

---

**The Italian research project ROAD-NGN**  
*‘Optical frequency/wavelength division multiple access  
techniques for next generation networks’*

---

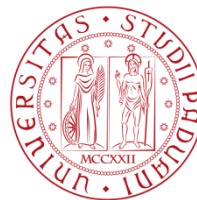
**G. Cincotti, P. Boffi, G. Maier, E. Ciaramella,  
L. Valcarenghi, R. Gaudino, F. Matera, A. Mecozzi  
M. Santagiustina, F. Vatalaro**

# Participants



**Gabriella Cincotti**

Julian Hoxha  
Luca Caldaroni



**Marco Santagiustina**



**Pierpaolo Boffi**

Mario Martinelli  
Guido Maier  
Lucia Marazzi  
Paola Parolari  
Achille Pattavina



**Francesco Vatalaro**

Marco Petracca  
Romeo Giuliano  
Paolo Mancuso



**Roberto Gaudino**

Valter Ferrero



**Antonio Mecozzi**

Cristian Antonelli  
Francesco Matera (FUB)

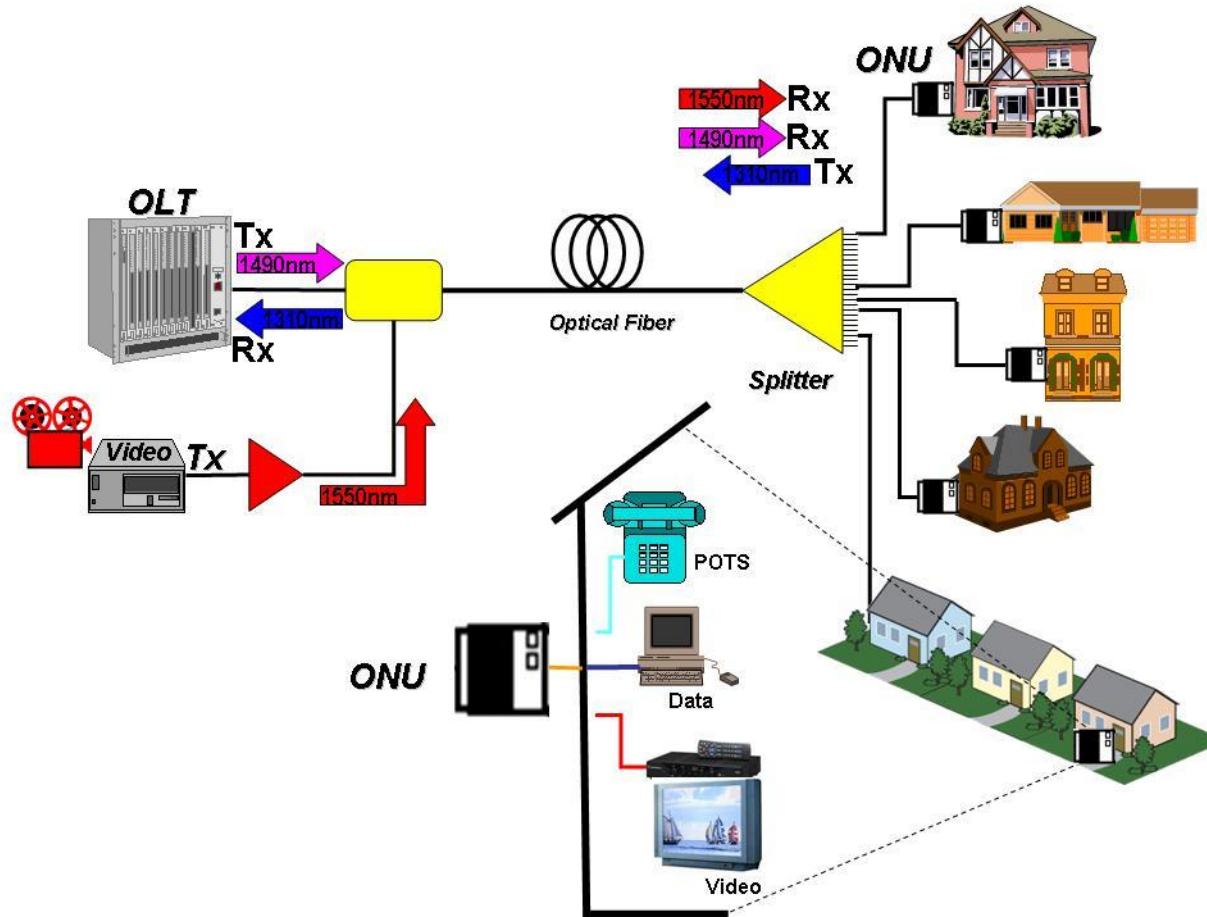


**Ernesto Ciaramella**

Fabio Bottoni  
Marco Presi  
