



Reti di Comunicazioni e Internet

Livello 3

Introduzione all'Internet Protocol (IP)

Massimo Tornatore
Politecnico di Milano

Dept. of Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB)

Via Ponzio, 34/5 – 20133 Milan, Italy

massimo.tornatore@polimi.it



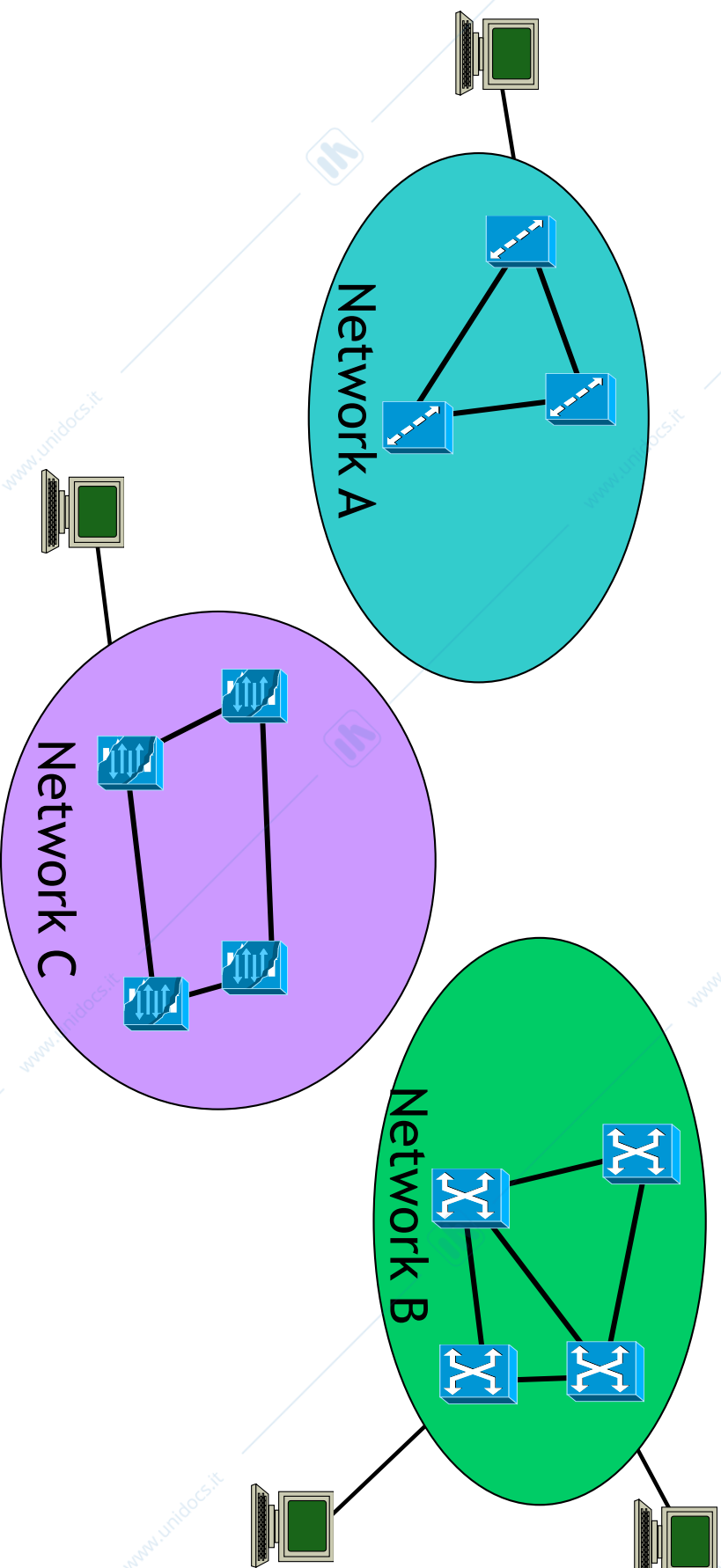
- **Introduzione a Internet**
- **Architettura di Internet**
- **Introduzione al Livello 3**
- **Protocollo IP**
 - Il pacchetto IP

- **Prossime slide**
 - IP addressing
 - Control protocols

Il materiale di queste slide lo trovate descritto nel libro: Cap. 5.1 (cenni), 20, e 21.2

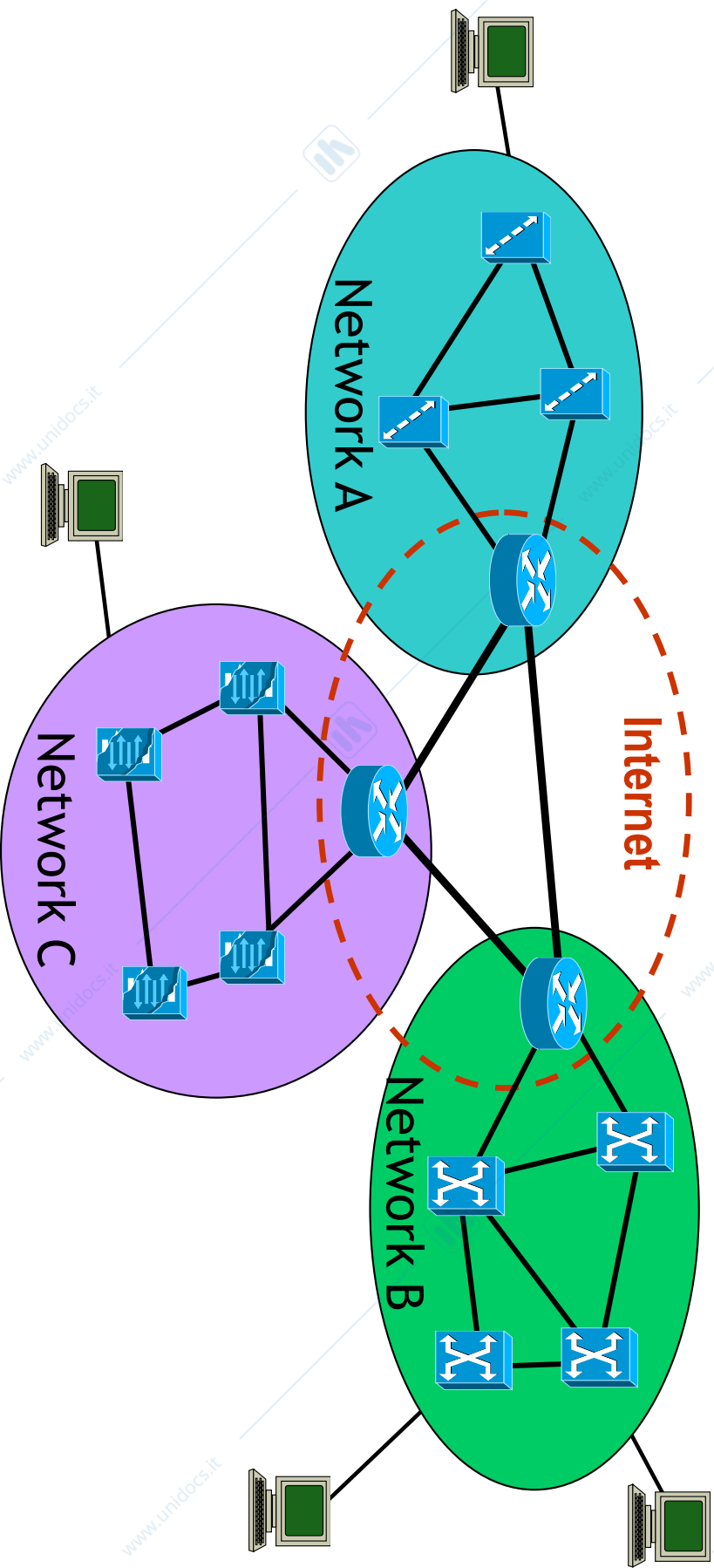
Cos'è Internet?

- **Internet rappresenta un insieme di sistemi autonomi (“Autonomous systems”)**
- **Diversi tipi di reti sono stati sviluppati indipendentemente l'uno dall'altro (diversi apparati, protocolli, architetture)**



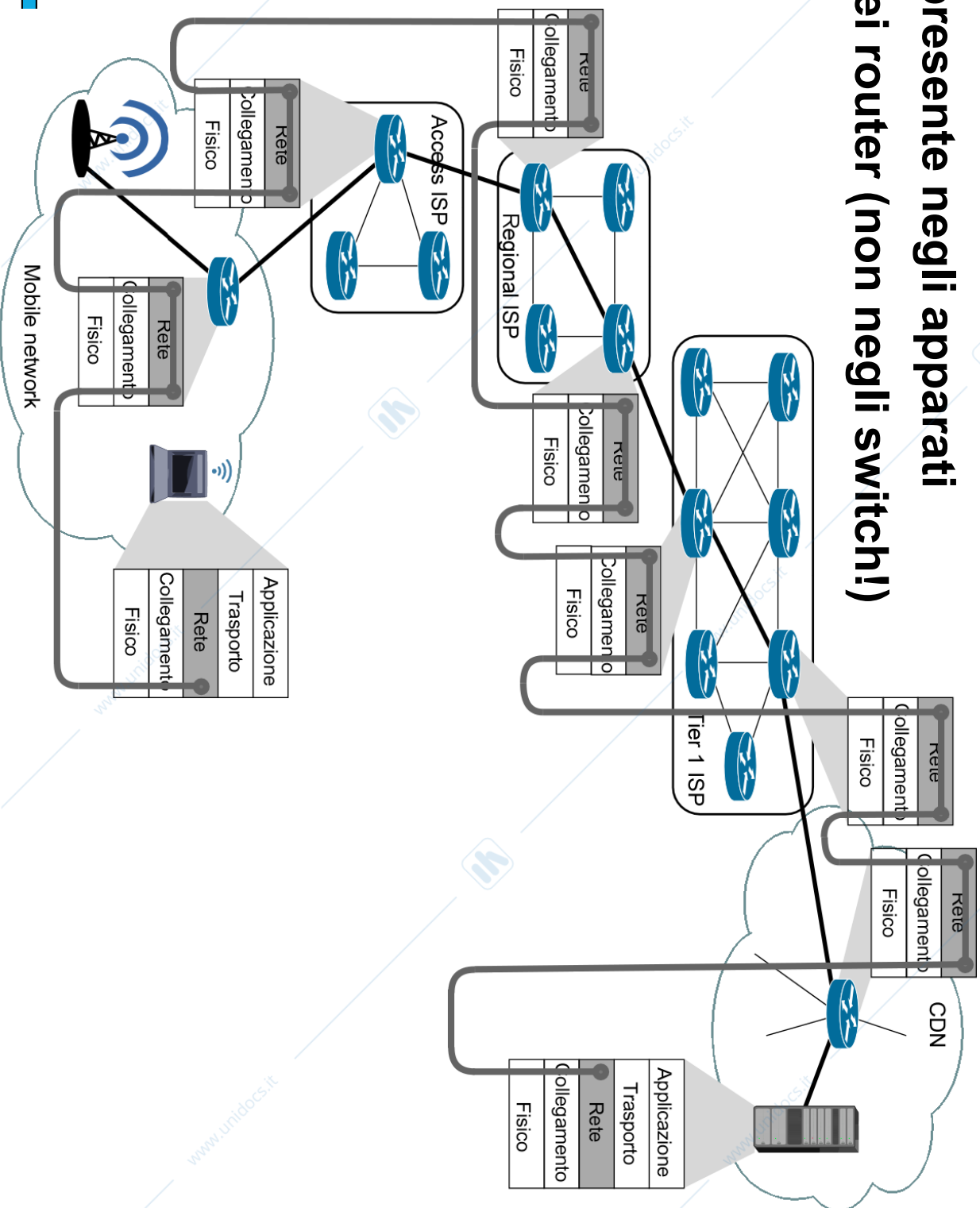
Cos'è Internet?

- Il compito di Internet consiste nell'interconnettere qualunque tipo di rete di livello 2
- L'Internet assicura la connettività end-to-end a qualunque coppia di host nel mondo

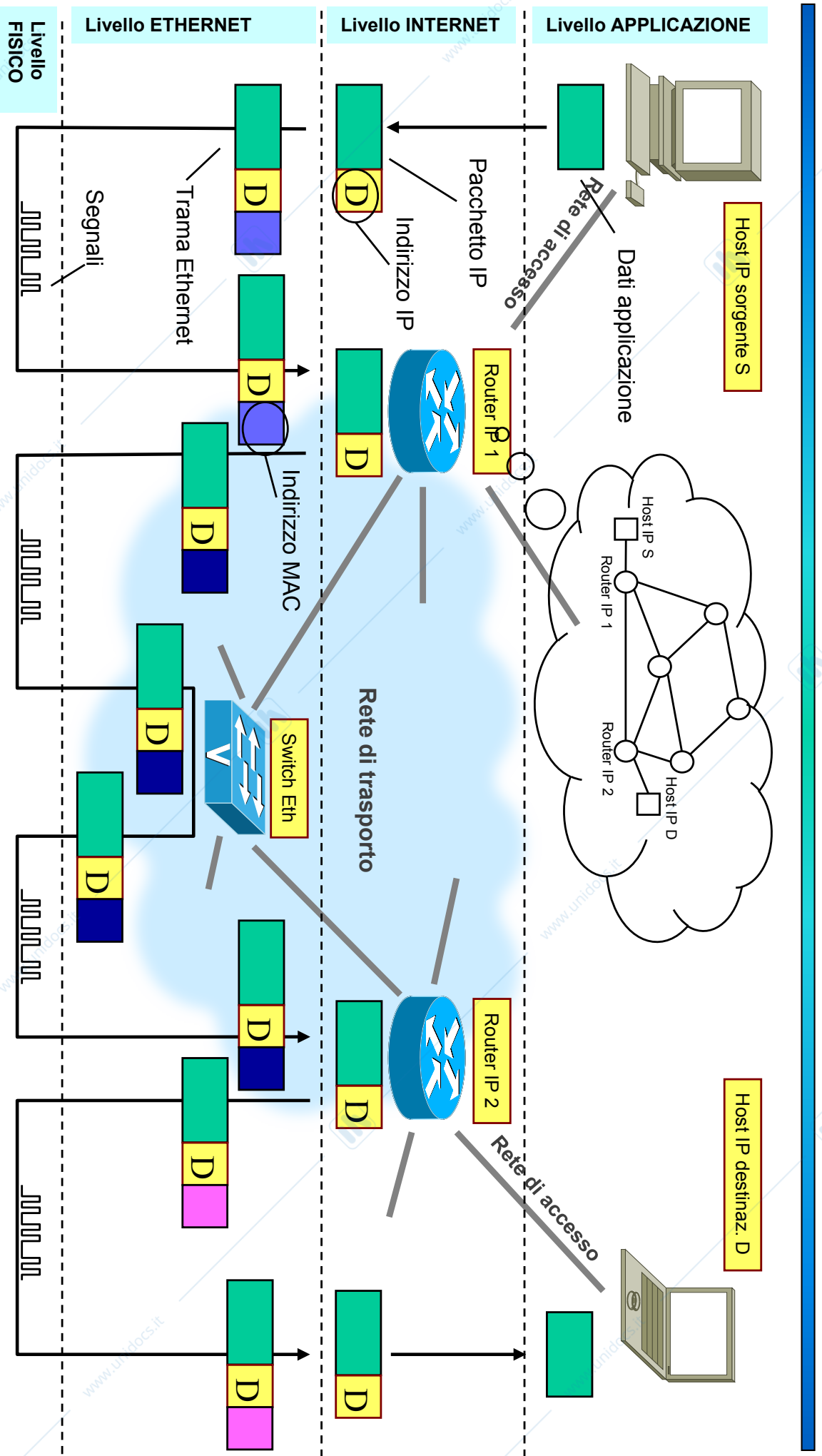


Livello 3: il livello di rete

- Il livello 3 è presente negli apparati terminali e nei router (non negli switch!)



Protocolli di rete: un modello a strati



- IP protocol

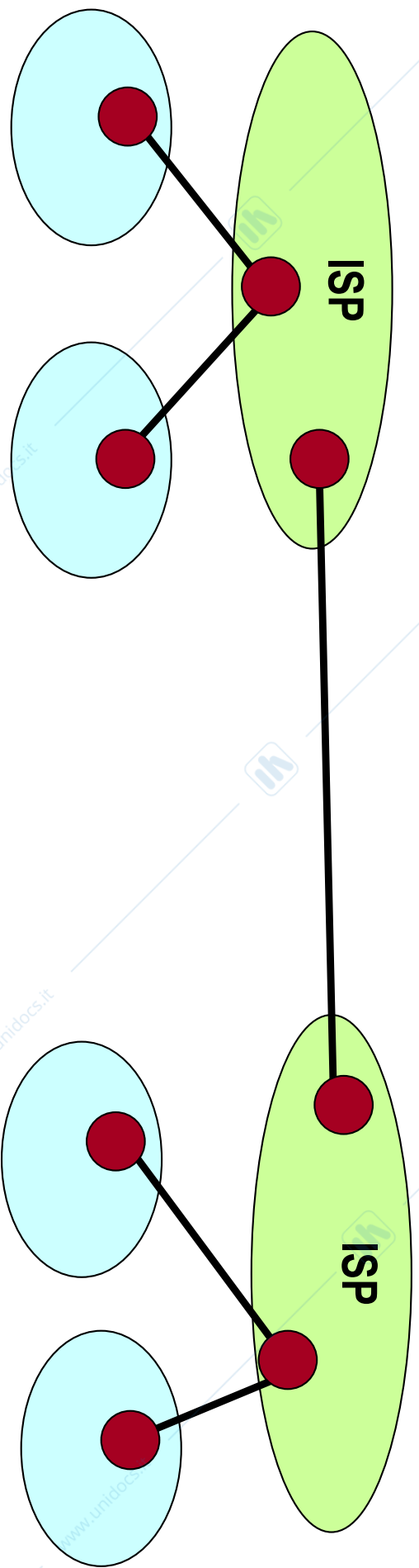
Solo i router del livello Internet interpretano l'indirizzo IP
Lo switch Ethernet attua lo "smistamento" esaminando l'etichetta con l'indirizzo MAC



- **Introduzione a Internet**
- **Architettura di Internet**
- **Introduzione al Livello 3**
- **Protocollo IP**
- **Prossime slide**
 - IP addressing
 - Control protocols

Architettura Generale

- La connettività (accesso ad Internet) è fornita da *Internet Service Providers* (ISP): Telecom, Fastweb, Vodafone, etc.
- Gli ISP sono fra loro collegati





