



POLITECNICO
MILANO 1863



Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Pierpaolo Boffi

Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI



1 – Introduzione al corso

Contatti, testi e materiale, esame,
scopo e finalità, cenni storici

Docente



- **Prof. PIERPAOLO BOFFI**
- **Ufficio:**
 - Dip. Elettronica, Informazione e Bioingegneria
Ed. 20, 3° piano stanza 044
- **Tel: (02 2399) 8923**
- **E-mail: pierpaolo.boffi@polimi.it**
- **Orario di ricevimento:**
 - Giovedì ~~15.00-17.00~~ -> scrivere *email o in chat*
- **Collaboratori per esercitazioni e laboratorio:**
 - Ing. Alessandro Gagliano
(alessandro.gagliano@polimi.it)



Materiale didattico

Testi di riferimento:

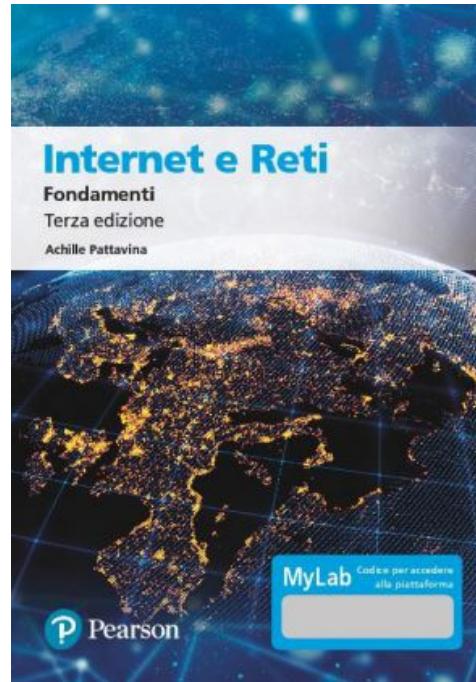
Achille Pattavina

Internet e Reti

Fondamenti

Terza Edizione (2022)

PEARSON Ed.



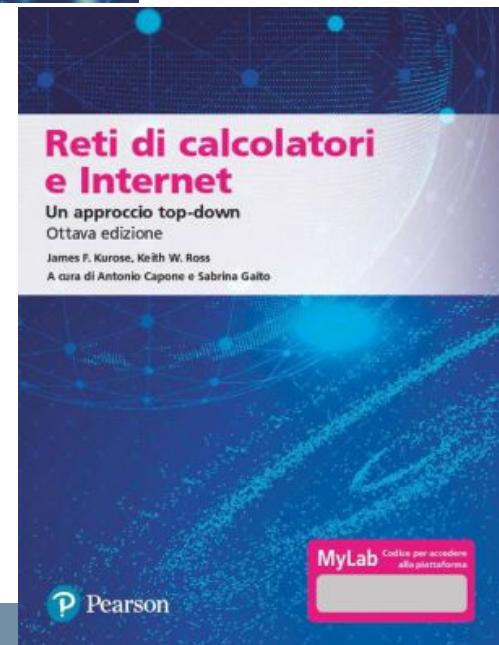
James F. Kurose, Keith W. Ross

Reti di Calcolatori e Internet

Un approccio top-down

Ottava Edizione (2021)

PEARSON Ed.



Materiale didattico

- Slides delle lezioni
 - Eserciziario organizzato in capitoli secondo gli argomenti
 - Appunti relativi alle esercitazioni
 - Altro materiale di supporto (esempi temi d'esame)
-
- **Tutto il materiale sarà disponibile sul sito *WeBeep* nell'area relativa al corso (hanno accesso gli studenti iscritti al corso)**



The screenshot shows the WeBeep platform interface. At the top, there's a browser header with the URL <https://webeep.polimi.it/login/index.php>, a 80% zoom indicator, and a search bar. On the right side of the header are icons for email, download, upload, and a menu.

The main content area features the Politecnico di Milano logo (a circular emblem with three figures) and the text "POLITECNICO MILANO 1863". Below this is the "WeBeep" logo in blue and green. A "Login staff" link is visible.

A red banner at the top right says "Bentornato su WeBeep! Esegui il login." (Welcome back to WeBeep! Log in). A green button labeled "Polimi login" is prominent.

A large illustration of a person sitting at a desk working on a laptop, surrounded by various icons representing communication, technology, and education, is displayed. Below the illustration, the course code "097501" and name "FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (BOFFI PIERPAOLO) [2025-26]" are shown.

The page is divided into several sections:

- Introduzione**: A general introduction section.
- Bacheca**: A section for announcements. It says "Consulta gli annunci del corso. Comunica con il docente, i tutor e i tuoi compagni di corso tramite il forum." and "Attività: 2".
- Materiali**: A section for course materials. It says "Consulta i materiali forniti dal docente." and "Attività: 4".
- Registrazioni**: A section for registrations. It says "Rivedi le lezioni del corso per cui è disponibile la registrazione." and "Attività: 3".
- Consegne**: A section for submissions. It says "Consegna gli elaborati richiesti da un'esercitazione o da una prova in itinere." and "Attività: 1".

On the right side of the main content area, there's a sidebar with the text "Ti serve aiuto per accedere?" (Do you need help accessing?) and links to "Politecnico di Milano" and "WeBeep". The "WeBeep" link leads to "L'ambiente online per la didattica del Politecnico di Milano".



Organizzazione e orario del corso

- **Mix didattico:**
 - Lezioni teoriche
 - Esercitazioni
 - Laboratorio sperimentale a fine corso

Data	Dove	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Lunedì											
Martedì	<u>6.0.1</u>	FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 16/09/2025 al 23/12/2025)									
Mercoledì	<u>3.1.2</u> <u>LB01</u>			FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 17/09/2025 al 17/12/2025)							FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 17/09/2025 al 17/12/2025)
Giovedì											
Venerdì											
Sabato											



Organizzazione e orario del corso

Slot temporale del lunedì usata **SOLO** per recupero delle lezioni.

Aula da destinare



Data	Dove	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Lunedì											
Martedì	6.0.1	FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 16/09/2025 al 23/12/2025)									
Mercoledì	3.1.2 LB01				FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 17/09/2025 al 17/12/2025)						
Giovedì											
Venerdì											
Sabato											



Organizzazione e orario del corso

Slot temporale del lunedì usata **SOLO** per recupero delle lezioni.

Aula da destinare

Prima esercitazione mercoledì 24/09 ore 16:15
Aula Conferenze GATTI – Ed. 20 via Ponzio, 34/5

Data	Dove	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Lunedì											
Martedì	6.0.1	FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 16/09/2025 al 23/12/2025)									
Mercoledì	3.1.2 LB01	FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI (dal 17/09/2025 al 17/12/2025)									
Giovedì											
Venerdì											
Sabato											





POLITECNICO
MILANO 1863



Password per aprire le registrazioni

FTLC2025

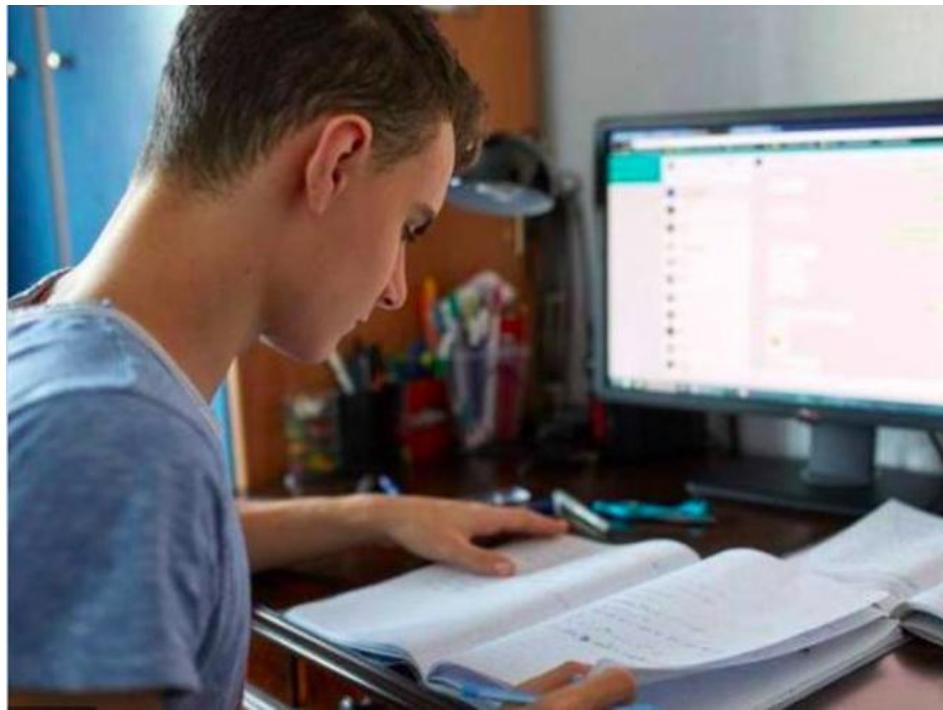
Modalità d'esame

- **Esame esclusivamente scritto**
 - Orale a pura discrezione del docente
- **Struttura**
 - esercizi simili a quelli visti in aula e proposti in eserciziario su WeBeep
 - domande (a risposta aperta con risposte brevi o a risposta chiusa)

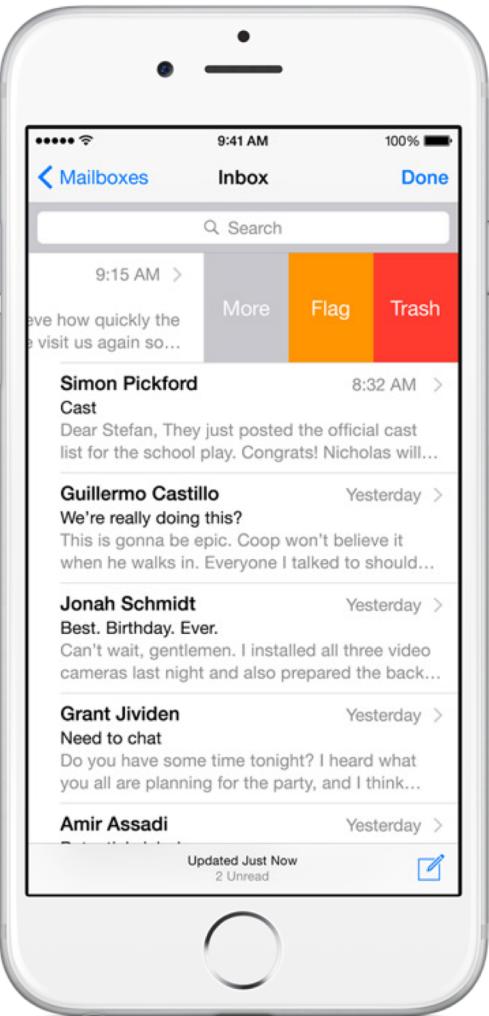
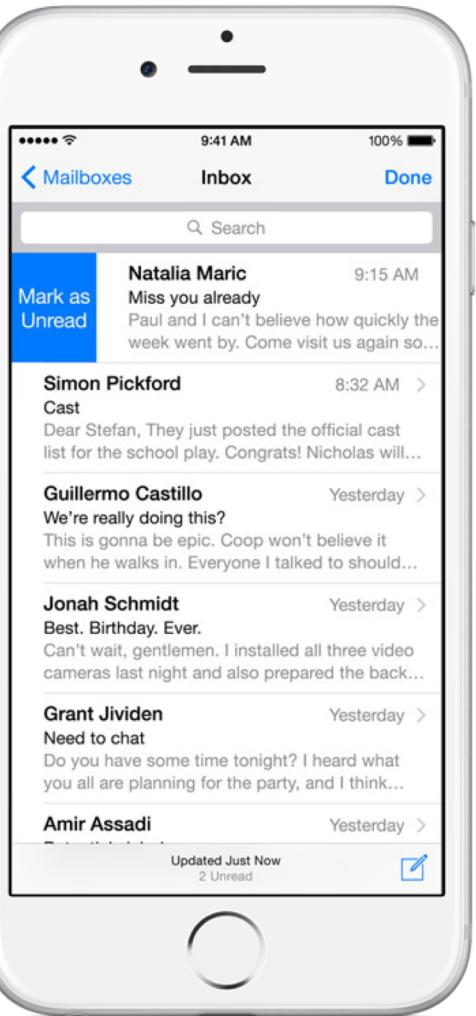
NO prova in itinere

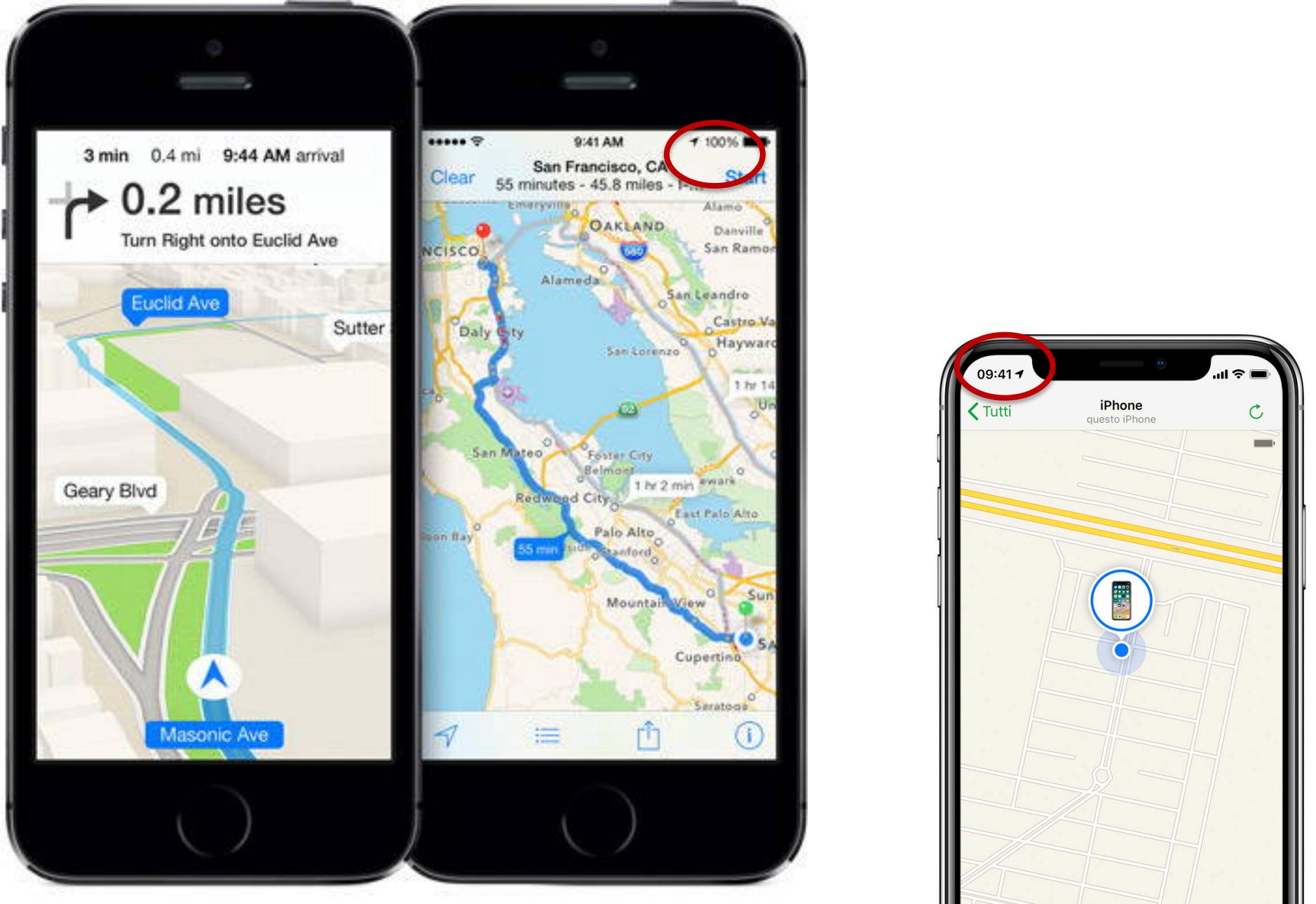
Possibili quiz con Wooclap alla fine di ogni argomento

