

---

# Digitalizzazione ed evoluzione delle Reti di Telecomunicazione

*Tecnologie e architetture*

*Reti in fibra ottica FTTC e FTTH, WiFi ed oltre*

*Carla Raffaelli*

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica  
e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" - DEI

- Alma Mater Studiorum Università' di Bologna -



# Il mio intervento

---

- ◆ Obiettivo: introdurre l'evoluzione delle tecnologie per le reti di telecomunicazioni a larga banda 'broadband'
- ◆ Quadro di riferimento
- ◆ Evoluzione dei servizi di TLC
- ◆ Tecnologie per la rete di accesso verso la larga banda



# Il quadro di riferimento

---

## ◆ Strategia per la banda ultralarga in Italia

- Approvato dal Governo Italiano il 3 marzo 2015 in coerenza con l'Agenda Digitale Europea 2020

[http://www.governo.it/sites/governo.it/files/strategia\\_banda\\_ultralarga.pdf](http://www.governo.it/sites/governo.it/files/strategia_banda_ultralarga.pdf)

## ◆ Obiettivi

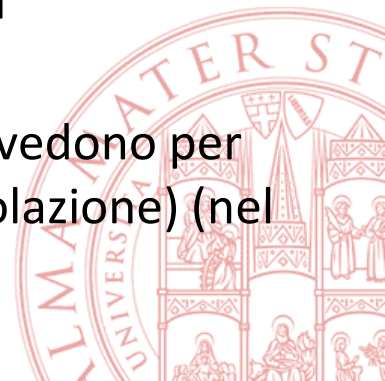
- entro il 2020, l'85% della popolazione coperta da infrastrutture in grado di veicolare servizi a velocità pari e superiori a 100Mbps garantendo al contempo al 100% dei cittadini l'accesso alla rete internet ad almeno 30Mbps.
- Copertura ad almeno 100 Mbps di sedi ed edifici pubblici (scuole e ospedali in particolare)
- Banda ultralarga nelle aree industriali



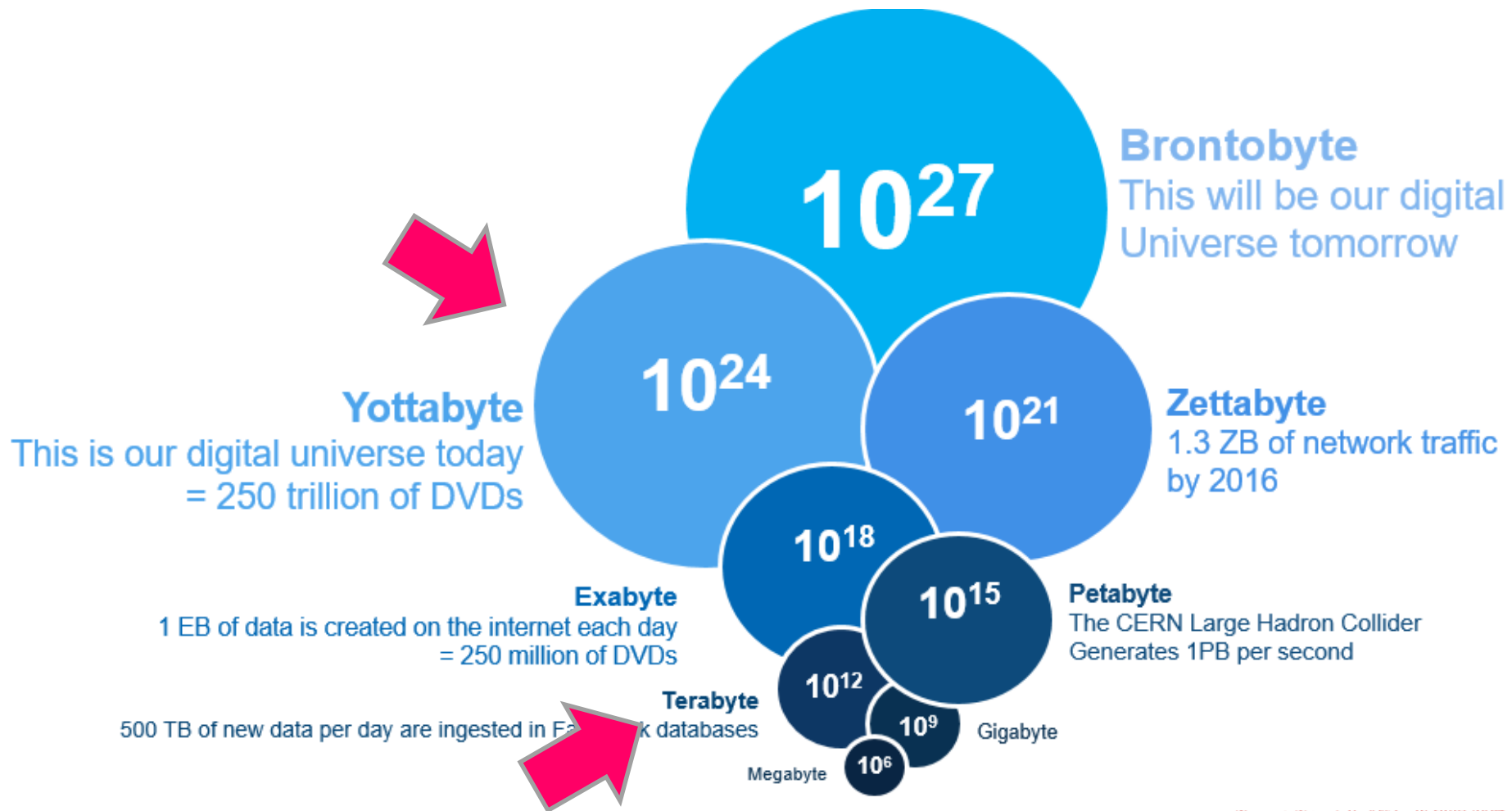
# Evoluzione del traffico

---

- ◆ Siamo nell'era della trasformazione digitale
- ◆ La richiesta di banda di accesso ad Internet sta crescendo di più del 20% all'anno come conseguenza di
  - Video streaming
  - Cloud computing
  - Social media
  - Mobile data
  - ...
- ◆ Nel 2020 ci si aspetta che le comunicazioni video saranno aumentate di oltre 2600 volte rispetto al 2010
- ◆ Mobile data crescono intorno al 35% all'anno e gli abbonamenti raggiungeranno 7.6 miliardi nel 2019
- ◆ Le previsioni di Cisco Visual Networking Index (VNI) Mobile, prevedono per l'Italia 55 milioni di utenti mobili entro il 2019 (il 90% della popolazione) (nel 2014 erano 53,6 milioni pari all'88% della popolazione)



# I numeri dei 'Big Data'



# I numeri di Internet

GEN  
2018

## IL DIGITAL NEL MONDO NEL 2018

INDICATORI STATISTICI PRINCIPALI PER GLI UTENTI INTERNET, MOBILE E SOCIAL MEDIA A LIVELLO MONDIALE

POPOLAZIONE  
TOTALE



we  
are  
social

**7,593**  
MILIARDI

URBANIZZAZIONE:

**55%**

UTENTI  
INTERNET



**4,021**  
MILIARDI

PENETRAZIONE:

**53%**

UTENTI ATTIVI SU  
SOCIAL MEDIA



we  
are  
social

**3,196**  
MILIARDI

PENETRAZIONE:

**42%**

UTENTI  
MOBILE



**5,135**  
MILIARDI

PENETRAZIONE:

**68%**

UTENTI ATTIVI SU SOCIAL  
MEDIA DA MOBILE



**2,958**  
MILIARDI

PENETRAZIONE:

