



TLC in mare: Satellite, 5G nearshore e Cavi Sottomarini - infrastrutture critiche per il sistema Paese

Evoluzione Reti TLC in mare: Cavi sottomarini e infrastrutture ottiche IP

Ing. Gabriele Laghi

Ing. Claudio Di Girolamo

Sparkle - IP Networks & Automation Engineering

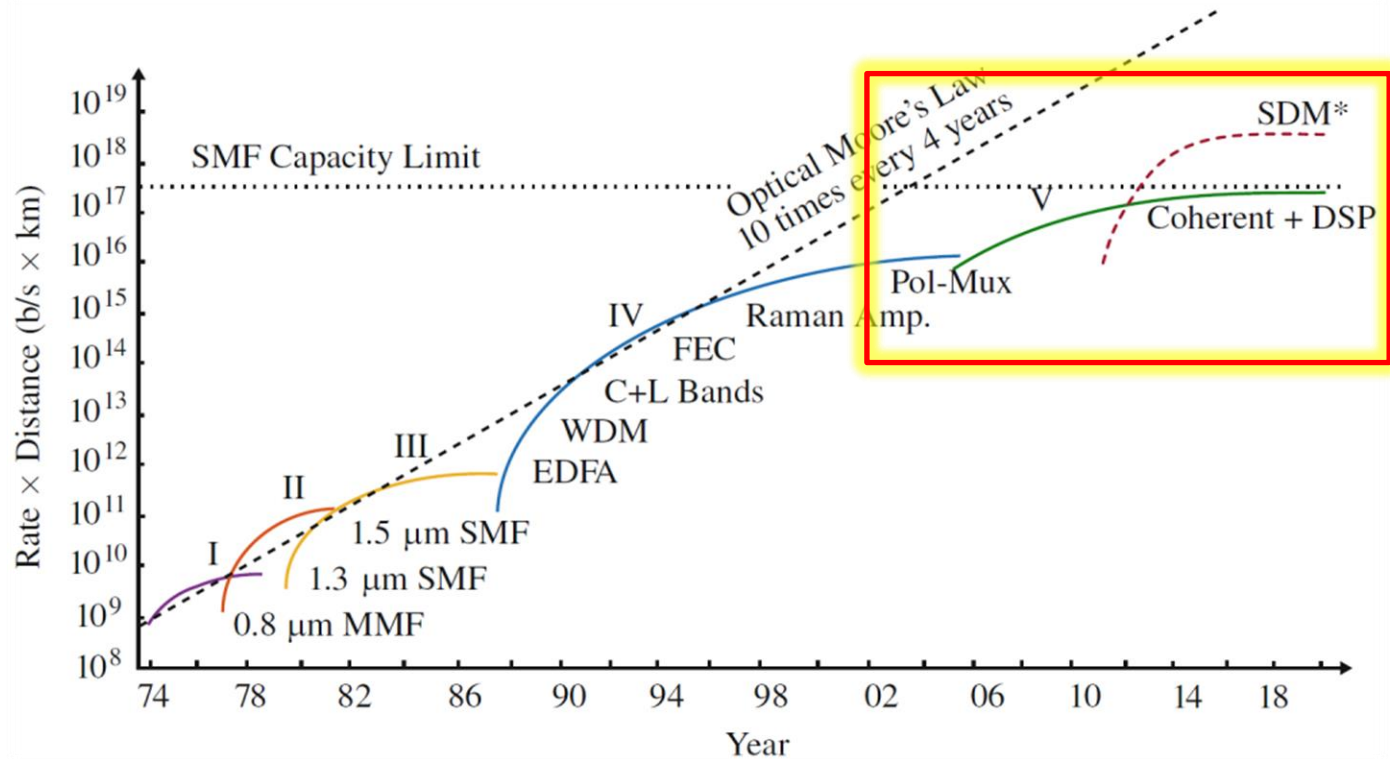
Roma, 22/01/2025



AGENDA

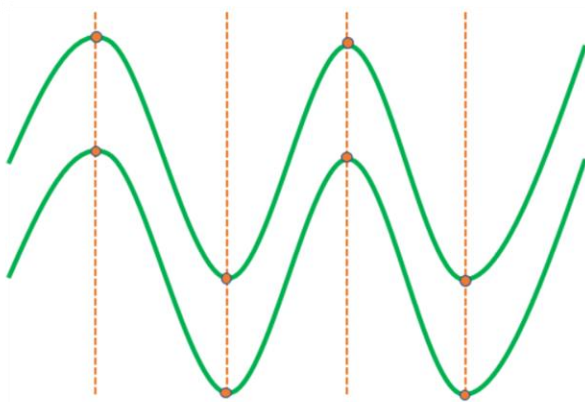
- Comunicazioni ottiche coerenti sottomarine
- Infrastruttura IP per backbone internazionale
- Connettività e routing IP
- Sicurezza del traffico IP nei backbone Tier 1

