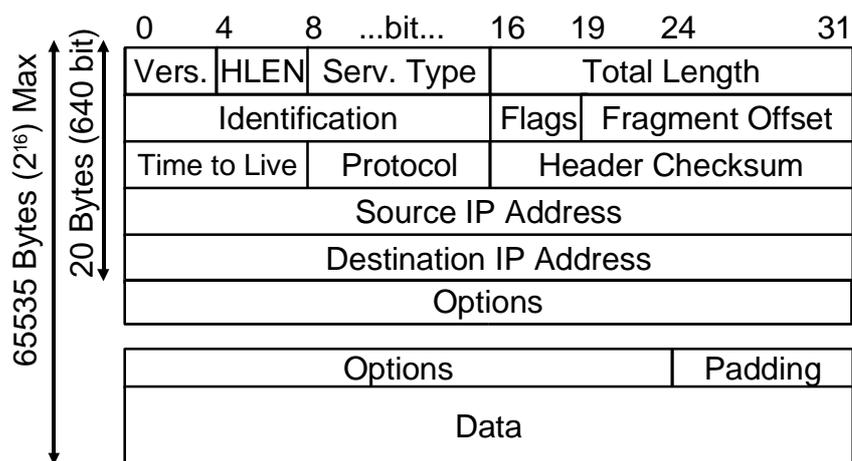
- Senza Connessione (datagram)
 - Ogni pacchetto indipendente
 - Percorsi diversi
 - Qualcuno perso
- Protocollo IP
 - Formato preciso di tutti i dati
 - Instradamento
 - Regole per la consegna e lo scambio di dati tra le entità
 - Gestione dell'errore e condizione scarto pacchetti

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

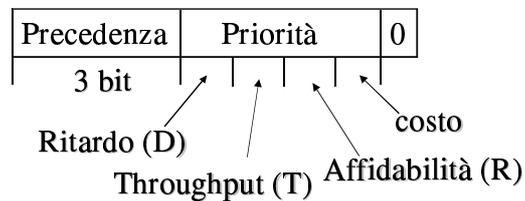
- VERS: Versione protocollo (4)
- HLEN: Lunghezza Intestazione (in parole a 32 bit; max $2^4 \cdot 32$ bit = 512 bit = 64 byte)
- TOTAL LENGHT: lunghezza datagram in ottetti
- HLEN – TOTAL LENGH: lunghezza area dati
 - 16 bit = 2^{16} ovvero 65.535 ottetti
- IP OPTION e PADDING: la lunghezza e la presenza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

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.27

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)

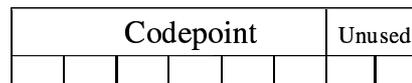


Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

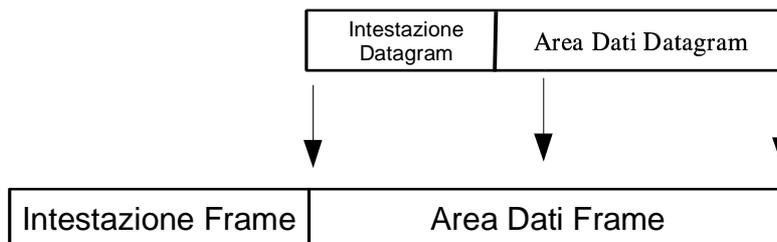
4.28

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 0800₁₆

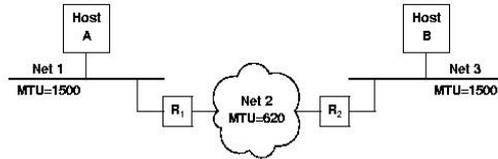
MTU e Frammentazione

- Problema: dimensioni Datagram e dimensioni Frame:
- Reti fisiche hanno limiti massimi diversi:
 - Ethernet: 1500 ottetti
 - FDDI: 4470 ottetti
- Maximum Transfert 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 riassume 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.