**39%**



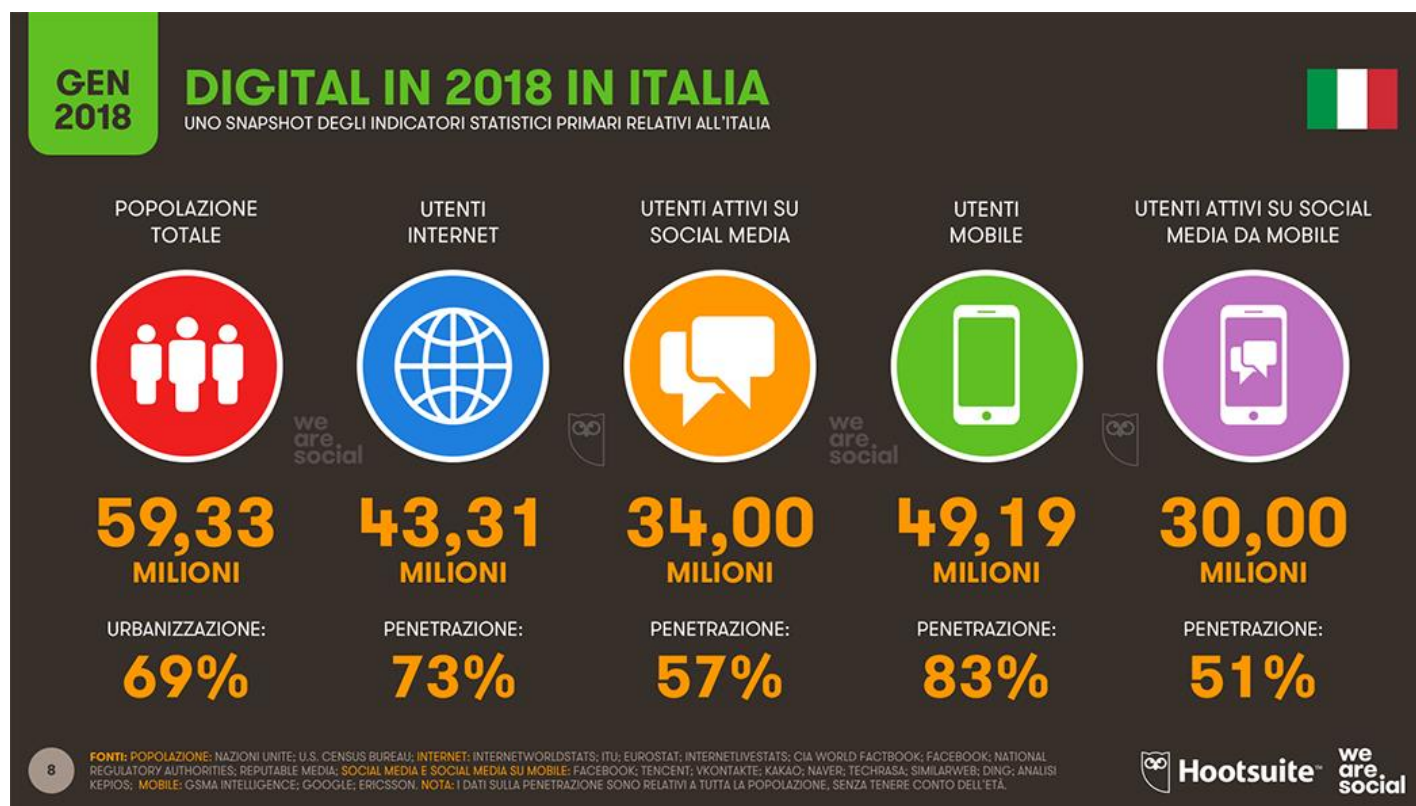
**FONTI:** POPOLAZIONE: NAZIONI UNITE; U.S. CENSUS BUREAU; **INTERNET:** INTERNETWORLDSTATS; ITU; EUROSTAT; INTERNETLIVESTATS; CIA WORLD FACTBOOK; FACEBOOK; NATIONAL REGULATORY AUTHORITIES; REPUTABLE MEDIA; **SOCIAL MEDIA E SOCIAL MEDIA SU MOBILE:** FACEBOOK; TENCENT; VKONTAKTE; KAKAO; NAVER; TECHRASA; SIMILARWEB; DING; ANALISI KEPIOS; **MOBILE:** GSMA INTELLIGENCE; GOOGLE; ERICSSON. **NOTA:** I DATI SULLA PENETRAZIONE SONO RELATIVI A TUTTA LA POPOLAZIONE, SENZA TENERE CONTO DELL'ETÀ.