Luca Valcarenghi  
Piero Castoldi

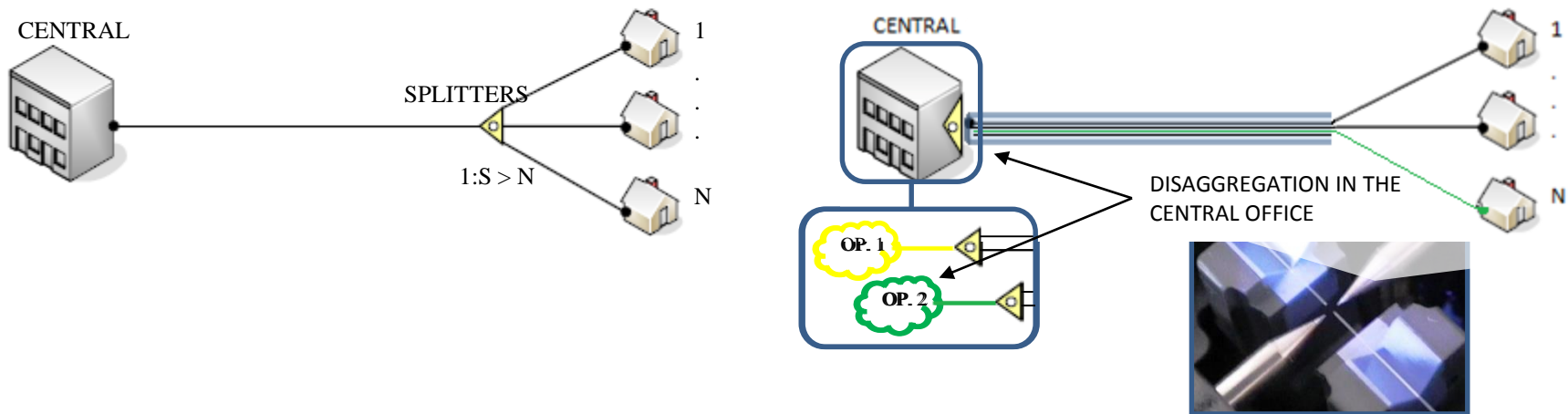
- Gigabit PON (GPON) is currently the most widely deployed access system
- Entry options to the market for alternative operators are few and not ideal as physical layer unbundling with GPON is difficult
- Open market requirement imposed by regulators
  - Competition in prices and services
  - Desirable and enforced by government and local administration

## Point to multipoint (P2MP) architecture

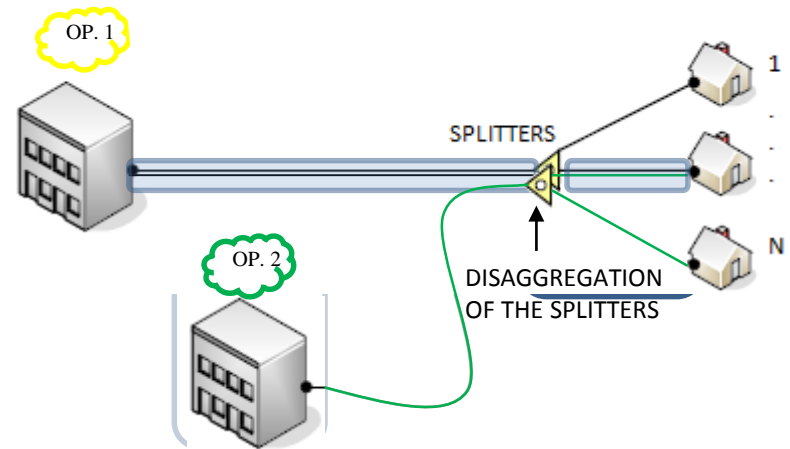
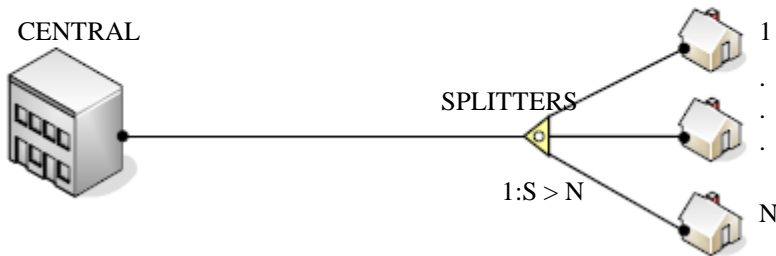


# Local Loop Unbundling

- Local Loop Unbundling (LLU) is the regulatory process of allowing multiple telecom operators to use connections from the telephone exchange to the customer's premises.
- To increase competition, other providers are granted unbundled access.