LE GENERAZIONI DELLA COMUNICAZIONE IN FIBRA

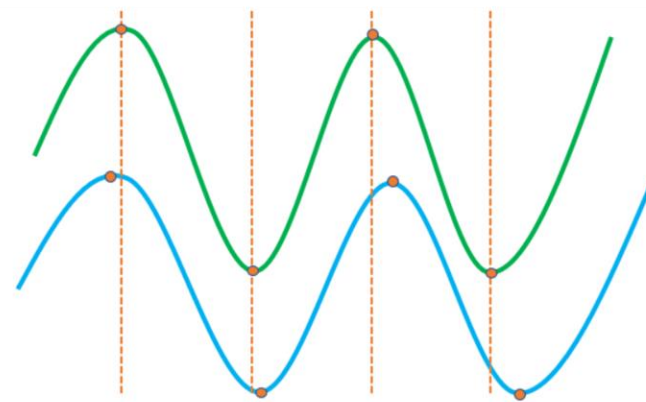


La **prima generazione** utilizzava LED e laser in AlGaAs emittenti a 0,8 μm su fibre multimodali graded-index che, limitati dalla dispersione modale, raggiungevano un BL di qualche centinaio di Mbit/s·km. Lo sviluppo delle fibre monomodali nei primi anni '80 ha inaugurato la **seconda generazione** che, grazie anche allo sviluppo di laser InGaAsP ha spostato il regime operativo verso gli 1,3 μm, dove l'attenuazione della fibra è inferiore. La **terza generazione** ha spostato ulteriormente l'emissione verso gli 1,5 μm, riducendo fortemente l'attenuazione del canale ottico e spostando la limitazione operativa dal dominio ottico al dominio dell'elettronica che si ritrovava, a fine '80, ancora inadeguata a modulare e rilevare segnali ad alta velocità. La soluzione "naturale" a questo problema si presentò con l'avvento della tecnica DWDM. La **quarta generazione** di sistemi ottici è durata fino alla metà degli anni 2000, quando la rivoluzione di Internet ha richiesto lo sviluppo di una nuova tecnologia fotonica dirompente. È in questo contesto che sono tornati alla ribalta i **sistemi coerenti digitali**, inaugurando la **quinta generazione** di comunicazione in fibra.

COSA E' LA COERENZA OTTICA?

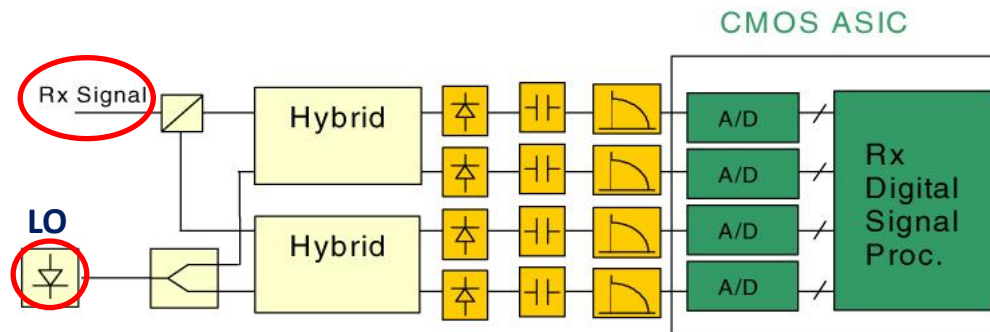


Sorgenti coerenti (mantenimento dell'ordine interno, onde con la stessa frequenza e fase)