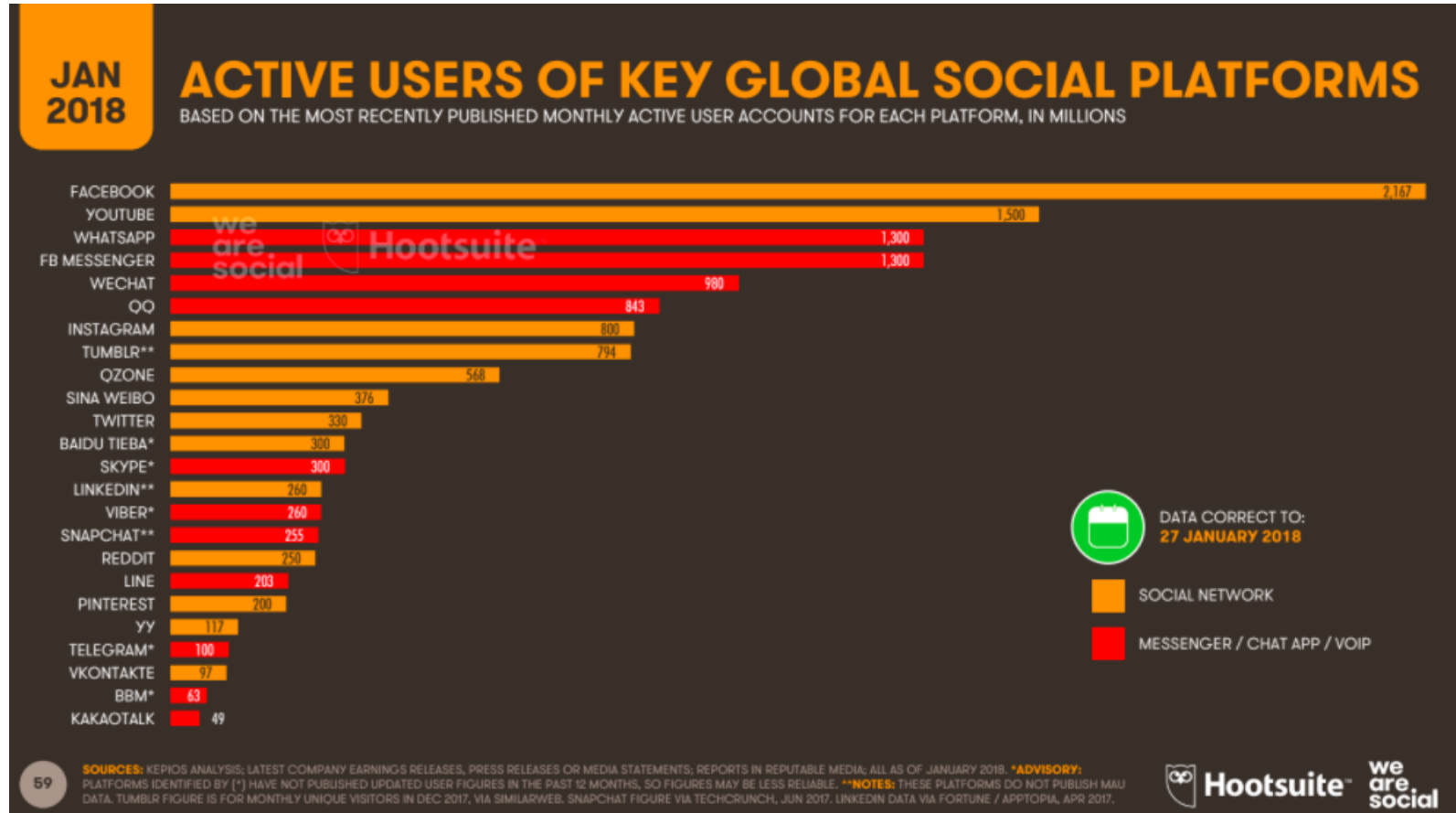
**Hootsuite™**

**we  
are  
social**

# In Italia

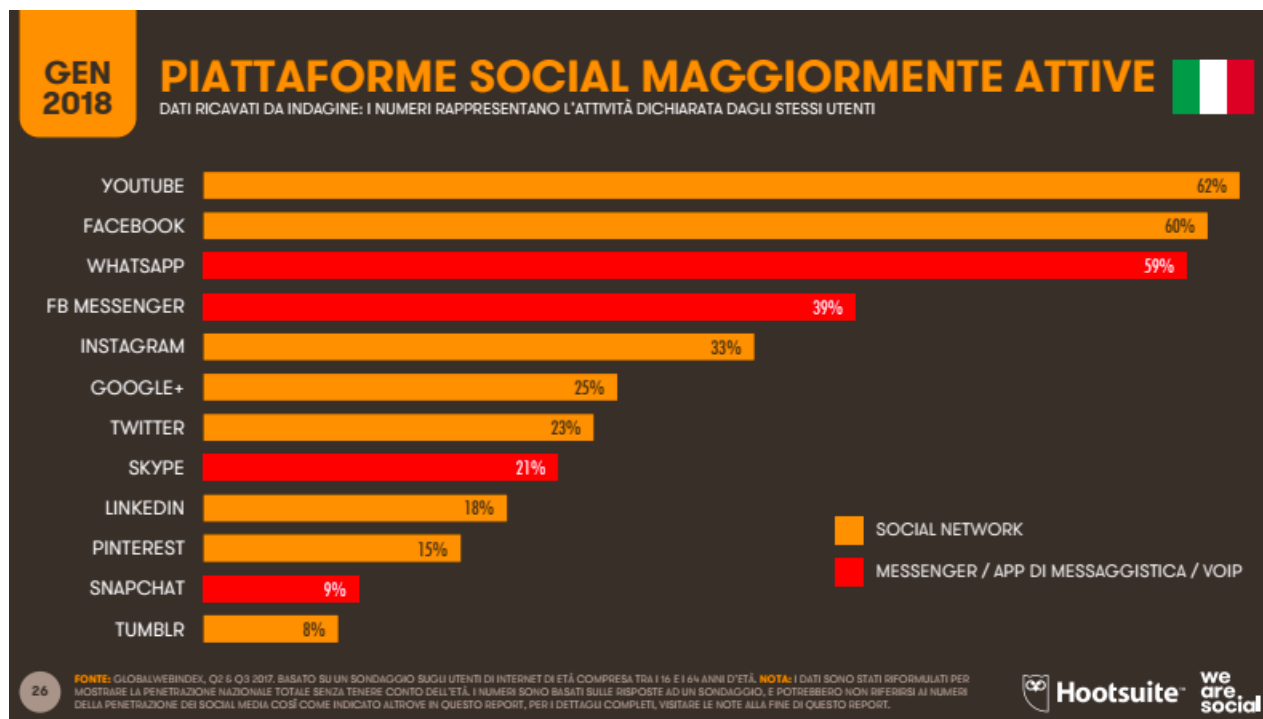


# Altri numeri: social networking





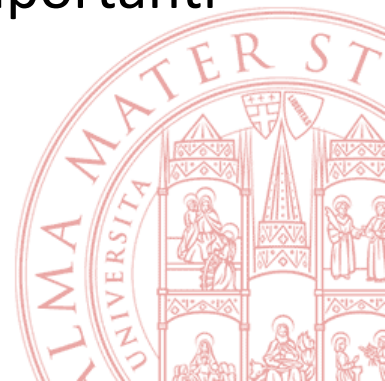
# In Italia



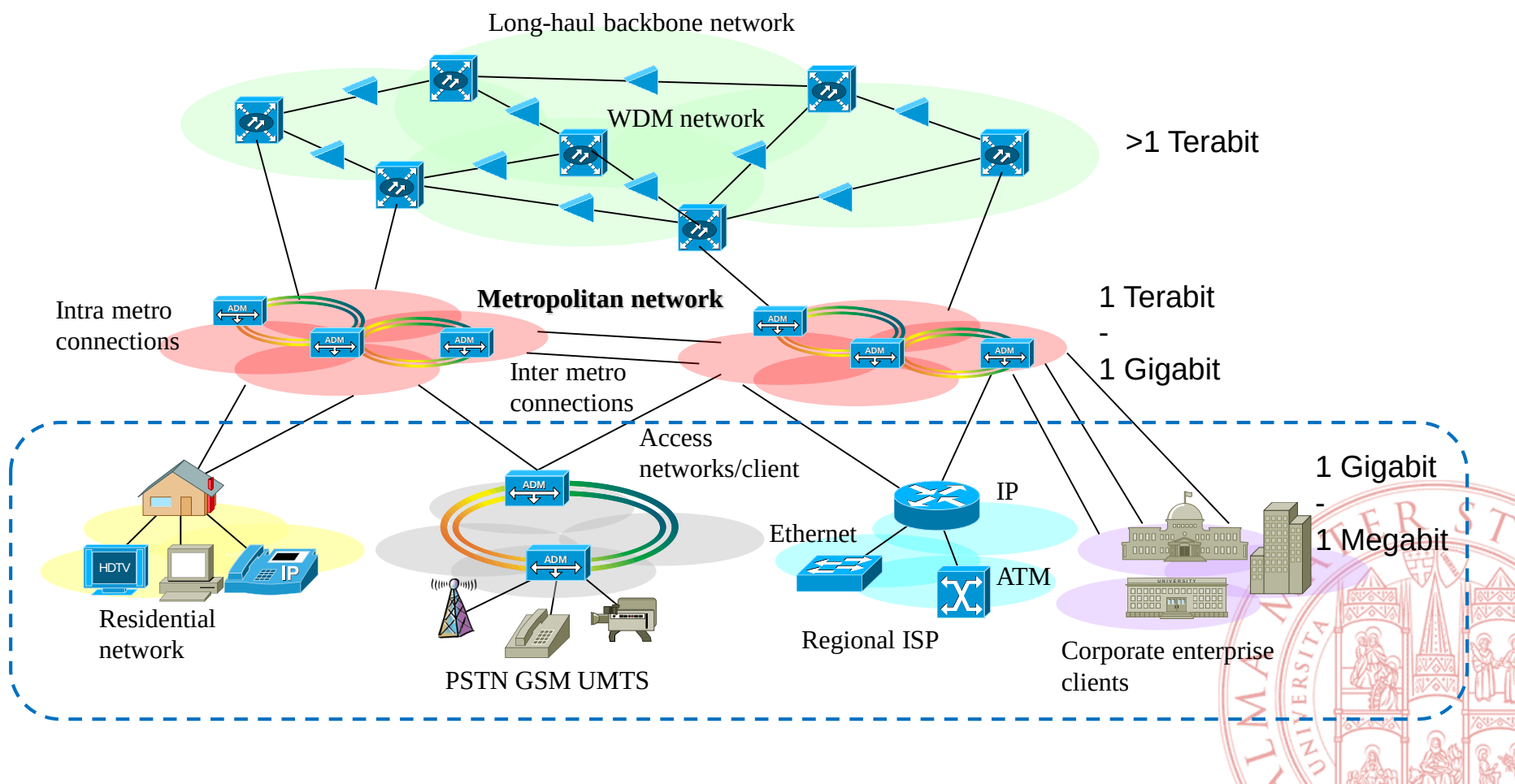
# Le aspettative dell'utenza

---

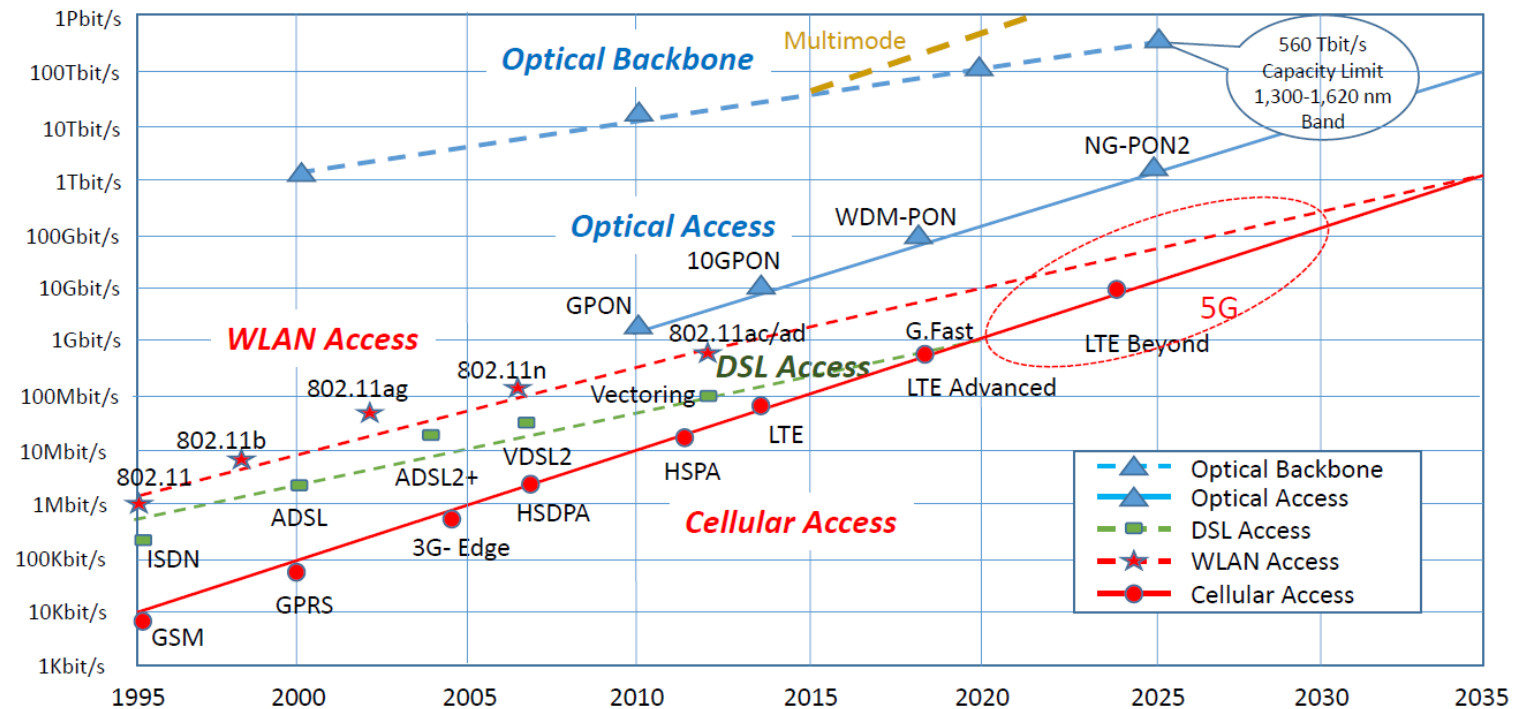
- ◆ Sempre piu' utenti si aspettano la stessa qualita' del servizio Internet anytime, anywhere, anymean (di connettivita')
- ◆ Queste aspettative richiedono di avvalersi dell'evoluzione delle tecnologie broadband sia fisse (wireline) che mobili (wireless) nelle reti di accesso
- ◆ Il progetto di infrastrutture che siano in grado di supportare queste tecnologie il piu' a lungo possibile e di favorirne la convergenza e' una delle sfide piu' importanti per il successo di questo settore



# La rete di accesso



# Tecnologie fisse e mobili e proiezioni



Source: M. Dècina, 2014, based on data by Bell Labs, G. Fettweis, and others



# Tecnologie per l'accesso

---

## ◆ Fisse/cablate

- ◆ Tecnologia x DSL (x Digital Subscriber Line)
- ◆ PON (Passive Optical Networks)
- ◆ Ethernet access
- ◆ Reti ibride fibra-rame (FTTx)