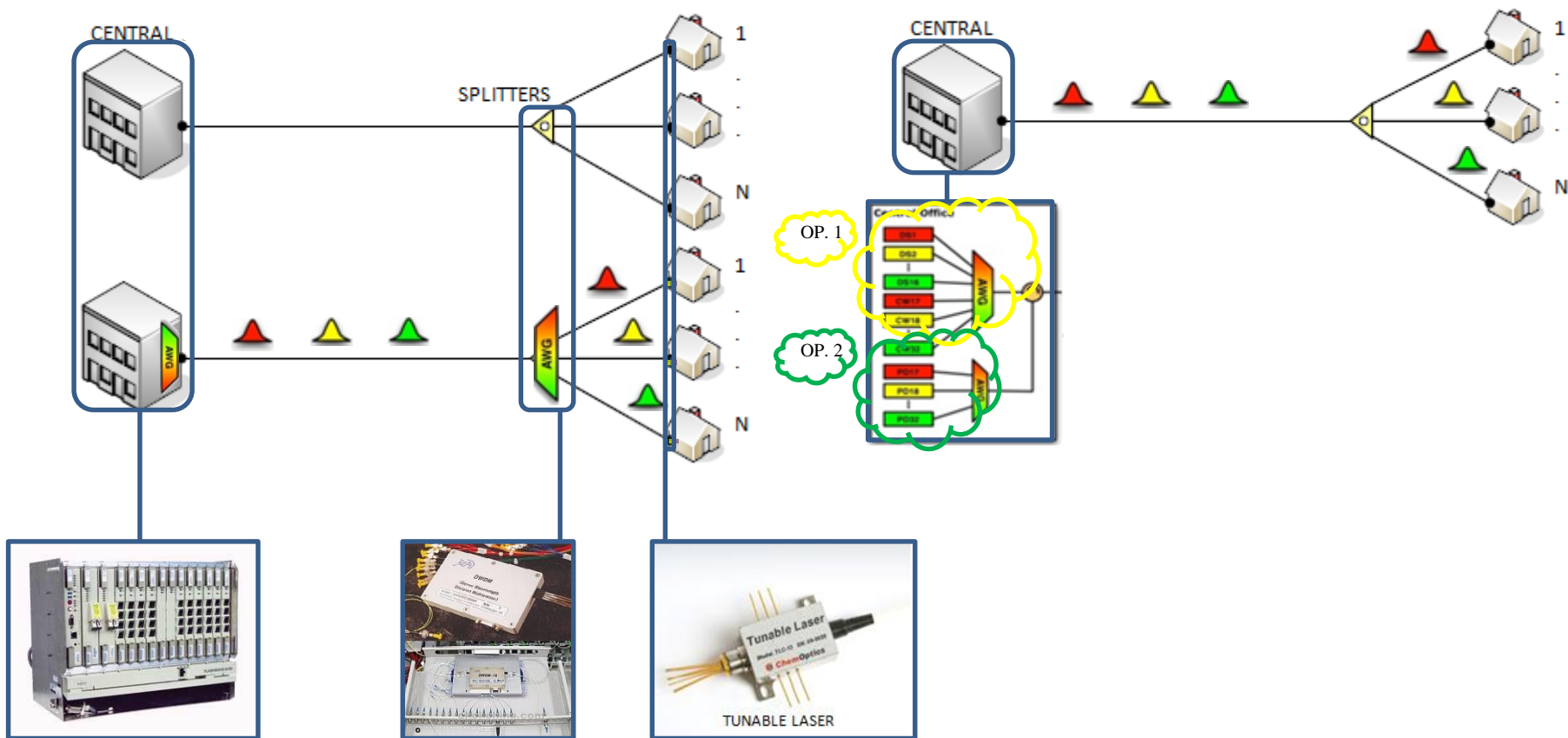


## P2MP Architecture Unbundling – Replicate Access Network



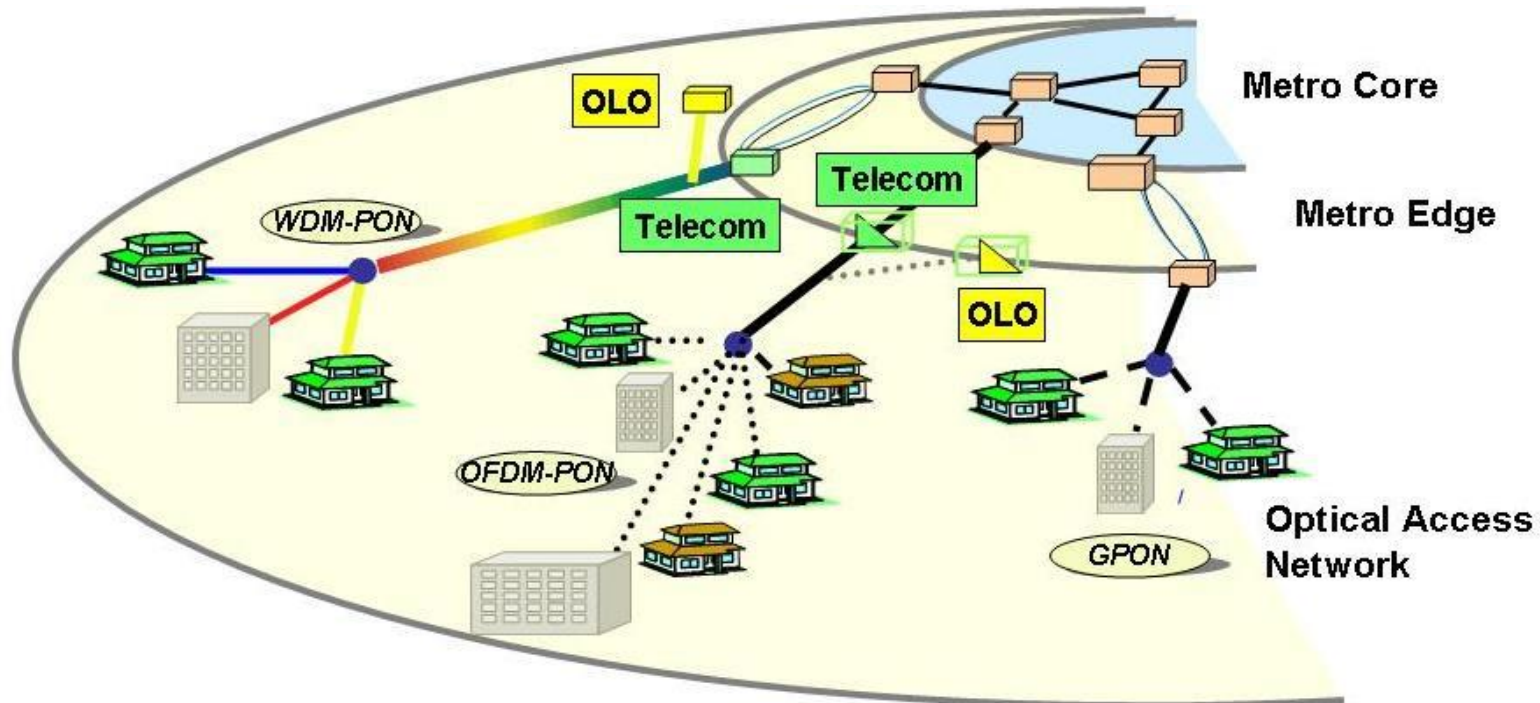
- AGCOM recommendation guidelines, IEEE and ITU standards
- Network scalability from GPON to XG-PON, NG-PON2 and toward LR-PON networks
- Integration of optical access networks with existing copper systems in FTTC and FTTB configurations (vectoring)
- TV signal broadcast, including 3D and HD
- Networks to feed basestations of wireless systems (backhauling)