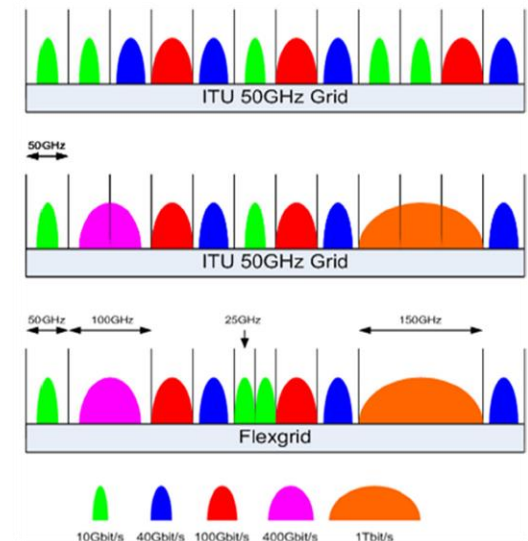
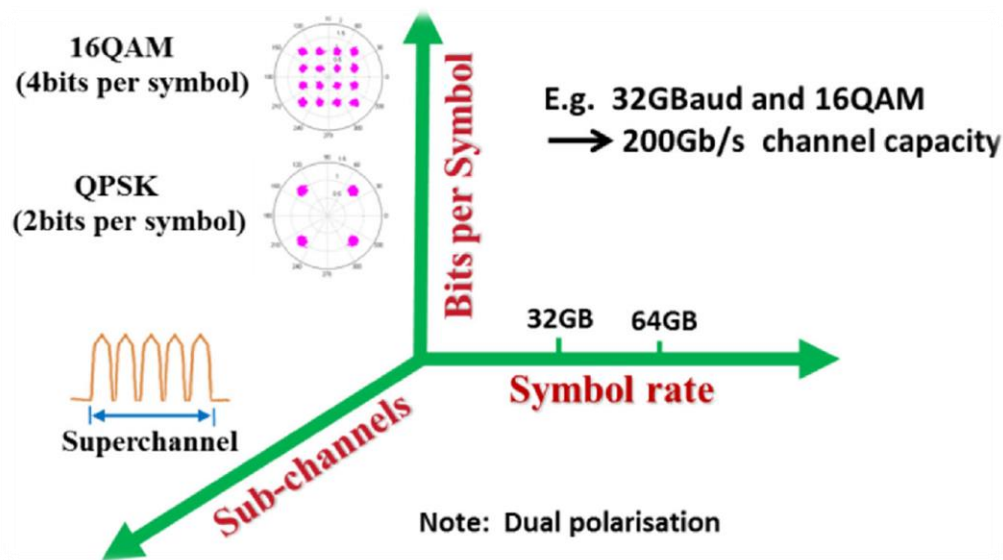
Sorgenti incoerenti (assenza di ordine interno, onde con frequenza e fase differenti)

La **coerenza** delle sorgenti elettromagnetiche si esplica nel fatto che le onde non si muovono relativamente l'una rispetto all'altra al variare del tempo. Nell'ambito delle comunicazioni ottiche, pertanto, **il ruolo della prima sorgente è ricoperto dal segnale informativo che viaggia in fibra ottica; il ruolo della seconda sorgente è ricoperto dal cosiddetto oscillatore locale (local oscillator, LO)**, poiché la radiazione è emessa da un laser che è locale, cioè prossimo al ricevitore, prima del fotorivelatore.