## ◆ Mobili/wireless

- ◆ Wi-Fi
- ◆ cellulari

## ◆ Ibride

- ◆ Fibra-wireless



# Il rame

---

- ◆ Le reti in rame stanno offrendo un contributo importante per le comunicazioni in banda larga ma la sua tecnologia sta avvicinandosi sempre più ai suoi limiti fisici intrinseci
- ◆ Invecchiamento dei cavi in rame
  - Prestazioni peggiorano
  - Alcuni cavi in rame installati hanno più di 60 anni e le ultime sostituzioni massicce sono state fatte 20 anni fa e solo in alcune aree del Paese



# La tecnologia xDSL (Digital Subscriber Line)

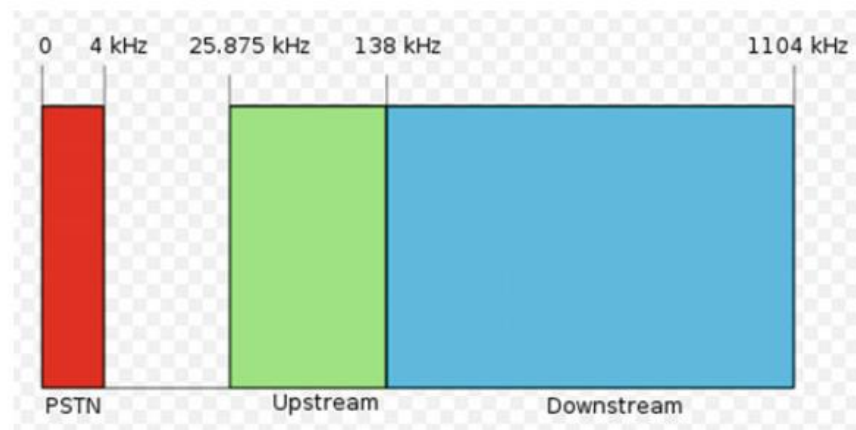
---

- ◆ ADSL e VDSL sono le piu' diffuse realizzazioni della tecnologia xDSL
  - Si avvalgono dei mezzi trasmissivi in rame gia' installati
  - Consentono di utilizzare servizi a larga banda sulla linea telefonica
  - Enorme risparmio di investimenti
  - Ruolo importante in Europa e Nord America
- ◆ ITU-T ADSL standard
  - G. 922.1 (G.dmt); G.992.2 (G.lite)
  - DMT discrete multi-tone modulation scheme
- ◆ ITU-T VDSL standard
  - G.993.1
  - -tecnologie DMT e DWMT



# Bande ADSL: upstream e downstream

- ◆ DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)
  - Modulo nella centrale telefonica che separa i segnali in banda fonica (voce) dai dati
- ◆ La distanza tra DSLAM e apparati di utente è limitata a non più di 4 Km
  - Si raggiungono 4Mbit/s su distanze non superiori a 2 Km
- ◆ Full Duplex
  - FDD Frequency Division Duplex
  - Upstream: user to DSLAM
  - Downstream: DSLAM to user
  - bandwidth divided into smaller channels of 4.3 KHz





# ADSL2 e VDSL

---

## ◆ ADSL2 G.992.3

- aumenta la capacità di ADSL fino a 12 Mbit/s downstream e 3.5 Mbit/s upstream
- Utilizza le bande di ADSL con tecniche di modulazione migliorate

## ◆ ADSL2+ G.992.5

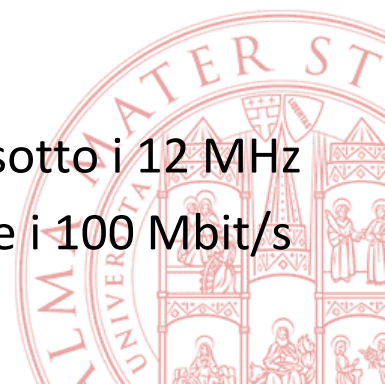
- Estende la banda da 1.1 a 2.2
- Aumenta la capacità a 16 Mbit/s (max 25 Mbit/s) downstream e 800 Kbit/s upstream
- Estende la distanza fino a 6 Km

## ◆ VDSL G.993.1

- Fino a 52 Mbit/s downstream e 16 Mbit/s upstream
- Può supportare TV HD e cloud computing

## ◆ VDSL2 G.993.2

- Compatibile with ADSL2+ (usa DMT) e stesse sotto-portanti sotto i 12 MHz
- Utilizza frequenze fino a 30 MHz per arrivare a capacità oltre i 100 Mbit/s (200 come massimo)



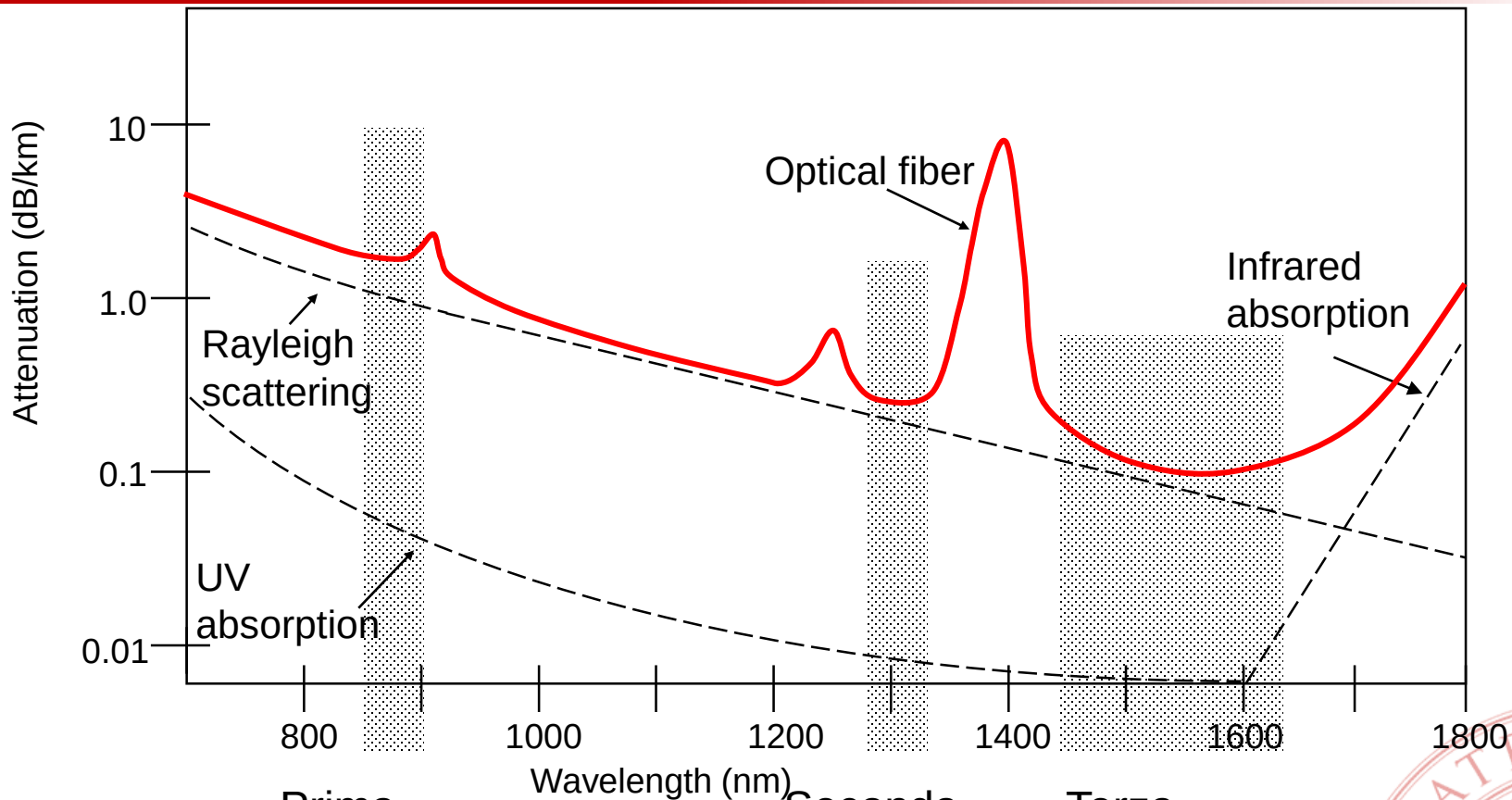
# La fibra

---

- ◆ Un'infrastruttura in fibra ottica è l'unica soluzione che può superare le limitazioni intrinseche della rete d'accesso in rame per diverse ragioni
  - banda disponibile di almeno un ordine di grandezza superiore rispetto a quelle in rame
  - la fibra è l'unica infrastruttura compatibile con lo sviluppo delle nuove reti di accesso mobile, per lo sviluppo di celle dense (fino a 50 metri di distanza media con un backhauling a partire da 2,5 Gbps
  - Maggiore livello di disponibilita'
  - Maggiore livello di sicurezza