# Technologies for the LLU

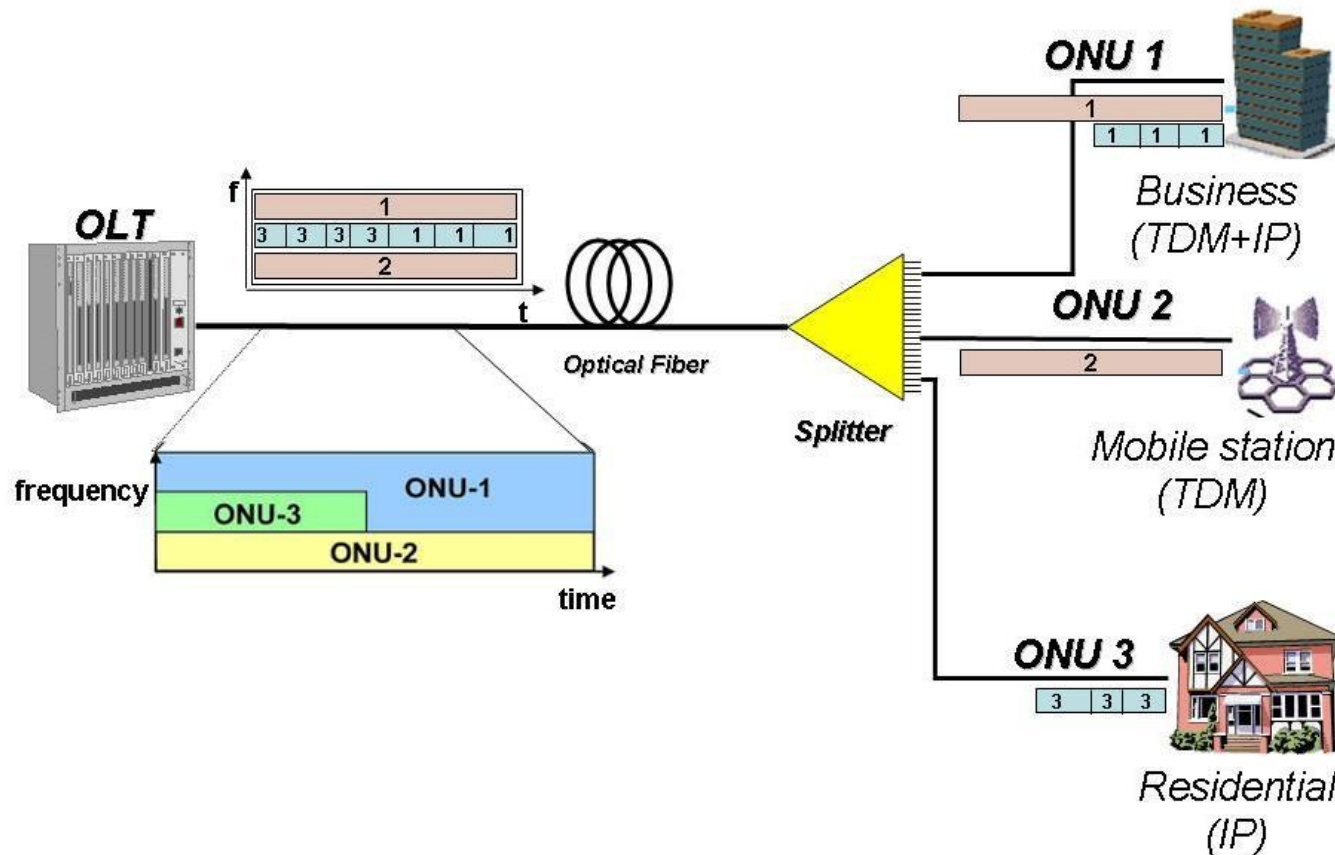




- OFDM PON
- AO-OFDM PON
- WDM PON



## Orthogonal Frequency Division Multiplexing



- Network design

analysis of traffic management, flexibility, dynamic bandwidth assignment, integration of new services and transmission of multicast traffic, hybrid OFDM-WDM systems

- Network implementation

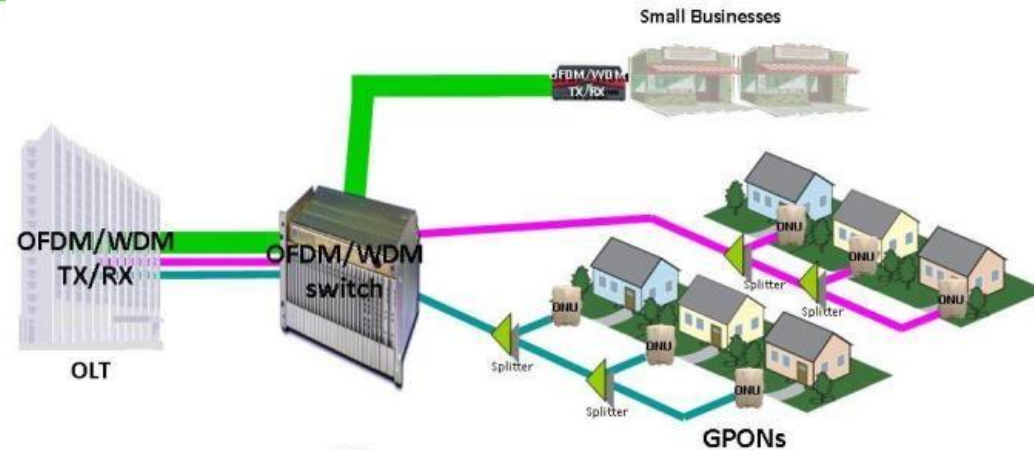
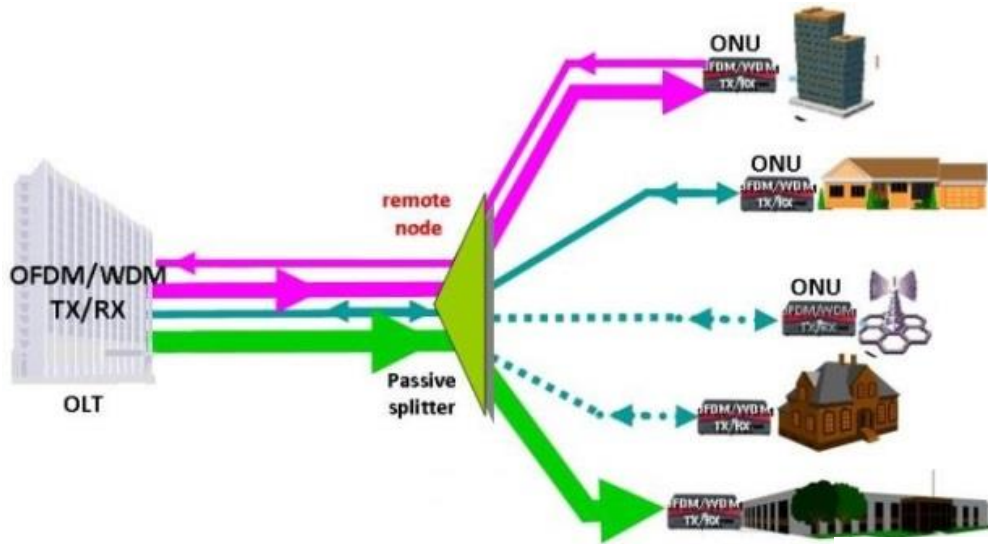
study of the system performance as a function of bit rate, number of users, splitting ratio, physical parameters, power consumption, *Service Level Agreement (SLA)* compliance, *fair access* to the resources by the different operators/providers  
Use of coherent modulation formats, MIMO and electronic dispersion compensation techniques to improve the system performances