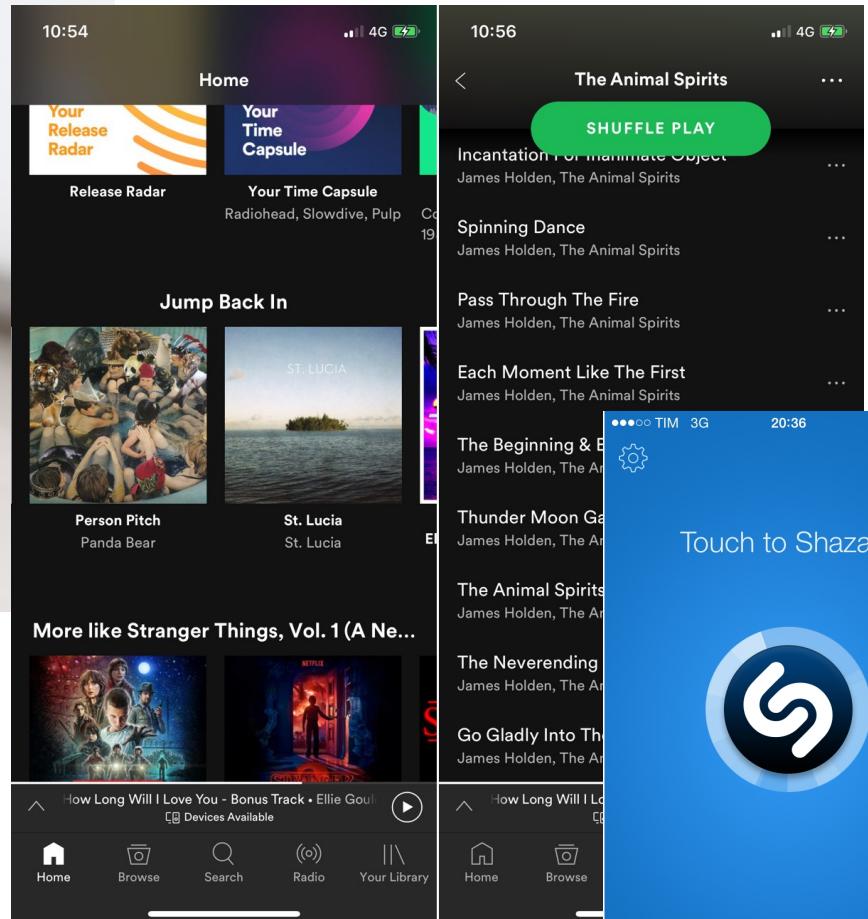
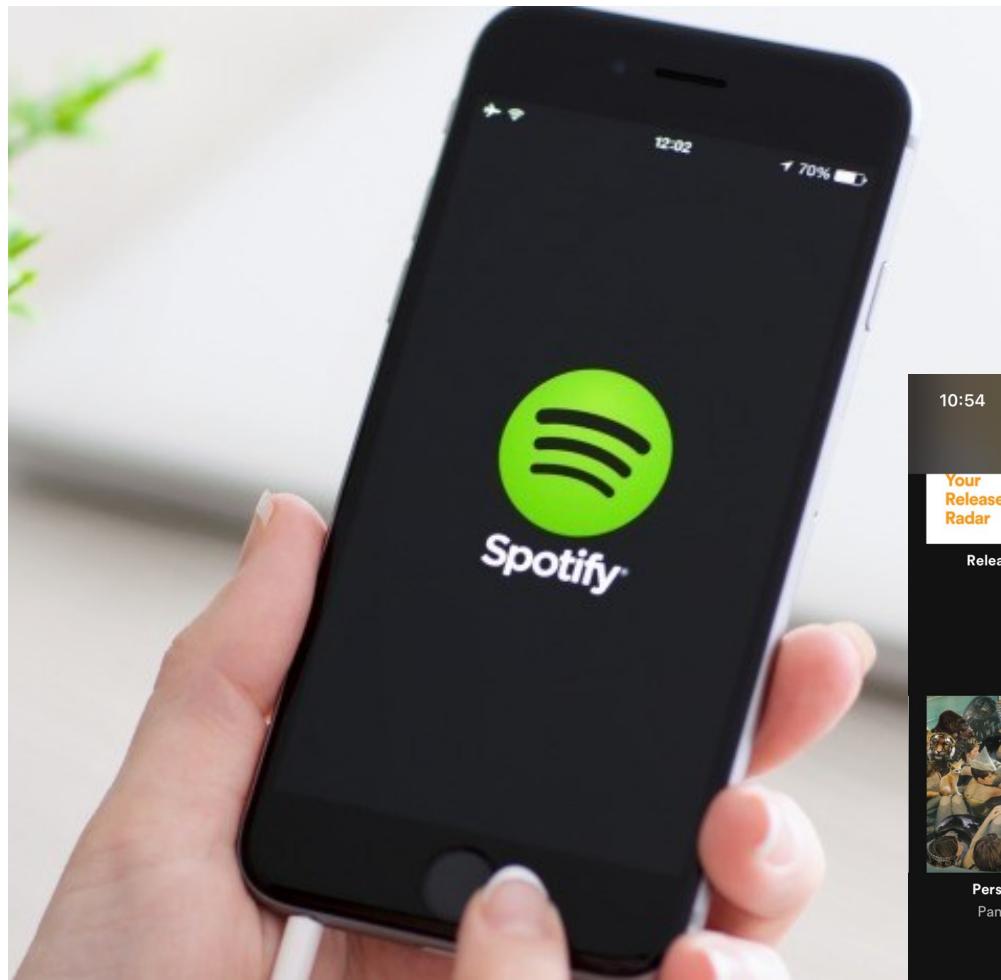












POLITECNICO MILANO 1863

FdTLC: 1 – Introduzione





No SIM 17:33

Check-in

FR6394 AVAILABLE

Barcelona El Prat T2 → Dublin T1

08 Jul 2014, 18:10 → 08 Jul 2014, 20:00

Select Passengers Check-in

Eoin Cregan

Purchase Seat Free Allocate

CHECK-IN

No SIM 17:25

Boarding Pass

MR Eoin Cregan

REF BFSNFC

Flight FR6875

Date 02 Jul 2014

Seat 27E

Seq No. 122

Boarding Zone Back Door

Dublin → Barcelona El Prat

DUB BCN

Depart 06:15 Gate Closes 05:45 Arrival 09:40

HOME SCREEN



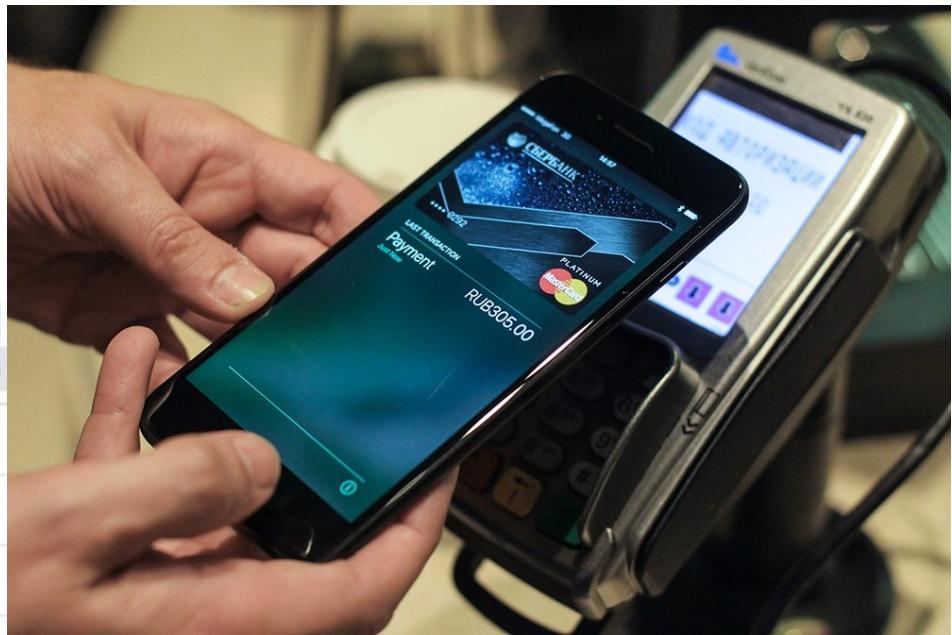
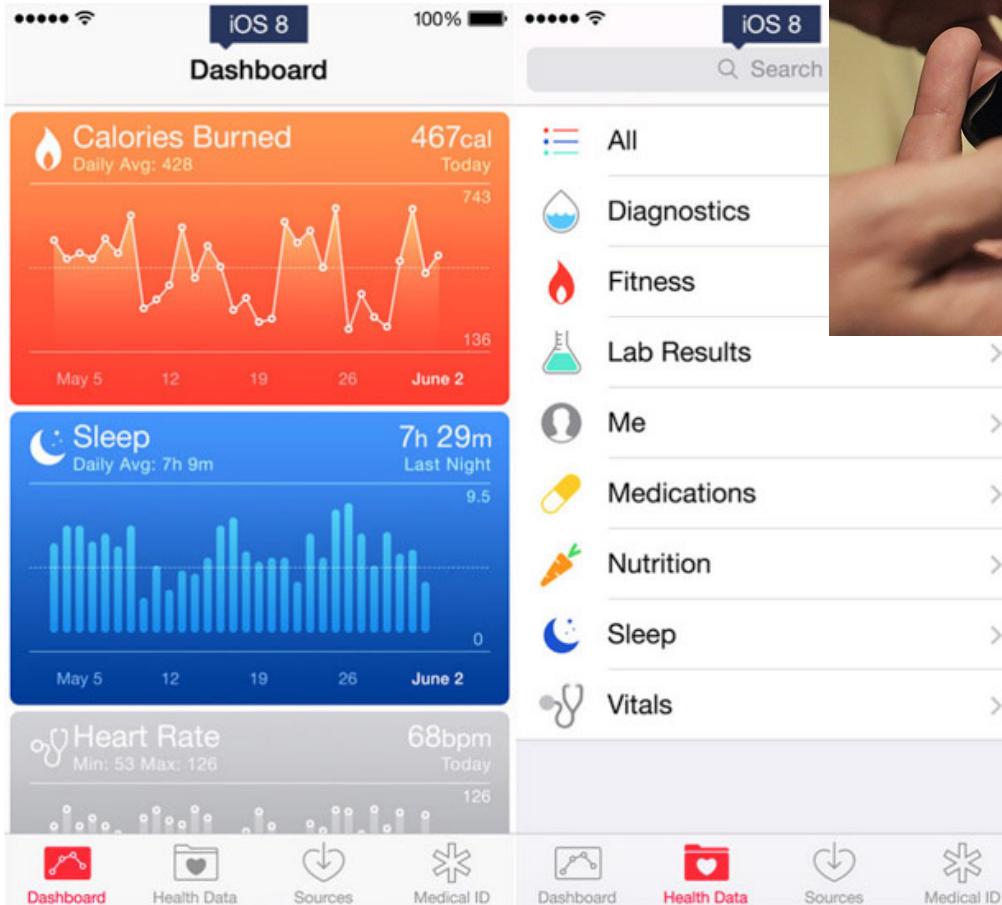


The screenshot shows the Facebook mobile application interface. At the top, there is a navigation bar with icons for camera, search, and messaging, along with the time (12:23). Below the navigation bar, the word "New" is displayed. Three notifications are listed:

- Amanda Willis** (2 mutual friends) added 1 photo that might include you. Go to Photo Review to see it. [13 minutes ago](#)
- Gary Chavez** added 1 photo that might include you. Go to Photo Review to see it. [22 minutes ago](#)
- Kevin Burton** added 1 photo that might include you. Go to Photo Review to see it. [27 minutes ago](#)

The screenshot shows the Facebook Photo Review feature. At the top, it says "Photo Review". Below that is a group photo of four people smiling. A small red box highlights the face of the second woman from the left. At the bottom of the screen are two large buttons: "IGNORE" on the left and "TAG YOURSELF" on the right, both in white text on a blue background.





Oggi grazie alle TELECOMUNICAZIONI
possiamo essere *CONNESSI*
in ogni momento e in ogni luogo...



Scopo del corso

“Illuminare” la vostra mente grazie alle
TELECOMUNICAZIONI



Scopo del corso

Farvi entrare nel mondo delle reti, in particolare
della rete INTERNET!



Scopo del corso

- **Fornire le conoscenze fondamentali sul funzionamento delle reti di TLC (in particolare della rete INTERNET) che oggi sono alla base della quasi totalità dei servizi di comunicazione**
 - Audio e video telefonia
 - TV, video streaming, video on demand
 - Web, mobile apps, e accesso a DB in genere
 - Email
 - Messaging, chat
 - Social networks
 - Mappe e navigazione
 - Strumenti di collaborazione e condivisione
 - e molte altre ...



Scopo del corso

Comprendere i principi fondamentali alla base delle telecomunicazioni e la modalità di trasmissione dei dati

Capire come l'informazione deve essere trattata per poter essere trasferita sulle reti

Conoscere le tecnologie impiegate nelle reti di telecomunicazioni

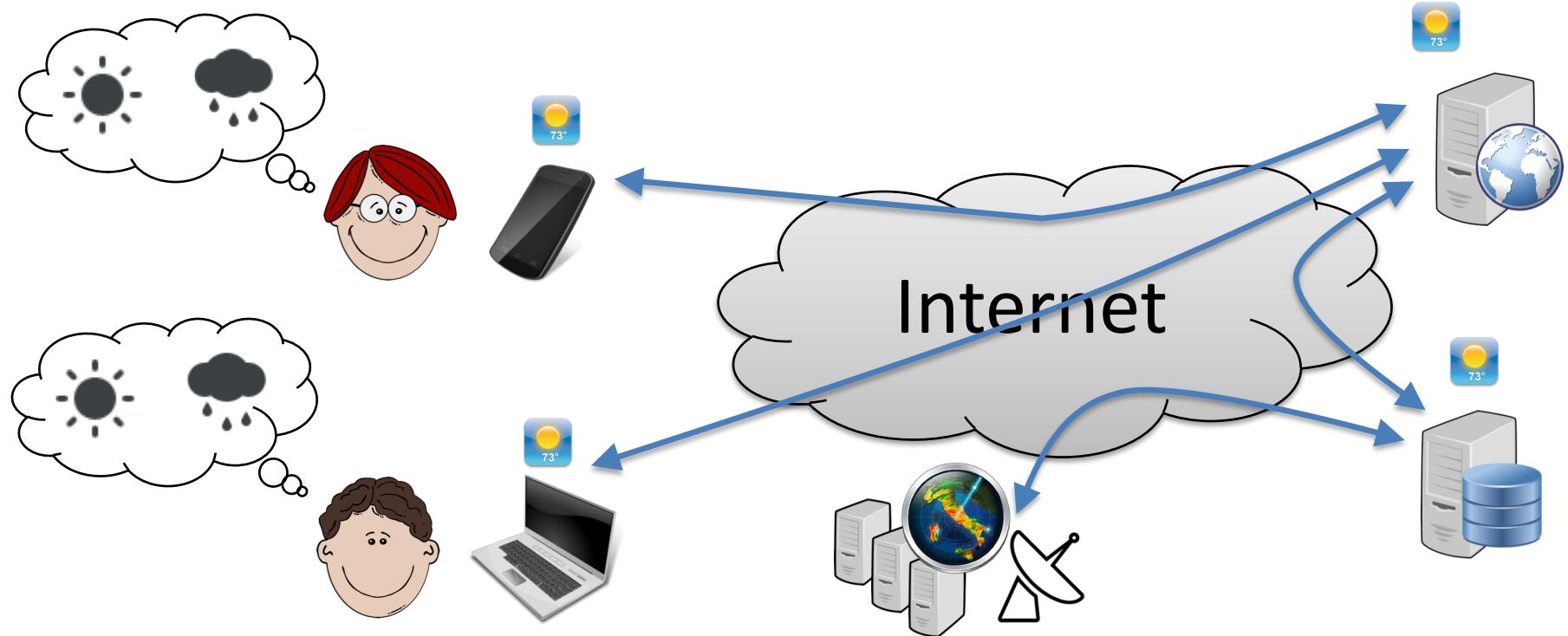
Comprendere come funziona la rete, in particolare la rete INTERNET