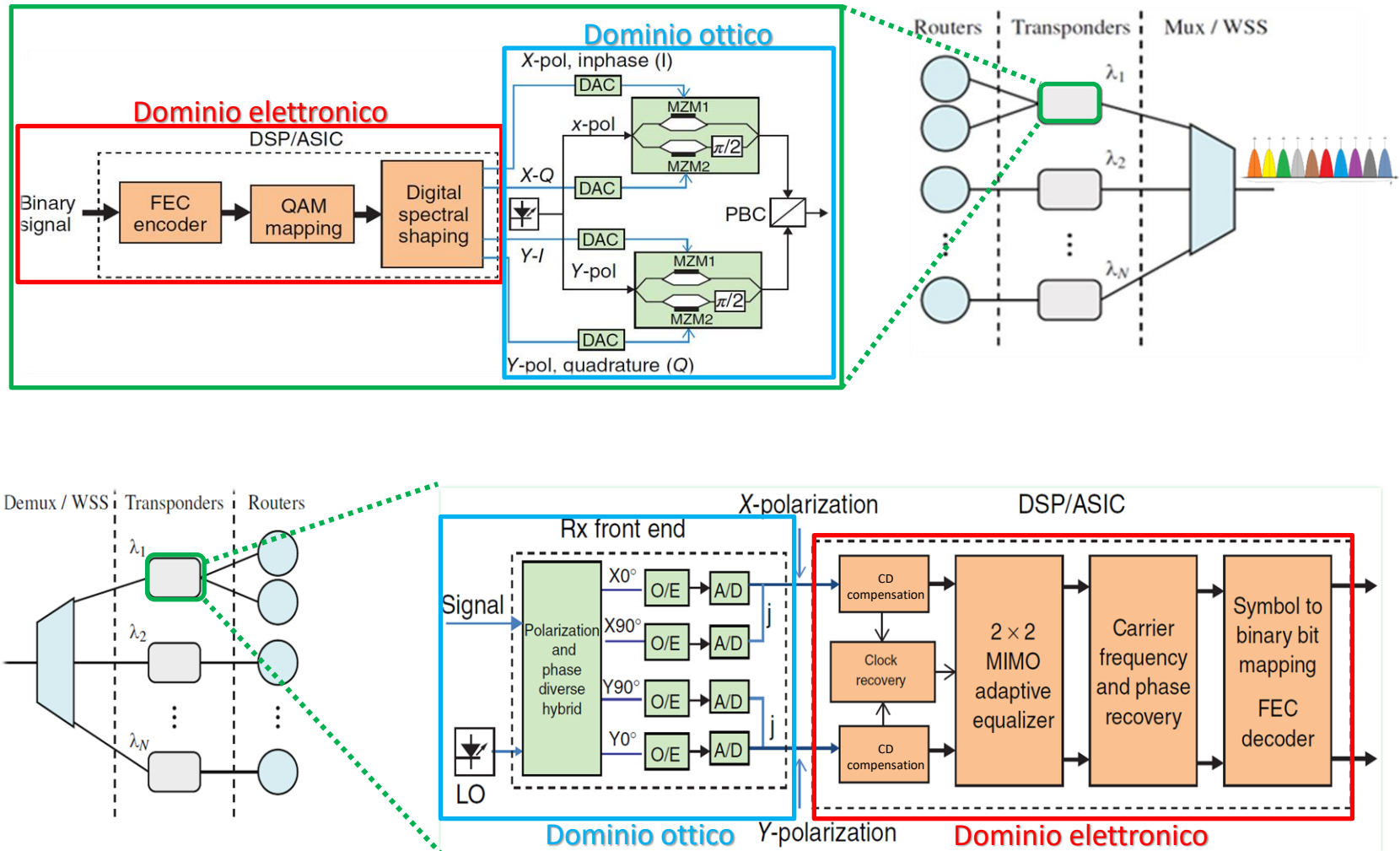


AUMENTO DELLA CAPACITA': PARADIGMA «3 X 3»

Per **incrementare la capacità trasmissiva** dei sistemi di comunicazione ottica, specialmente in ambito sottomarino, occorre agire contestualmente su **tre gradi di libertà**: **1) incremento dell'ordine di modulazione**, con impiego di schemi multilivello in diversità di polarizzazione PDM-N-PSK ed PDM-N-QAM, dove $N = 16, 64, 256$, ecc.; **2) aumento della velocità di simbolo**, o baud rate, che si misura, appunto, in baud, ossia simboli/s, fissato dalla velocità a cui opera l'elettronica del transponder, cioè principalmente quella dei convertitori ADC e DAC; **3) superchannels**, a cui è legato anche il concetto delle sotto-portanti di Nyquist. I **tre abilitatori tecnologici** per soddisfare i tre vincoli sono: **I)** impiego di **potenti DSP in trasmissione e ricezione** (per sagomatura sotto-portanti, equalizzazione della dispersione, stima del canale, FEC); **II)** ottimizzazione delle tecnologie optoelettroniche con **fabbricazione e impiego di PIC (Photonic Integrated Circuit)**; **III)** esercizio di **reti fotoniche gridless o elastiche** (cioè a griglia flessibile, con granularità fino a 6,25 GHz tra canali DWDM adiacenti).