## ■ Experimental characterization



set up of a test bed with generation and processing of the OFDM signal in the electrical domain, using Reflective Semiconductor Optical Amplifier (RSOA) and/or Reflective Electro-absorption (REAM) over a 50 Km link.

## All optical- orthogonal frequency division multiplexing



10-100 Mb/s TDM-based service rates

- Network design

scalability analysis, evaluation of the power consumption, dynamic bandwidth assignment, broadcast and multicast features, OFDM/WDM integration, *protection/restoration*

- Network implementation

study of the effects of chromatic and polarization dispersion, influence of non-linear effects, of Rayleigh and Brillouin scattering in both downstream and upstream transmissions. Performance analysis as a function of the bitrate, number of users, reach extension. Study and definition of new techniques to adapt the energy consumption proportionally to the overall system capacity. Use of advanced modulation formats and integration with WDM systems, to upgrade toward ultra-high aggregated capacity.

- Experimental characterization

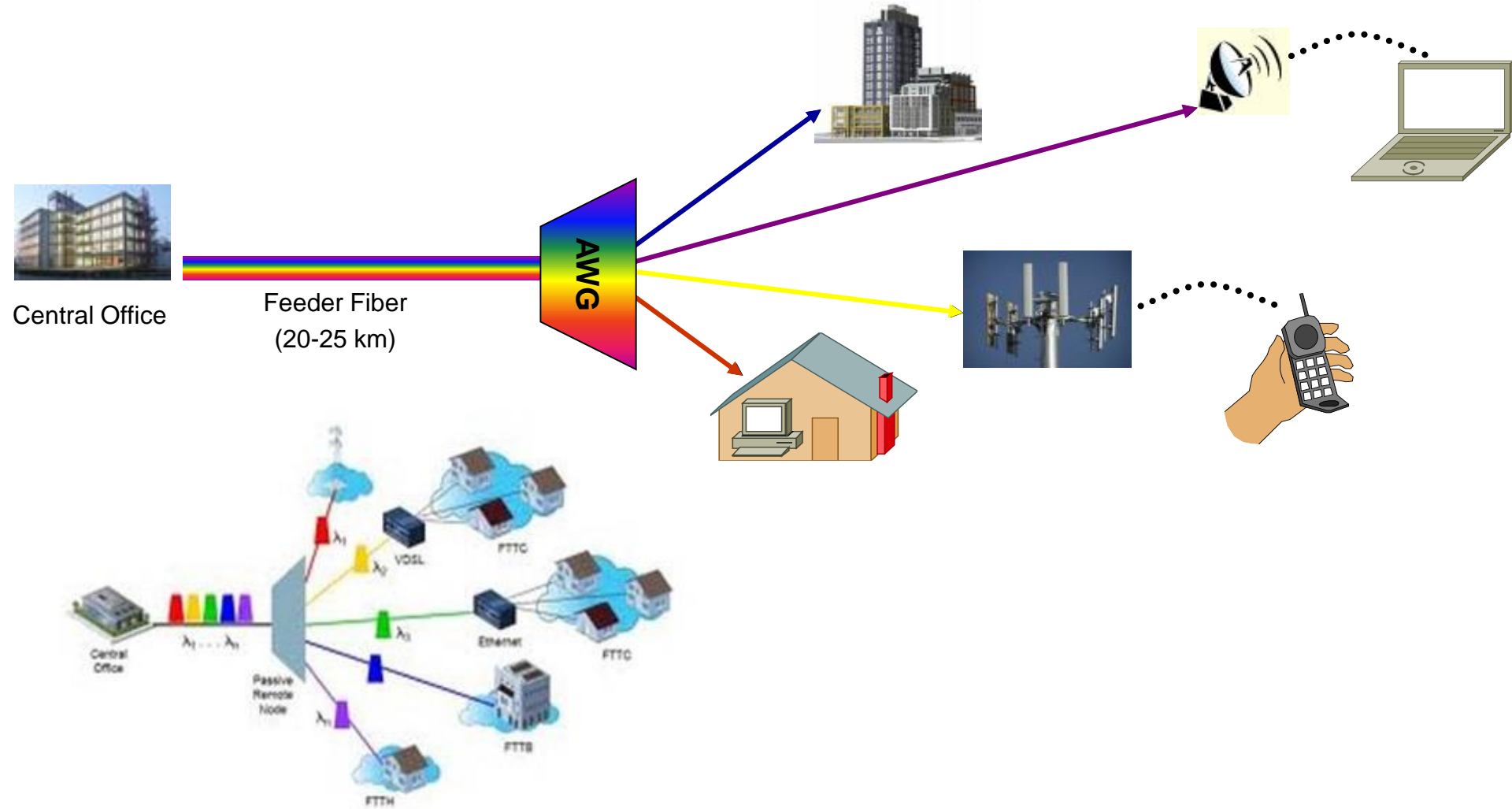


optical OFDM. Analysis of the maximum bandwidth for each user, spectral efficiency, losses and possible use of coherent modulation

- Active and passive performance monitoring

based on backscattering, transparent to the OFDM transmission, by means of Fiber Bragg Gratings (FBG) placed at the ONUs

# WDM-PON





- **Network design**  
analysis of the scalability, possible integration with the existing access infrastructure, ONU characteristics, considering different architectures and upgrade scenarios.
- **Network implementation**  
analysis of the performance, spectral efficiency, ONU cost, power consumption; estimation of the link power-budget and the effects of chromatic and polarization dispersion. Study of possible upgrades toward ultra-high capacity networks.

## ■ Experimental characterization



set up of a test-bed for dense WDM- and ultradense WDM-PON, using homodyne and heterodyne detection schemes and tunable lasers, also with digital equalizers (aggregated capacity 2.5 Tb/s spectral efficiency of 1 b/s/Hz).

Experimental validation of WDM transmission in C-band based on wavelength reuse or self-seeding for colorless ONUs. Either a passive splitter or an Arrayed Waveguide Grating (AWG) is placed in the PON branching unit.

## ■ Backscattering techniques

for active and passive system monitoring, by means of multi-wavelength OTDR schemes.