Essere pronti ai cambiamenti tecnologici della futura rete (imparare ad imparare)



A cosa serve

- Tutti questi servizi del mondo della società dell'informazione sono **applicazioni distribuite**
- Le applicazioni distribuite sono programmi in esecuzione su più calcolatori che **scambiano dati tra loro usando Internet**



Vecchi mondi che non esistono più

Applicazioni isolate

- Elaborazioni isolate
- Scambio dati su rete

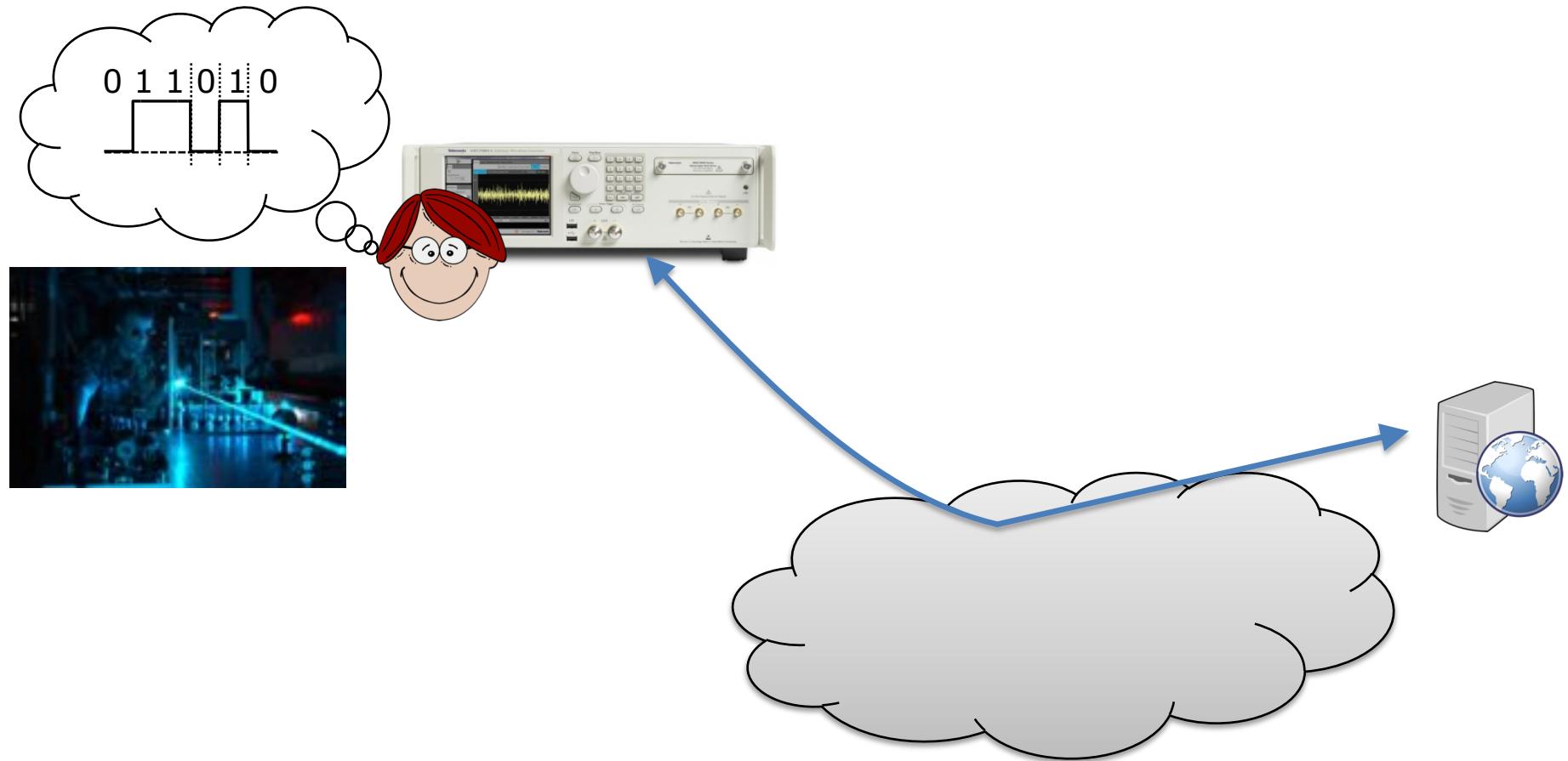


Reti di telecomunicazione

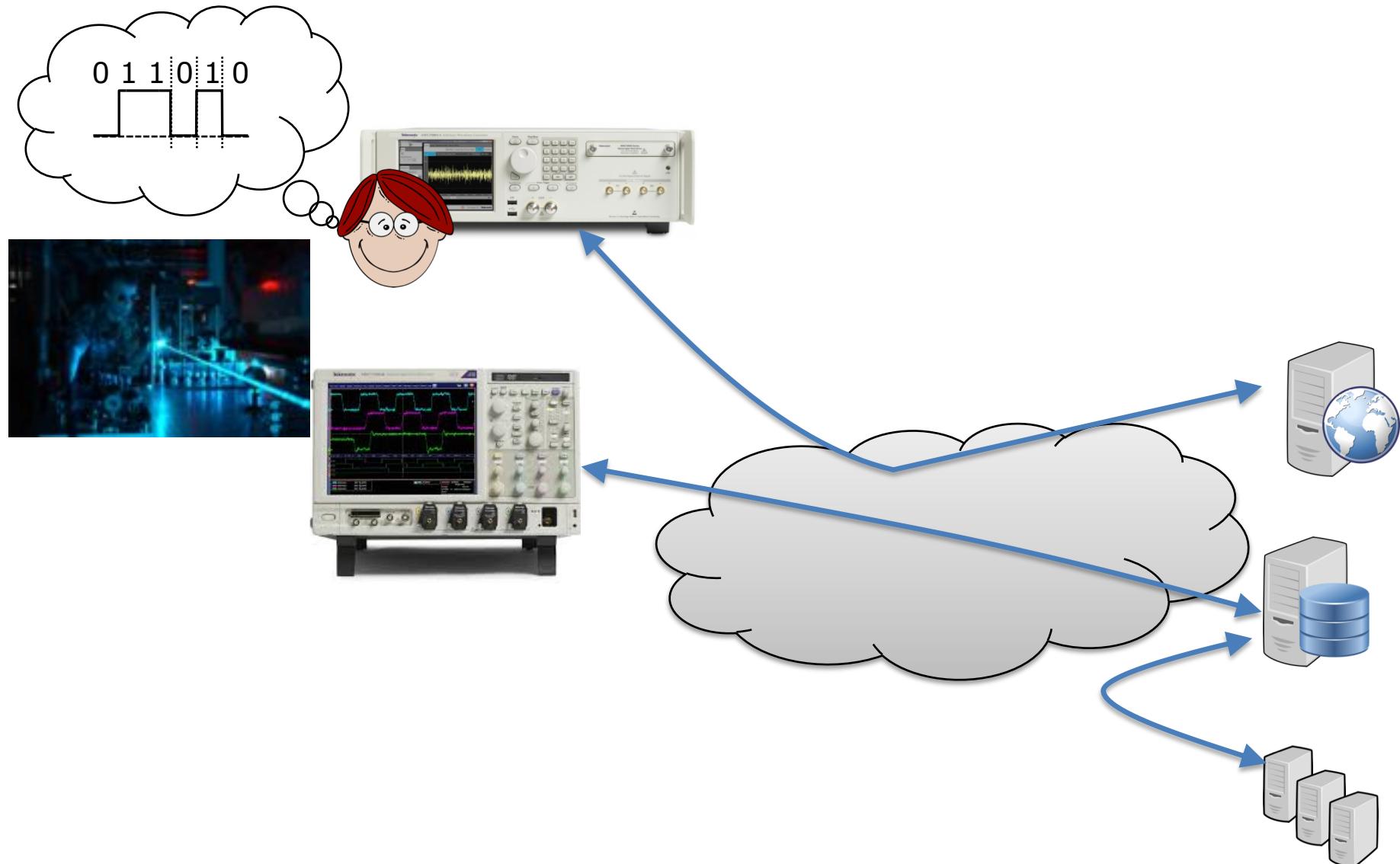
- Reti dedicate ai servizi
- Nessuna elaborazione



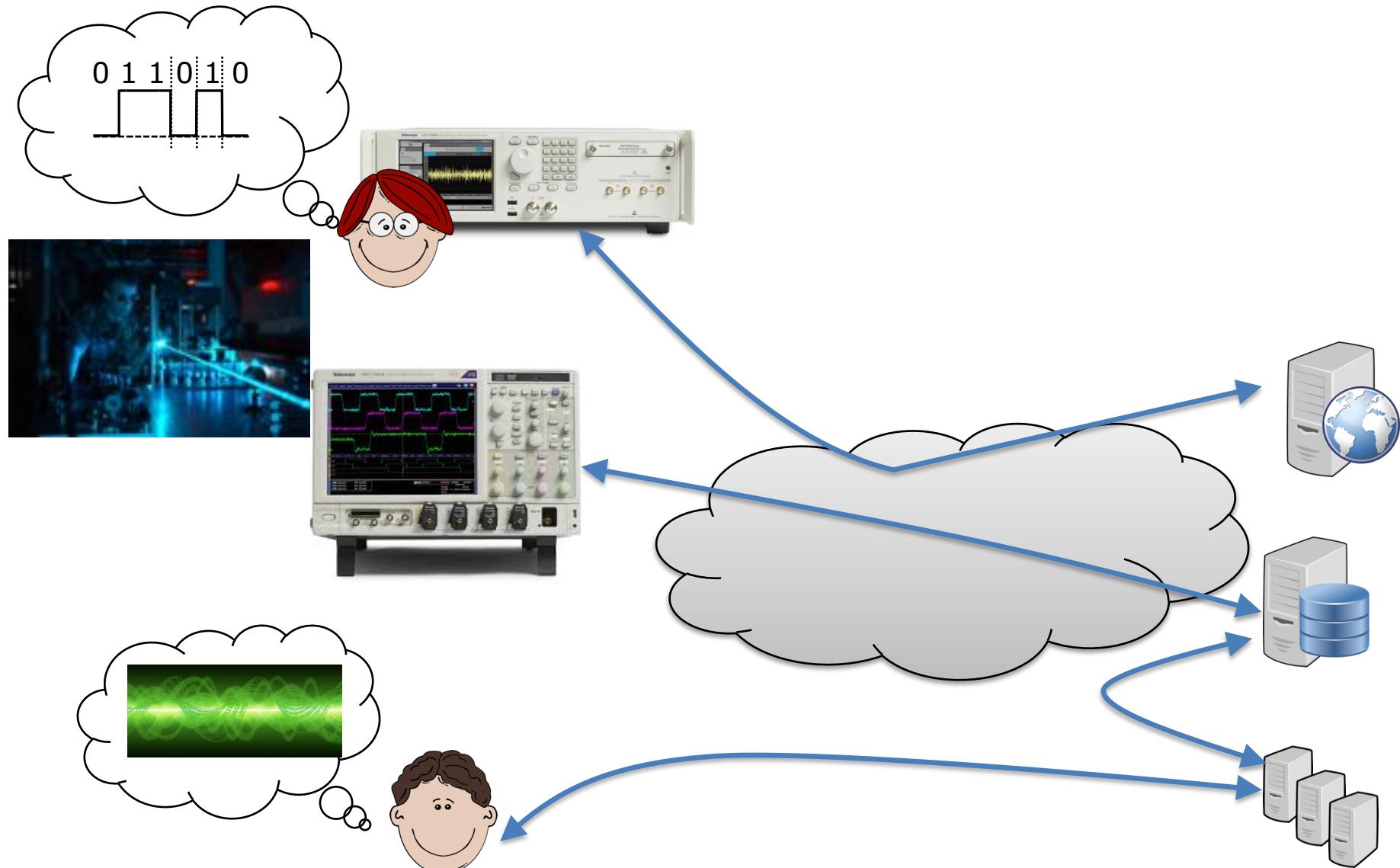
A cosa serve



A cosa serve



A cosa serve



Le conoscenze per l' Ingegneria fisica

Competenze per:

Imparare le metriche e i limiti fondamentali delle telecomunicazioni per poter dimensionare al meglio i propri esperimenti in rete

Comprendere cosa ci sia dietro un sistema così complesso e così largamente utilizzato, non dare per scontato nulla, scavare, saper spiegare

Capire cosa si faccia nel mondo della ricerca nel campo delle telecomunicazioni

Le conoscenze sono sempre più integrate

per qualunque ingegnere è fondamentale sapere come funziona una rete di telecomunicazione





<http://commtech.dei.polimi.it>



Guarda la ricca offerta della Laurea Magistrale (LM) in Telecommunication Engineering.



Laurea Magistrale in COMMUNICATION ENGINEERING



Approfondimento di aspetti teorici
ed applicativi nell' ambito delle TLC

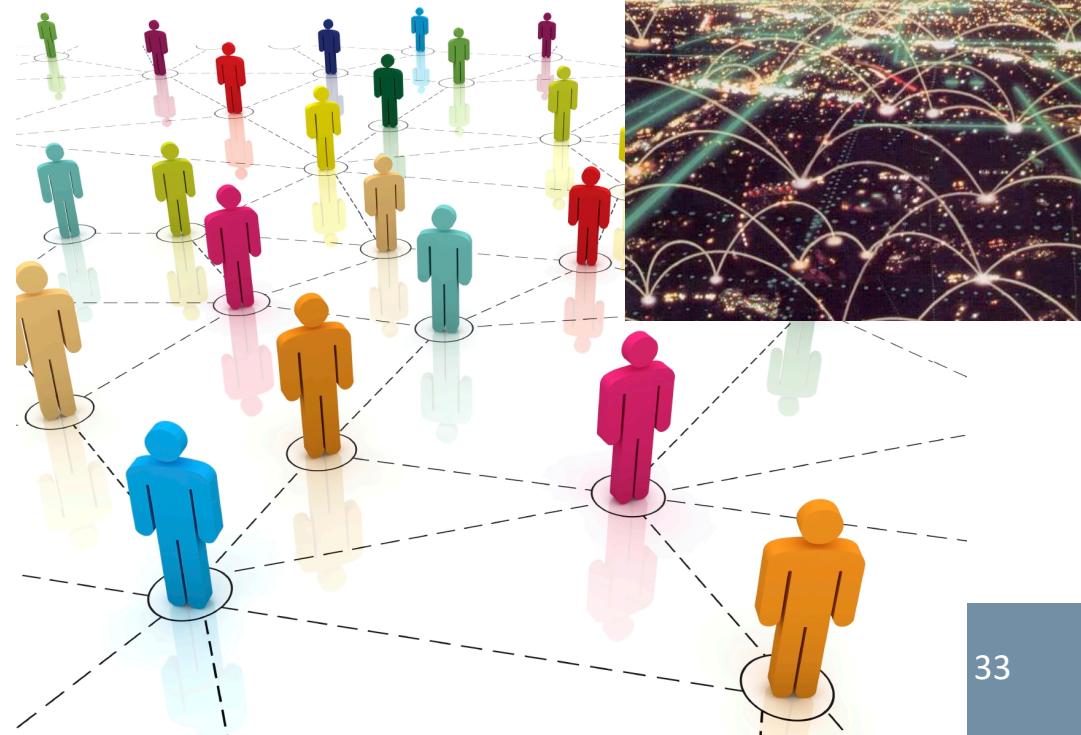
DATA COMMUNICATIONS

COMMUNICATION NETWORKS

SIGNALS AND DATA ANALYSIS

MICROWAVES AND PHOTONICS

INTERNET ENGINEERING





CommTech - PoliMi

@CommTechPolimi · 302 iscritti · 14 video

Benvienuto nel canale ufficiale del corso di studi di Ingegneria delle Telecomunicazioni del ...altro

polimi.it/futuri-studenti/corsi-di-laurea-magistrale/telecommunication-engineering-ingegneria-d...

Iscriviti



Un corso di telecomunicazioni da 5 CFU...