Architettura di Internet

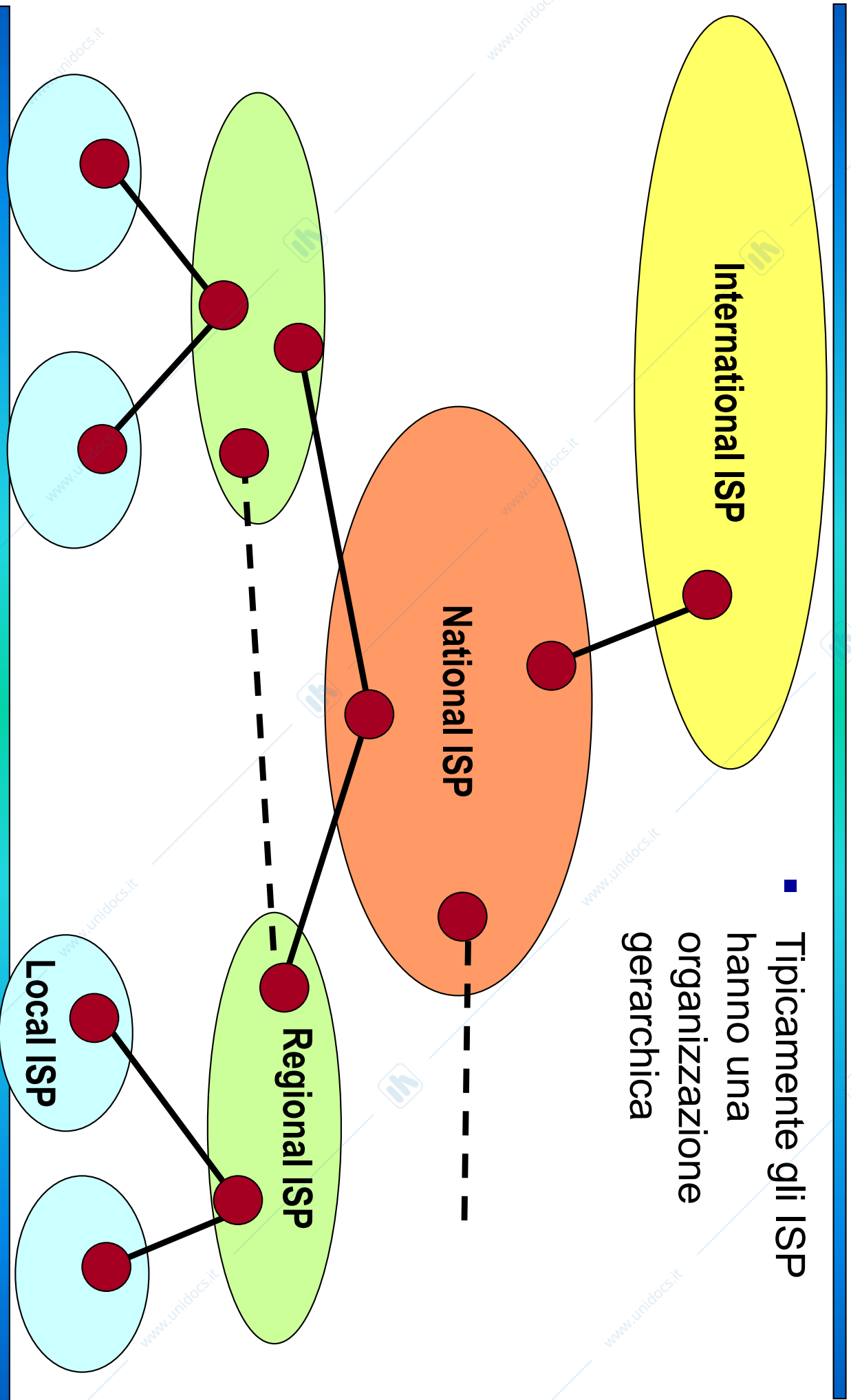
■ In base alle dimensioni geografiche della rete che gestiscono, gli ISP possono essere suddivisi in 3 categorie principali

- Tier-1 ISPs
 - Reti “globali” ad alta velocità che costituiscono l’“ossatura” di Internet (backbone)
 - Non acquistano capacità da altri ISP ma forniscono connettività a ISP di livello gerarchico inferiore
- Tier-2 ISPs
 - Acquistano o “noleggiano” connettività dai Tier-1 ISPs
- Tier-3 ISPs
 - Sono tipicamente ISP regionali
 - La maggior parte delle aziende ha rapporto commerciale diretto solo con questi ISP, attraverso i quali ricevono accesso ad Internet



Architettura Gerarchica

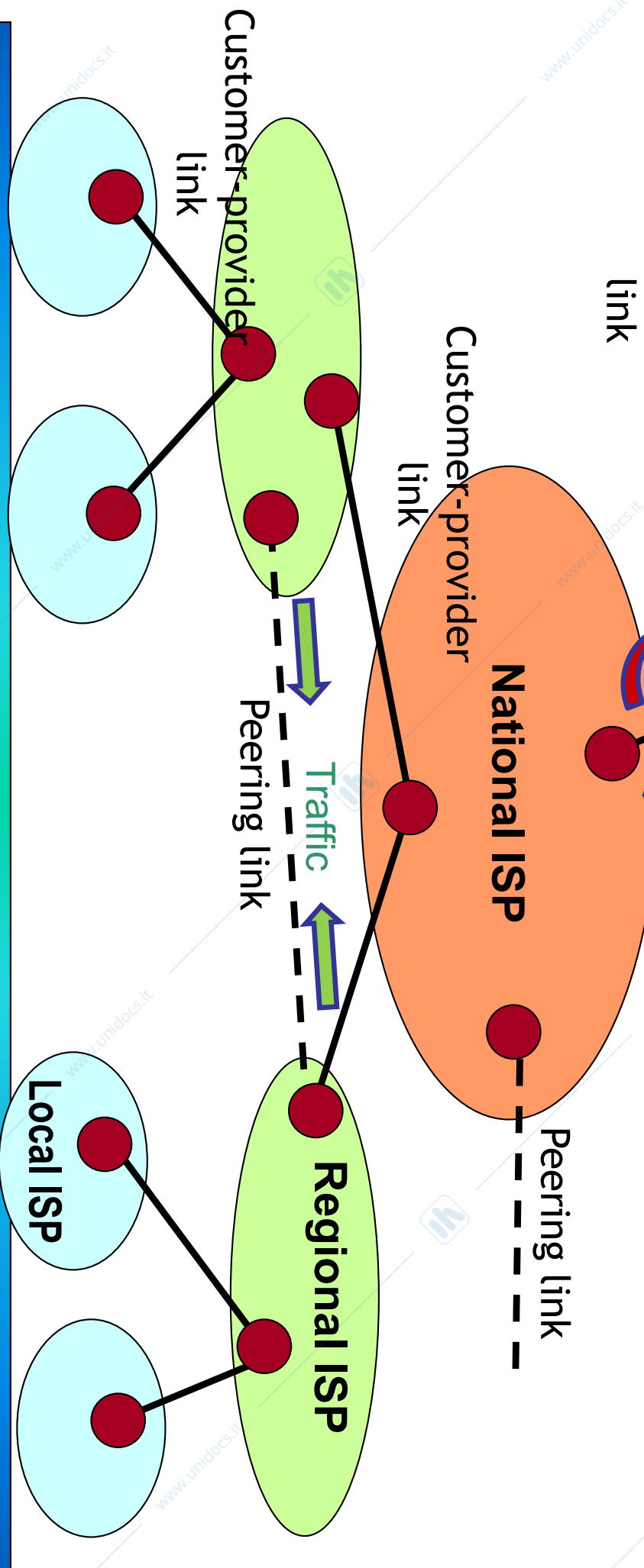
- Tipicamente gli ISP hanno una organizzazione gerarchica





Architettura Gerarchica

- Customer-provider link: rapporto commerciale cliente-fornitore
- Peering link: scambio di Service volumi di traffico

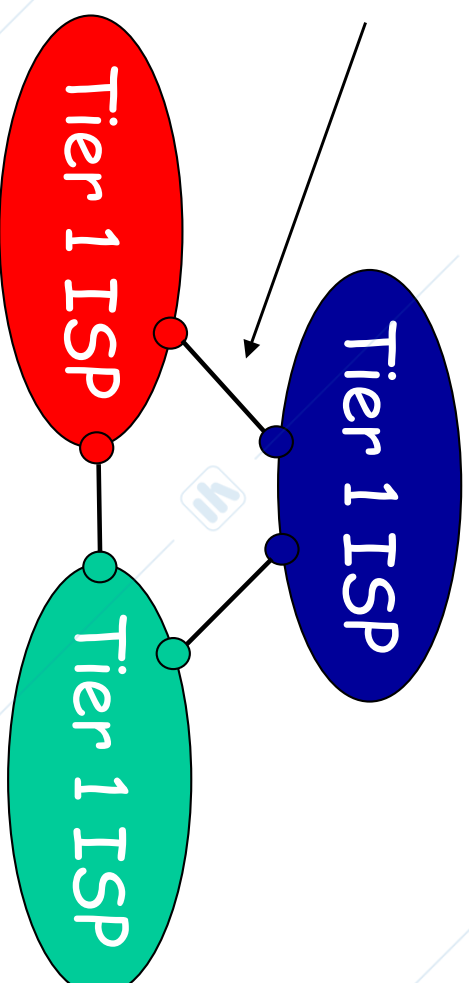


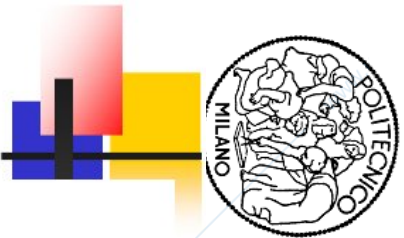


Struttura di Internet : una rete di reti

- **Al centro: “tier-1” ISPs (ad es., Verizon, Sprint, AT&T...), copertura nazionale/internazionale**
 - Tra loro si “vedono” come dei *peer*

I Tier-1 ISP si interconnettono (come *peer*) privatamente

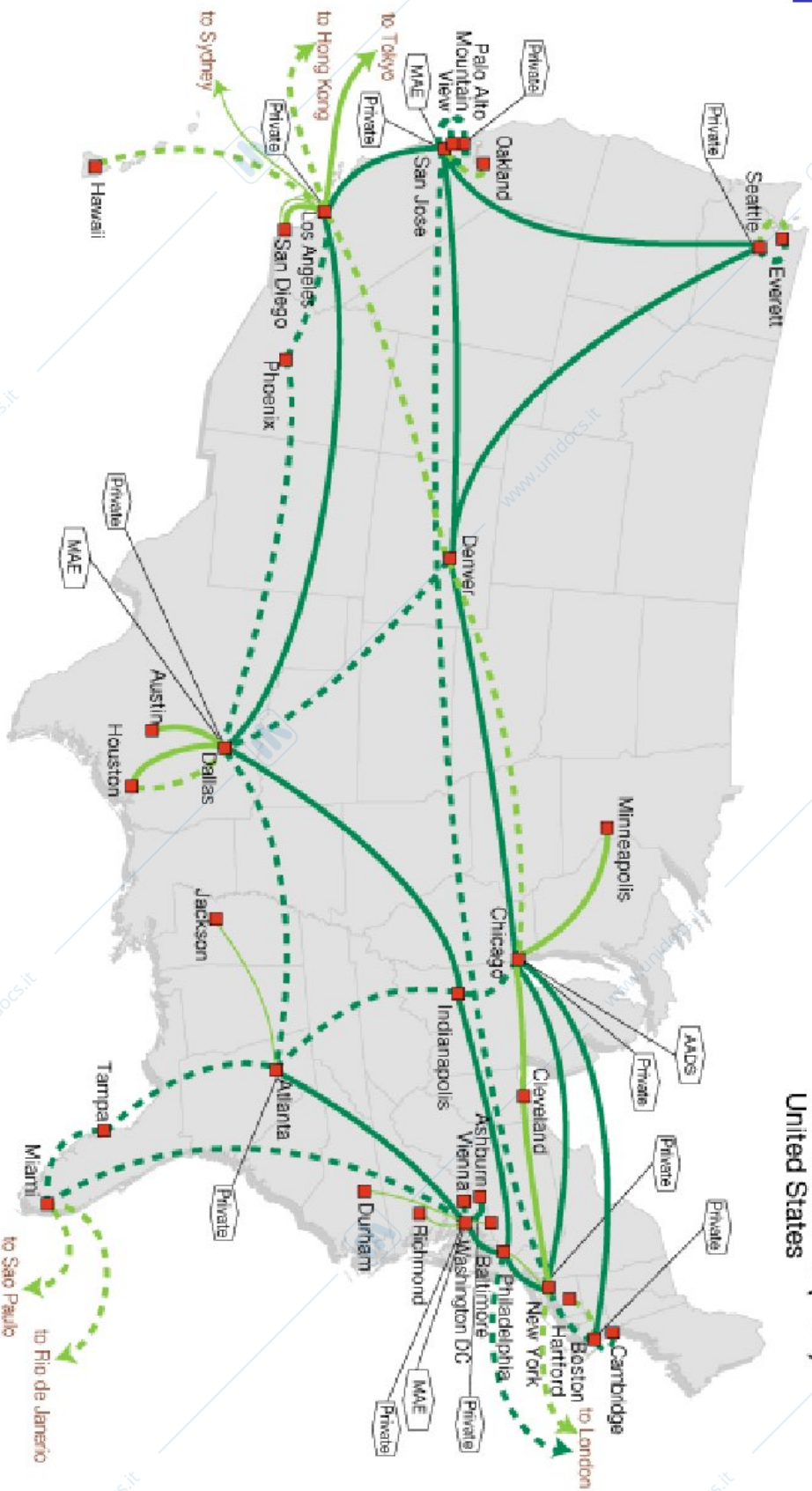




Tier-1 ISP: "Level 3"

(precedentemente "Genuity / Global Crossing")

Genuity
Dedicated Access Network
IP Backbone (AS1)
United States



Multiples of: As of 2Q02

- N x DS-3
- N x OC-3
- N x OC-12
- N x OC-48
- N x OC-192
- IP Backbone Pop
- Peering Point

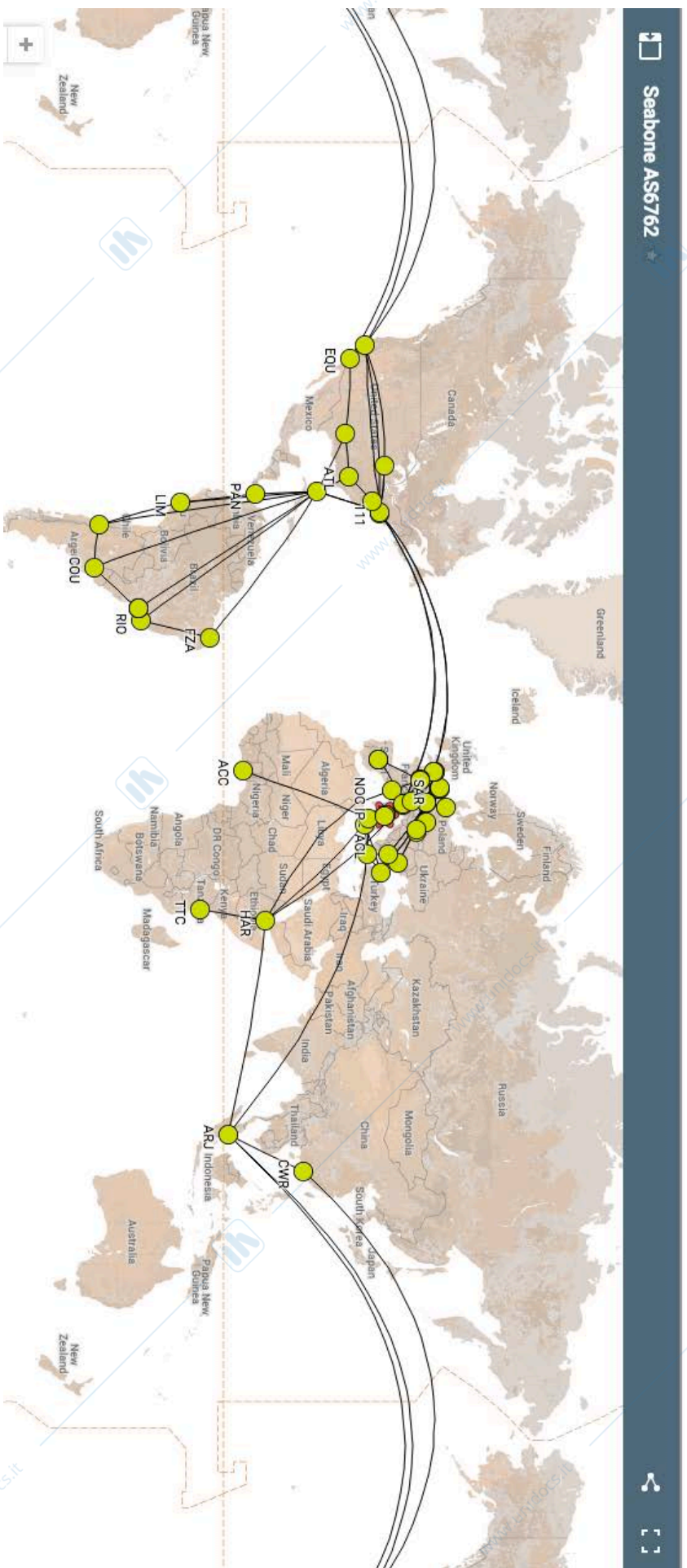
GENUITY

225 Presidential Way P.O. Box 4100 Woburn, MA 01898-4100
1-800-GENUITY Web: <http://www.genuity.com> E-mail: net-info@genuity.com
www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

The map does not guarantee service at any particular location and is subject to change without notice.
Copyright © Genuity 2002. All rights reserved. www.unidocs.it



Tier-1 ISP: Seabone (Telecom Italia Sparkle)



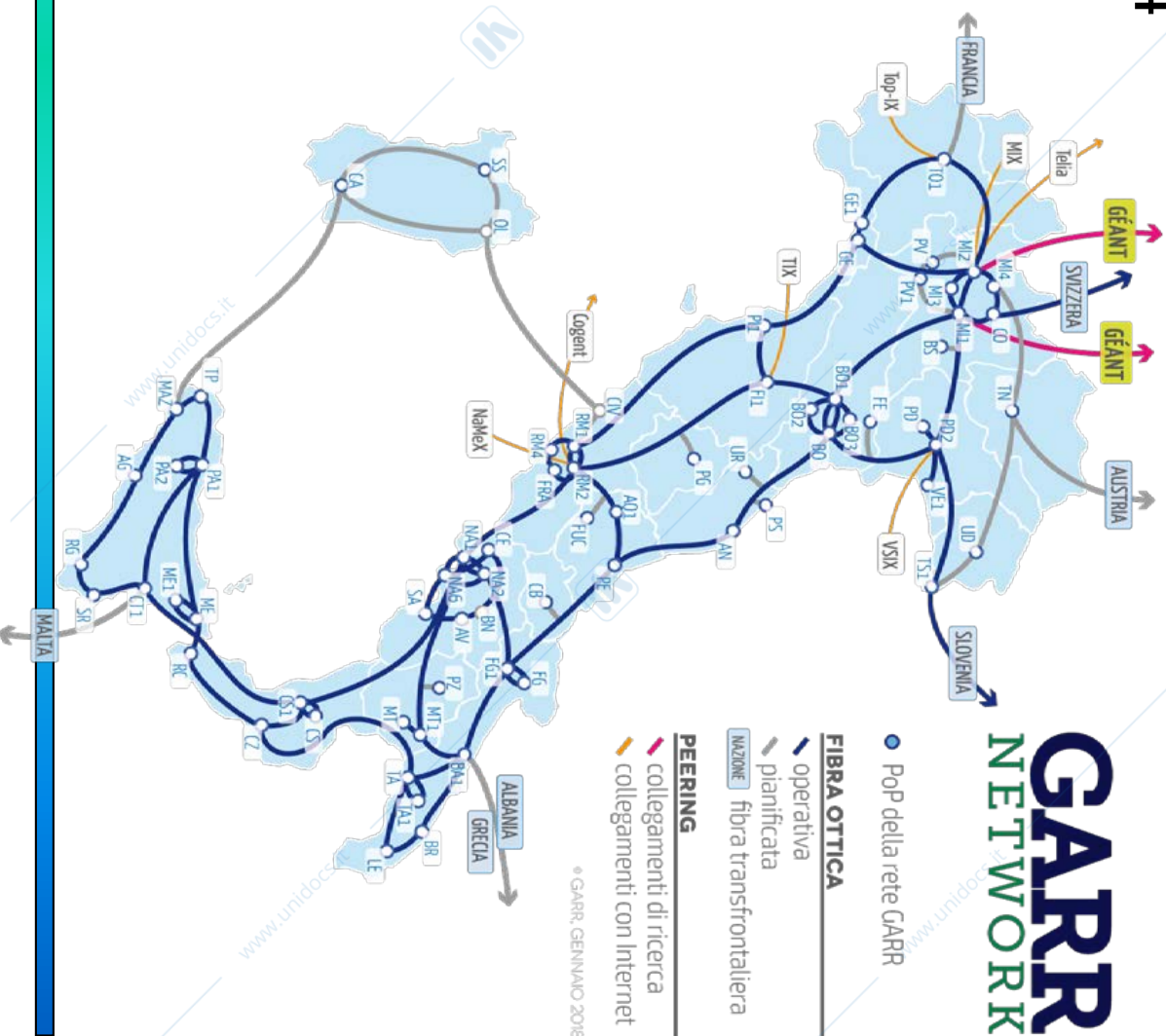
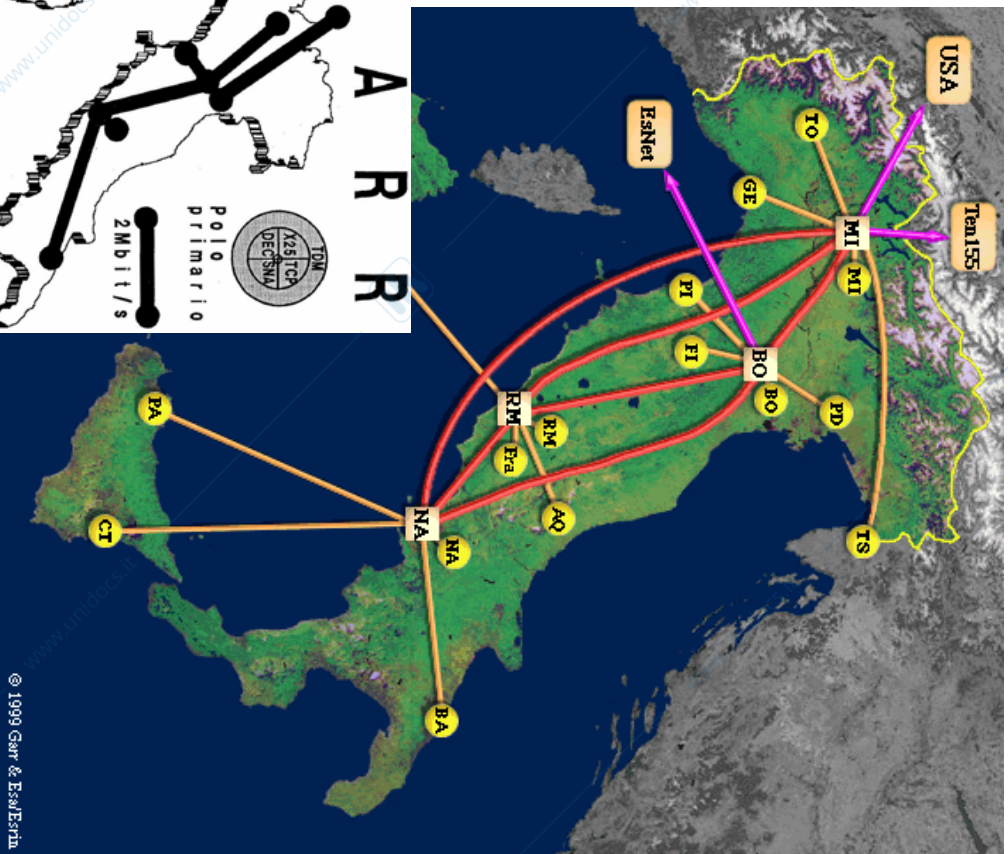
* <http://peering.seabone.net/map.html>