- Design of the optical access network for the historical downtown L'Aquila. A model based on the town topographic maps is developed, to connect all the rebuilt buildings.
- Techno-economical analysis and CAPEX optimization, depending on network elements placement and co-funding of other infrastructures.

## A.1 Analisi degli scenari operativi e dei requisiti

- T.1.1 Analisi della situazione delle reti di accesso in Italia
- T.1.2 Studio della scalabilità della rete da GPON a 10G-PON, NG-PON2 e verso reti LR-PON
- T.1.3 Studio delle problematiche di integrazione delle nuove reti di accesso con gli attuali sistemi in rame.
- T.1.4 Analisi dei requisiti e delle caratteristiche delle reti di accesso in fibra e in rame per realizzare il collegamento tra le basestation di sistemi wireless

## A.2 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica OFDM a radiofrequenza

- T.2.1 Progetto della rete
- T.2.2 Studio dell'implementazione.
- T.2.3 Validazione sperimentale.

## A.3 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica OFDM ottica

- T.3.1 Progetto della rete
- T.3.2 Studio dell'implementazione
- T.3.3 Validazione sperimentale
- T.3.4 Studio e test sperimentale di nuove tecniche di backscattering trasparenti per schemi di trasmissione OFDM per il monitoraggio offline e attivo dell'integrità della rete.

## A.4 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica WDM

- T.4.1 Progetto della rete
- T.4.2 Studio dell'implementazione
- T.4.3. Validazione sperimentale
- T.4.4 Studio e test sperimentale di nuove tecniche di backscattering per il monitoraggio offline e attivo

## A.5 Analisi tecno-economica per l'implementazione dei sistemi proposti nel centro storico dell'Aquila

- T.5.1: Progetto di una rete di accesso ottica per il centro storico dell'Aquila.
- T.5.2 Analisi tecno-economica ed ottimizzazione del CAPEX in funzione della dislocazione degli elementi di rete e dei coinvestimenti per altri sottoservizi

## A.1 Analisi degli scenari operativi e dei requisiti

- M1.1 (mese 12) Definizione degli scenari operativi per la rete NGN in Italia; analisi delle direttive AGCOM e degli standard IEEE802.3av, ITU-T G.984.5 e G.987. Definizione dei requisiti minimi di funzionamento per la scalabilità dalle rete GPON a 10G-PON, NG-PON2 e long-reach PON.
- M1.2 (mese 24) Definizione di nuove soluzioni per l'integrazione tra l'attuale infrastruttura in rame e la rete NGN, basate su VDSL2, eventualmente con vectoring, o DOF. Definizione dei requisiti della rete per la distribuzione del segnale televisivo. Definizione di soluzioni DSL avanzate per il backhauling nelle reti radiomobili attuali e future.