Aumentare la copertura della rete mobile senza installare...



Il corso di "Wireless Internet" in 10 domande



Ho adorato imparare l'Internet Of Things...



Interferenza Starlink con gli altri satelliti: dalla teoria all...



Ingegneria delle Telecomunicazioni ha dato...



Miniaturizzare i componenti degli smartphone: dalla...



Il corso di "EM Wave Propagation for Space-born..."



Ingegneria delle Telecomunicazioni: scopri il...



Ho scelto ingegneria delle telecomunicazioni quasi pe...

473 visualizzazioni · 3 mesi fa

494 visualizzazioni · 3 mesi fa

519 visualizzazioni · 3 mesi fa

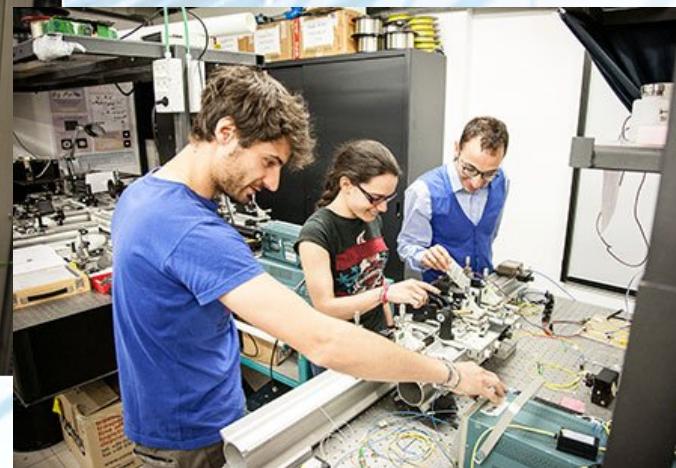
686 visualizzazioni · 5 mesi fa

1059 visualizzazioni · 5 mesi fa

OPTICAL COMMUNICATIONS LAB @ DEIB - POLIMI

POLICOM

lightwave technology



pierpaolo.boffi@polimi.it

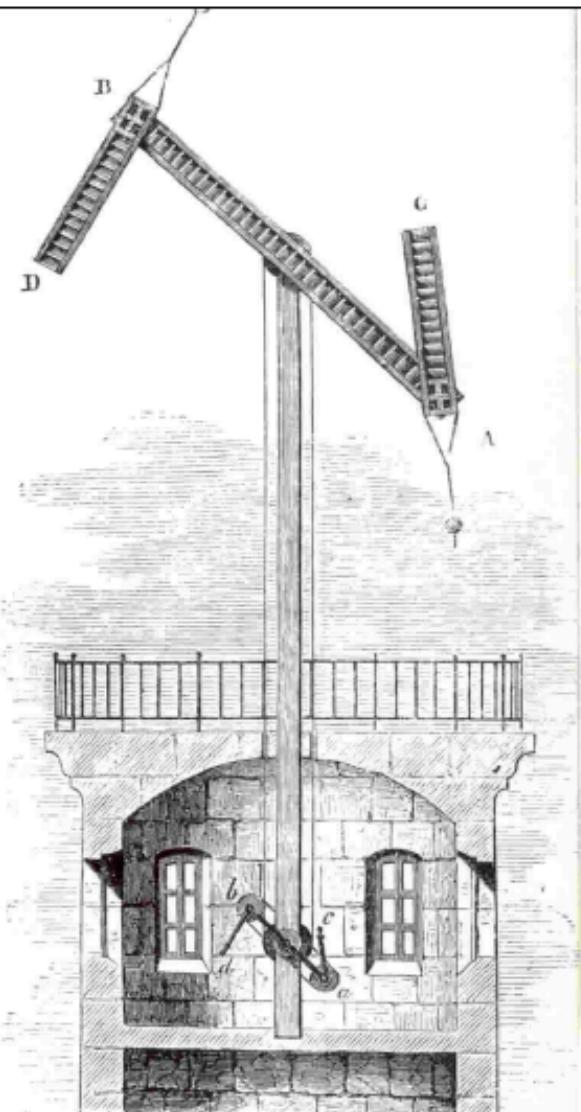


02 2399 8947



<http://policom.deib.polimi.it>

Storia della Telecomunicazioni



- **1793:** Collegamento di 230 km in Francia con il telegrafo ottico di Chappe: diverse posizioni delle pale con ripetitori ogni 5-10 km.

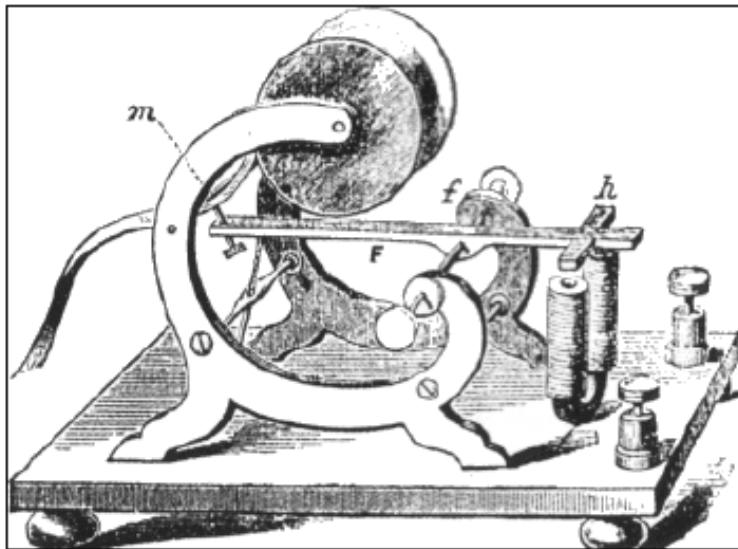
T	Y	F	I	T	Y	F	I	T	T
a	b	c	d	e	f	g	h	i	
Y	Y	I	T	Y	f	Y	T	T	T
k	l	m	n	o	p	q	r	s	
I	I	T	Y	I	I	T	T	t	
t	u	v	w	x	y	z	&	i	
I	T	Y	I	I	T	T	I	I	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Le TLC nascono ottiche



Storia della Telecomunicazioni

- **1837:** telegrafo elettrico Morse tramite impulsi elettrici. Nasce un codice binario per i caratteri alfanumerici. In uso fino al 1999.



Le TLC proseguono digitali



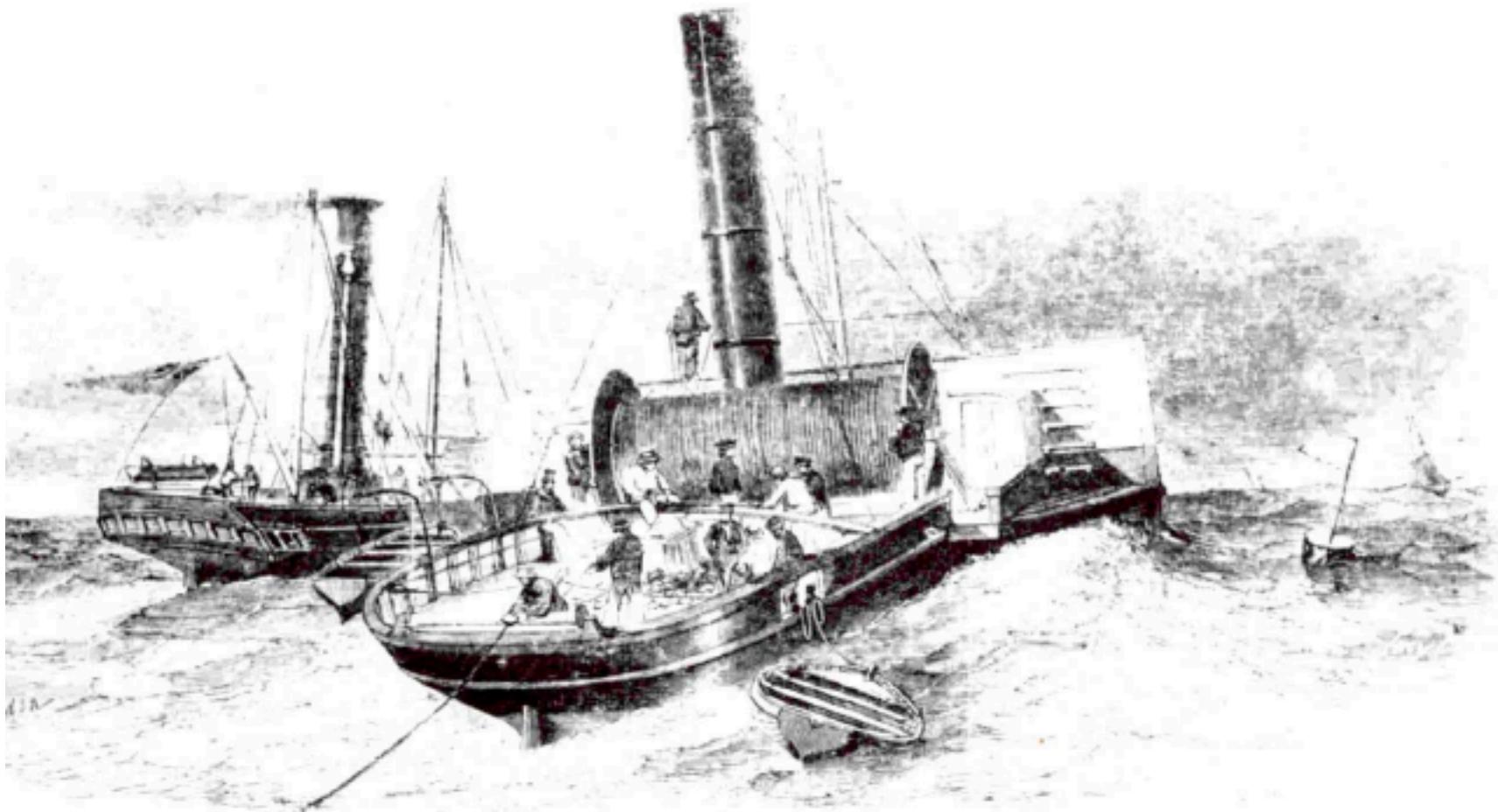
Storia della Telecomunicazioni

- **2° metà del XIX secolo:** diffusione rapidissima della rete telegrafica su cavo in rame (coincide con la diffusione delle reti ferroviarie nazionali). Nel 1875 la rete USA contava 214.000 miglia di cavi.



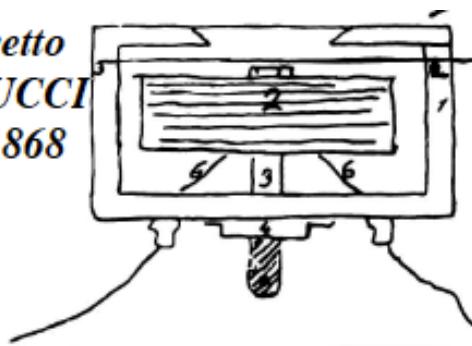
Storia della Telecomunicazioni

- **2° metà del XIX secolo:** posa sottomarina cavi telegrafici transatlantici

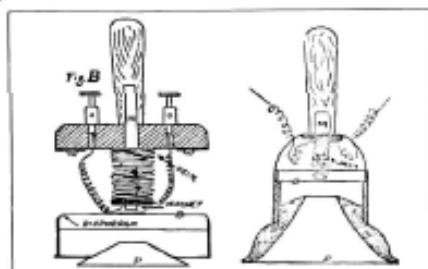


Storia della Telecomunicazioni

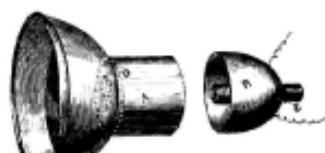
Brevetto
MEUCCI
del 1868



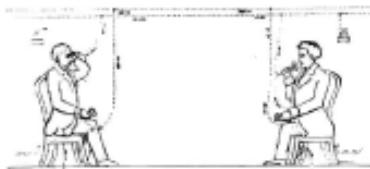
Schizzo del telefono Meucci come ideato nel periodo 1866/68.



Disegni del telefono ideato da Meucci uniti alla domanda depositata all'Ufficio brevetti di Washington nel 1871.



Il telefono ideato da Meucci.

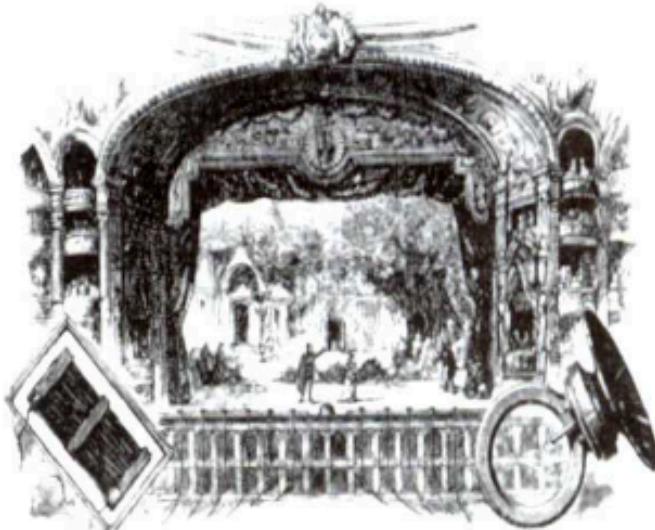


Prospetto e schema della trasmissione telefonica come prevista da Meucci.

- **1868:** Meucci brevetta il telefono che permette lo scambio a distanza di conversazioni vocali in tempo reale senza la mediazione di codici.
- **1876:** Bell brevetta il suo telefono.



Storia della Telecomunicazioni

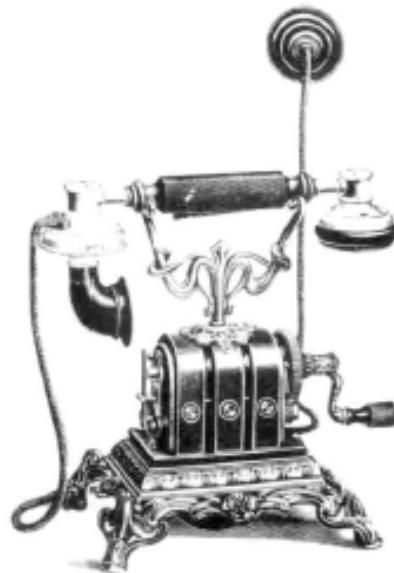


- Bell si attiva per promuovere il telefono soprattutto per “intrattenimento” (sorta di radio via cavo). L'applicazione per comunicazione interpersonale non fu preventivata nemmeno dallo stesso Bell



Storia della Telecomunicazioni

- **1871:** dopo 5 anni da prime dimostrazioni, negli USA già 123.000 apparecchi telefonici.
- **1892:** primo collegamento a grande distanza (New York – Chicago 1520 km) su linea aerea con cavo in bronzo su palificazione in legno.



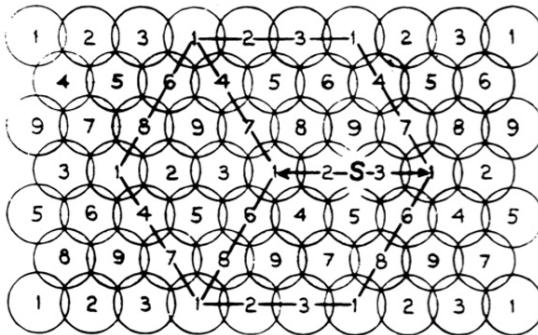
Storia della Telecomunicazioni



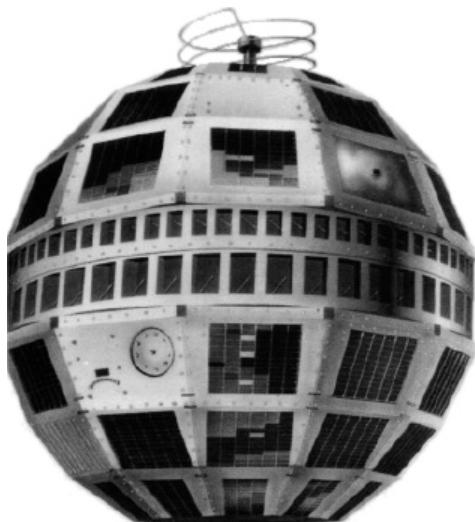
- **1895:** Marconi inventa la radio e la telegrafia “senza fili”. Mettendo a frutto ricerche di Hertz, utilizza onde radio modulate per la trasmissione di suoni a distanza.
- **1901:** trasmissione attraverso l'Atlantico.
- **1922:** primo servizio regolare di trasmissioni di intrattenimento via radio nel Regno Unito.
- **1936:** la BBC inaugura il primo servizio di trasmissioni televisive pubbliche.