Esempio Italiano (Tier-2): la rete GARR

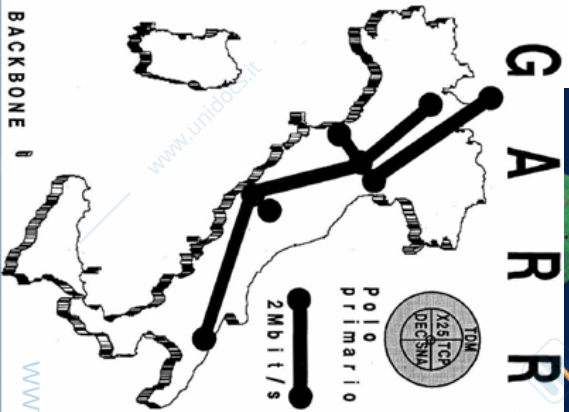
1999

2014



GARR NETWORK

- POP della rete GARR
 - FIBRA OTTICA**
 - operativa
 - pianificata
 - NAZIONE**
 - fibra transfrontaliera
 - PEERING**
 - collegamenti di ricerca
 - collegamenti con Internet
- © GARR, GENNAIO 2018



1989

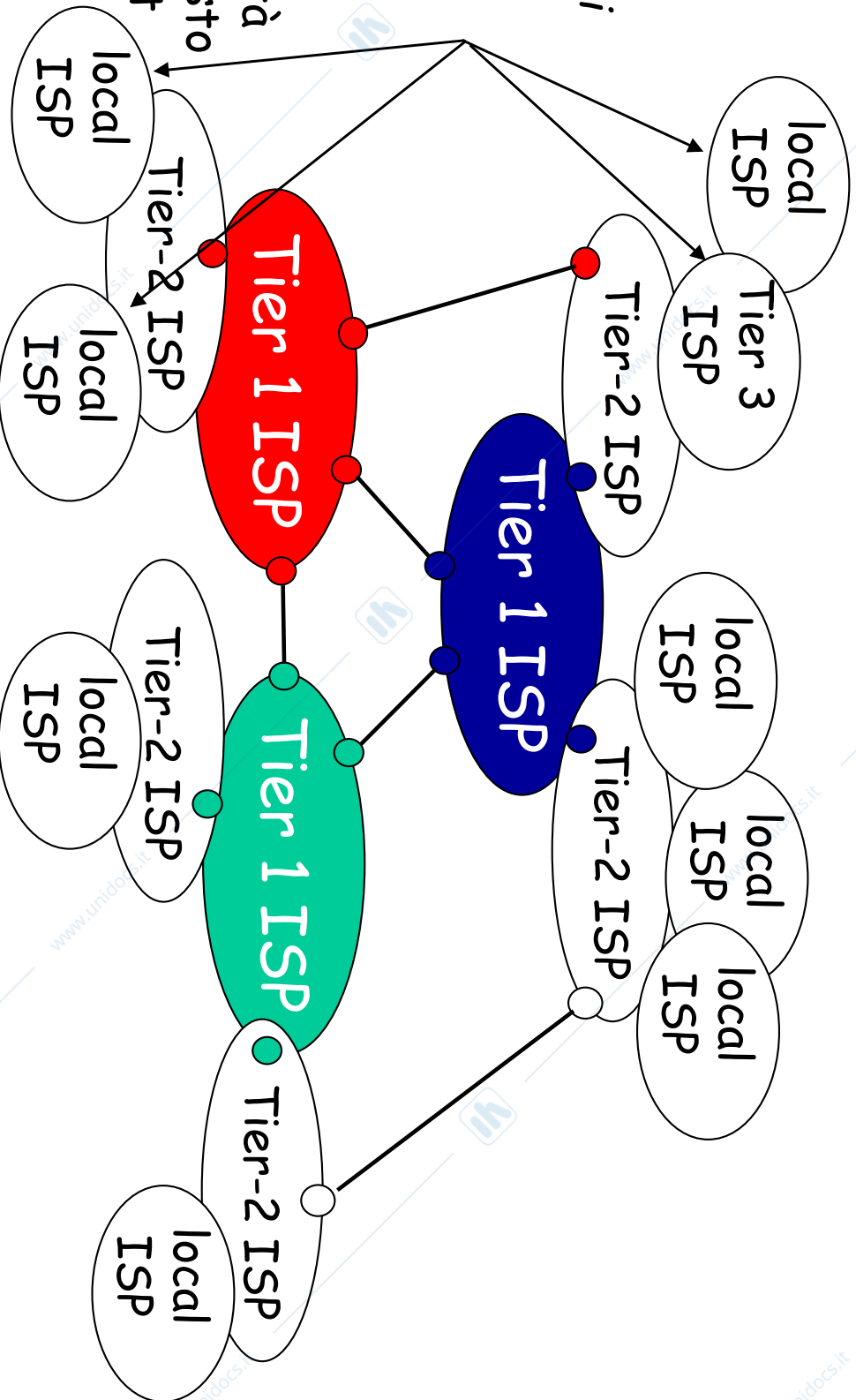
15

Struttura di Internet: una “rete di reti”

■ “Tier-3” ISPs e ISPs locali

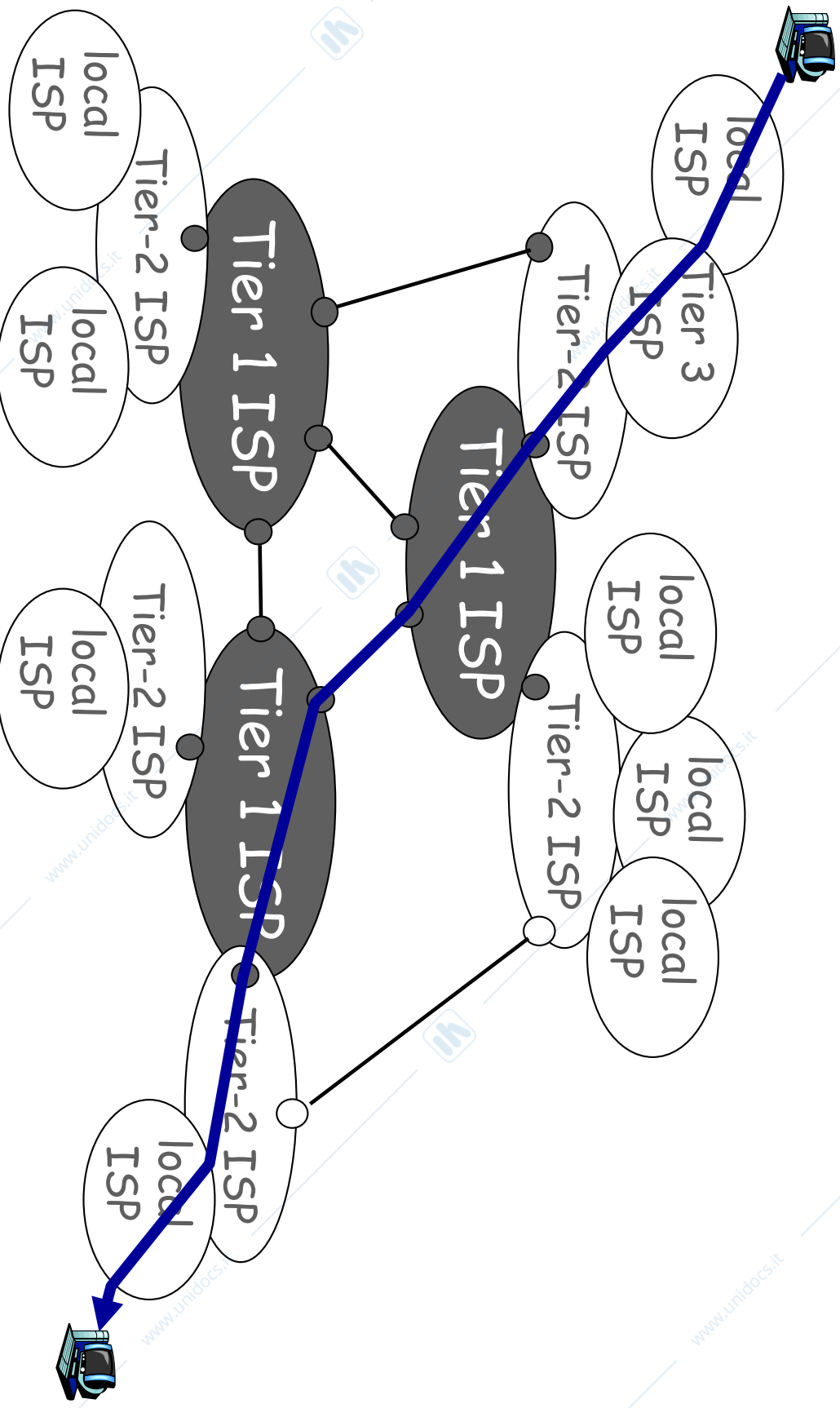
- Ultima rete (“accesso”), prossima agli utenti finali (end systems)

I tier-3 ISPs e gli ISPs locali sono *clienti* di ISP di livello più alto, i quali forniscono loro connettività verso il resto di Internet

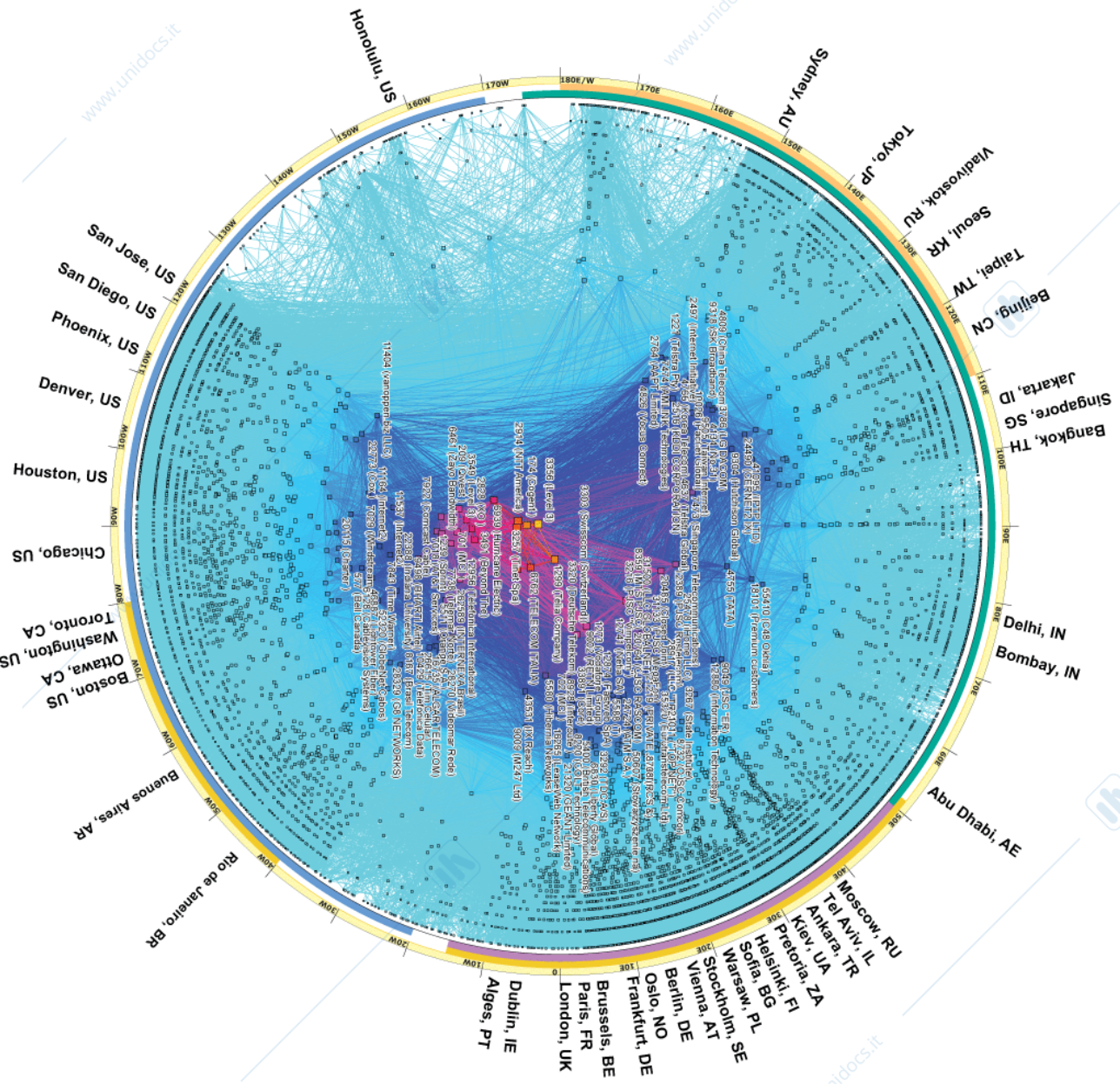


Struttura di Internet: una “rete di reti”

- Un pacchetto attraversa una molteplicità di reti DIVERSE!



- Fotografia di Internet nel 2017: 47,610 AS e 148,455 link
- Segmento = accordo di peering
- Distanza dal centro inversamente proporzionale al numero di accordi di peering (ISP ai margini hanno pochi accordi di peering)
- Posizione angolare corrispondente a posizione geografica



<http://www.caida.org>



- **Introduzione a Internet**
- **Architettura di Internet**
- **Introduzione al Livello 3**
- **Protocollo IP**
- **Prossime slide**
 - IP addressing
 - Control protocols

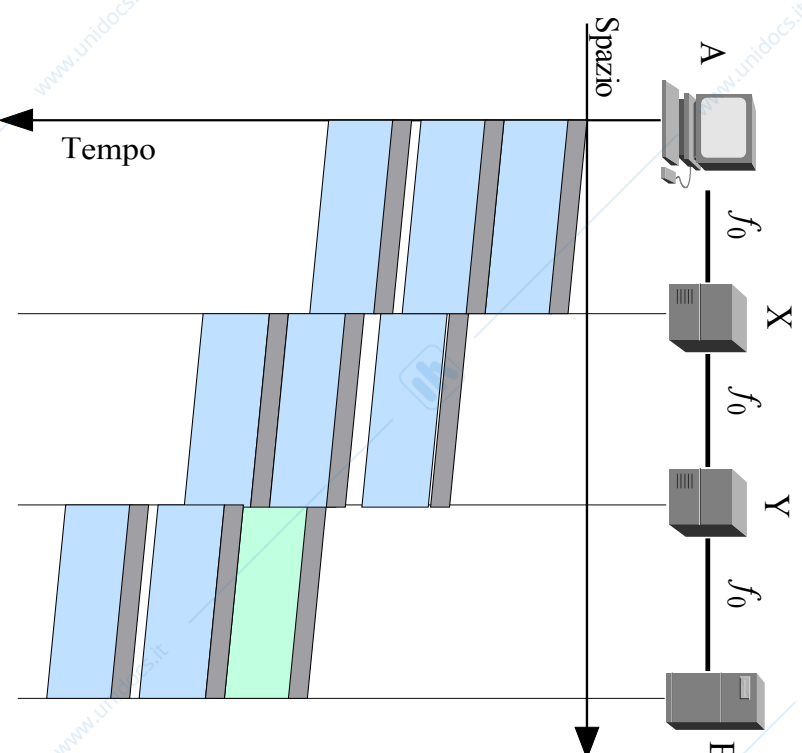


Strato di rete

- **Obiettivo: trasferire L4-PDU attraverso la rete mascherando ai livelli superiori i dettagli relativi al tipo di rete sottostante**
- **Funzioni fondamentali**
 - **Indirizzamento**
 - Identificazione univoca dell'interfaccia di rete di un *host/router*
 - **Instradamento di pacchetti**
 - Determinare i percorsi dei pacchetti dalla sorgente alla destinazione
 - **Frammentazione/Riassemblaggio**
 - **Moltiplicazione di più flussi di livello 3 su singolo collegamento di livello 2**
 - **Controllo di flusso e congestione**
 - **Intercooperazione di reti diverse**
- **Servizi forniti**
 - Datagramma
 - Circuito virtuale

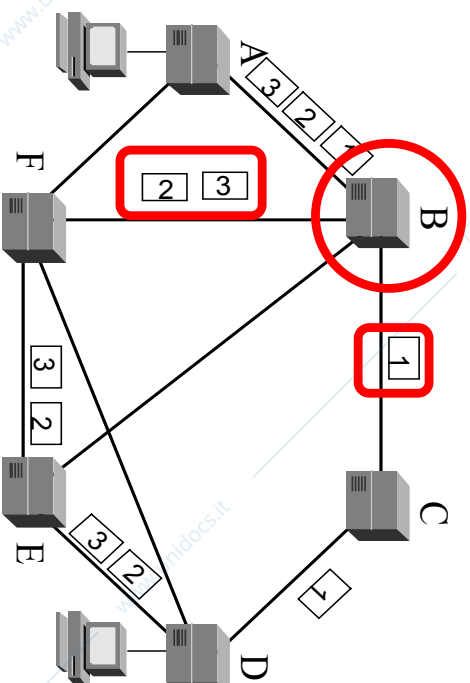
Servizio datagramma

- Unità informative (pacchetti) denominate **datagrammi**
- Attraversamento dei nodi sulla base di
 - un “indirizzo di destinazione” presente nell’header del datagramma
 - una tabella di instradamento presente in ogni nodo
- Datagramma supporta servizi “connectionless”



Servizio datagramma

Tabella di instradamento



| Destination | Next hop |
|-------------|----------|
| A | A |
| B | - |
| C | C |
| D | C |
| E | E |
| F | F |