SISTEMI COERENTI DIGITALI: RUOLO DEL DSP IN TX E RX



CONSIDERAZIONI SU LIMITE TEORICO DI SHANNON

Formula di Shannon

$$C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR}) \quad [\text{bit/s}]$$

Efficienza spettrale (formula di Shannon normalizzata)

$$\frac{C}{B} = \log_2(1 + \text{SNR}) \quad [\text{bit/s/Hz}]$$

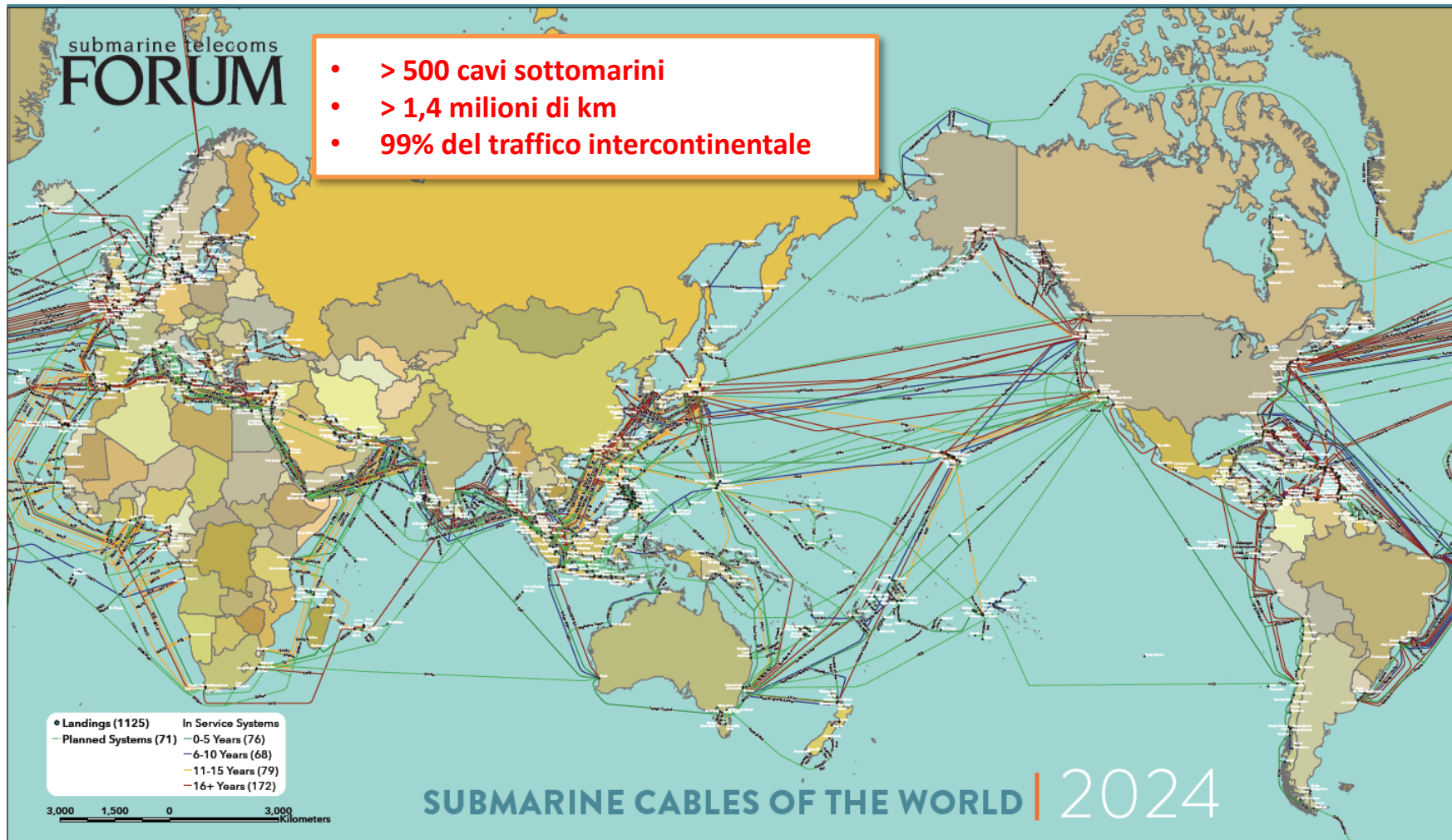
Il paradigma «3 x 3» si riflette sull'**incremento dell'efficienza spettrale**, con valori che **superano ormai gli 8 bit/s/Hz** negli attuali sistemi commerciali, operanti a oltre 90 Gbaud e consentendo il trasporto di oltre 1 Tbit/s per canale DWDM. Agendo sull'**aumento del rapporto segnale-rumore** per incrementare ulteriormente il limite teorico di Shannon, si ha:

$$\log_2(1 + \text{SNR}) \approx \log_2 \text{SNR}$$

Questo implica che aumentando, per esempio, anche solo di **1 bit/s/Hz** l'efficienza spettrale, l'equivalente incremento dell'SNR è di **+ 3 dB**, cioè si deve **raddoppiare** il rapporto segnale-rumore che, nel dominio ottico si ripercuote sull'**aumento del rumore ASE**, introdotto dagli amplificatori ottici, e **incremento delle non linearità** su fibra (scattering di Raman, effetto Kerr, ecc.) che causa un **dimezzamento della massima portata ottica** raggiungibile.