# Attenuazione delle fibre



Prima  
finestra  
850 nm  
 $\alpha=1.2$  dB/Km

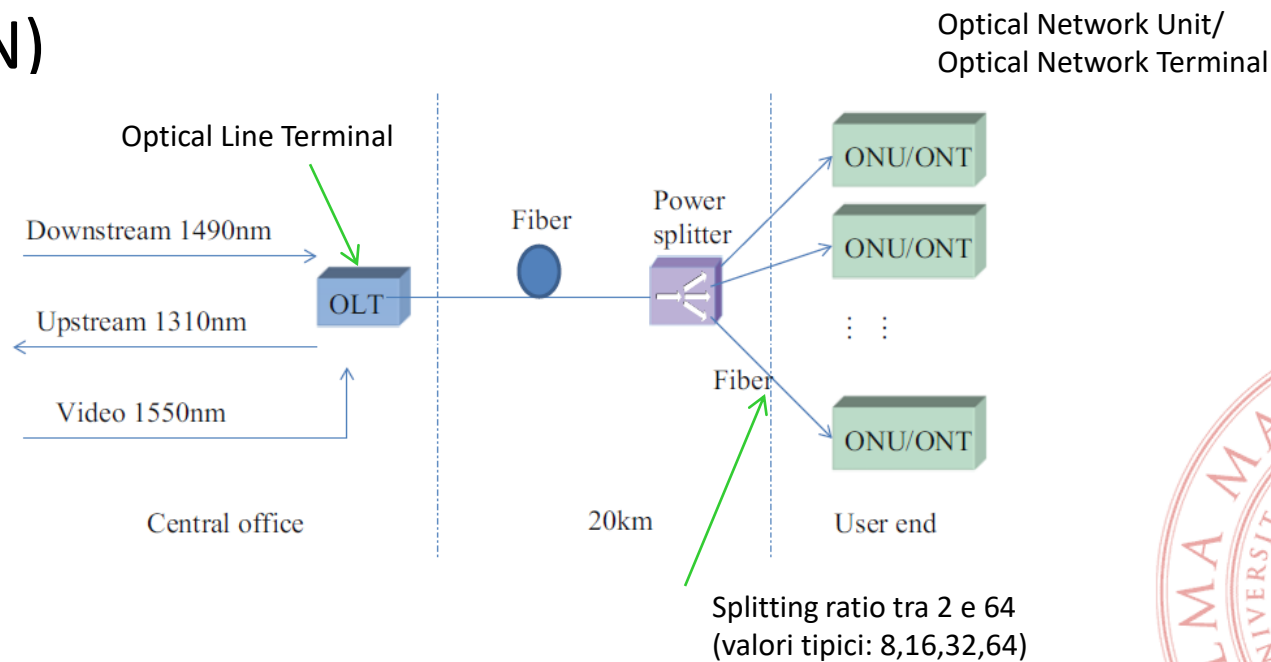
Seconda  
finestra  
1300 nm  
 $\alpha=0.4$  dB/Km

Terza  
finestra  
1550 nm  
 $\alpha=0.2$  dB/Km



# Passive Optical Networks (PON)

- ◆ Impiegano la fibra ottica come mezzo di comunicazione e circuiti passivi
  - Riduzione dei costi di manutenzione
- ◆ Architettura della rete ottica di distribuzione (ODN)



# Funzionalità OLT

---

- ◆ Nella direzione **upstream** gestisce l'accesso al canale delle diverse ONU
  - Fino a 64 ONU
- ◆ Time Division Multiple Access
  - Ogni utente trasmette e riceve informazione in un intervallo assegnato (time slot)
  - Si parla di TDM-PON (EPON, GPON)
- ◆ Si possono adottare meccanismi di allocazione dinamica di banda
  - Quando un time slot è vuoto viene assegnato ad altre ONU che necessitano di banda maggiore
- ◆ Nella direzione 'downstream'
  - Le informazioni vengono inviate a tutte le ONU ed ognuna seleziona le proprie in base a un identificatore
  - I dati sono crittografati per ragioni di sicurezza



# Tipi di TDM-PON

---

## ◆ EPON

- Cina, Giappone, Corea del Sud
- Si basa sullo standard IEEE802.3ah per accesso Ethernet
- Il segnale tra OLT e ONU e' basato sul frame Ethernet IEEE802.3 con codifica di linea 8B/10B
- Velocita' simmetrica 1 Gbit/s con velocita' di linea 1.25 Gb/s

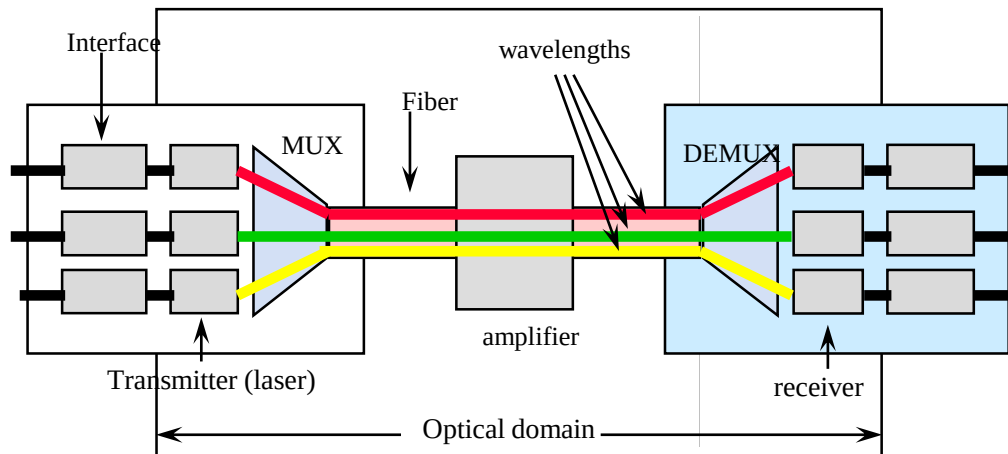
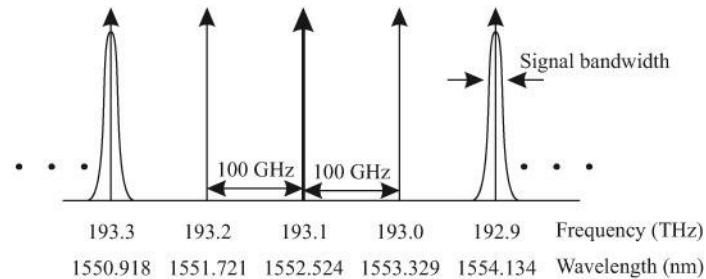
## ◆ GPON

- Europa, USA
- si basa sullo standard ITU-T G.984.x
- Puo' trasportare formati ATM, PDH/SDH
- Velocita' 2.5 Gbit/s su 60 Km
- Allocazione flessibile di banda
- Maggiore efficienza e supporto alla gestione
- Complessita' tecnologica e costi piu' elevati

## ◆ Evoluzione per entrambe verso i 10 Gbit/s con splitting fino a 1:120



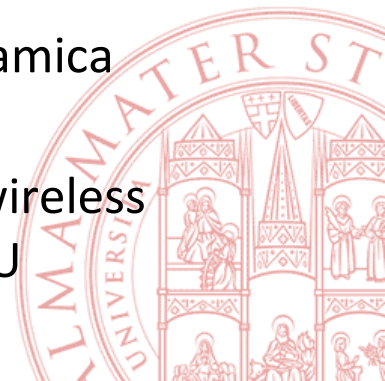
# La moltiplicazione WDM



# TWDM-PON e WDM-PON

---

- ◆ Utilizza la moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda per PON di futura generazione a 10 Gbit/s e oltre
  - NGPON2 si basa su tecniche miste TDM/WDM
  - Da 4 a 8 canali con 10G GPON all'interno di ciascuno
  - G.989.x e G.989.1/2 (G.989.3 in definizione)
- ◆ WDM-PON e' la moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda pura e assegna un canale a ciascun utente per ciascuna direzione upstream/downstream
  - Velocita' per utente 2.5Gbit/s e oltre
  - Moduli ottici 'colorless' per garantire assegnazione dinamica delle lunghezze d'onda
  - WDM-PON e' stata proposta per il trasporto di servizi wireless come il segnale CPRI tra RRU (Remote Radio Unit) e BBU (Baseband Unit)

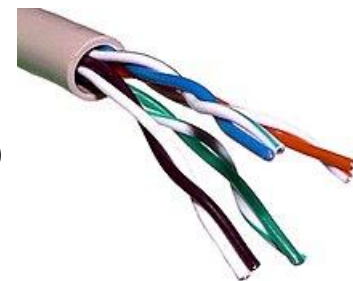




# Accesso Ethernet

---

- ◆ Viene fornito tipicamente su twisted pairs cat.5
  - Standard 10,100 (Fast Ethernet),1000 (Gigabit Ethernet) BASE-T
- ◆ Viene utilizzato per il cablaggio strutturato edifici
- ◆ Esiste anche versione cat. 6 fino a 10Gbit/s
- ◆ Si possono realizzare anche su cavo coassiale CATV ma i twisted pairs li hanno ormai sostituiti



# Tecnologia ibrida fibra-rame

---

- ◆ Può essere conveniente nella adozione di sistemi in fibra sfruttare connessioni in rame esistenti per raggiungere la postazione finale di utente (sezione 'ultimo miglio')
- ◆ E' da queste scelte che nascono diverse soluzioni **FTTx (Fiber To The x)**
- ◆ A seconda di dove termina la fibra si hanno le seguenti possibilità
  - FTTN, FTTC, FTTB
- ◆ FTTH e' invece la soluzione completamente ottica fino alla postazione di utente