■ **Nodo B:** **Tabella iniziale**

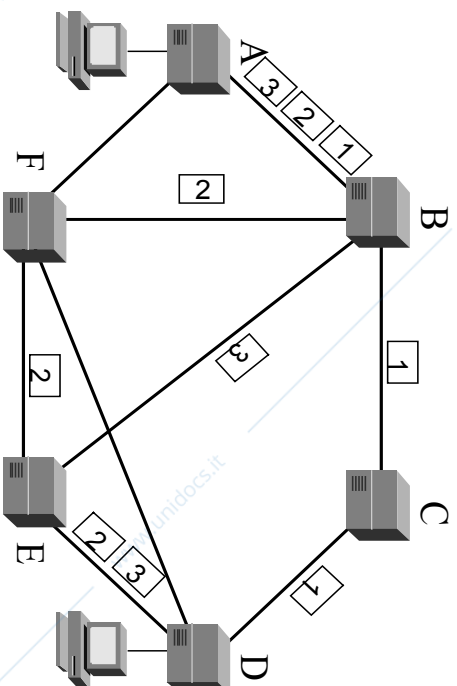
| Destination | Next hop |
|-------------|----------|
| A | F |
| B | - |
| C | C |
| D | F |
| E | E |
| F | F |

Tabella finale

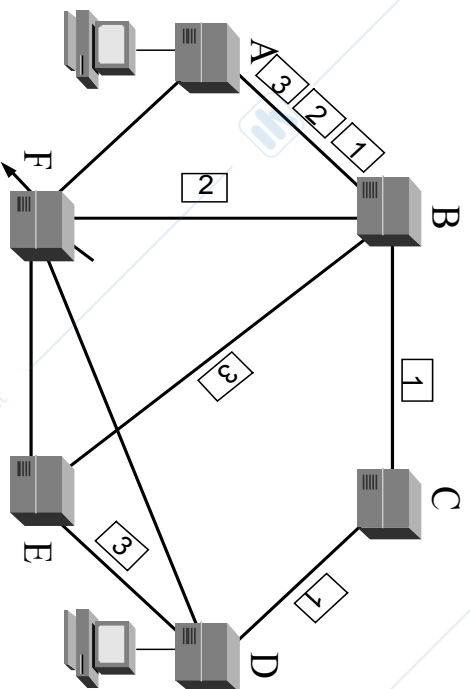


Servizio datagramma

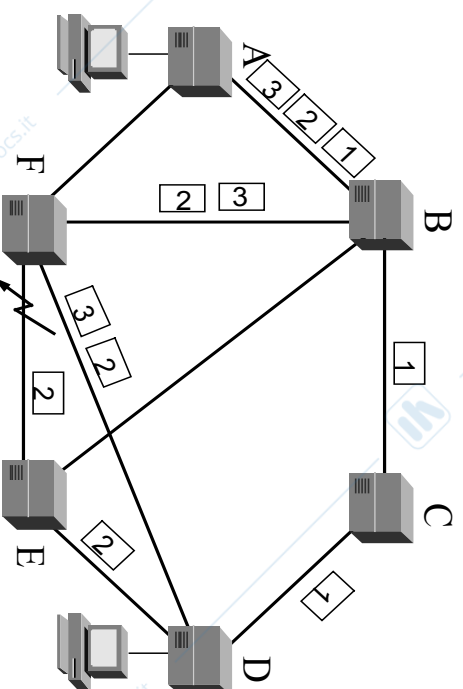
Eventi indesiderati



Fuori sequenza



Perdita



Duplicazione



Il servizio di comunicazione offerto da IP

■ IP è *Connectionless*

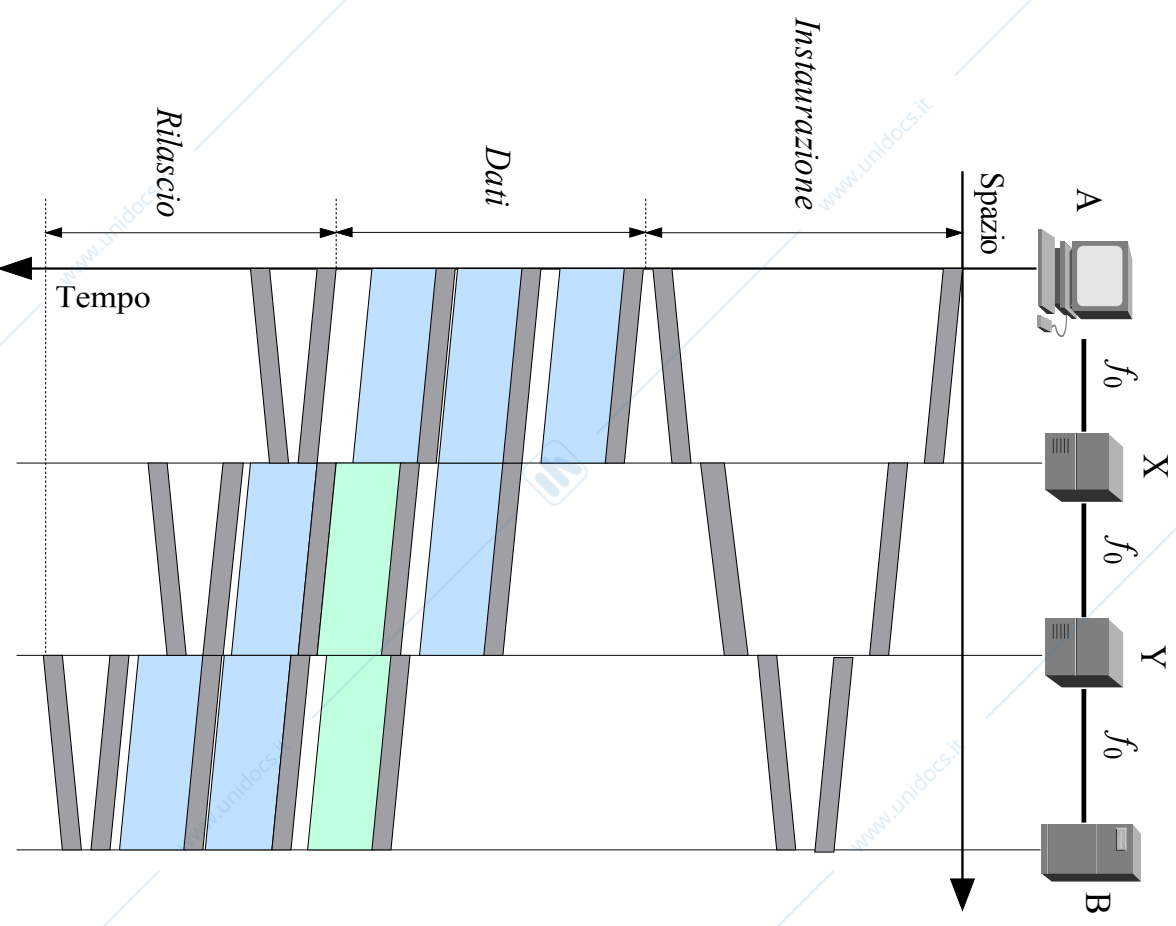
- Utilizza la *commutazione di pacchetto datagram*
- Due pacchetti (o datagrammi) destinati allo stesso host possono “essere trattati” in maniera diversa (ad esempio, possono seguire percorsi diversi in rete)

■ IP è *non affidabile*

- Consegna “*best-effort*” dei datagrammi senza garanzia di successo
- La richiesta di ritrasmissione dei pacchetti persi è demandata ai livelli superiori

Servizio circuito virtuale

- **Unità informative denominate pacchetti**
- **Fase di segnalazione precede la fase dati**
- **Attraversamento dei nodi delle unità dati sulla base di**
 - Una “etichetta di destinazione” presente nell’header del pacchetto (ID di circuito virtuale)
 - Una tabella di inoltro presente in ogni nodo
- **Circuito virtuale supporta servizi “connection-oriented”**
 - Nella pratica, questo approccio è implementato in un protocollo chiamato MPLS





- **Introduzione a Internet**
- **Architettura di Internet**
- **Introduzione al Livello 3**
- **Protocollo IP**
- **Prossime slide**
 - IP addressing
 - Control protocols



Architettura di protocolli TCP/IP

Application layer

Transport layer

Network layer

(Data-link layer)
(non specificato in Internet)

| | | | | | | |
|----------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| Telnet | HTTP | FTP | SMTP | BGP | SNMP | RIP |
| TCP | | | | UDP | | |
| ICMP | OSPF | IP | | ARP | RARP | |
| Network access | | | | | | |

- **IP: protocollo per trasferire i dati d'utente**
- **Protocolli di segnalazione per supportare il trasferimento dati: ICMP, ARP, RARP, OSPF, RIP, BGP ...**

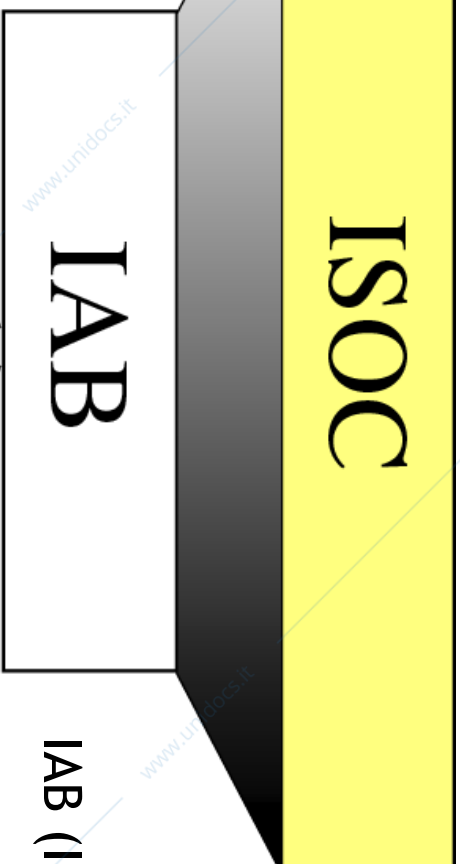


INTERNET Management

ISOC (Internet Society)

Founded in 1992 by Vinton Cerf, Robert Kahn, Jon Postel and other Internet pioneers, mainly as legal and financial framework for IETF

SG = Steering Group
WG = Working Group
RG = Research Group



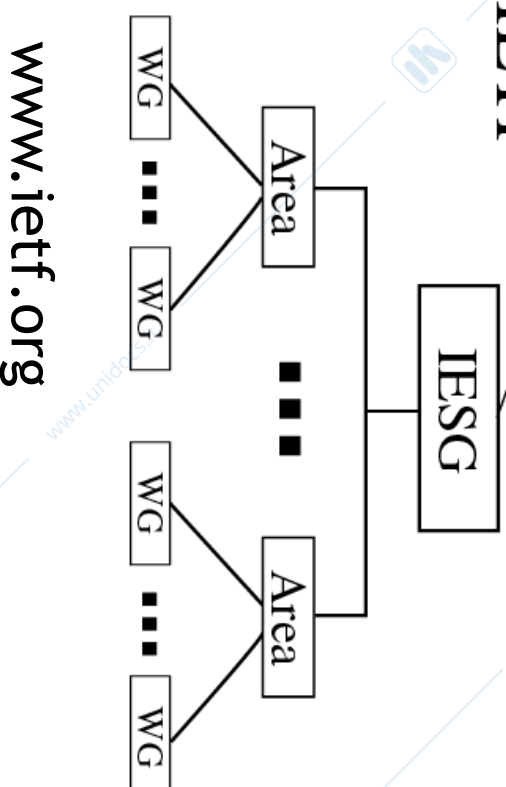
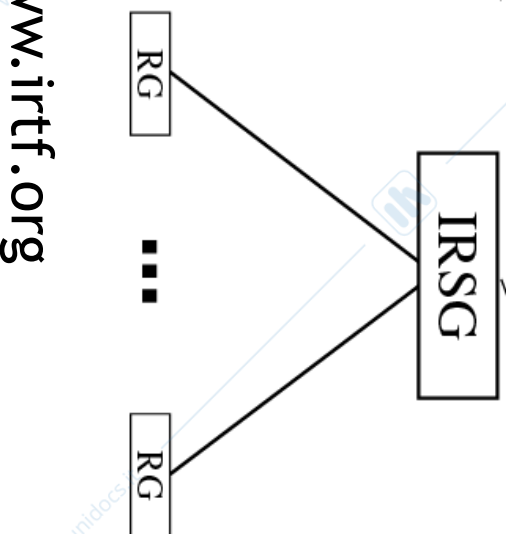
IAB (Internet Architecture Board)

IRTF (Internet Research Task Force)

IETF (Internet Engineering Task Force)

IRTF

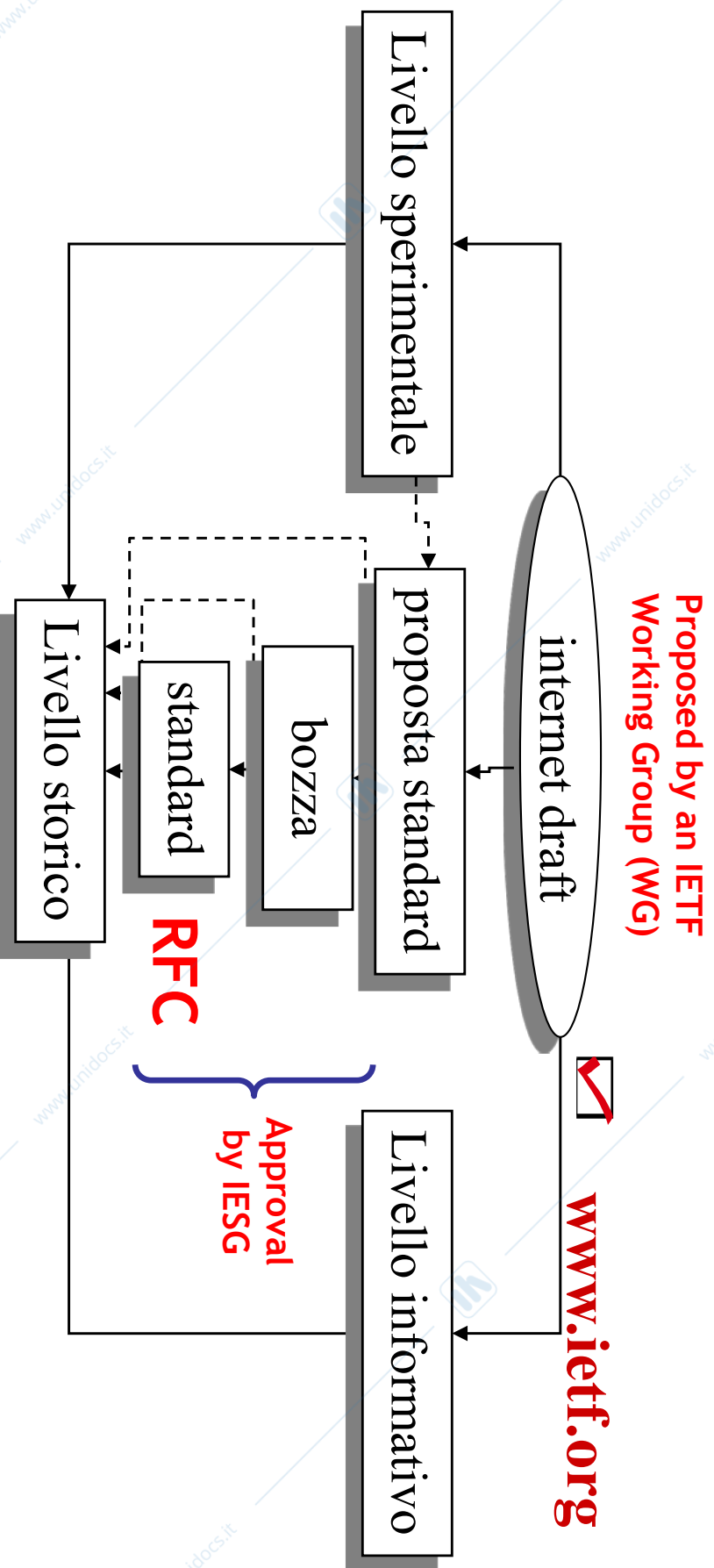
IETF





Gli standard Internet

- Gli standard di Internet sono documenti pubblici denominati RFC (*Request For Comments*)
- L'organismo che coordina la stesura degli RFC è l'IETF (*Internet Engineering Task Force*)





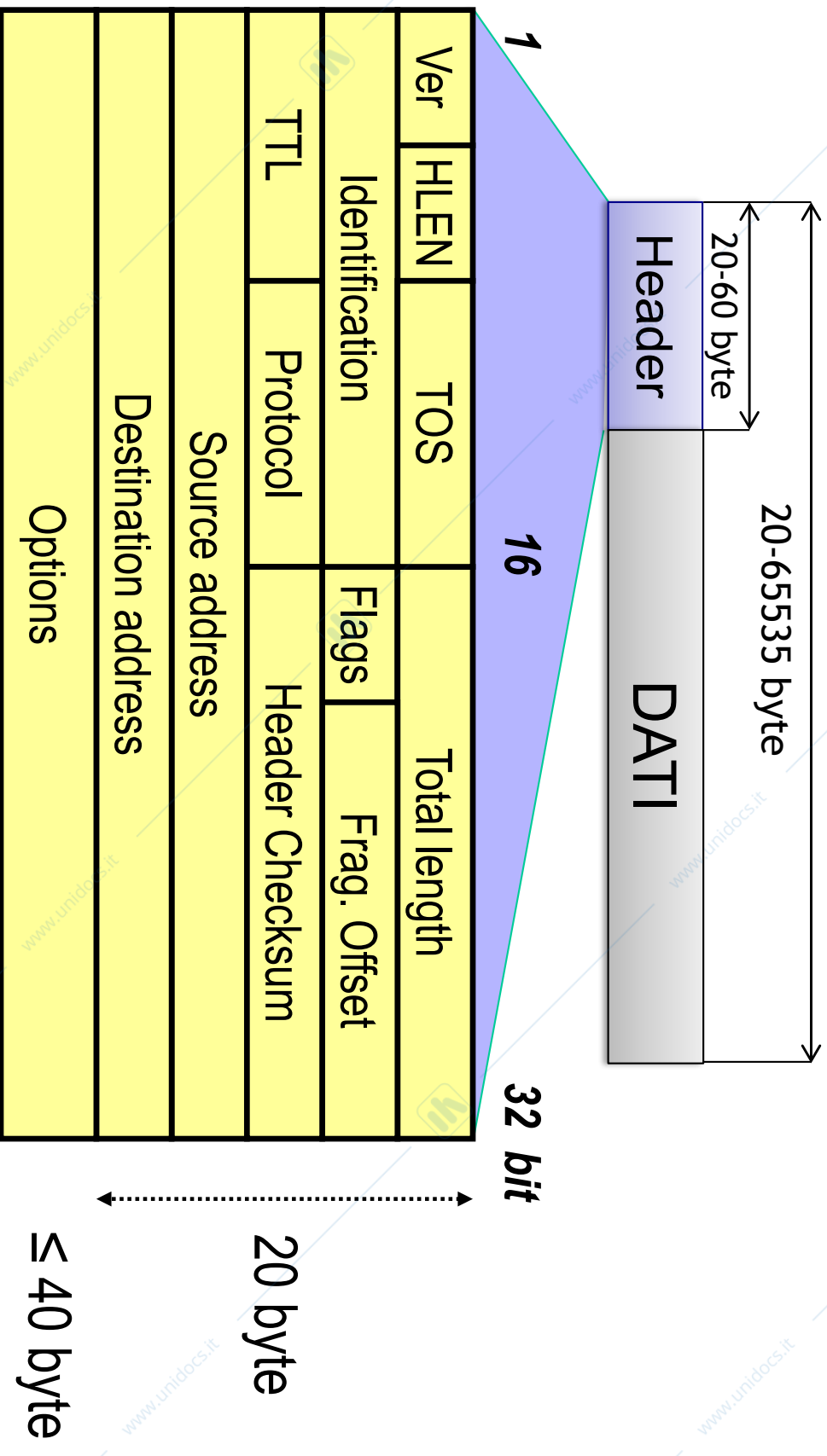
Dove trovare uno Standard

The screenshot shows the IETF Home Page in Mozilla Firefox. The browser's address bar displays the URL <http://www.ietf.org/index>. The page title is "IETF Home Page - Mozilla Firefox". The browser's menu bar includes File, Edit, View, Go, Bookmarks, Tools, and Help. The browser's toolbar contains icons for Search, Teaching, Papers, Research projects, Technical topics, News, Personals, My pages, Useful links, Other links, and PC & PDA. The page content features the IETF logo, which consists of a yellow zigzag line on a grey background, with the letters "I E T F" below it. The main heading is "The Internet Engineering Task Force". Below the heading, there are two columns of links. The left column includes: [Overview of the IETF](#), [The Internet Standards Process](#), [IETF Working Groups](#), [WG Chairs Web Page](#), [Internet Drafts](#), [RFC Pages](#), and [Educational Materials](#). The right column includes: [IESG Activities/Actions](#), [Meetings](#) (with a star icon), [Proceedings](#), [IETF Liaison Activities](#), [IETF IPR Disclosure Page](#), and [The NomCom](#). A link for [IETF Mirror Sites](#) is located at the bottom right of the page. The browser's status bar at the bottom shows "Done".