Storia della Telecomunicazioni



- **1947:** primo brevetto sulla configurazione di **una rete cellulare moderna** (D.H.Doug) Ring, Bell Labs.



- **1962:** primo satellite di telecomunicazione. I Bell Labs lanciano il TELESTAR1, satellite per telecomunicazioni commerciali in grado di trasmettere 600 conversazioni telefoniche o un canale televisivo.



Storia della Telecomunicazioni

Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies

K. C. Kao, B.Sc.(Eng.), Ph.D., A.M.I.E.E., and G. A. Hockham, B.Sc.(Eng.), Graduate I.E.E.

Synopsis

A dielectric fibre with a refractive index higher than its surrounding region is a form of dielectric waveguide which represents a possible medium for the guided transmission of energy at optical frequencies. The particular type of dielectric-fibre waveguide discussed is one with a circular cross-section. The choice of the mode of propagation for a fibre waveguide used for communication purposes is governed by consideration of loss characteristics and information capacity. Dielectric loss, bending loss and radiation loss are discussed, and mode stability, dispersion and power handling are examined with respect to information capacity. Physical-realisation aspects are also discussed. Experimental investigations at both optical and microwave wavelengths are included.

List of principal symbols

J_n	= n th-order Bessel function of the first kind
K_n	= n th-order modified Bessel function of the second kind
β	= $\frac{2\pi}{\lambda}$, phase coefficient of the waveguide
J'_n	= first derivative of J_n
K'_n	= first derivative of K_n
k_r	= radial wavenumber or decay coefficient
ϵ_r	= relative permittivity
k_0	= free-space propagation coefficient
γ	= radius of the fibre
μ	= azimuthal propagation coefficient
T	= absolute temperature, deg K
β_r	= isothermal compressibility
λ	= wavelength
n	= refractive index
$H^{(j)}$	= j th-order Hankel function of the i th type
H_r	= derivation of H_i
L	= azimuthal propagation coefficient = $\nu_1 - \nu_2$
L	= modulation period

Subscript n is an integer and subscript m refers to the m th root of J_n are

boundary conditions imposed by the physical structure, the characteristic equations are as follows:

for HE_{nm} modes

$$\frac{n^2 \beta^2}{k_0} \left(\frac{1}{u_1^2} + \frac{1}{u_2^2} \right)^2 = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\epsilon_1}{u_1} \frac{J'_n(u_1)}{J_n(u_1)} + \frac{\epsilon_2}{u_2} \frac{K'_n(u_2)}{K_n(u_2)} \\ \times \left(\frac{1}{u_1} \frac{J'_n(u_1)}{J_n(u_1)} + \frac{1}{u_2} \frac{K'_n(u_2)}{K_n(u_2)} \right) \end{array} \right. . \quad (1)$$

for E_{0m} modes

$$\frac{\epsilon_1}{u_1} \frac{J'_0(u_1)}{J_0(u_1)} = - \frac{\epsilon_2}{u_2} \frac{K'_0(u_2)}{K_0(u_2)} . \quad \quad (2)$$

for H_{0m} modes

$$\frac{1}{u_1} \frac{J'_0(u_1)}{J_0(u_1)} = - \frac{1}{u_2} \frac{K'_0(u_2)}{K_0(u_2)} . \quad \quad (3)$$

The auxiliary equations defining the relationship between u_1 and u_2 are

$$u_1^2 + u_2^2 = (k_0 a)^2 (\epsilon_1 - \epsilon_2)$$

$$h_1^2 = \gamma^2 + k_0^2 \epsilon_1$$

$$- h_2^2 = \gamma^2 + k_0^2 \epsilon_2$$

$$u_i = h_i \alpha, i = 1 \text{ and } 2$$

1 Introduction

A dielectric fibre with a refractive index higher than its surrounding region is a form of dielectric waveguide which represents a possible medium for the guided transmission of energy at optical frequencies. This form of structure guides the electromagnetic waves along the definable boundary between the regions of different refractive indexes. The associated electromagnetic field is carried partially inside the fibre and partially outside it. The external field is evanescent in the direction γ and has a range of propagation, and it decays approximately exponentially towards infinity. Such structures are often referred to as open waveguides, and the propagation is known as the surface-wave mode. The particular type of dielectric-fibre waveguide to be discussed is one with a circular cross-section.

2 Dielectric-fibre waveguide

The dielectric fibre with a circular cross-section can support a family of H_{0m} and E_{0m} modes and a family of hybrid HE_{nm} modes. Solving the Maxwell equations under the

Paper 5033 E, first received 24th November 1965 and in revised form 27th January 1966. Dr. Kao and Mr. Hockham are with Standard Telecommunications Laboratories Ltd, Harlow, Essex, England
PROC. IEE, Vol. 113, No. 7, JULY 1966

- **1966:** Charles Kao dimostra possibilità di sviluppare una fibra ottica in vetro altamente puro per il trasporto della luce su lunghe distanze (articolo di C. Kao).

- **1970:** fibra ottica Corning utilizzata per telecomunicazioni.
- **1973:** Prima telefonata senza fili (Motorola)



Storia della Telecomunicazioni

- 1977: AT&T invia i primi segnali di test in un collegamento in fibra a **Chicago**; GTE invia un segnale telefonico live a 6Mb/s attraverso un collegamento in fibra a **Long Beach**, California; Bell System manda un traffico telefonico a 45Mb/s su fibra installata a **Chicago**; British Post Office invia un segnale telefonico in cavi interrati vicino a **Martlesham Heath**.

Optical Fiber System Trials at 8 Mbits/s and 140 Mbits/s

Atlanta Fiber System Experiment:

RONALD W. BERRY, DAVID J. BRACE, AND IVOR A. RAVENSCROFT

The Chicago Lightwave Communications Project

By M. I. SCHWARTZ, W. A. REENSTRA, J. H. MULLINS,
and J. S. COOK

(Manuscript received January 25, 1978)

The Bell System installed and is evaluating an exploratory lightwave communications system in downtown Chicago. In addition to regular interoffice trunk service, the system provides range of telecommunications services to customers in Chicago's Brunswick Building, including voice, analog data, digital data, and PICTUREPHONE® Meeting Service, a 4-MHz video service. This paper describes the transmission medium, its installation, and the system configuration, and includes some preliminary performance data.

Optical Transmission for Interoffice Trunks

E. E. BASCH, MEMBER, IEEE, RICHARD A. BEAUDETTE, MEMBER, IEEE, AND HOWARD A. CARNES

Suffolk, England.



POLITECNICO MILANO 1863

FdTLC: 1 – Introduzione

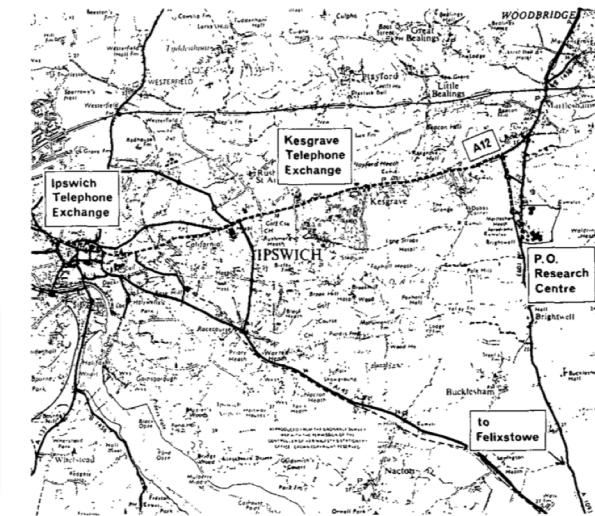


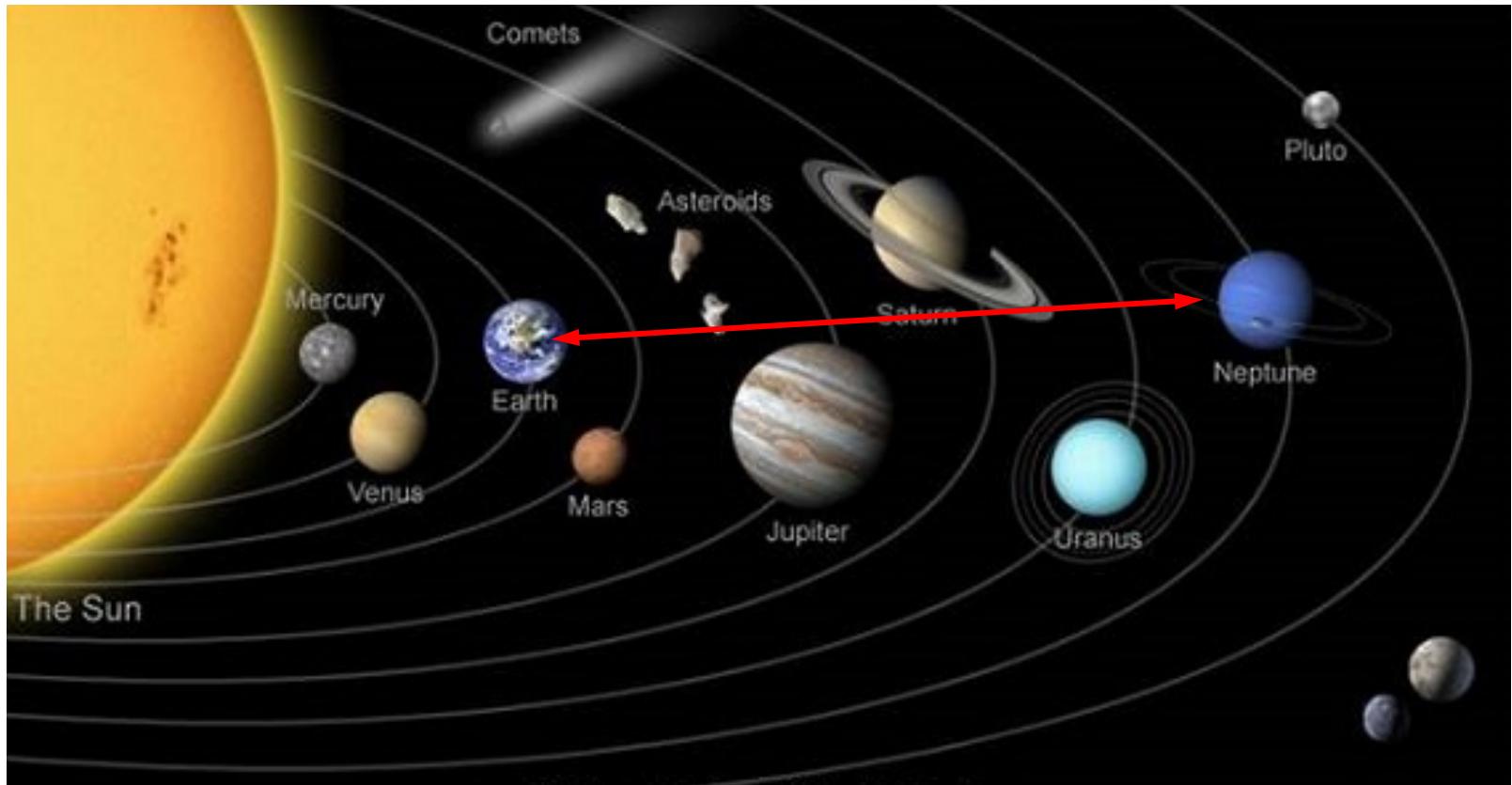
Figure 1 13 km Martlesham Heath–Ipswich cable route.

Storia della Telecomunicazioni

- **Oggi:** installati nel mondo + di 4 miliardi di km di fibra ottica



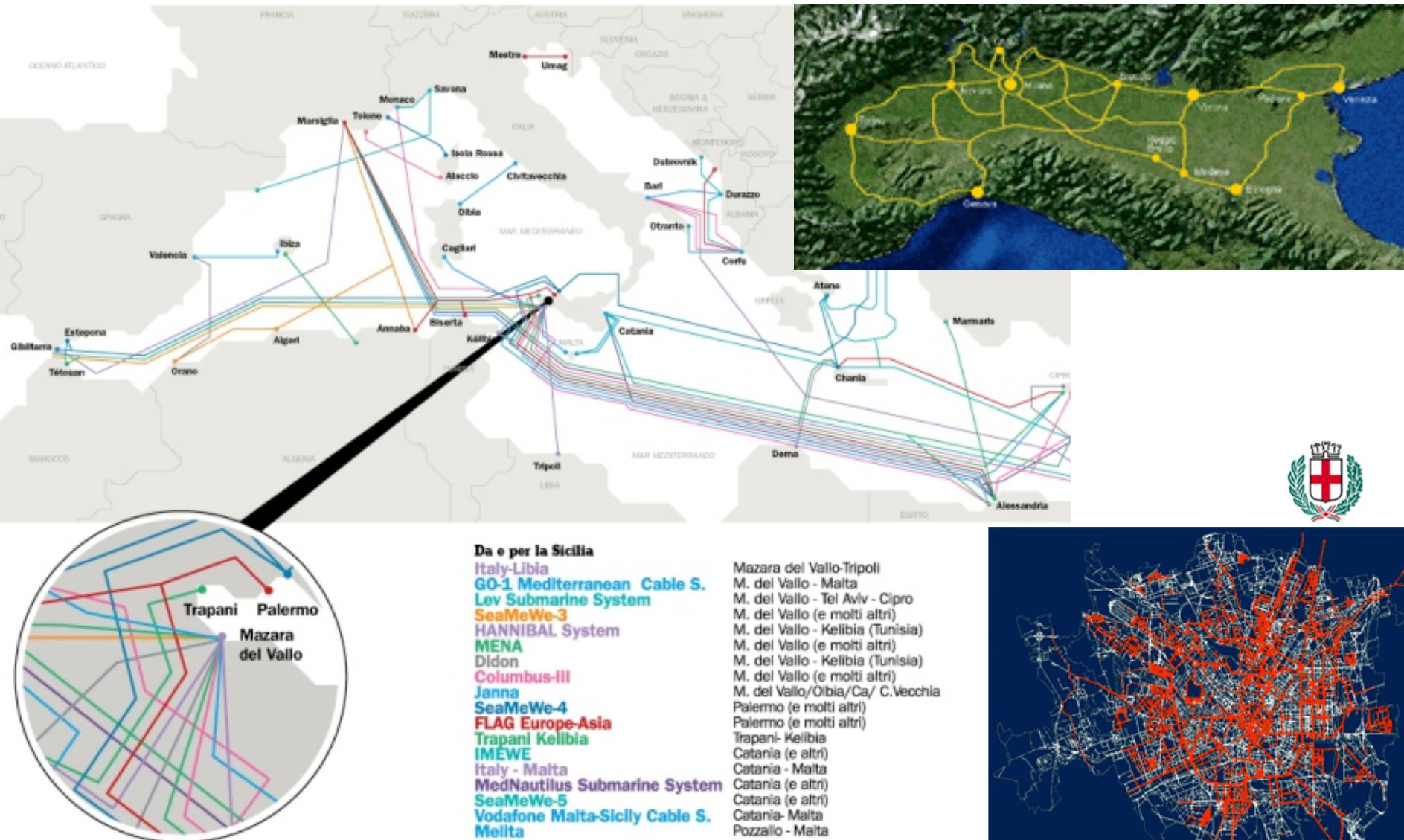
Storia della Telecomunicazioni



- Crescita della quantità di fibra nel mondo: +17% all'anno
 - 2024: **4 miliardi di km** ➔ 100.000 volte la circonferenza terrestre
- ↓
- distanza tra la Terra e Nettuno