# Soluzioni FTTx

---

## ◆ FTTN: Fiber To The Node

- La fibra arriva fino a una cabina che puo' essere distante alcuni Km dalla postazione di utente

## ◆ FTTC: Fiber To The Curb

- La cabina dove termina la fibra e' in prossimita' della postazione di utente entro 500m
- Si usa tecnologie in rame a banda elevata (ADSL o Ethernet)

## ◆ FTTB: Fiber To The Building

- Stessa filosofia delle precedenti ma con terminazione all'interno dell'edificio

## ◆ FTTH: Fiber To The Home

- E' la soluzione che porta la fibra fino alla postazione di utente
- Si realizza con le PON



# Broadband Wireless Access Networks

---

- ◆ Diversamente dalle reti di accesso in tecnologia fissa le tecnologie wireless a lungo raggio possono servire utenti distribuiti su aree geografiche vaste
- ◆ Tecnologie wireless a corto raggio sono in grado di servire solo aree limitate come case ed edifici
  - Necessitano di tecnologie fisse per fornire una soluzione completa a larga banda per l'utente finale
- ◆ WPAN, IEEE 802.15, IEEE 802.16 per applicazioni in sistemi commerciali
- ◆ Sistemi di accesso wireless
  - IEEE 802.11 Wireless LAN Wi-Fi
  - Sistemi cellulari di terza, quarta, e prossima quinta generazione (5G)



# Evoluzione Wi-Fi

◆ La tecnologia Wi-Fi si e' notevolmente evoluta da quando fu definita nel 1991 da NCR/AT&T

- 1991: Wi-Fi was invented by NCR Corporation/AT&T with speed of 1/2Mbps.
- 1999: the Wi-Fi Alliance was formed and the first standard was released.
- 2000: first commercial use of the term Wi-Fi.

| Ratified year  | 1997   | 1999    | 1999    | 2003    | 2009                                    | 2013     | Future   |
|----------------|--------|---------|---------|---------|-----------------------------------------|----------|----------|
| IEEE Standard  | 802.11 | 802.11a | 802.11b | 802.11g | 802.11n                                 | 802.11ac | 802.11ad |
| Frequency Band | 2.4GHz | 5GHz    | 2.4GHz  | 2.4GHz  | 2.4GHz, 5GHz (Concurrent or selectable) | 5GHz     | 60GHz    |
| Max Data Rate  | 2Mbps  | 54Mbps  | 11Mbps  | 54Mbps  | 600Mbps                                 | 1.3Gbps  | 7Gbps    |
| Technology     | SISO   | SISO    | SISO    | SISO    | MIMO                                    | MU-MIMO  | MU-MIMO  |



# Punti chiave della evoluzione di Wi-Fi

---

- ◆ Supporto nei prodotti commerciali quali smartphone, tablet, fotocamere, e-readers, gaming console, riproduttori blue-ray, HD TV
- ◆ Introduzione di WLAN in aziende, uffici, ospedali, aeroporti, Università'...
- ◆ Utilizzo di Wi-Fi in alternativa alla rete cellulare (offload)
- ◆ Diffusione di molti ambiti applicativi: salute, fitness, medicina, monitoraggio ambientale, agricoltura, automazione domestica, automotive
- ◆ Wi-Fi Alliance si occupa di certificare i dispositivi Wi-Fi per garantirne l'interoperabilità



# Caratteristiche tecniche del Wi-Fi

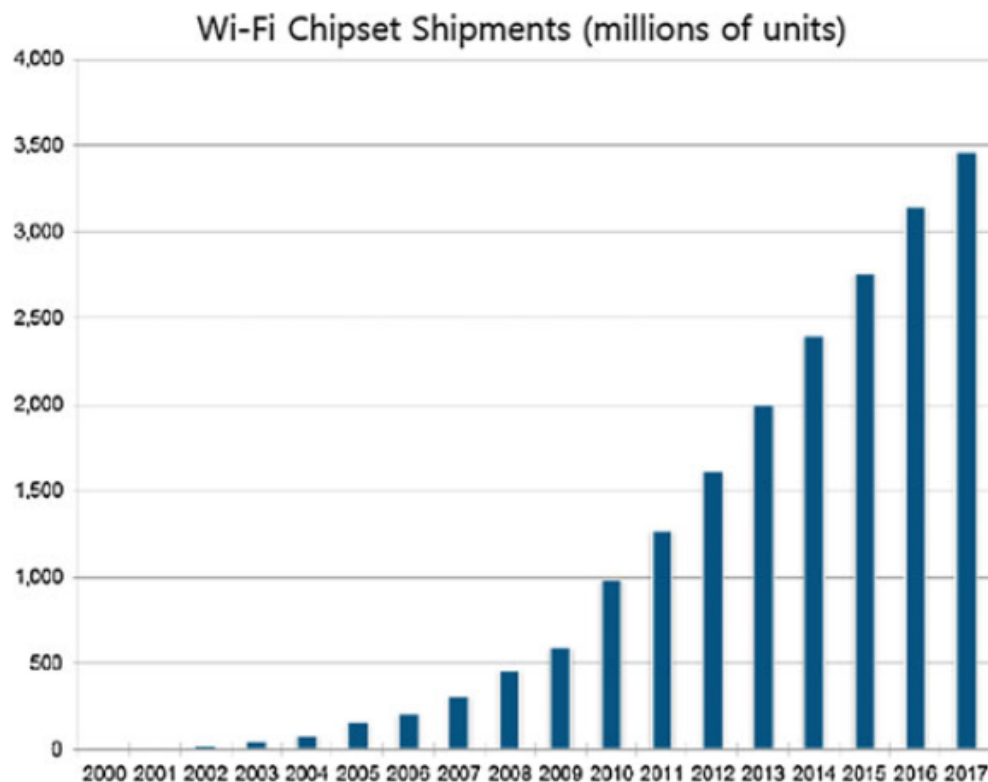
---

- ◆ I primi standard operavano nella banda 2.4 o 5 GHz
- ◆ Con l'introduzione di OFDM si arriva ai 54Mbit/s sempre a 2.4 GHz (802.11g)
- ◆ Le versioni piu' recenti sono in corso di definizione con la collaborazione di WiGig (Wireless Gigabit Alliance )
  - IEEE802.11ad: comunicazioni a corto raggio a 60 GHz a 7 Gbit/ con larghezza di spettro 2 GHz
- ◆ L'obiettivo di tutti gli standard IEEE 802.3 e' di essere compatibili con i precedenti standard (backward compatibility)
  - A livello fisico
  - A livello MAC



# Il mercato Wi-Fi

- ◆ Nel periodo 2015-2019 si prevede un mercato di piu' di 18 milioni di chip con un forte aumento dei sistemi tri-banda 802.11n/802.11ac/802.11ad



Source: ABI research





# Evoluzione della tecnologia radio mobile

---

- ◆ Le reti mobili forniscono connettività su aree geografiche vaste mediante handover e roaming
- ◆ 2.1 miliardi delle oltre 5 miliardi di utenze (su oltre 7.5 miliardi di popolazione mondiale) sono broadband (3 volte gli account fissi)
- ◆ Attualmente stiamo utilizzando i sistemi di quarta generazione
- ◆ I sistemi di seconda generazione ancora oggi in uso sono i GSM
  - Sviluppati solo per servizi voce
  - Estesi con il GPRS (GSM Packet Radio System) per supporto dati
  - Successivamente estesi con EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)
  - Limitata capacità



# Sistemi mobili di terza generazione

---

- ◆ La standardizzazione di 3G UMTS e' stata condotta da 3G PPP (Third Generation Partnership Project) che include partenr da diverse aree
  - Nord America, Giappone, Cina..
  - ETSI per l'Europa
- ◆ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
- ◆ Diverse release di UMTS
  - HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)
- ◆ 3GPP2 developed CDMA2000



# Long Term Evolution (LTE)

---

## ◆ Progetto iniziato nel 2004

## ◆ Obiettivi

- riduzione del costo per bit
- Flessibilità nell'uso delle bande
- Riduzione complessità dei terminali

## ◆ LTE-A

- Opera anche nel dominio temporale per superare i severi problemi di interferenza in presenza di elevata densità di celle
- Rappresenta la quarta generazione 4G

## ◆ LTE-B

- Introduce tecniche CoMP (Coordinated Multipoint)
- Effettua elaborazione del segnale per sfruttare le interferenze in modo costruttivo
- Richiede rete backhaul ad alta velocità e bassa latenza



# 'Rivoluzione' 5G

- ◆ 5G e' una piattaforma flessibile a supporto e per lo sviluppo di servizi di comunicazione di nuova generazione