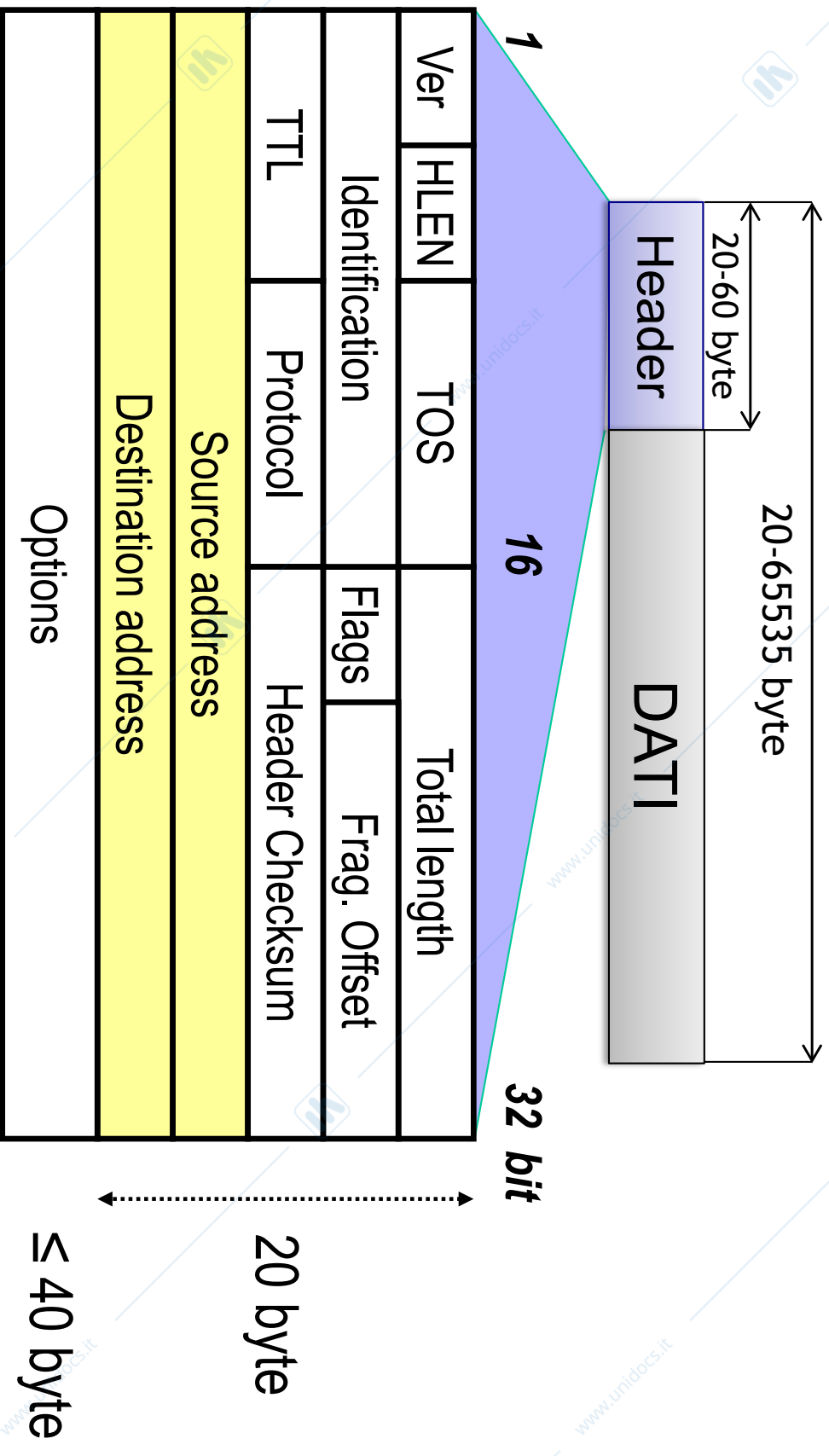


Formato del datagramma IP

- I datagrammi IP o pacchetti sono composti da IP payload (UI del livello di trasporto) + IP header



I campi dell'header IP



- **IP source/destination address (32 bit ciascuno):** indirizzo IP dell'host/router che ha originato il pacchetto (source) o al quale è destinato il pacchetto (destination)



I campi dell'header IP

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- **Ver (4 bit):**
 - *Version*: indica la versione del protocollo (IPv4 o IPv6).
 - Se il campo *Ver* non corrisponde alla versione del protocollo implementata sul router ricevente, il pacchetto viene scartato.
- **HLEN (4 bit)**
 - *Header length*: indica la lunghezza dell'header del pacchetto espressa in parole da 32 bit
 - max = 15 (60 byte/4); min = 5 (= 20 byte/4)
- **Total length (16 bit):**
 - Indica la lunghezza totale del pacchetto in byte
 - Valore massimo $2^{16}-1=65535$
 - Una volta sottratta la dimensione dell'header dà la lunghezza del payload

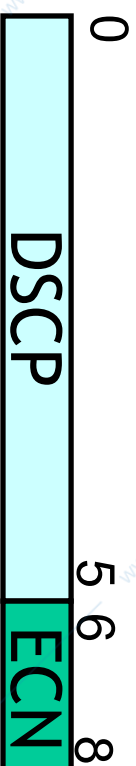


I campi dell'header IP

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- **TOS type of service (8 bit)**

- In origine definiva priorità dei pacchetti
- Ha subito diversi cambi di significato nel tempo, sempre legati alla gestione del pacchetto nelle code dei router
- Il più recente è:



- Differentiated Services Code Point**

- Default (0)
- Expedited Forwarding / Voice Admit (Basso Ritardo)
- Assured Forwarding (Differenti mix di classe di priorità di servizio e precedenza in caso di dropping per congestione)
- Class selector (8 classi di servizio)

- Explicit Congestion Notification**

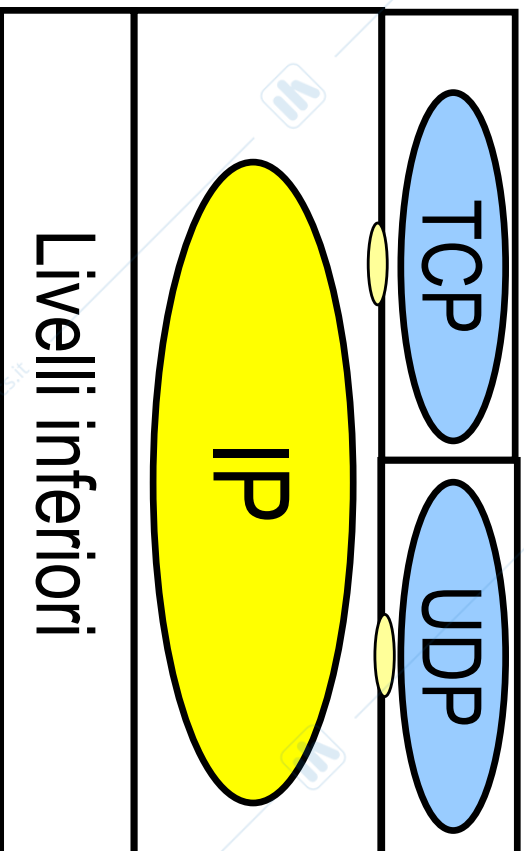
- Usato nei router per segnalare al ricevente un'imminente congestione nel nodo (e conseguente drop dei pacchetti)



I campi dell'header IP

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- **Protocol (8 bit)**
 - Codice che indica il protocollo di livello superiore
 - Più protocolli di livello superiore possono usare IP (multiplicazione)!
 - Il codice identifica il SAP (*Service Access Point*) tra IP e il protocollo di livello superiore



| Valore | Protocollo |
|--------|------------|
| 1 | ICMP |
| 2 | IGMP |
| 6 | TCP |
| 17 | UDP |
| 89 | OSPF |



I campi dell'header IP

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- **Time To Live (8 bit)**
 - Contatore che consente lo scarto di datagrammi “persi”
 - Specifica la massima “vita” di un datagramma
 - Massimo valore (8 bit): $2^8 - 1 = 255$
 - Viene decrementato di 1 ad ogni “hop” su ciascun router
 - Datagramma scartato non appena TTL = 0

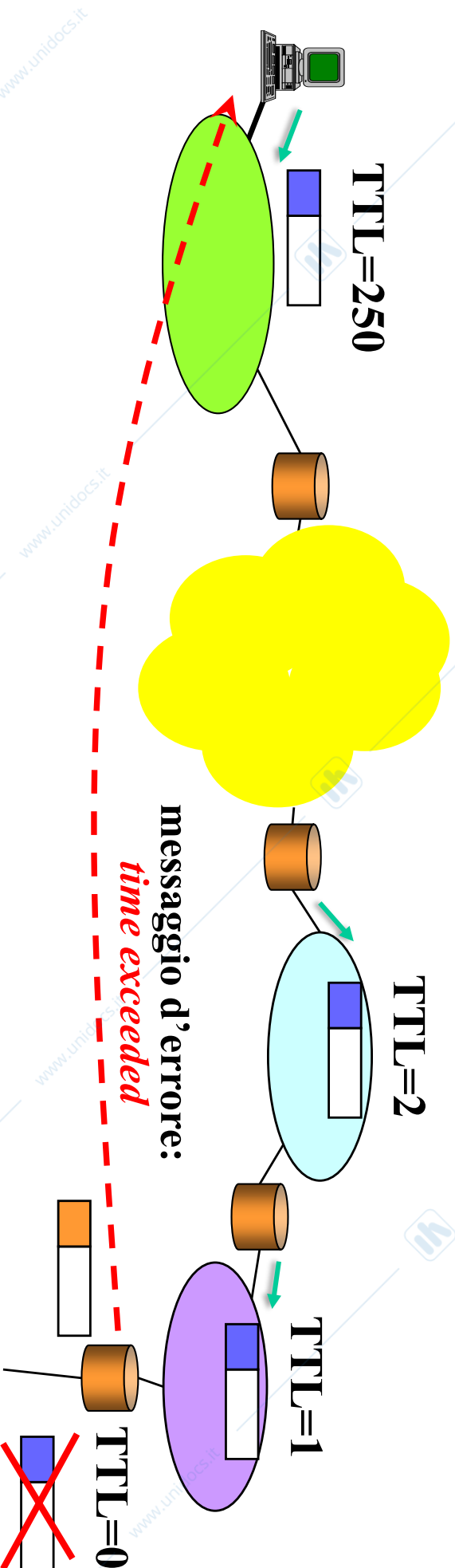


I campi dell'header IP

(TTL Continued)

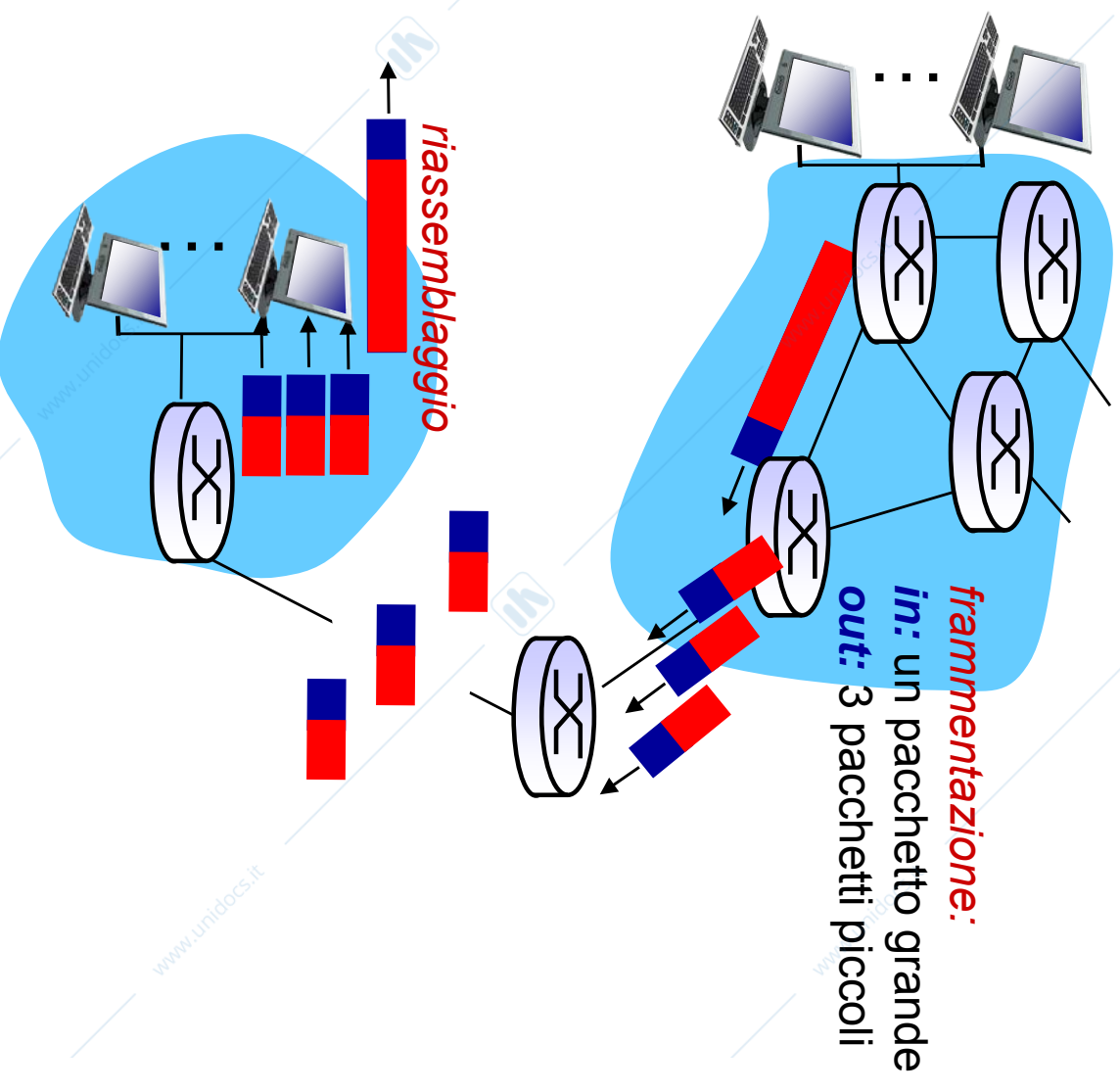
| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- Se un router decrementa il valore e questo va a zero, il pacchetto viene scartato e viene generato un messaggio di errore verso la sorgente
 - NOTA: TTL decrementato in uscita dal router
 - Se un pacchetto arriva a destinazione con TTL=1 non viene scartato



Frammentazione e riassemblaggio

- Esiste un limite alla dimensione delle trame di livello 2 detto MTU (Maximum Transmission Unit)
 - Diversi link hanno diversi MTU
 - Questo costringe a dividere un datagram IP troppo lungo per stare in una sola trama (UI di liv. 2) in più “frammenti”
 - Frammentare comporta aumento di overhead
 - Ogni frammento viene trattato come un datagram a sé stante
 - I frammenti vengono ri-
- assemblati dalla destinazione



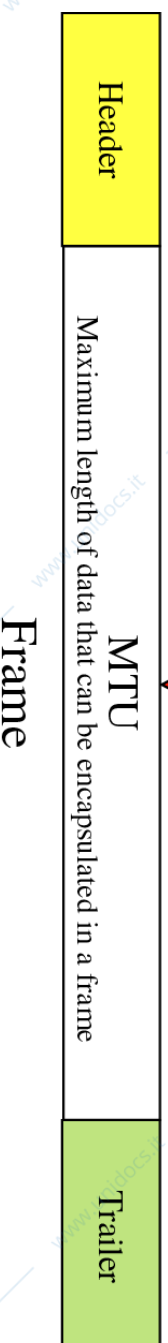
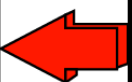


Frammentazione e riassetblaggio

- Il pacchetto IP (liv. 3) è trasportato in una trama (liv. 2)
 - La limitazione sul payload massimo della trama (MTU) del livello 2 può provocare la frammentazione (e conseguente ricostruzione alla destinazione) del pacchetto di livello 3

| Rete | MTU (byte) |
|------------------------|------------|
| Maximum | 65.535 |
| Default | 576 |
| FDDI | 4352 |
| Ethernet/Fast Ethernet | 1500 |
| PPPoE | 1492 |
| PPP (low delay) | 296 |

IP datagram



Lunghezza Ethernet frame: [64, 1518] byte (lunghezza min 64 byte, header = 18 byte)



I campi usati per la frammentazione (1)

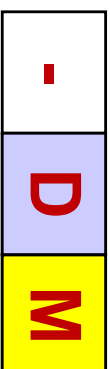
| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLEN | TOS (DS) | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

- **Identification (16 bit)**
 - Campo che identifica tutti i frammenti di uno stesso pacchetto in modo univoco
 - N.B: Identification è usato anche in pacchetti non frammentati
 - Scelto dal router che effettua la frammentazione
- **Fragment Offset (13 bit)**
 - I byte del pacchetto originale sono numerati da 0 al valore della lunghezza totale. Il campo *Frag. Offset* di ogni frammento riporta il numero di sequenza del primo byte trasportato nel frammento (in parole da 8 byte)
 - *Esempio*: se un pacchetto di 2000 byte viene diviso in due da 1000 il primo frammento avrà un *Frag Offset* pari a 0 e il secondo pari a $1000/8=125$



I campi usati per la frammentazione (2)

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLLEN | TOS (DS) | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |

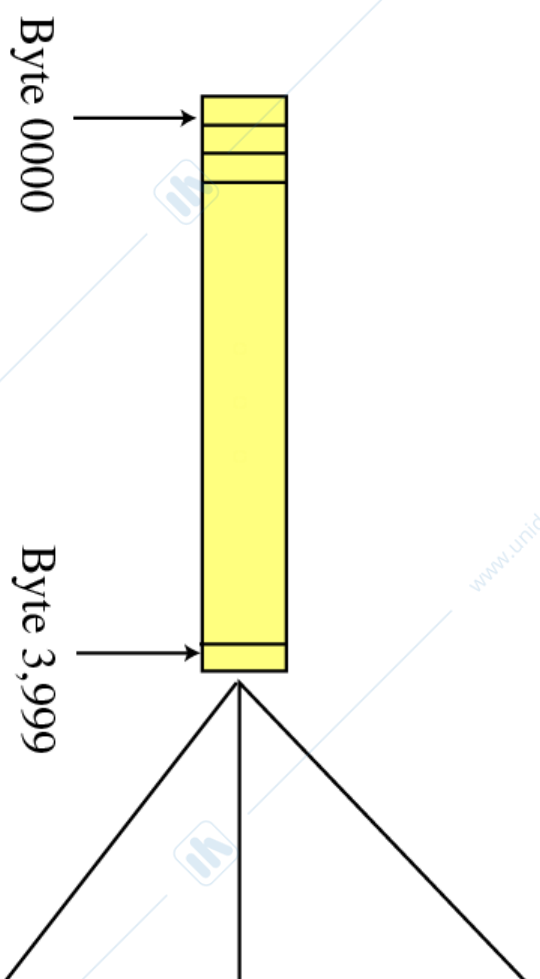


- **Flags (3 bit)**
 - Il bit M (*More fragments*) è pari a 0 solo nell'ultimo frammento
 - Il bit D (*Do not fragment*) viene posto a 1 quando non si vuole che lungo il percorso venga applicata la frammentazione
 - In questo caso, se la frammentazione fosse necessaria, il pacchetto sarebbe scartato e verrebbe generato un messaggio di errore