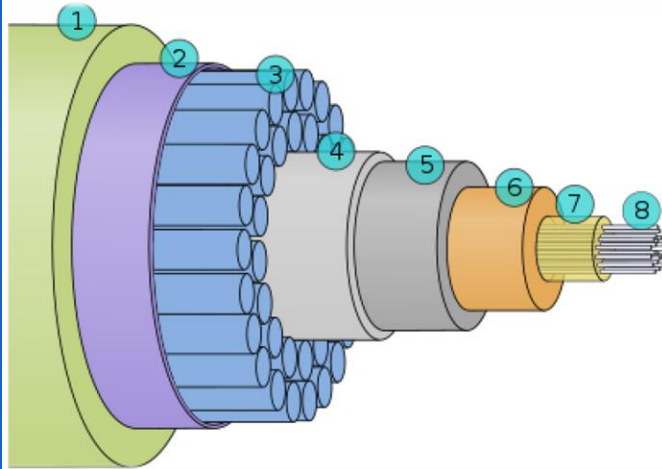
Le attuali tecnologie in esercizio sulle reti fotoniche hanno consentito di **avvicinarsi a circa 1 – 2 dB dal limite teorico di Shannon** con il solo paradigma «3 x 3»: ciò implica che **i futuri «salti»**, in termini di capacità o efficienza spettrale, **verso il limite teorico di Shannon non possono aver luogo senza che questo richieda** cambiamenti rilevanti e contestuali su tre fronti, quali: **sviluppo di DSP sempre più spinti in prestazioni**, nuove **tecniche efficienti di modulazione** (ad esempio, *Probabilistic Constellation Shaping*, PCS) e **codifica** (ad esempio SD-FEC), e **approcci più efficaci sulla mitigazione delle non linearità** (ad esempio, *Space Division Multiplexing*, SDM, su fibre *multicore* MCF).

MAPPA DEI CAVI SOTTOMARINI MONDIALI

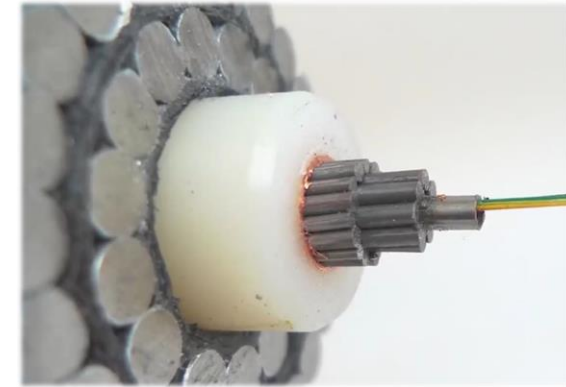


<https://subtelforum.com/submarine-cable-map-print-version/>

STRUTTURA DI UN CAVO SOTTOMARINO



1. Polietilene
2. Nastro di mylar
3. Fili d'acciaio trefolati
4. Barriera di alluminio
5. Policarbonato
6. Tubo di rame o alluminio
7. Vaselina
8. Fibre ottiche