## Massive MTC



LOW COST, LOW ENERGY  
SMALL DATA VOLUMES  
MASSIVE NUMBERS

## Enhanced mobile broadband



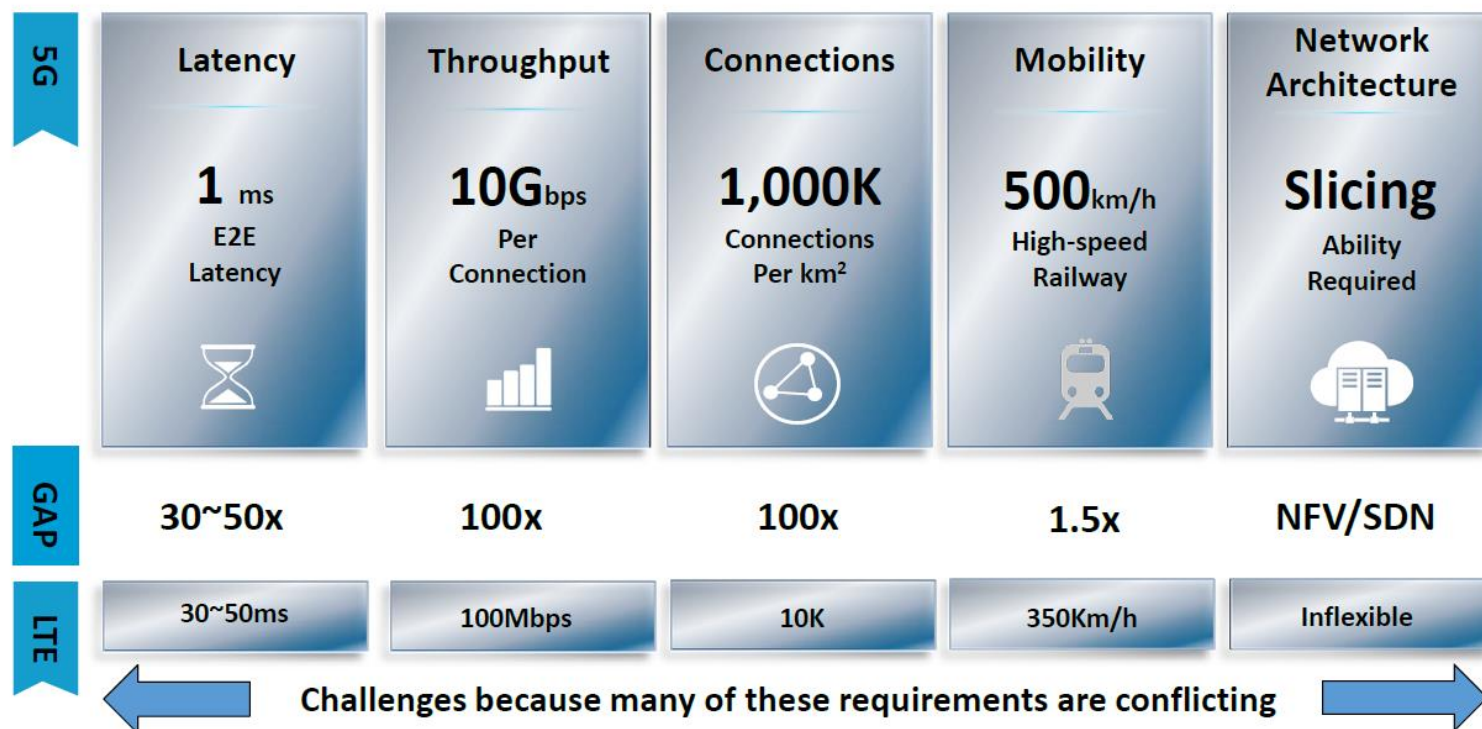
## Critical MTC



ULTRA RELIABLE  
VERY LOW LATENCY  
VERY HIGH AVAILABILITY



# Requisiti 5G



Source: Huawei, 2016



# Tecnologie abilitanti per il 5G

---

- ◆ Infrastrutture ad altissima capacità e affidabilità
- ◆ Disponibilità di funzionalità virtualizzate e gestione via software (NFV/SDN)
  - NFV: Network Function Virtualization
  - SDN: Software Defined Networking
- ◆ Oggetti smart/sensori
- ◆ Network slicing
- ◆ Grande potenziale di sviluppo sui 'verticals'



# Convergenza fisso-mobile

---

- ◆ Le reti in fibra ottica forniscono capacità elevatissime ma non hanno la flessibilità delle reti wireless
- ◆ La convergenza delle due tecnologie è quindi essenziale per poter sfruttare in modo complementare le peculiarità di entrambe
- ◆ Due approcci interessanti
  - Fiber-based Distributed Antenna Systems (DASs)
  - HetNet





# RoF- DAS (Distributed Antenna Systems)

- ◆ Sistemi basati su radio-over-fiber, rappresentano una soluzione diffusa per la copertura a larga banda in edifici
  - Bassa attenuazione
  - Elevata capacita'
  - Antenne di piccola dimensione (RAU: Remote Antenna Units)
  - Gestione centralizzata
  - Possono essere utilizzati indoor e outdoor per hotel, aeroporti, metropolitane, autostrade
- ◆ Il servizio wireless fornito puo' essere Wi-Fi, Wi-MAX, polizia, vigili del fuoco e servizi di emergenza
- ◆ Diverse RAU sono collegate via fibra a una centrale dove vengono realizzate le funzionalita' di stazione base
  - Downlink: RAU riceve il segnale ottico che trasporta il segnale a radiofrequenza dalla unita' centrale, lo converte in elettrico e lo irradia senza alcun processing
  - Uplink: operazione inversa
- ◆ Molte aziende stanno offrendo questo servizio che in futuro potra' comunque essere compatibile con la copertura cellulare 'small cell'





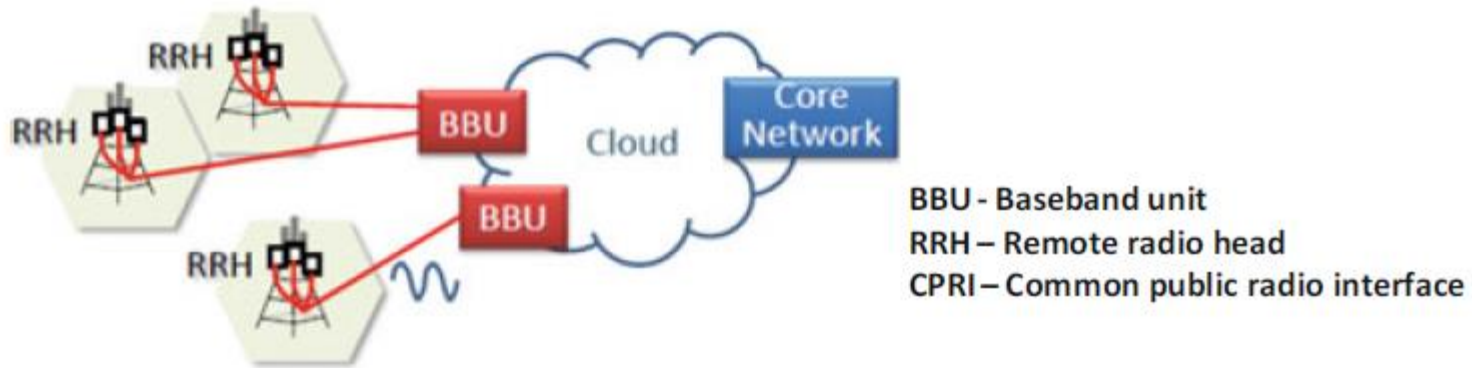
# Next generation wireless networks

---

- ◆ La richiesta di capacità sta crescendo, specialmente nelle aree metropolitane
  - Macro celle hanno raggiunto capacità limite (prossima a 60 Gbit/s per servizi LTE-A)
  - Ricorso a celle piccole e tecniche di fronthaul
- ◆ Centralizzazione della infrastruttura con introduzione di C-RAN (Centralized/Cloud Radio Access Networks)
  - RRH (Remote Radio Head) sono distribuite e collegate via fibra (segmento fronthaul) a BBU (Baseband Unit) centralizzate
  - Possibilità di gestione dinamica di banda e risorse



# C-RAN architecture



- ◆ Il collegamento fronthaul e' realizzato in fibra ottica
- ◆ Si prevede che lo sviluppo di sistemi per small cell e Wi-Fi produrranno nei prossimi anni notevoli introiti sui servizi dati
- ◆ Consente la realizzazione di funzioni di coordinamento