## A.2 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica OFDM a radiofrequenza

- M2.1 (mese 12) Definizione di nuovi protocolli per la gestione del traffico della rete; valutazione delle tecnologie per la gestione dinamica della banda e la riconfigurabilità nel caso di cambio di operatore.
- M2.2 (mese 24) Studio dell'implementazione della rete in funzione dei parametri fisici; analisi delle prestazioni delle tecniche MIMO, cyclic prefix, equalizzazione, pilot tone...
- M2.3 (mese 36) Validazione sperimentale della rete studiata su un test-bed utilizzando RSOA e/o REAM.

## A.3 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica OFDM ottica

- M3.1 (mese 12) Definizione di nuovi protocolli per la gestione dinamica della banda; studio di sistemi broadcast e multicast; analisi di nuovi sistemi ibridi OFDM/WDM e del consumo energetico.
- M3.2 (mese 24) Studio dell'influenza della dispersione e degli effetti non lineari sulle prestazioni della rete; analisi delle prestazioni di formati di modulazione avanzati e di sistemi ibridi OFDM/WDM
- M3.3 (mese 36) Validazione sperimentale della rete su un test-bed, utilizzando il codificatore/decodificatore ottico per la trasmissione simmetrica di segnali da 1.25 fino a 25 Gb/s, anche con modulazione coerente. Test sperimentale di tecniche di backscattering trasparenti il monitoraggio offline e attivo dell'integrità della rete, utilizzando dispositivi FBG.

## A.4 Progetto e caratterizzazione di sistemi ottici con accesso disaggregato basati sulla tecnica WDM

- M4.1 (mese 12) Analisi della scalabilità e dell'integrabilità con le reti GPON attuali e i futuri sistemi NG-PON2.
- M4.2 (mese 24) Analisi delle prestazioni, del link power budget, dell'efficienza spettrale, del costo, del consumo energetico, degli effetti della dispersione.
- M4.3 (mese 36) Validazione sperimentale della rete su un test-bed, utilizzando tecniche DWDM e ultra-DWDM, anche con sistemi di ricezione coerenti omodina ed eterodina. Validazione sperimentale di un sistema WDM, con wavelenght reuse o con self-seeding. Validazione sperimentale di tecniche di backscattering per il monitoraggio della rete, mediante schemi di OTRD multi-lunghezza d'onda.

## A.5 Analisi tecno-economica per l'implementazione dei sistemi proposti nel centro storico dell'Aquila

- M5.1 (mese 24) Definizione del modello implementativo per la rete del centro storico della città de L'Aquila, con capillare copertura in fibra ottica degli edifici ricostruendi.
- M5.2 (mese 36) Definizione tecno-economica del modello di rete di accesso ottica, comprensivo di una dettagliata analisi degli investimenti necessari.

COCONUT (FP7 STREP): COst-effective COhereNt ultra-dense-WDM-PON for lambda-To-the-user access <http://www.ict-coconut.eu/>

ERMES (FP7 STREP): Embedded Resonant and Modulable Self-Tuning Laser Cavity for Next Generation Access Network Transmitter <http://www.ermes-project.eu/>

FABULOUS (FP7 STEP): FDMA Access By Using Low-cost Optical network Units in Silicon photonics <http://www.fabulous-project.eu/>

ASTRON (FP7 STREP): Adaptive Software defined Terabit tRansceiver for flexible Optical Networks <http://www.ict-astron.eu/>

STARBOARD (SHIP): Studies on All optical Room-based OFDM by Crosstalk Analysis for Realistic Multi-carrier Detection 2012-2015



ERMES

COCONUT



ino - 21/23 maggio 2013

STRONGEST (FP7 IP) Scalable, Tunable and Resilient Optical Networks Guaranteeing  
Extremely-high Speed Transport <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/future-networks/projects/summaries/strongest.pdf>

COMBO (FP7 IP) COvergence of fixed and Mobile BrOadband access/aggregation  
networks <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/future-networks/documents/call8-projects/combo.pdf>

BESOS (PRIN) Bandwidth efficiency and Energy Saving by sub-lambda Optical Switching

POLARIZON (PRIN) Nonlinear cross-polarization interactions in photonic devices and  
systems

GreenTouch



INFIERI (FP7 ITN)



[www.roadngn.uniroma3.it](http://www.roadngn.uniroma3.it)