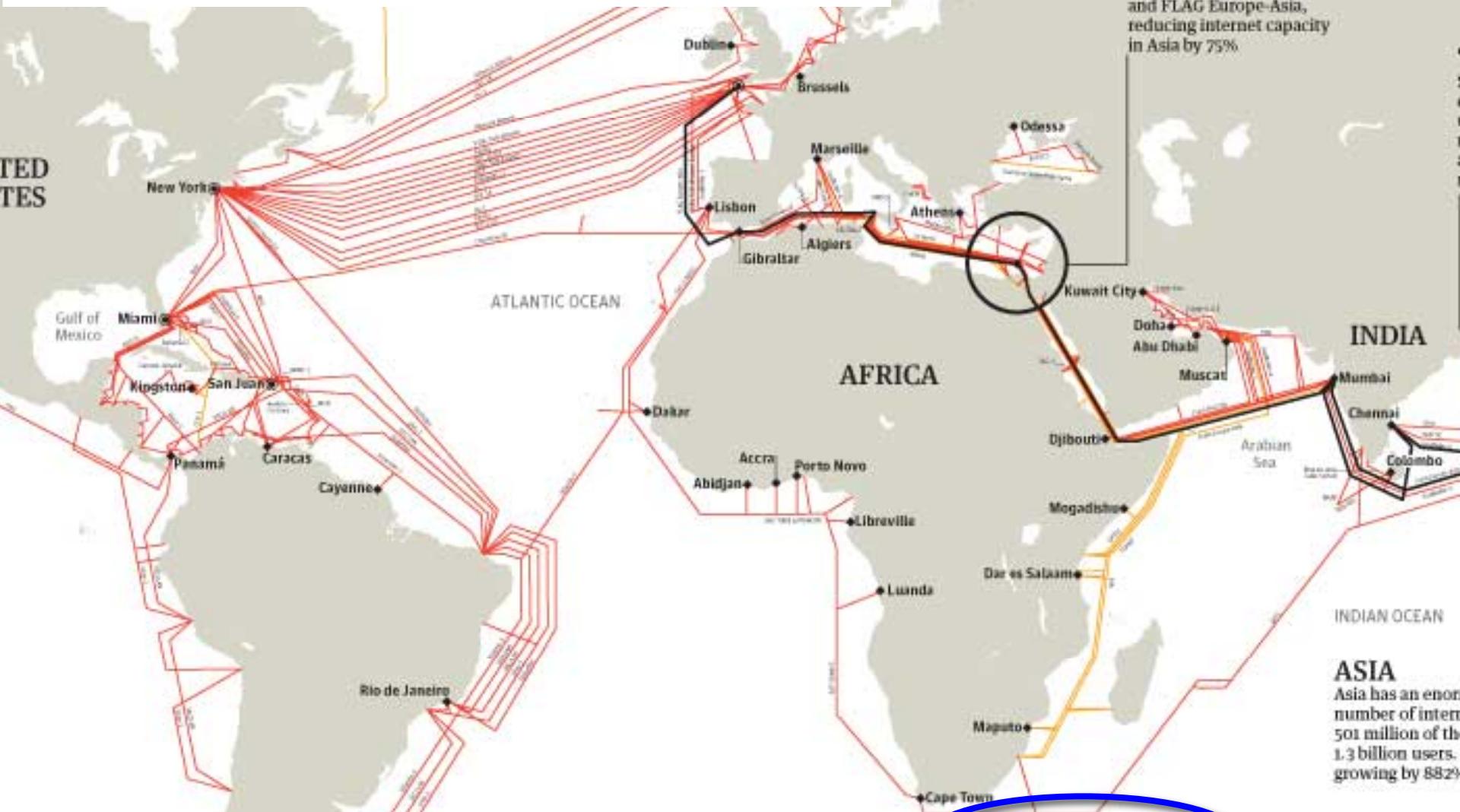


Storia della Telecomunicazioni



Failure Happens: Transcontinental fiber-optic submarine cables

TED
UTES



Alexandria, Wednesday
A ship's anchor accidentally cuts two cables, SeaMeWe4 and FLAG Europe-Asia, reducing internet capacity in Asia by 75%

ASIA
Asia has an enormous number of internet users: 501 million of the 1.3 billion users, growing by 88.2%.

“ According to reports, the internet blackout, which has left 75 million people with only limited access, was caused by a ship that tried to moor off the coast of Egypt in bad weather on Wednesday. Since then phone and internet traffic has been severely reduced across a huge swath of the region, slashed by as much as 70% in countries including India, Egypt and Dubai. [...] ”



POLITECNICO
di MILANO

British and French Submarine Communication Cables Cut

31/10/2022

Since the explosion of the Nord Stream gas pipeline in September, Europe has witnessed the breaking of submarine communication cables in Norway and the deliberate cutting of railway cables in Germany. The 20 October, the UK submarine fiber optic cable linking the Shetland Islands to Scotland was damaged. At the same time, submarine cables in the south of France also failed, affecting three important lines of communication.

The successive interruptions of infrastructures have raised concerns about the security of communications. The vulnerability of critical energy and communications infrastructure is of great concern.



The cut in the cable-SHEFA-2



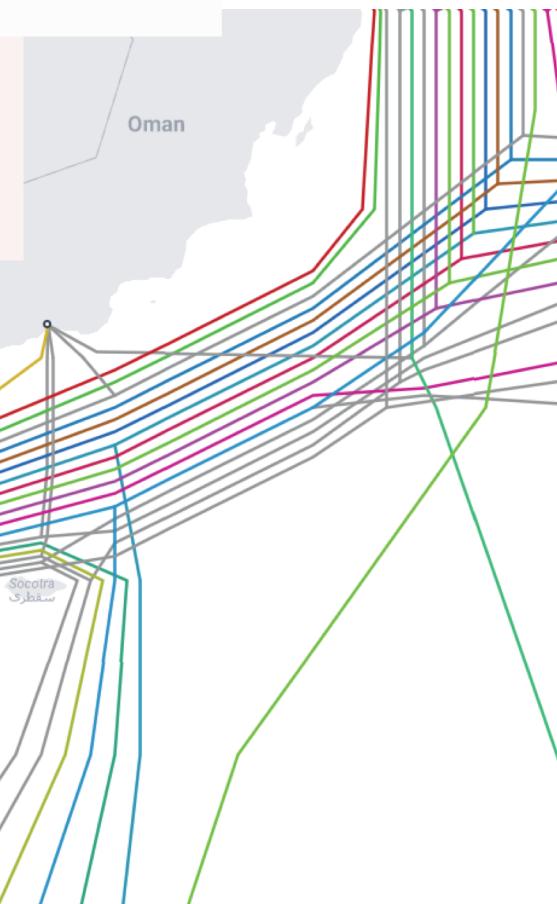
Four Fiber Optic Cables Damaged In Red Sea: Here's What We Know

By [Zachary Folk](#), Forbes Staff. I cover breaking news.

[Follow Author](#)

Published Mar 04, 2024, 12:27pm EST

At least four undersea fiber optic cables, which carry approximately 97% of all Internet traffic, were damaged last week in the Red Sea, telecommunications providers are reporting, and instability in Yemen threatens to prevent operators from fixing them immediately.



Tue 19 Nov 2024 17.10 CET

We assume damage to Baltic Sea cables as sabotage, German minister says

Boris Pistorius says 'no one believes' two undersea fibre-optic communications cables were cut accidentally



Source: TeleGeography

EXPLAINER

News | Russia-Ukraine war

Did a Russian 'shadow ship' cut the Finland-Estonia undersea Baltic cable?

Finnish authorities board a ship in the Baltic Sea that the West suspects is linked to Russia, a day after an underwater electricity cable was cut and other telecom cables snapped.

Germany has said it has to assume that damage to two undersea fibre-optic communication cables in the Baltic Sea since Sunday was an act of sabotage.

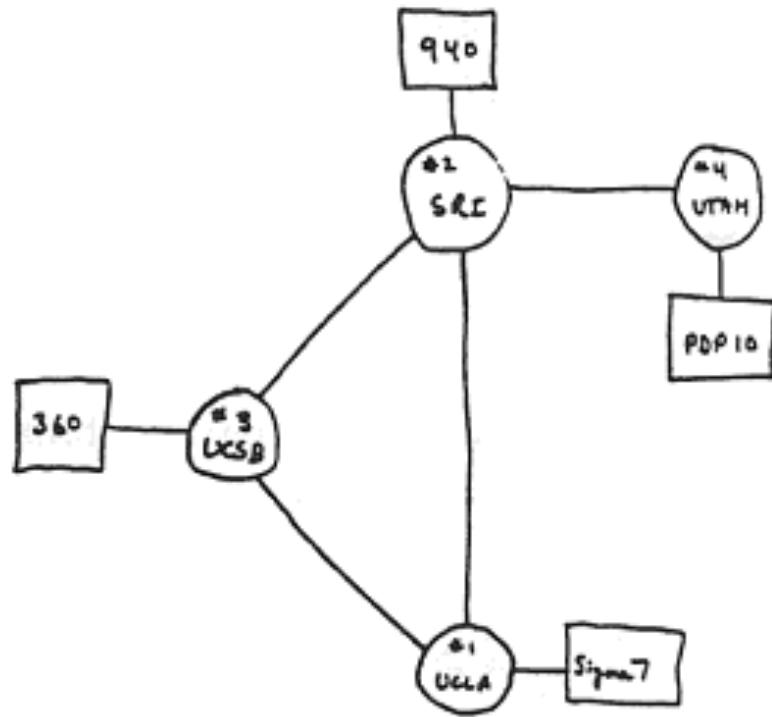
Two cables - one between Finland and Germany, the other between Sweden and Lithuania - were severed on Sunday and Monday, raising suspicions of a malicious attack, though authorities initially declined to speculate.

"No one believes that the cables were accidentally damaged. I also don't want to believe that the ships' anchors caused the damage by accident," the German defence minister, Boris Pistorius, said in Brussels on Tuesday. "We have to assume, without certain information, that the damage is caused by sabotage."



Breve storia di Internet

+ di 50 ANNI DI INTERNET



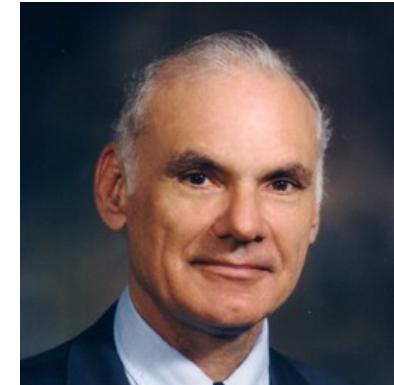
THE ARPA NETWORK

DEC 1969



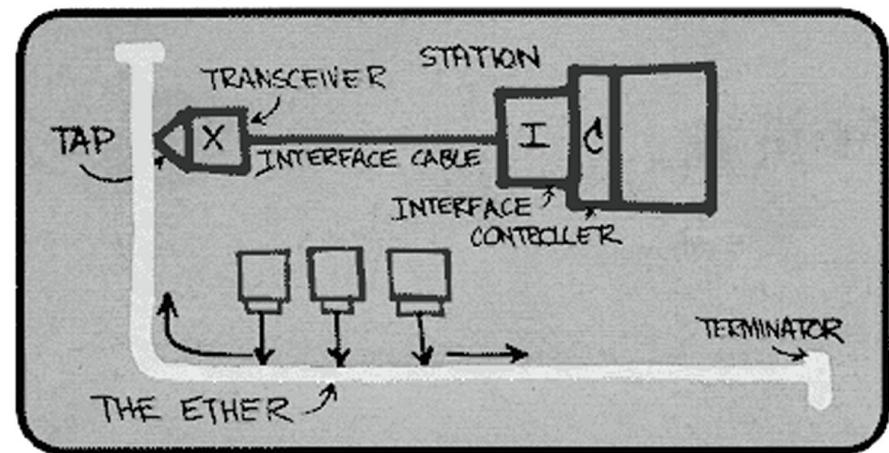
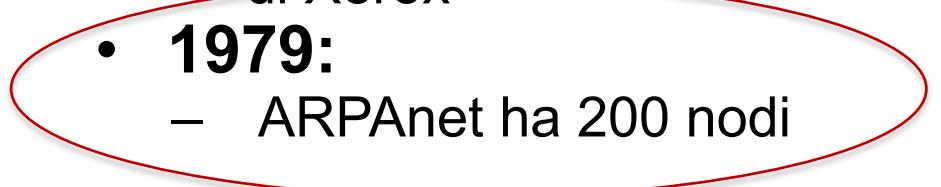
Storia di Internet: anni '60

- **1961:** Kleinrock – dimostra l'efficacia della commutazione di pacchetto grazie alla teoria delle code
- **1967:** Lawrence Roberts progetta ARPAnet (Advanced Research Projects Agency)
- **1969:** primo nodo di IMP (Interface Message Processor) di ARPAnet a UCLA



Storia 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 al Univ. of Hawaii
- **1974:**
 - Cerf and Kahn – definiscono i principi dell'internetworking (rete di reti)
- **1976:**
 - Nasce Ethernet nei laboratori di Xerox
- **1979:**
 - ARPAnet ha 200 nodi

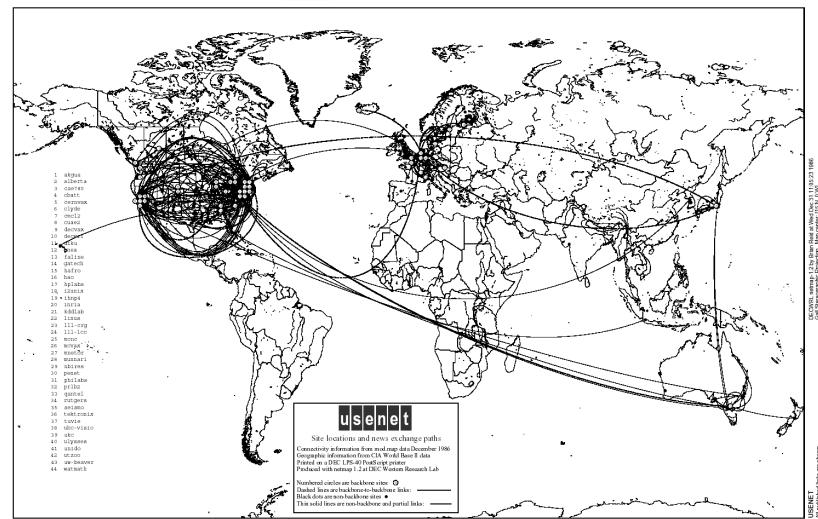


Storia di Internet: anni '80

- **1982:** definizione del protocollo SMTP per la posta elettronica
 - **1983:** rilascio di TCP/IP che sostituisce NCP
 - **1983:** definizione del DNS per la traduzione degli indirizzi IP
 - **1985:** definizione del protocollo FTP
 - **1988:** controllo della congestione TCP

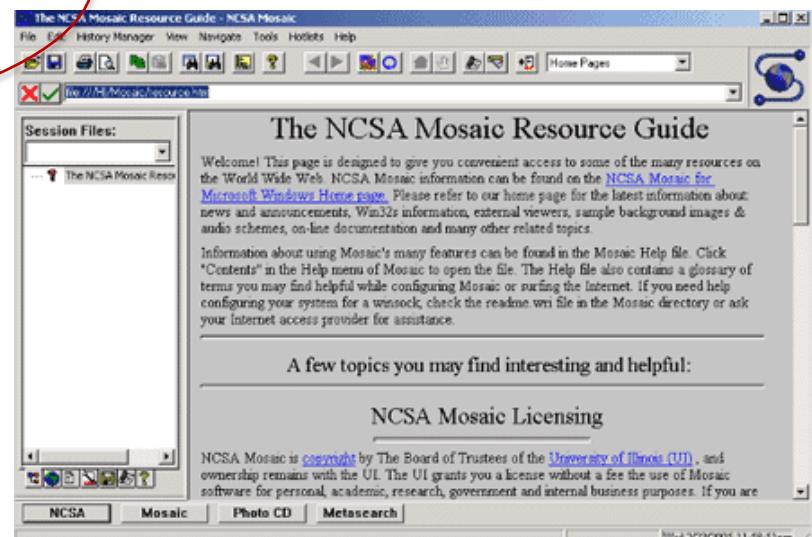
- Nuove reti nazionali:
Csnet, BITnet, NSFnet, Minitel