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.33

Frammentazione

DATAGRAM HEADER	$data_1$ 600 octets	$data_2$ 600 octets	$data_3$ 200 octets
--------------------	------------------------	------------------------	------------------------

(a)

FRAGMENT 1 HEADER	$data_1$	Fragment 1 (offset 0)
FRAGMENT 2 HEADER	$data_2$	Fragment 2 (offset 600)
FRAGMENT 3 HEADER	$data_3$	Fragment 3 (offset 1200)

(b)

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

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.34

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

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.35

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)

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.36

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 R. Bolla, C. Nobile

4.37

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 ottetto (codice dell'opzione) altre no.
- Le opzioni sono adiacenti senza separatori particolari

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.38

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 R. Bolla, C. Nobile

4.39

Opzioni IP

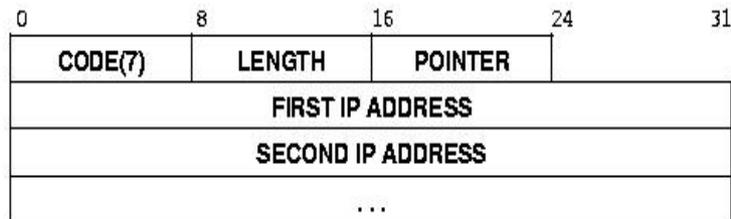
Classe di Opzioni	Numero di Opzioni	Lunghezza	Descrizione
0	0	-	Fine elenco
0	1	-	Nessuna funzionalità
0	2	11	Limiti di gestione e sicurezza (militare)
0	3	Var	Instradamento lasco
0	7	Var	Rilevazione d'instradamento
0	11	4	Richiesta MTU
0	12	4	Risposta MTU
0	20	4	Segnale di allarme al router
2	4	Var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

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.40

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 R. Bolla, C. Nobile

4.41

Rilevazione d'istradamento

- **LENGTH**
 - Contiene la lunghezza totale dell'opzione compresi i primi 3 ottetti
- **POINTER**
 - Se minore uguale a LENGTH aggiunge il proprio indirizzo nella posizione indicata da LENGTH 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 R. Bolla, C. Nobile

4.42

Instradamento dalla sorgente

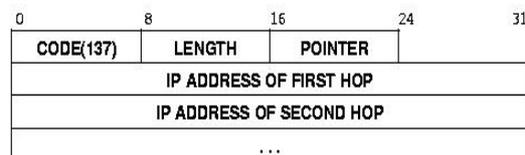
- Permette al mittente di scegliere il percorso sulla rete
- Utile a chi conosce la topologia della rete
- Due versioni
 - Stretto: sequenza indirizzi IP
 - Lasco: sono ammessi più salti tra indirizzi successivi
- I Router del percorso sovrascrivono le voci dell'elenco con indirizzi di rete locale

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.43

Instradamento dalla sorgente

- Formato simile a rilevazione d'instradamento
- 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 R. Bolla, C. Nobile

4.44

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

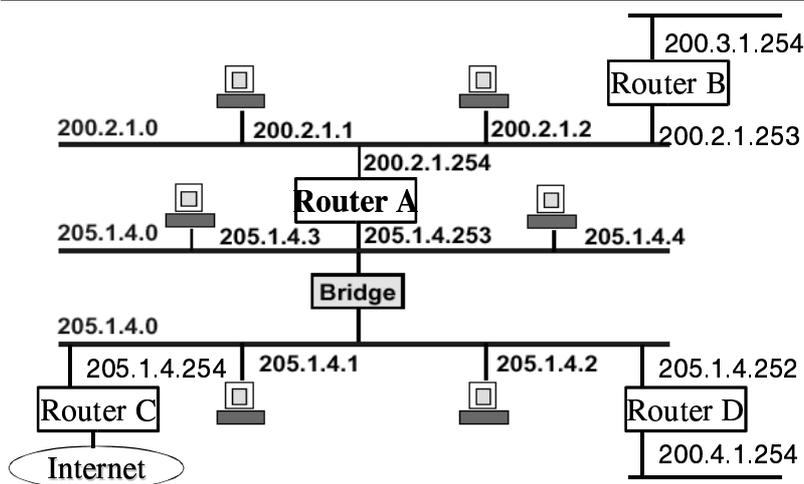
172.16.0.0 - 172.31.255.255 16 reti di classe B
65.535 host

192.168.0.0 - 192.168.255.255 254 reti di classe C
254 host

Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.47

Esempio di rete



Complementi di Reti e Sistemi R. Bolla, C. Nobile

4.48