Esempio frammentazione (1)

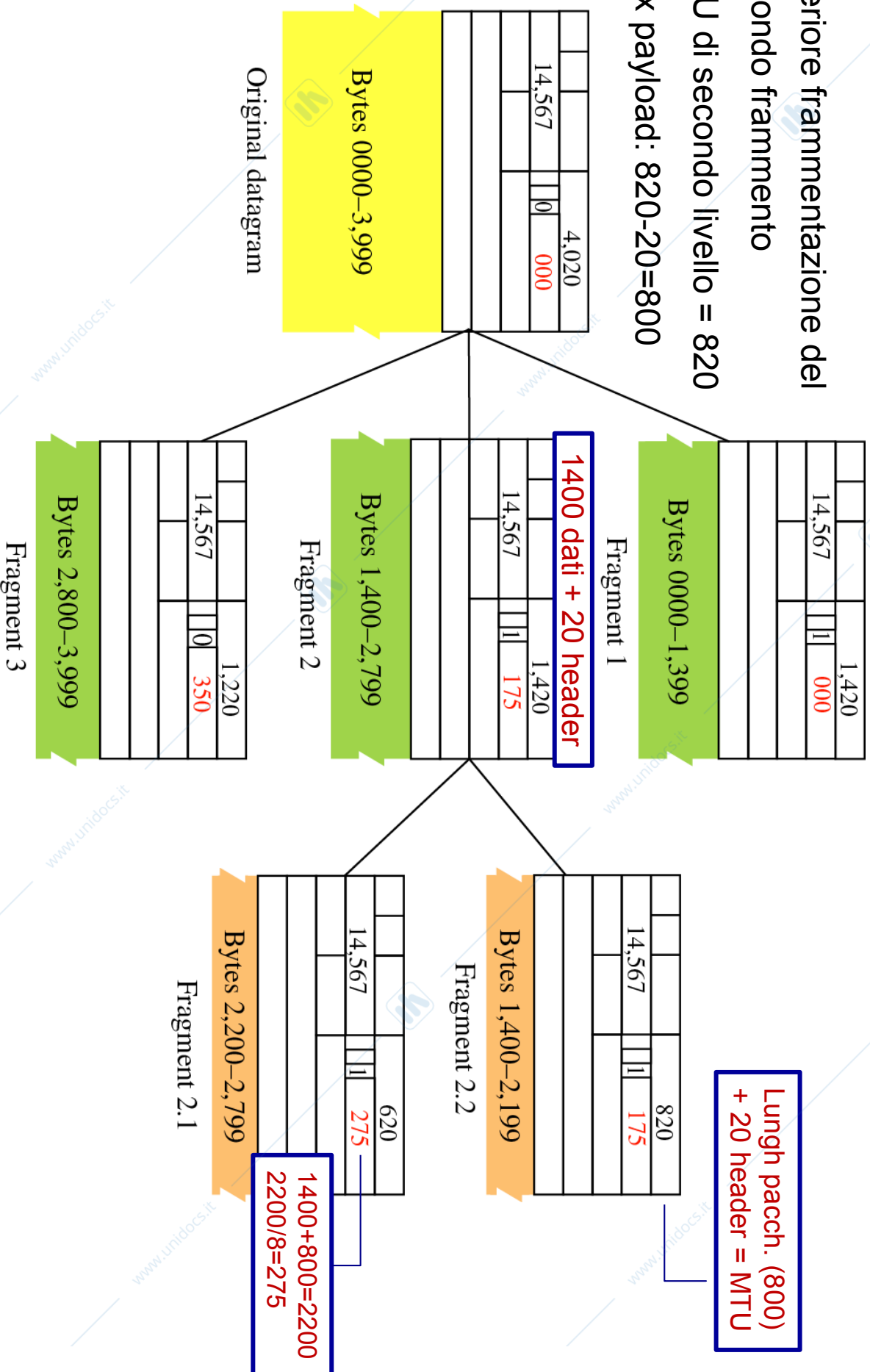
- Se MTU = 1420 byte
- Se non ci sono options, la dimensione massima del payload è MTU – (IP header) = 1400 byte





Esempio frammentazione (3)

- Ulteriore frammentazione del secondo frammento
- MTU di secondo livello = 820
- Max payload: $820 - 20 = 800$





I campi dell'header IP

- **Header checksum (16 bit)**

- Codice a rivelazione d'errore
- Fornisce protezione sul solo header IP

| | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|--------------|--|
| Ver | HLLEN | TOS | Total length | |
| Identification | | Flags | Frag. Offset | |
| TTL | Protocol | Header Checksum | | |
| Source address | | | | |
| Destination address | | | | |
| Options | | | | |
| Options | | | | |
| ... | | | | |
| Options | | | | |
| padding | | | | |

- **Options (variabile)**

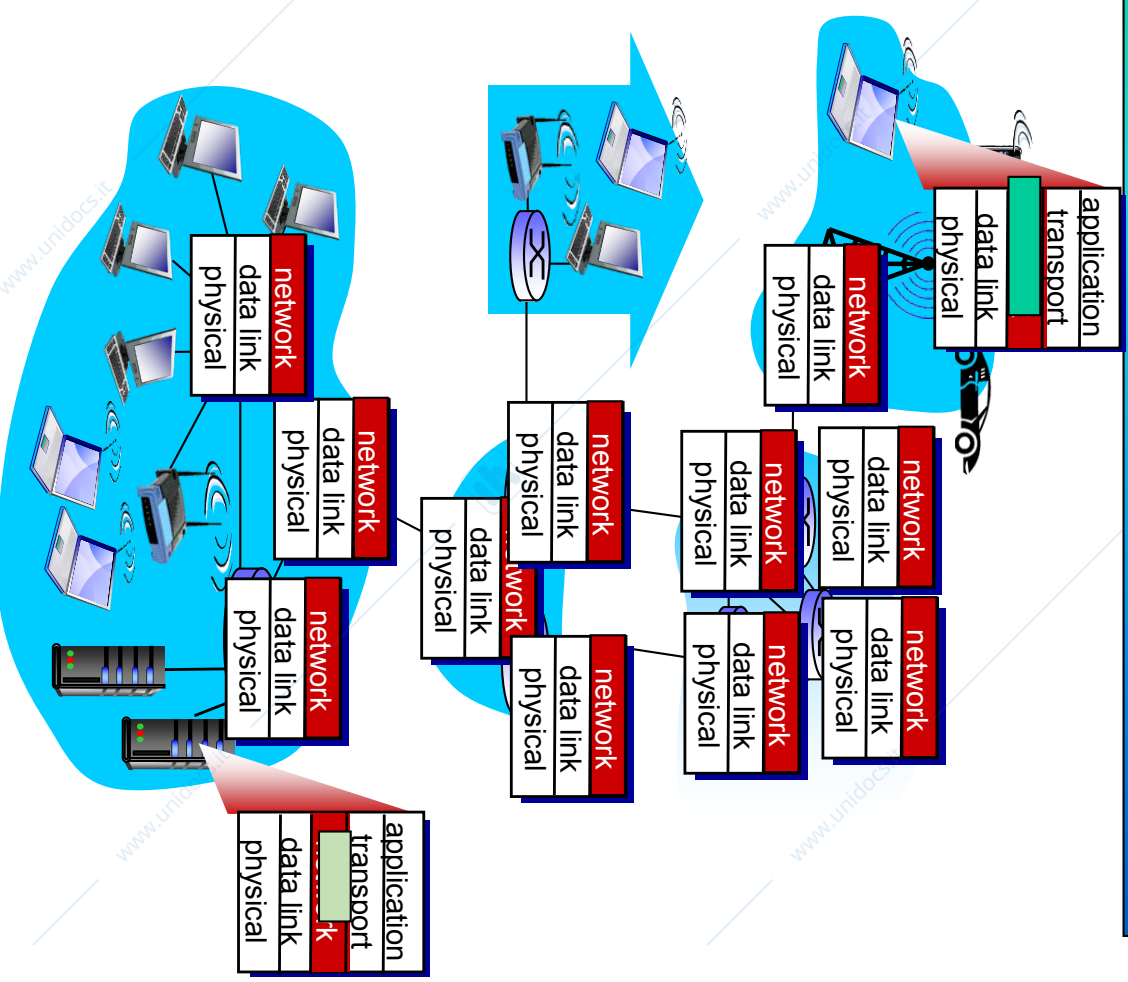
- La parte iniziale dell'header IP è di 20 byte ed è sempre presente
- Campi opzionali possono allungare l'header di ulteriori 40 byte (per un totale di 60 byte di header)
- Originariamente pensate per *Testing e Debugging*
 - Record Route, Timestamp, Source Routing, etc.
- Ora raramente usate, anzi tipicamente filtrate dai router perché considerate a rischio sicurezza

- **Padding**

- Usato per ottenere header IP di lunghezza multiplo di 32 bit

Ricapitolando: trasferimento di pacchetti tra host

- I segmenti dello strato di trasporto vengono trasferiti dallo strato di rete dall'host sorgente all'host destinazione
 - Lato sorgente, vengono incapsulati in **datagrammi IP**
 - I datagrammi vengono inoltrati **hop-by-hop** fino a destinazione
 - I **router** esaminano i campi dell'**header** di ciascun datagramma che li attraversa
 - A destinazione, i segmenti (payload delle UI di liv. 3) sono consegnati allo strato di trasporto





■
FINE



Un po' di storia – la nascita di Internet: anni '60

- **1960: Paul Baran propone al Pentagono la rete mesh a commutazione di pacchetto (più sicura della rete telefonica)**
- **1961: Leonard Kleinrock (UCLA) dimostra l'efficacia della commutazione di pacchetto grazie alla teoria delle code**
- **1967: Lawrence Roberts, direttore di ARPA (Advanced Research Projects Agency) dà il via ad ARPAnet**
 - 1969: primo nodo di IMP (Interface Message Processor) S&F di ARPAnet a UCLA (Minicomputer Honeywell connessi a 56 kbit/s)



Leonard Kleinrock



Interface Message Processor (IMP)



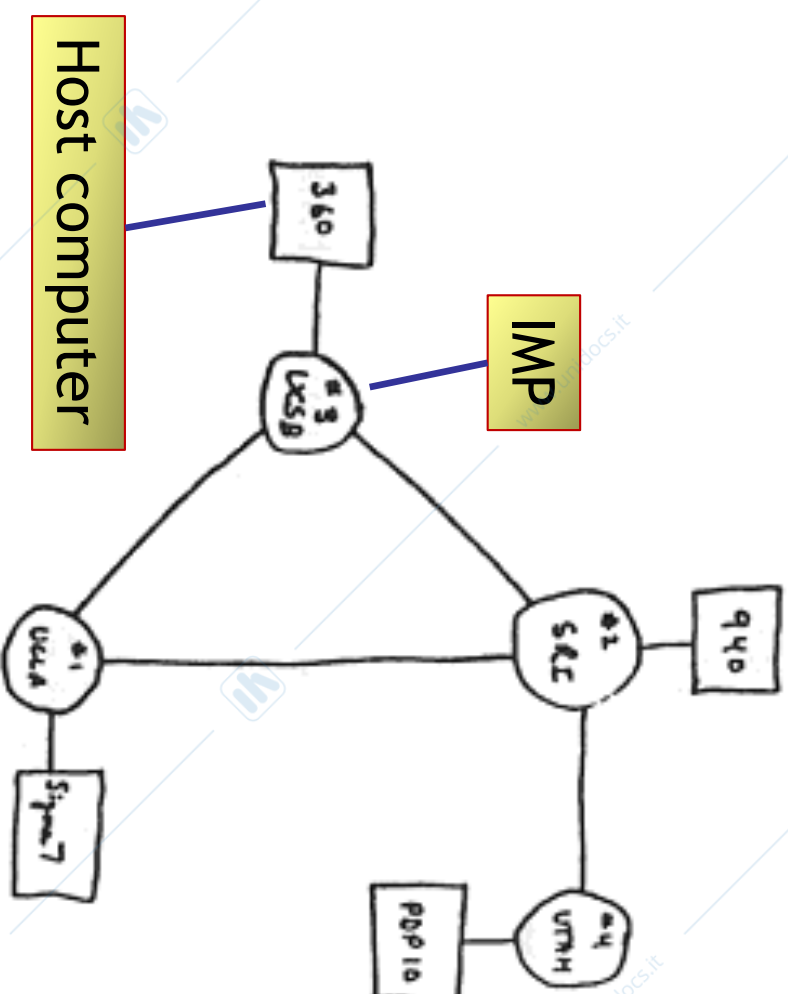
Lawrence Roberts



La nascita di Internet: anni '60



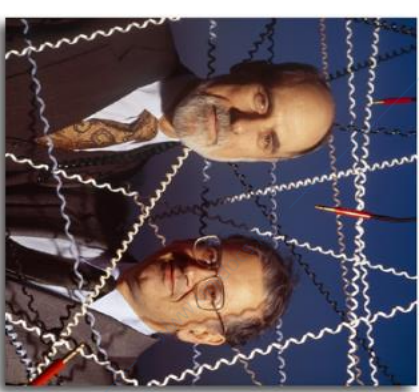
Leonard Kleinrock davanti ad un IMP (l'antenato del router IP)



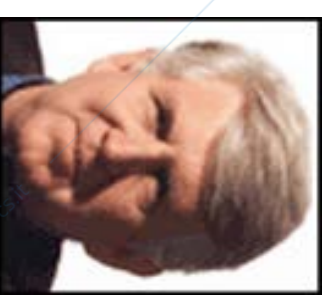


La nascita di Internet: anni '70

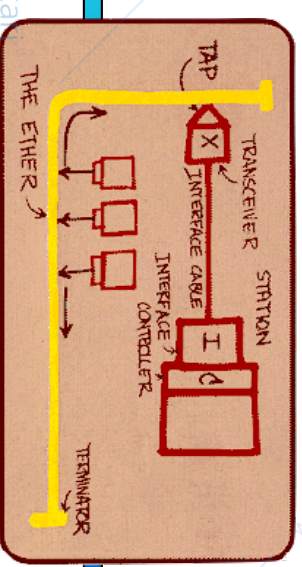
- **1972: nasce NCP (Network Control Protocol) il primo protocollo di Internet**
 - Primo programma per la posta elettronica
 - ARPAnet ha 15 nodi
- **1970: ALOHAnet rete radio a pacchetti alla University of Hawaii**
- **1974: Vinton Cerf and Robert Kahn (Stanford) definiscono i principi dell'internetworking (rete di reti) e TCP/IP**
 - Integrazione di TCP/IP nello UNIX di Berkeley (sviluppo del socket)
- **1976: nasce Ethernet nei laboratori di Xerox**
- **1979: ARPAnet ha 200 nodi**



Vin Cerf e Bob Kahn



Robert Metcalfe





Le prime applicazioni

☐ Telnet

☐ Email

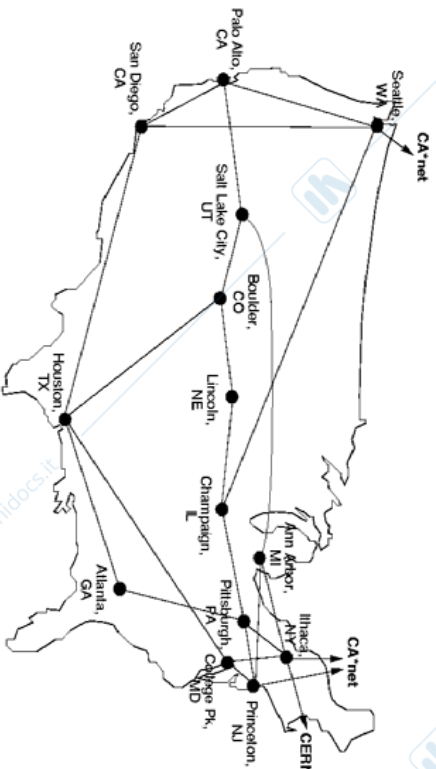
The screenshot shows a Telnet session window with a menu bar (TELNETPM.EXE) and a menu (Connection, Edit, Commands, Opt). The terminal output shows a login for 'laizitse' on a UNIX system. Below this, an email message is displayed, starting with 'PINE 4.64 MESSAGE TEXT' and containing a message from Chase Venters to Tim Tassonis. The email text discusses Linus Torvalds' management style and the importance of making decisions. At the bottom of the screenshot, a partial view of an email client interface shows options like 'Reply' and 'Forward'.

☐ FTP

IP protocol



NSFNET T1 Network 1991



La nascita del Web

1988-1991:

- Nascita di NSFNET
- ARPAnet viene dismessa
- Backbone di NSFNET da 1.5 a 45 Mbit/s
- NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFNET
- Operatori commerciali sostituiscono NSF sul backbone (nascita dei NAP)
- Primi anni '90: Tim Berners-Lee inventa il World Wide Web al CERN di Ginevra
- 1994: Mosaic, poi Netscape
- Linguaggi Java (1995) e XML (1997)
- Fine '90 : commercializzazione del Web

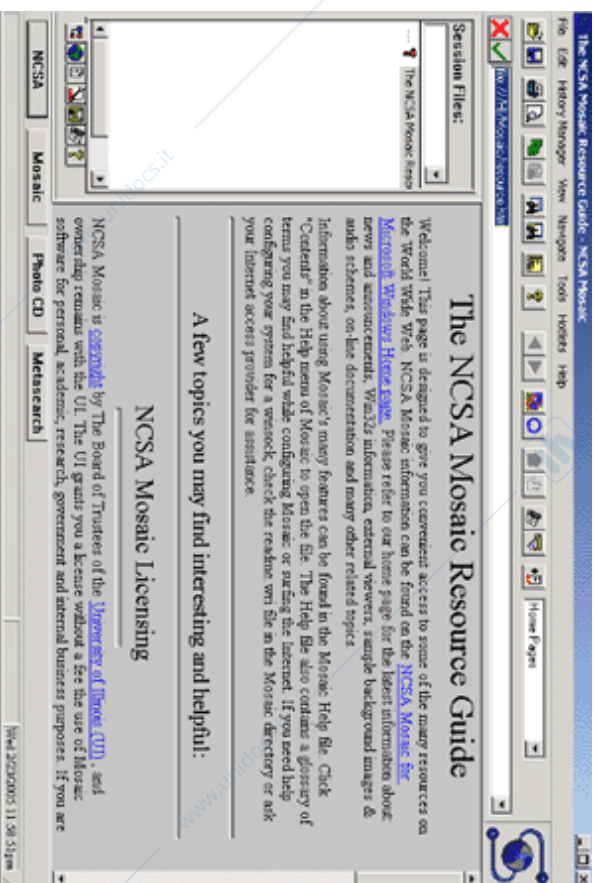
IP protocol



Tim Berners-Lee e il suo PC su cui sperimenta il WWW al CERN



«I just had to take the hypertext idea and connect it to the TCP and DNS ideas and -ta dal- the World Wide Web»