**100.000 host
collegati**



Storia di Internet: anni '90

- **1990:** ARPAnet viene dismessa
- **1991:** NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet
- **Primi anni '90:** Tim Berners-Lee inventa il web al Cern di Ginevra
- **1994:** Mosaic, poi Netscape
- **Fine '90 :** commercializzazione del Web



Storia di Internet: anni '00

2000 – 2009:

- Arrivano le “killer applications”: messaggistica istantanea, condivisione di file P2P, IP Telephony, social networks
- La sicurezza di rete diventa un problema
- Centinaia di milioni di host, un miliardo di utenti
- Velocità nelle dorsali dell'ordine dei Gbps



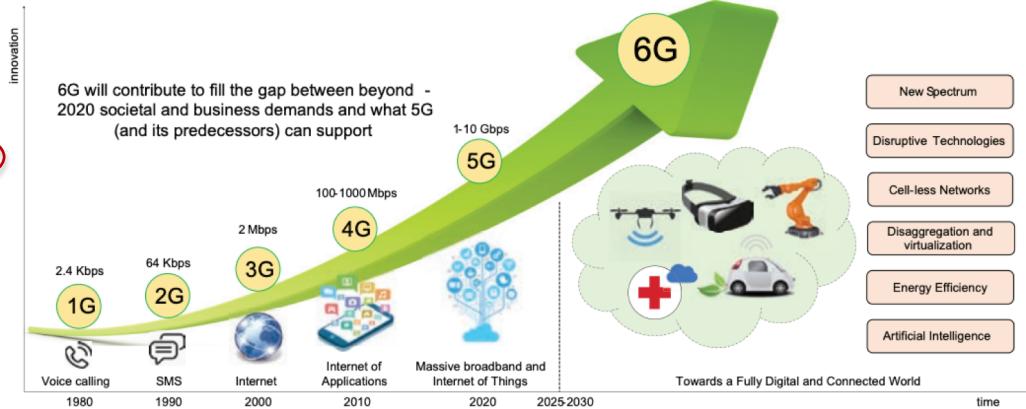
Zuckerberg



Storia di Internet: anni '10

2010 – oggi:

- Esplosione della Mobile Internet
- Arrivano gli smart-phone
- La telefonia si trasferisce definitivamente su Internet
- I contenuti video diventano il traffico predominante sulla rete

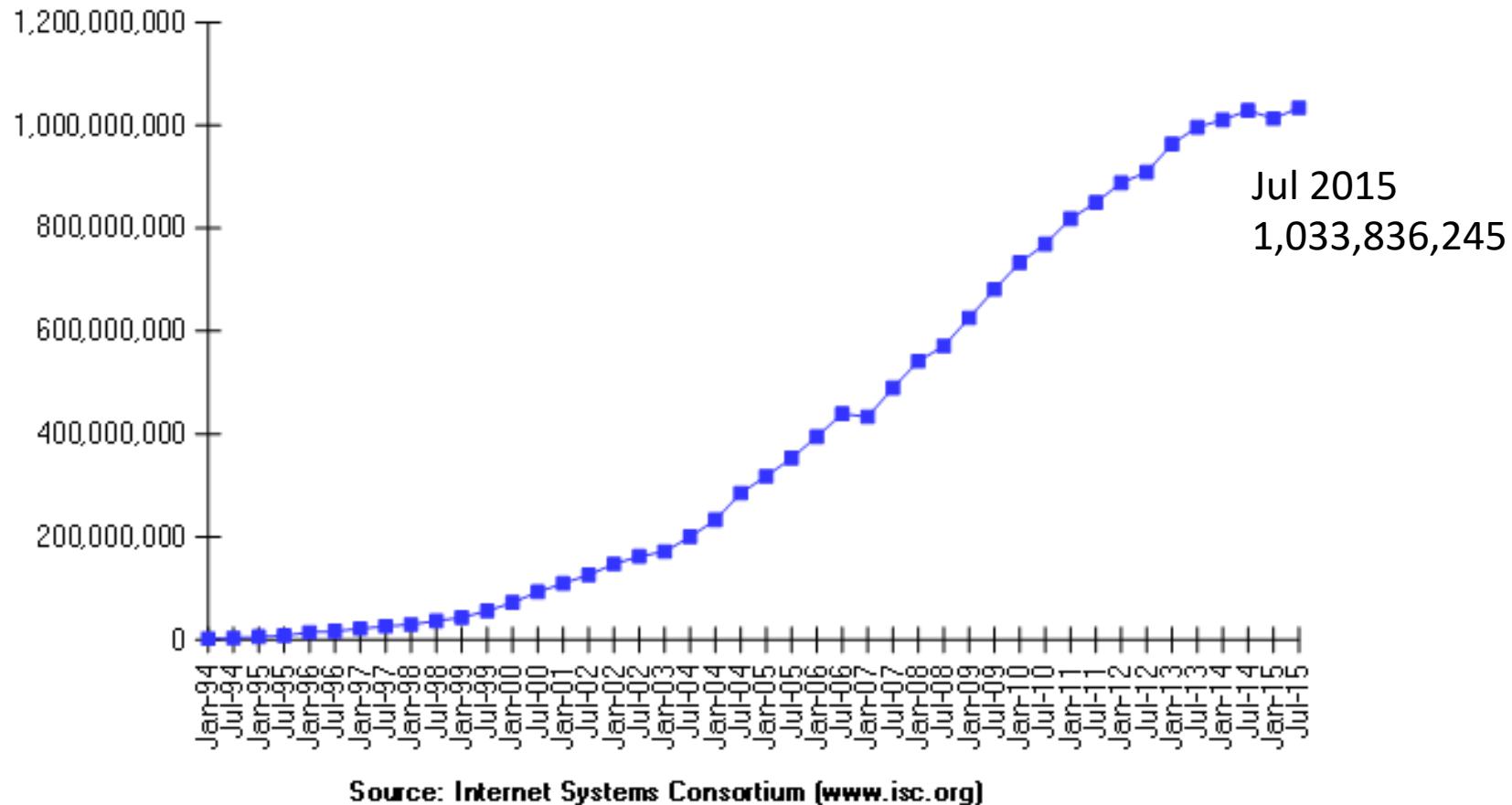


NETFLIX



La crescita di Internet

Internet Domain Survey Host Count



isc.org

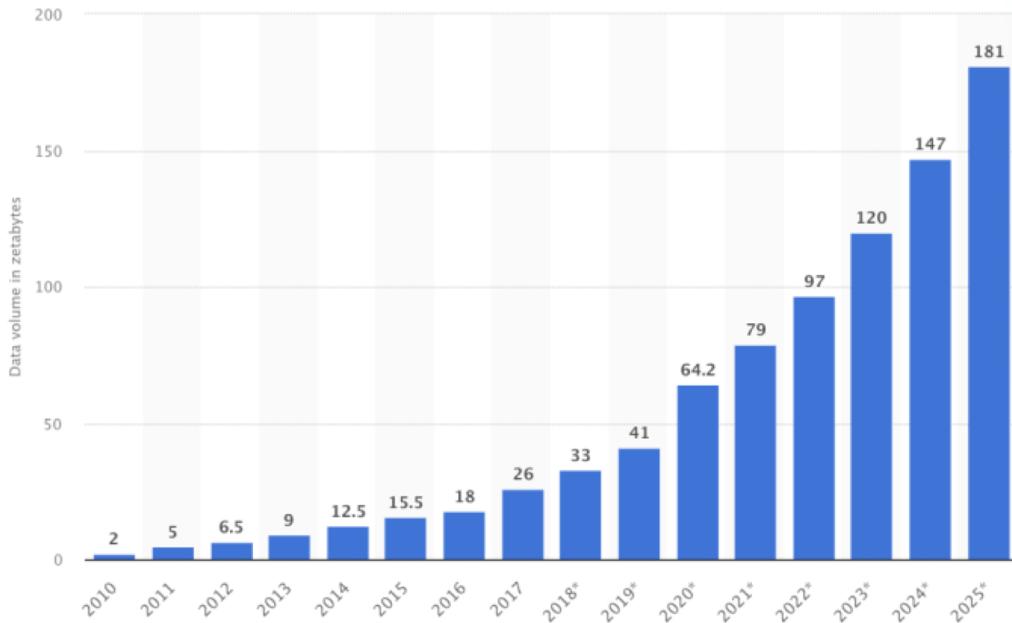


POLITECNICO MILANO 1863

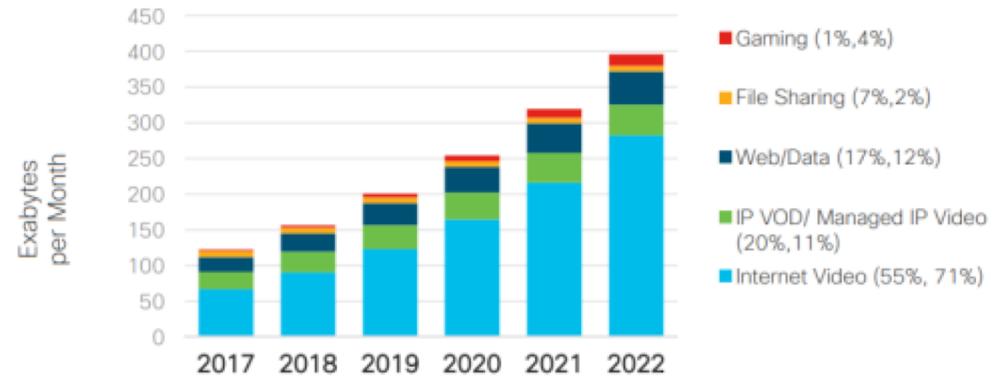
FdTLC: 1 – Introduzione

61

La crescita di Internet



1 Zettabyte = 10^{21} byte
equivalente al contenuto di
12 milioni di DVD con definizione 4K



* Figures (n) refer to 2017, 2022 traffic share

Source: Cisco VNI Global IP Traffic Forecast, 2017–2022

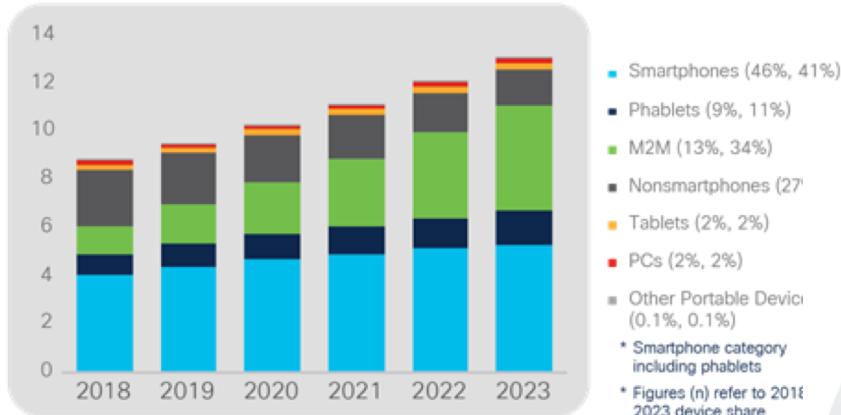


Quanti dati sono generati e quanta capacità serve?

2023

8% CAGR
2018-2023

Billions of Devices



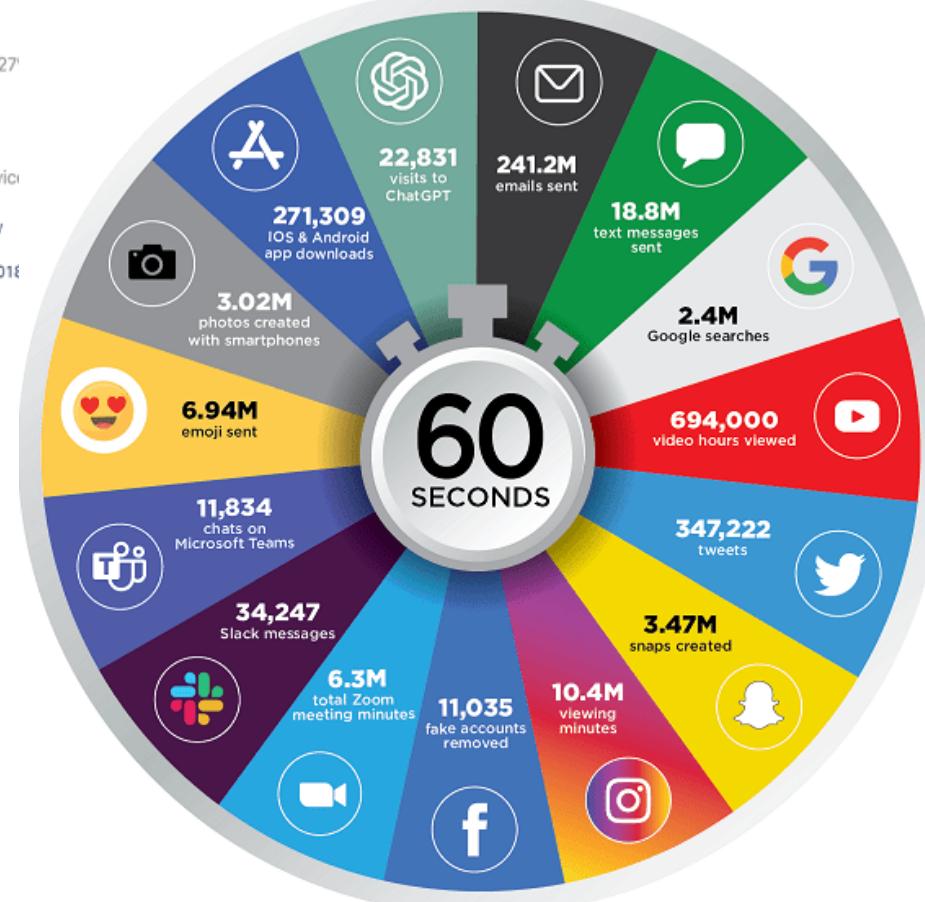
30% CAGR
2018-2023

Millions of Hotspots

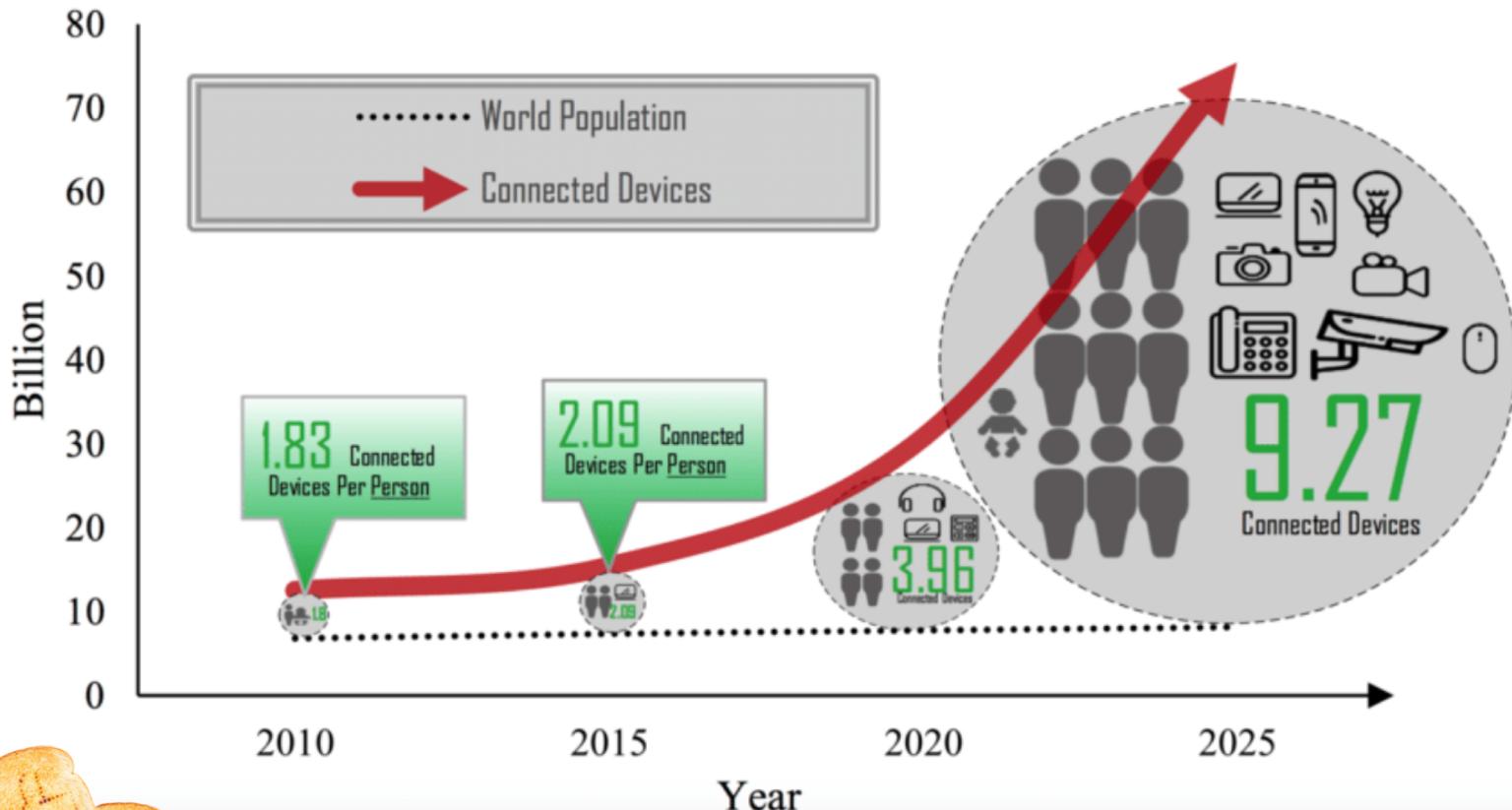
* Middle East and Africa represents 1% of global public Wi-Fi hotspots by 2023