# Covergenza di PON/fronthaul/backhaul

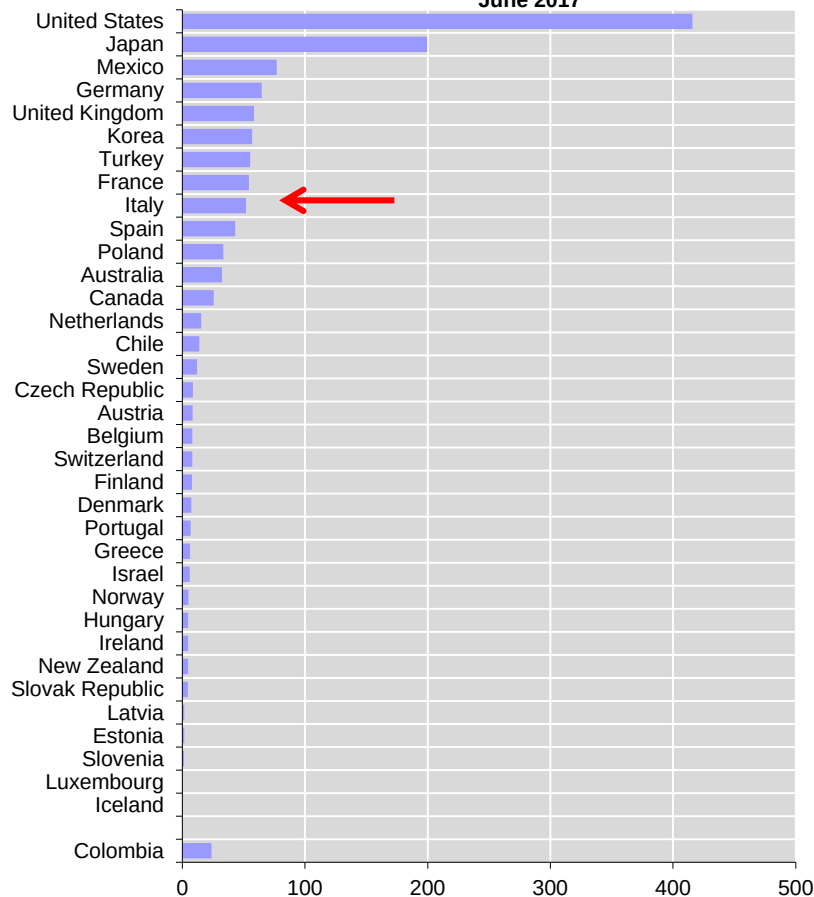
---

- ◆ Singola infrastruttura in fibra ottica per PON, fronthaul, backhaul
  - Canali WDM dedicati al traffico mobile e canali dedicati alle PON
  - Flessibilita' nella introduzione di nuovi servizi
- ◆ Fiber-wireless convergence puo' ulteriormente ottimizzare la sezione di accesso con riduzione di costi e consumi

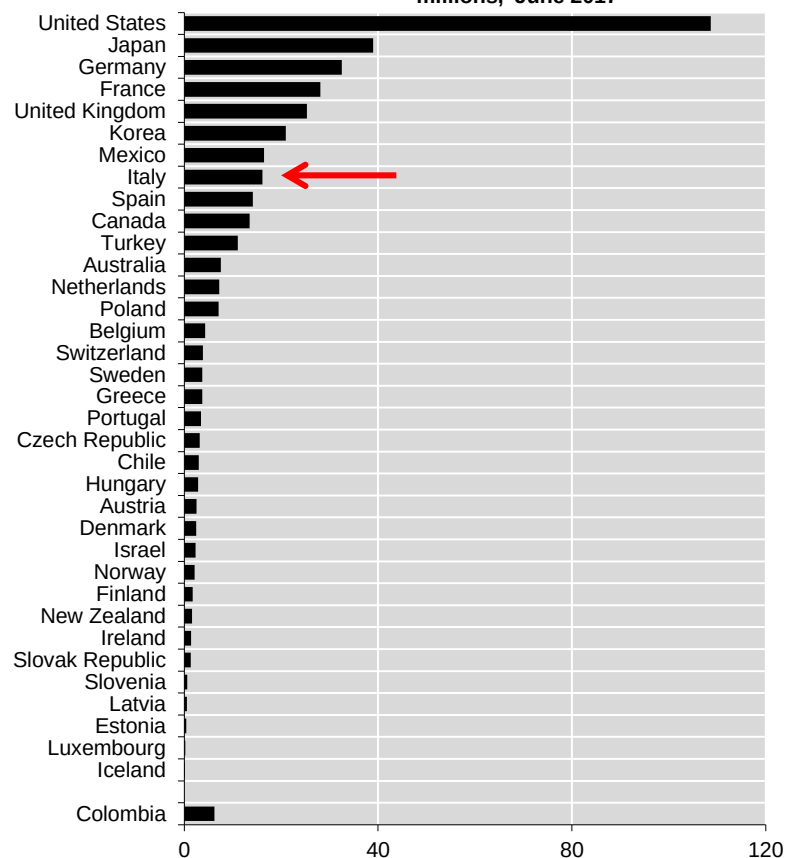


# Penetrazione tecnologie broadband nel mondo

1.1.2. Total mobile broadband subscriptions, by country, millions, June 2017



1.1.1. Total fixed broadband subscriptions, by country, millions, June 2017



# Considerazioni

---

- ◆ Esistono molteplici tecnologie che possono essere utilizzate nella sezione di accesso per fornire banda sempre piu' elevata
- ◆ Le soluzioni non sono mutuamente esclusive
- ◆ Convergenza fibra wireless molto promettente nella sezione di accesso
  - Sinergia e complementarieta' per utenti fissi e mobili
- ◆ L'infrastruttura in fibra ottica e' in grado di consentire la convergenza dei diversi sistemi



# Riferimenti

---

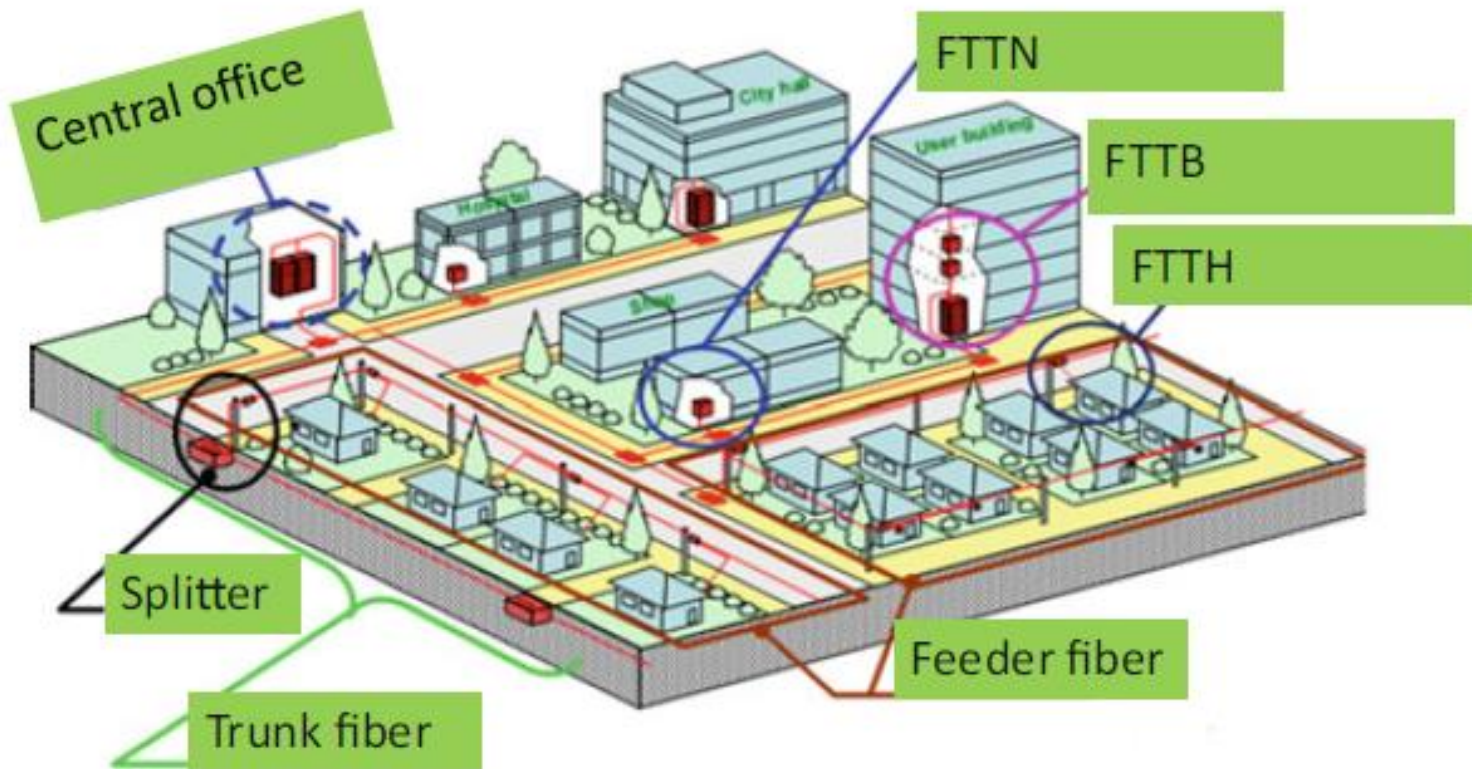
- [1] Evolution and Trends of Broadband Access Technologies and Fiber-Wireless Systems, in 'Fiber-Wireless Convergence in Next-Generation Communication Networks', capitolo 2, 2017, Springer. ISBN 978-3-319-42820-8
- [2] Autorita' per le garanzie nelle comunicazioni ([agcom.it](http://agcom.it))



# Allocazione dello spettro in VDSL



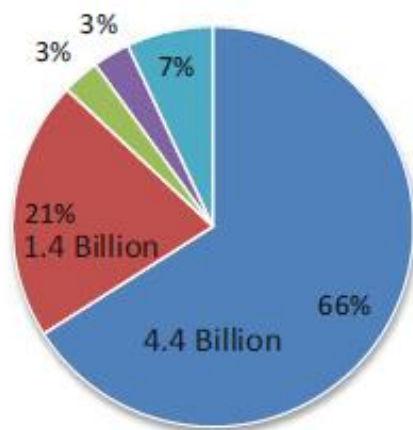
# Struttura di impianto di FTTx





# Ripartizione del mercato mobile

Q4 2013 (6.8 Billion subscriptions)



■ GSM  
■ HSPA  
■ LTE  
■ TD-SCDMA  
■ CDMA

Q4 2018 (8.4 Billion subscriptions)