L'esplosione delle applicazioni

- **Motori di ricerca**



Google Co-Founders:
Sergey Brin, Larry Page



- **Comunicazione: Voice-over-IP, messaggistica**



YAHOO! MESSENGER



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg



Mark
Zuckerberg

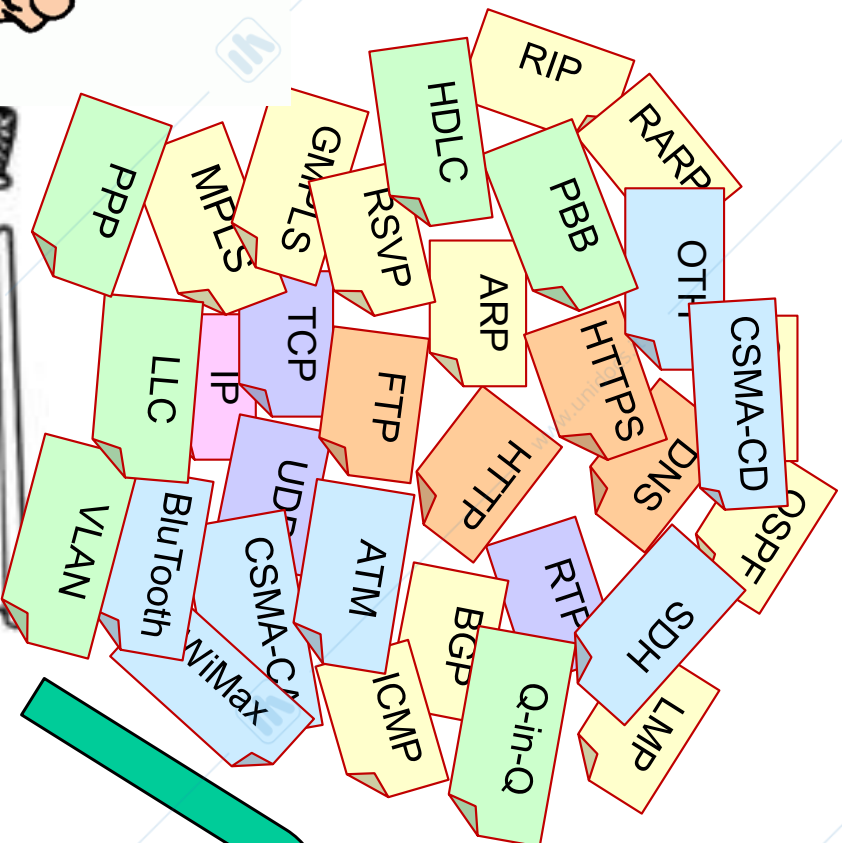


Mark
Zuckerberg

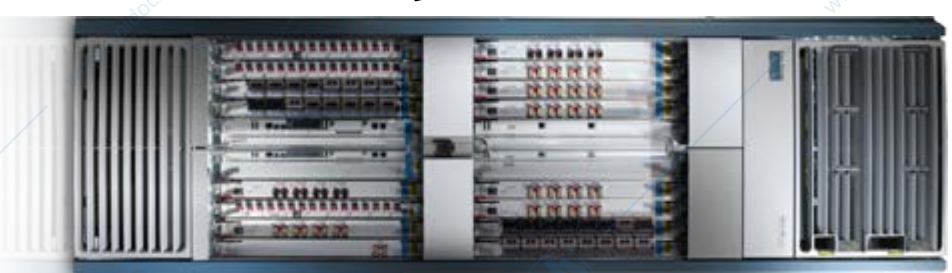


Verso il "Future Internet"

- Ogni protocollo ...
- ... corrisponde ad un modulo hardware o software che deve essere installato nell'apparato e ...
 - Configurato, gestito, aggiornato, genera errori, genera allarmi, consuma potenza,



- In principio i protocolli erano pochi
- Oggi in un router se ne possono contare più di 2500
- TREND: Software Defined Networking (SDN)





Il "Future Internet": Software Defined Network (SDN)

(SDN)



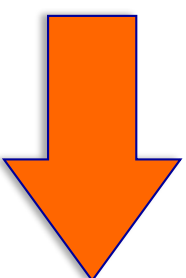
Open Interface



Open Interface



Vertically integrated
 Closed, proprietary
 Slow innovation



Horizontal
 Open interfaces
 Rapid innovation

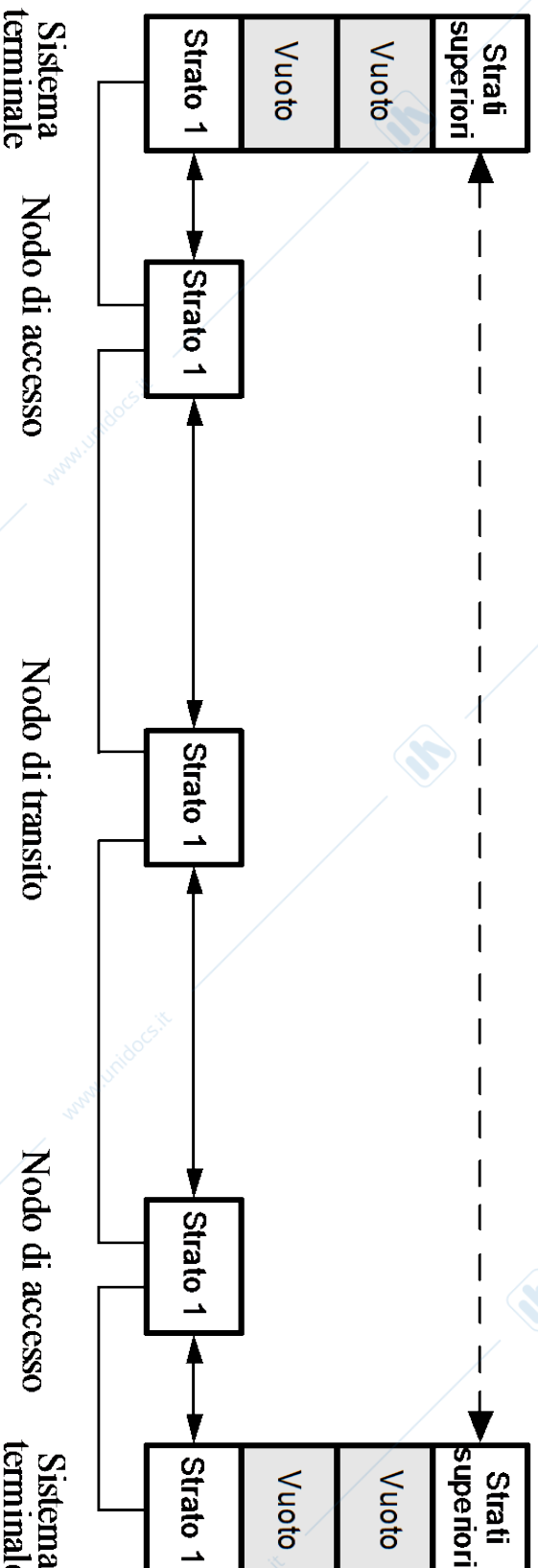
+ Network Function Virtualization (NFV): realizzazione software dei "middle-boxes" (firewall, proxy, NAT, intrusion detection systems, etc.)

Nick McKeown, "Software Defined Networks", OFC 2013 Keynote speech, Los Angeles, March, 2013

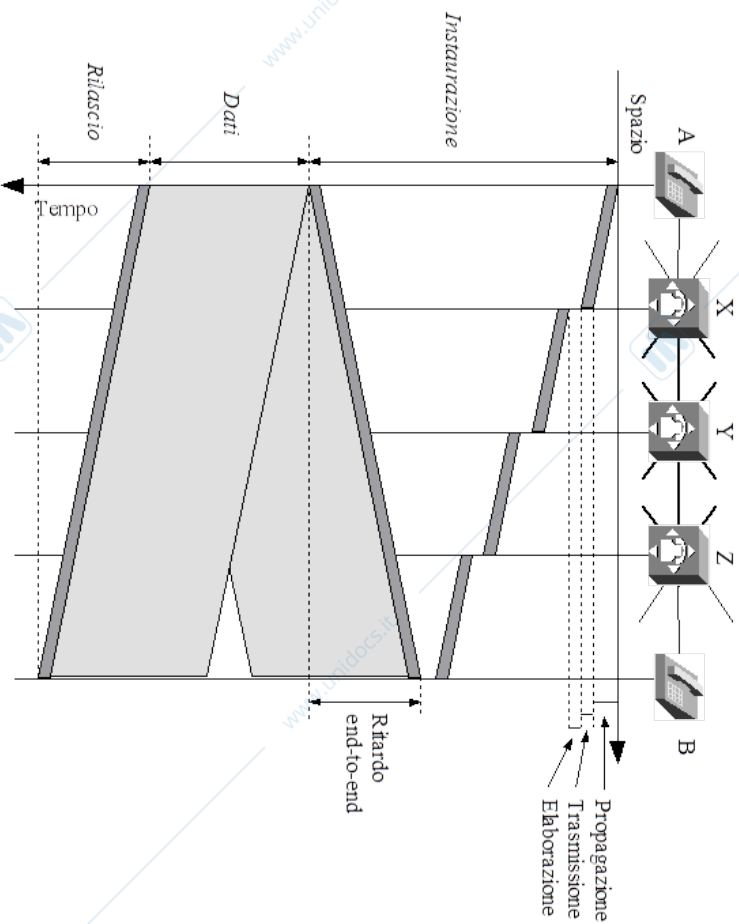
Circuit Switching

■ Caratteristiche

- Servizio implicitamente connection-oriented
- Funzionalità dei nodi di rete limitate al livello 1 (**livello fisico**)
- I nodi intermedi sono attraversati da segnali sui quali non viene fatto alcun tipo di processing

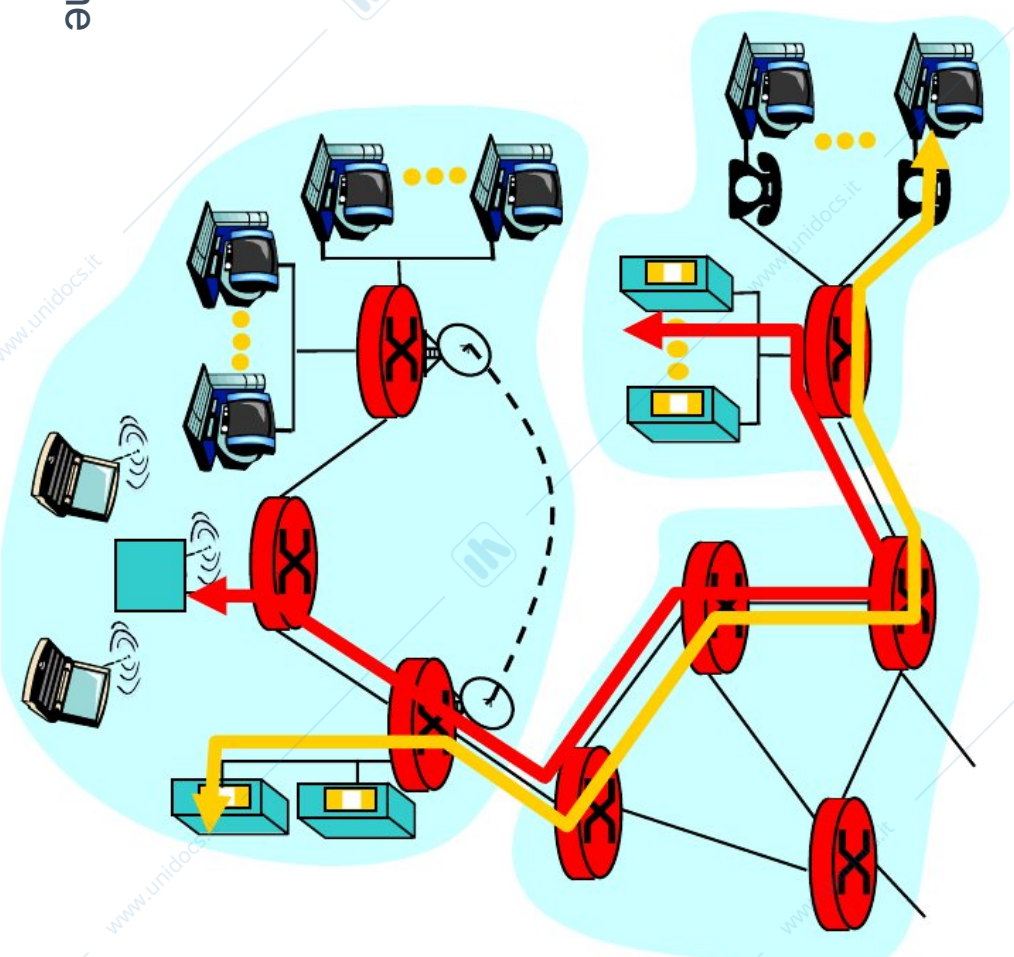


Circuit Switching



■ Risorse end-to-end riservate per ciascuna "chiamata"

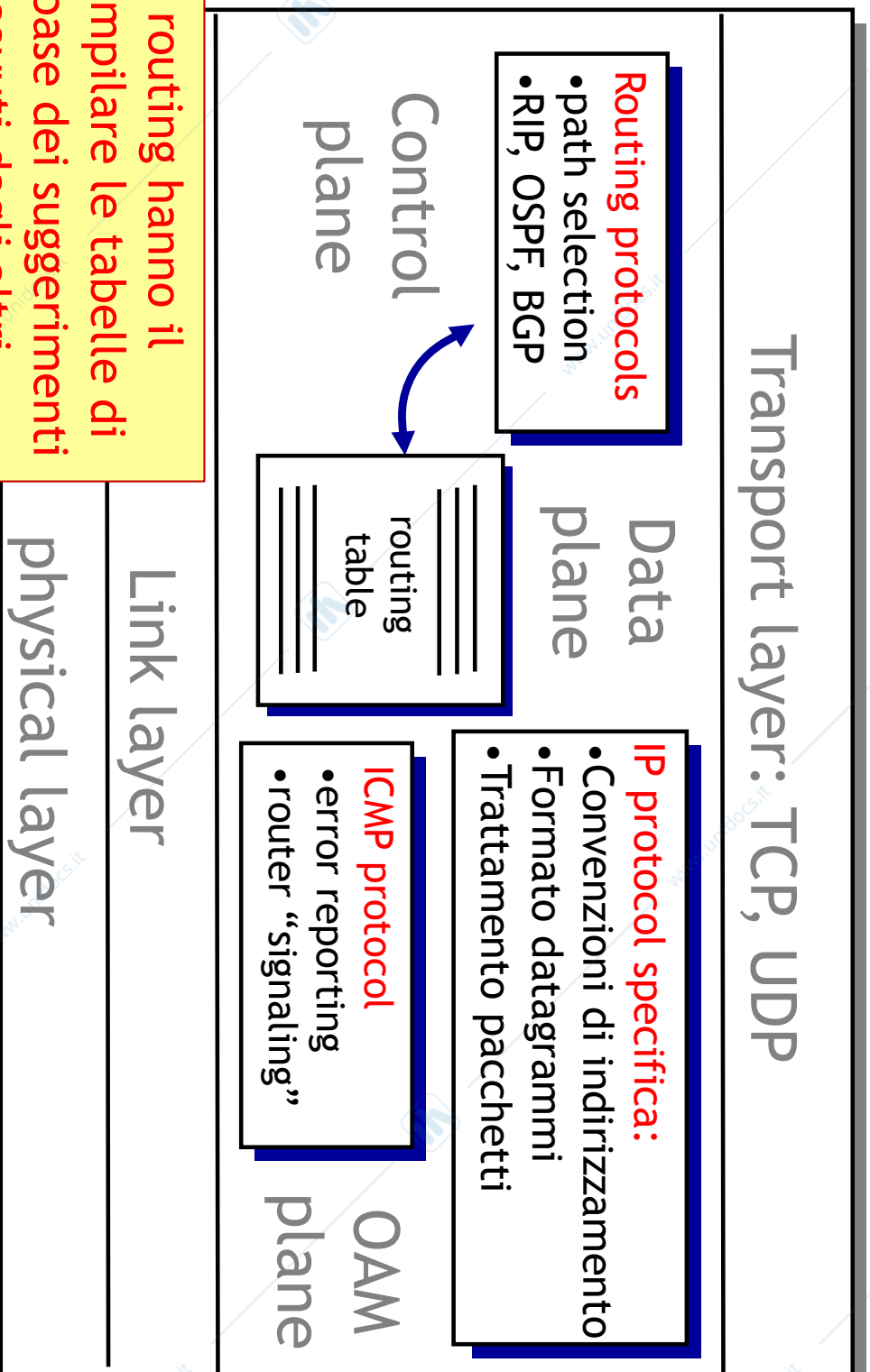
- Banda sui link e capacità di commutazione riservate
- Risorse dedicate: non si ha condivisione
- Prestazioni garantite (circuit-like)
- Richiesta una fase di call set-up





Il livello Rete in Internet

Network layer functions:



Host

Router

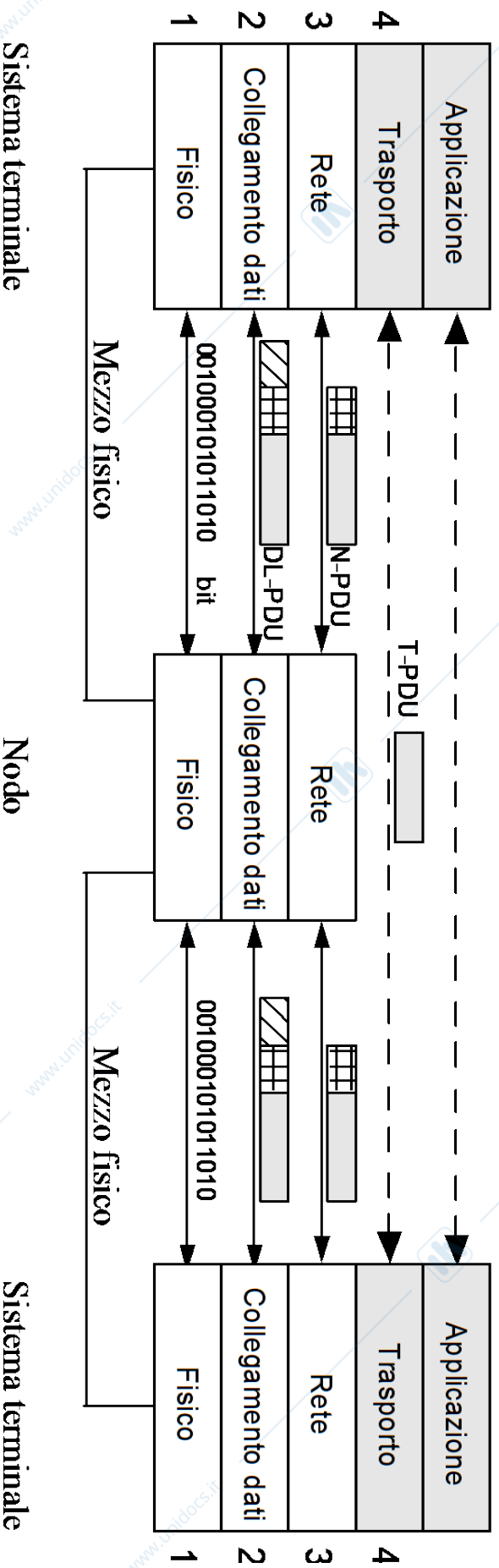
I protocolli di routing hanno il compito di compilare le tabelle di routing sulla base dei suggerimenti (o annunci) ricevuti dagli altri router, che rappresentano i "routing-protocol peers"



Commutazione di pacchetto

■ Caratteristiche

- Servizio può essere sia connection-less che connection-oriented
- Funzionalità dei nodi di rete fino al livello 3 (**network layer**)
- I nodi intermedi processano l'informazione contenuta nell'header dei pacchetti e fanno instradamento dei pacchetti stessi