- Middle East and Africa (30% CAGR)
- Central and Eastern Europe (38% CAGR)
- Latin America (37% CAGR)
- North America (25% CAGR)
- Western Europe (20% CAGR)
- Asia Pacific (37% CAGR)

**Cosa accade in 1 minuto
nella rete INTERNET**

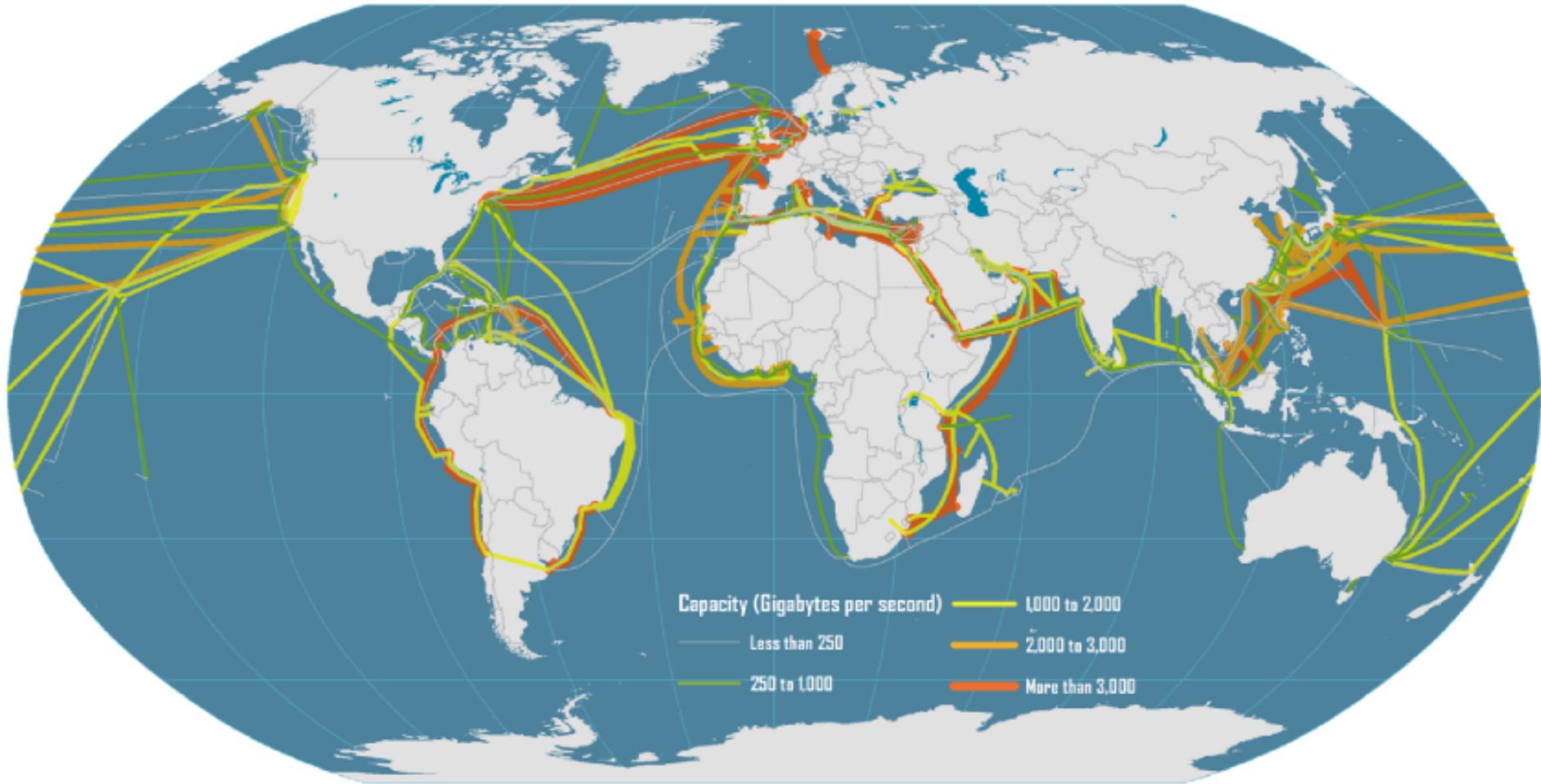


IoT: INTERNET of THINGS

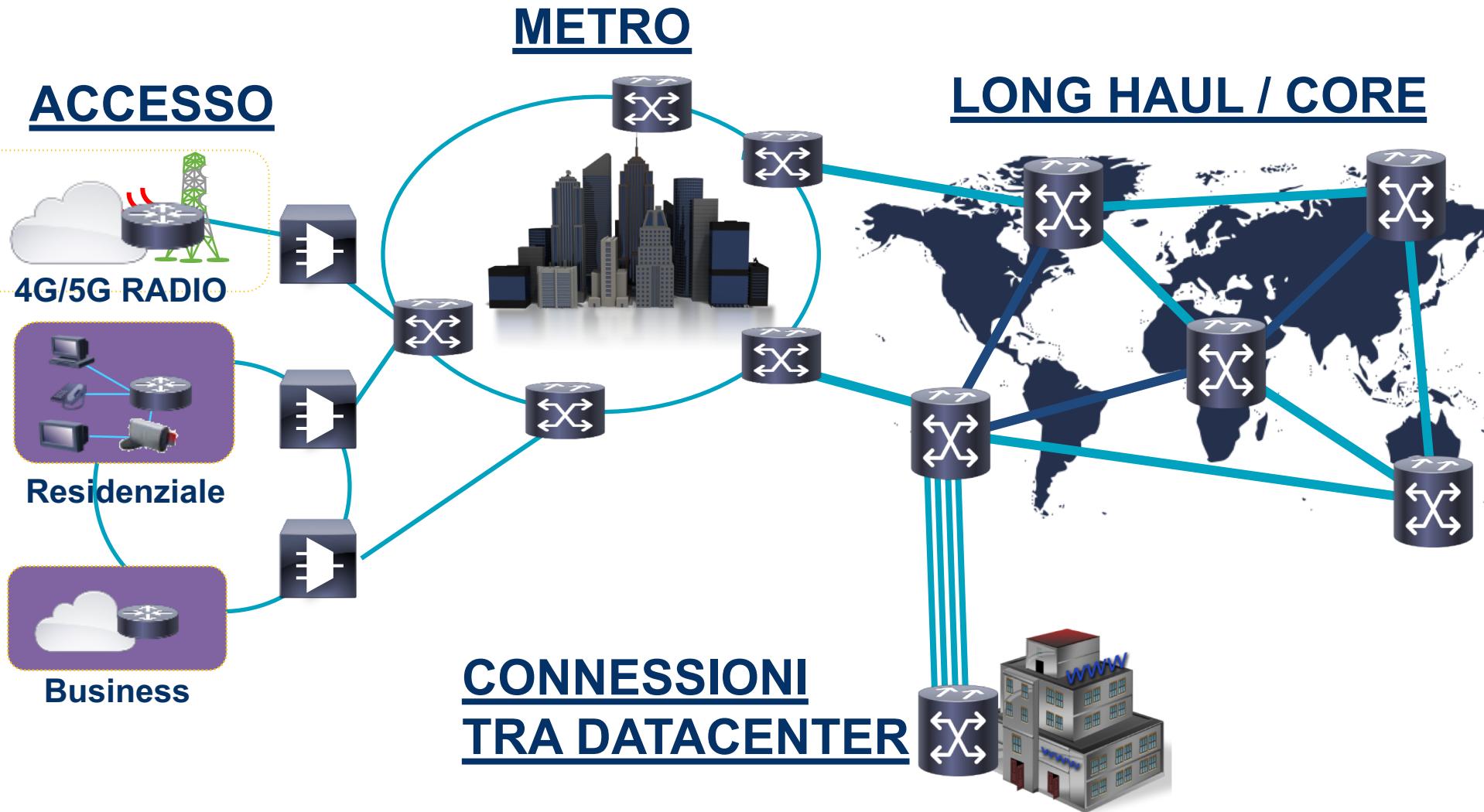


Internet è nel MARE

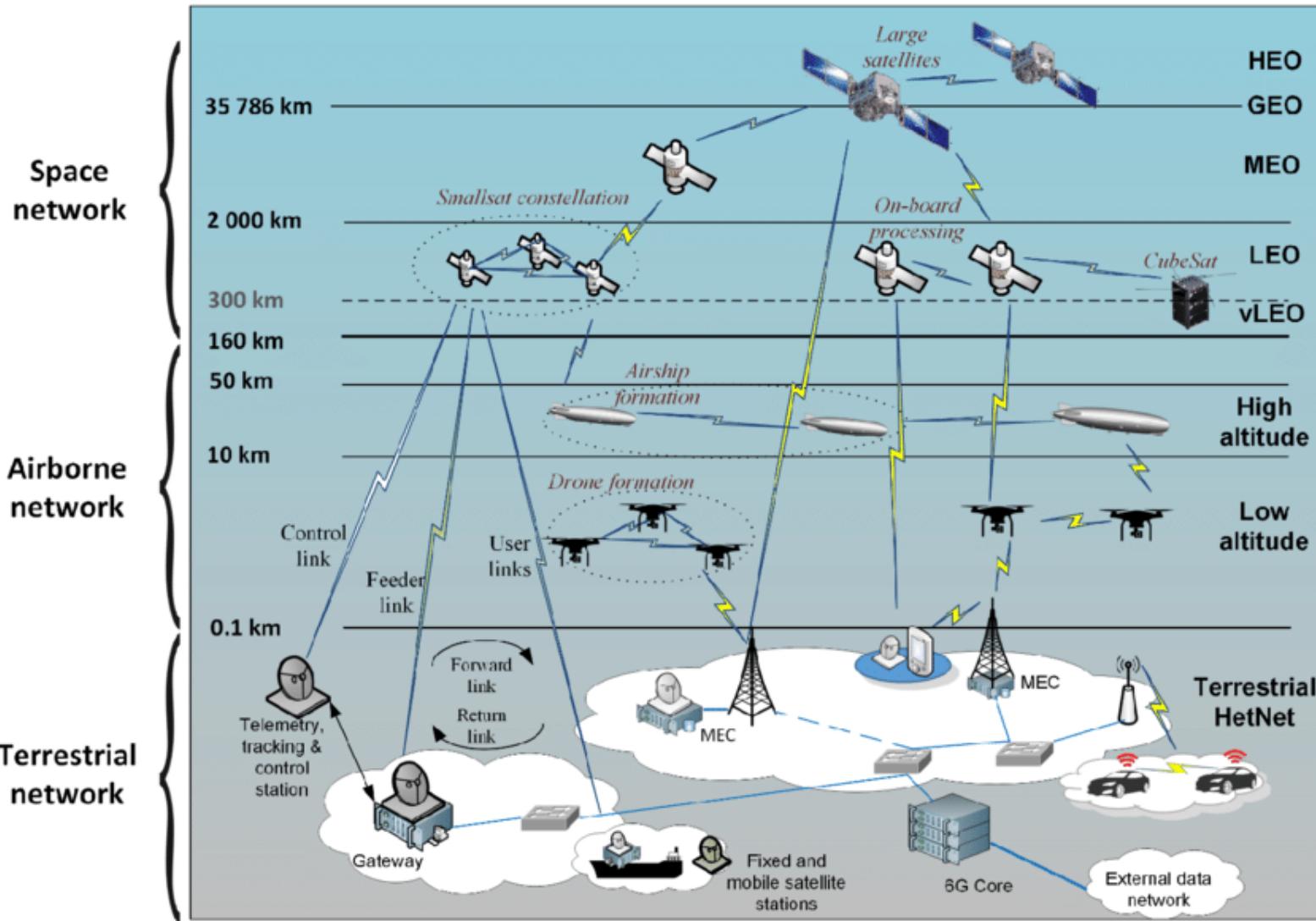
99% del traffico internazionale passa **attraverso cavi in fibra ottica di tipo sottomarino**



Reti in fibra ottica



E una parte si sta spostando in cielo



Dove costa troppo o non e' possibile installare la fibra ottica



Quanto inquina Internet?

1 email da 1 Megabyte
emette circa
19 g di CO₂



Programma del corso

1. INTRODUZIONE E ARCHITETTURE

- Principi generali, architettura e componenti, meccanismi di base

2. SISTEMI DI COMUNICAZIONE

- Misura delle prestazioni di una rete: il concetto di *throughput*, i ritardi nelle reti di telecomunicazioni (tempo di trasmissione, ritardo di trasferimento, tempo di processing, tempo di accodamento)

3. MODELLI FUNZIONALI

- Gestione della comunicazione in rete: modelli architetturali a strati, commutazione di pacchetto e commutazione di circuito



Programma del corso

4. IL LIVELLO FISICO

- Banda del segnale, campionamento, quantizzazione e modulazione
- Trasmissione in banda base e in banda traslata, dispersione e attenuazione del mezzo trasmittivo, capacità di canale
- Mezzi trasmittivi guidanti (doppino, cavo coassiale, fibra ottica) e trasmissione wireless

5. IL LIVELLO APPLICATIVO E I SUOI PROTOCOLLI

- architetture delle applicazioni di rete: approccio *client-server* (HTTP) ed approccio *peer-to-peer* (Gnutella, BitTorrent)

5. IL LIVELLO DI TRASPORTO

- Trasporto non affidabile: il protocollo UDP
- Trasporto affidabile: il protocollo TCP



Programma del corso

6. IL LIVELLO DI RETE:

- *Internet Protocol (IP)*: servizi offerti da IP, formato dei pacchetti
- Gestione di indirizzi IP

7. INOLTRO ED INSTRADAMENTO IN INTERNET:

- Inoltro diretto ed indiretto, uso delle tabelle di *routing*

8. RETI LOCALI E LIVELLO DI LINEA:

- Ethernet, Accesso multiplo



Programma del corso

LABORATORIO:

- **Messa a punto di un vero sistema di trasmissione in fibra ottica ad elevata capacità:** interfacciamento del sistema con la rete Internet per la generazione dei segnali in ingresso e l'acquisizione ed elaborazione dei segnali ricevuti; configurazione della rete e della strumentazione connessa alla rete; prove sperimentali di funzionamento del sistema di comunicazione in rete
- **Streaming video da smartphone a server locale per l'analisi dell'immagine con modelli neurali:** messa a punto di un vero sistema di comunicazione sperimentale 5G; analisi delle prestazioni wireless in tempo reale; monitoraggio del flusso di pacchetti del sistema tramite Wireshark; configurazione della rete cellulare e della strumentazione connessa alla rete