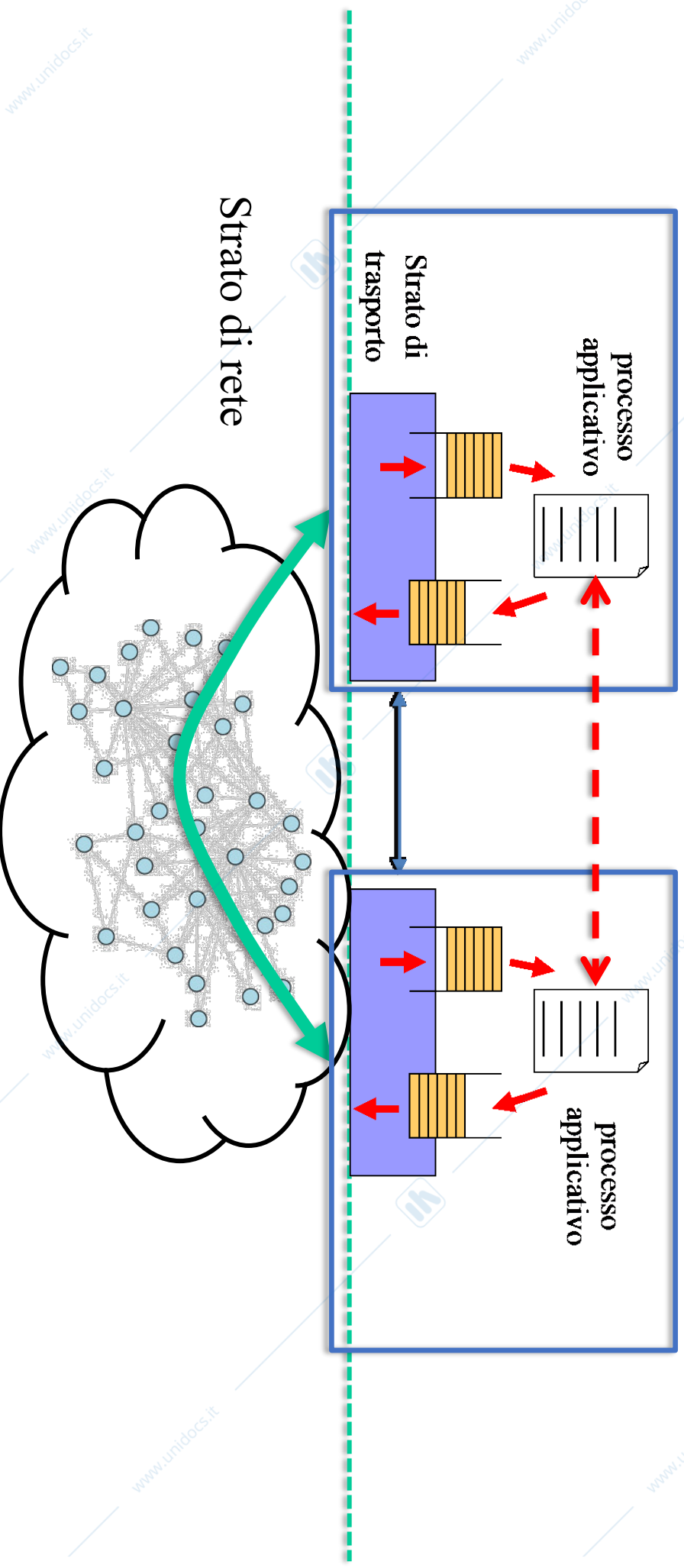




- **Introduzione a Internet**
- **Architettura di Internet**
- **Introduzione al Livello 3**
- **Protocollo IP**
- **Prossime slide**
 - IP addressing
 - Control protocols

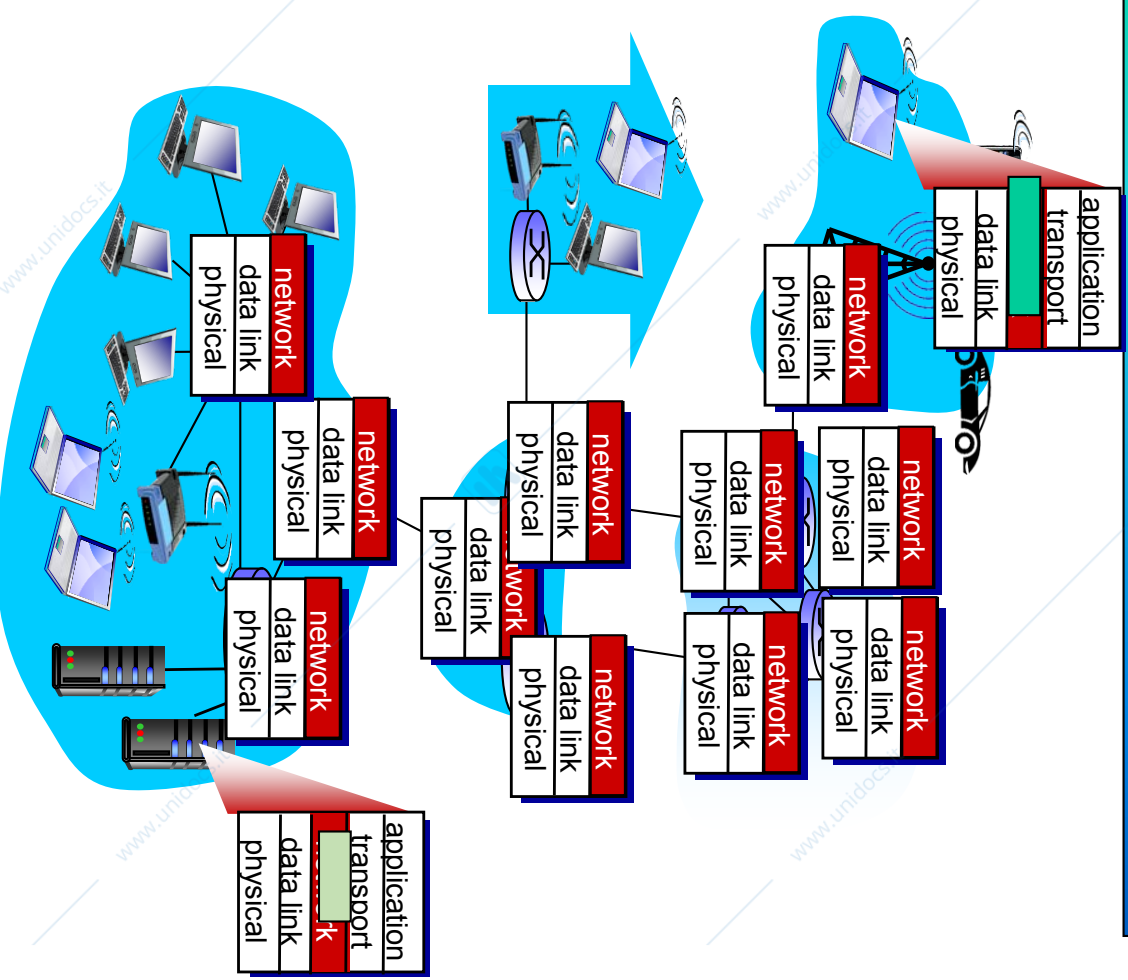
Strato di rete

- Lo strato di **rete** si incarica di trasferire i dati tra gli host che ospitano i due processi comunicanti



Trasferimento di pacchetti tra host

- **Tutti i protocolli dello strato di rete (sia control plane che data plane) sono implementati in host e router**
- I segmenti dello strato di trasporto vengono trasferiti dallo strato di rete dall'host sorgente all'host destinazione
 - Lato sorgente, vengono incapsulati in **datagrammi IP**
 - I datagrammi vengono inoltrati **hop-by-hop** fino a destinazione
 - I **router** esaminano i campi dell'**header** di ciascun datagramma che li attraversa
 - A destinazione, i segmenti (payload delle UI di liv. 3) sono consegnati allo strato di trasporto





Architettura di protocolli TCP/IP

Application layer

Transport layer

Network layer

(Data-link layer)
(non specificato in Internet)

| | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|-----|------|-----|------|
| Telnet | HTTP | FTP | SMTP | BGP | SNMP | RIP | |
| TCP | | | | UDP | | | |
| ICMP | | OSPF | | IP | | | |
| Network access | | | | | | ARP | RARP |

- **IP: protocollo per trasferire i dati d'utente**
- **Protocolli di segnalazione per supportare il trasferimento dati: ICMP, ARP, RARP, OSPF, RIP, BGP ...**

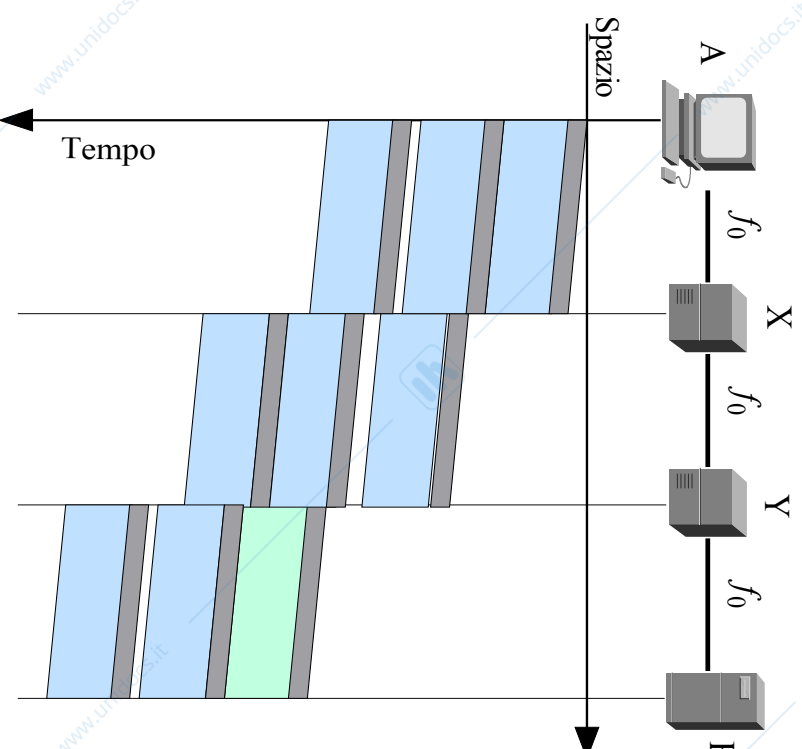


Strato di rete

- **Obiettivo: trasferire L4-PDU attraverso la rete mascherando ai livelli superiori i dettagli relativi al tipo di rete sottostante**
- **Funzioni fondamentali**
 - **Indirizzamento**
 - Identificazione univoca dell'interfaccia di rete di un *host/router*
 - **Instradamento di pacchetti**
 - Determinare i percorsi dei pacchetti dalla sorgente alla destinazione
 - **Frammentazione/Riassemblaggio**
 - **Moltiplicazione di più flussi di livello 3 su singolo collegamento di livello 2**
 - **Controllo di flusso e congestione**
 - **Intercooperazione di reti diverse**
- **Servizi forniti**
 - Datagramma
 - Circuito virtuale

Servizio datagramma

- Unità informative (pacchetti) denominate **datagrammi**
- Attraversamento dei nodi sulla base di
 - un “indirizzo di destinazione” presente nell’header del datagramma
 - una tabella di instradamento presente in ogni nodo
- Datagramma supporta servizi “connectionless”





Il servizio di comunicazione offerto da IP

■ IP è *Connectionless*

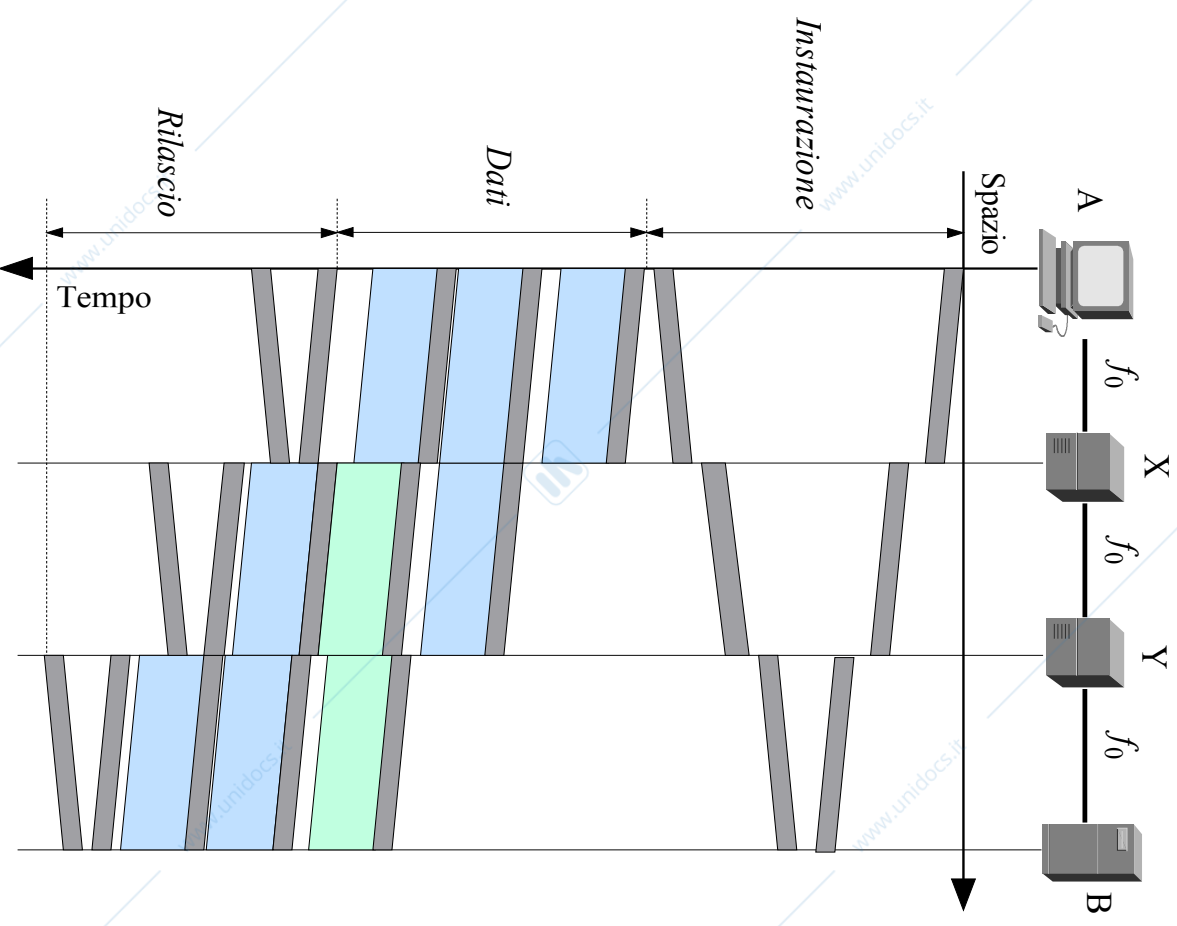
- Utilizza la *commutazione di pacchetto datagram*
- Due pacchetti (o datagrammi) destinati allo stesso host possono “essere trattati” in maniera diversa (ad esempio, possono seguire percorsi diversi in rete)

■ IP è *non affidabile*

- Consegna “*best-effort*” dei datagrammi senza garanzia di successo
- La richiesta di ritrasmissione dei pacchetti persi è demandata ai livelli superiori

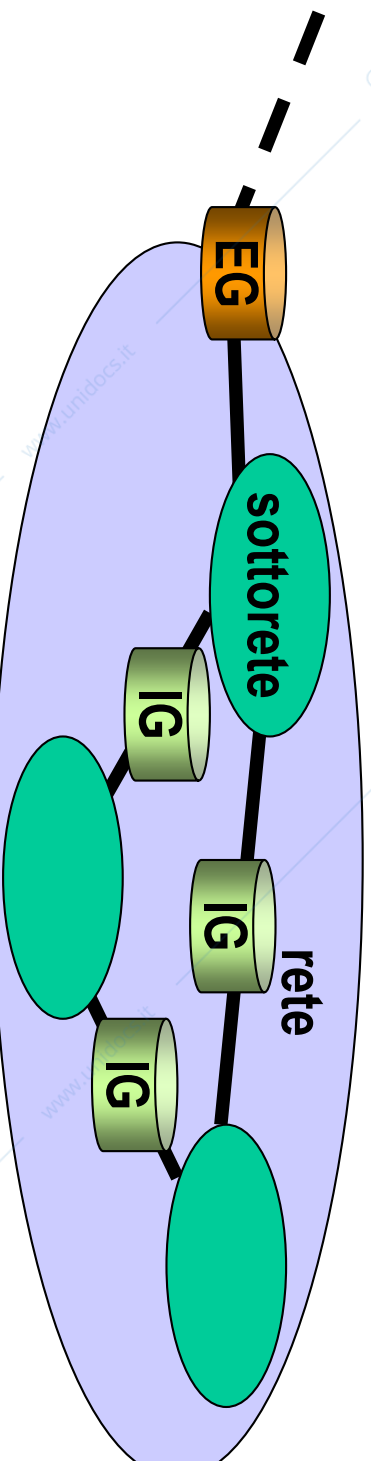
Servizio circuito virtuale

- Unità informative denominate **pacchetti**
- Fase di segnalazione precede la fase dati
- Attraversamento dei nodi delle unità dati sulla base di
 - Una “etichetta di destinazione” presente nell’header del pacchetto (ID di circuito virtuale)
 - Una tabella di inoltro presente in ogni nodo
- Circuito virtuale supporta servizi “**connection-oriented**”



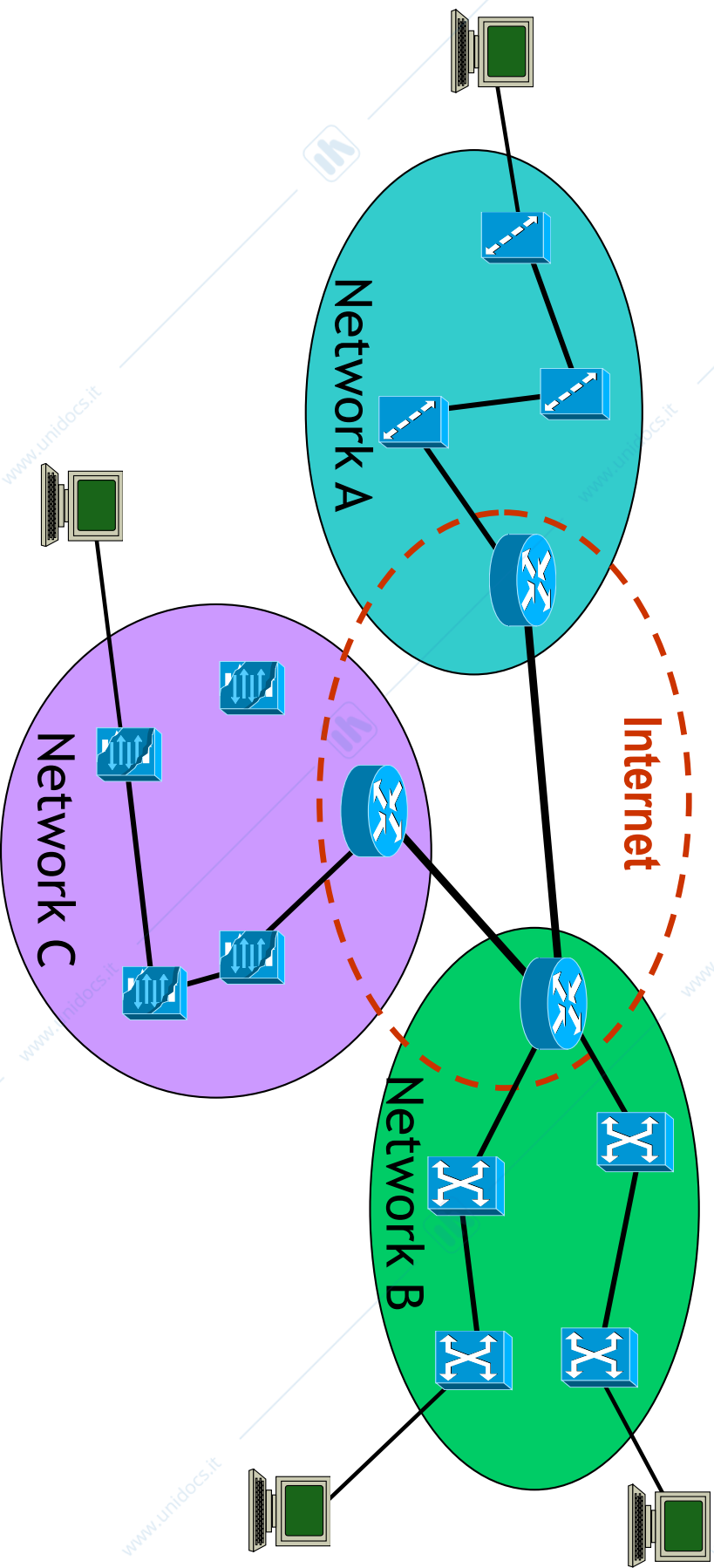
Tassonomia di Internet

- La parte di rete IP gestita da una organizzazione è chiamata **Autonomous System (AS)**
 - Ad esempio la rete di un ISP o di un'azienda è un AS
- I router all'interno di un AS sono detti *Interior Gateway (IG)* mentre quelli di collegamento con altri AS sono detti *Exterior Gateway (EG)*



Cos'è Internet?

- **L'interconnessione di reti assicura la connettività end-to-end a qualunque coppia di host nel mondo**





Internet Protocol (IP): caratteristiche

- **Le UI del protocollo IP sono chiamate *datagrammi IP* o *pacchetti IP***
 - *payload* (UI del livello di trasporto) + *IP header*

- **Alcune funzioni:**

- *Rivelazione di errori* sull'*header*
- *Garanzia sul **max lifetime***
 - il *datagram* IP viene eliminato se non consegnato entro un preassegnato *time-to-live (TTL)*