1. STRUTTURA FINO A 12 FIBRE

nucleo scanalato 6 cave (2 fibre per cava) o nucleo tight

2. STRUTTURA FINO A 48 FIBRE

nucleo scanalato 6 cave (max8 fibre per cava) o tubetto metallico

3. STRUTTURA FINO A 96 FIBRE

nucleo a tubetti (max12 fibre per tubetto) o più tubetti metallici

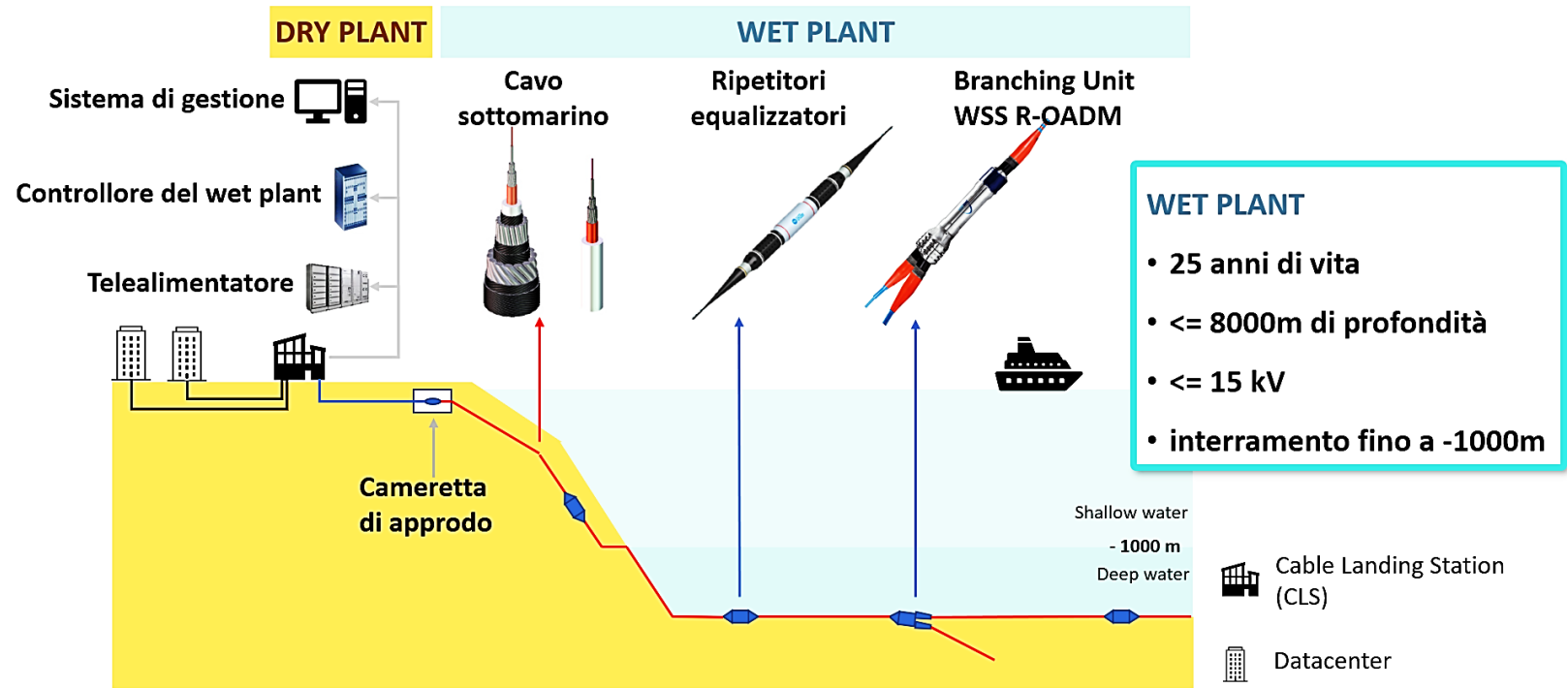
PROTEZIONE DEI CAVI

1. cavo a doppia armatura – DA
2. cavo a singola armatura leggera o pesante – SA o HSA
3. cavo ad armatura alleggerita – LWA
4. cavo da fondo – LW
5. cavo da fondo protetto – LWP

PROFONDITA' TIPICHE DI IMPIEGO

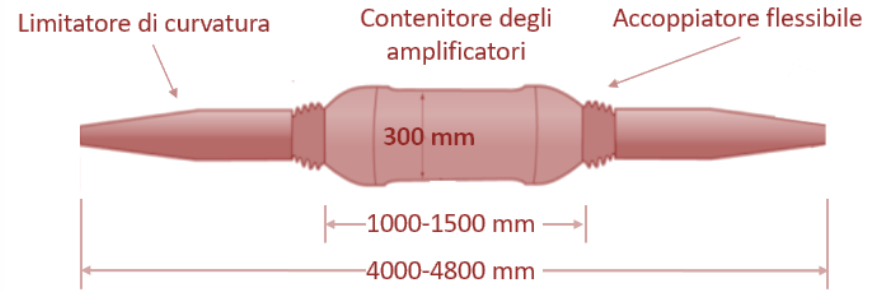
1. DA 0 - 100 m
2. SA 100 - 800 m
3. LWA 800 - 1500 m
4. LW 1500 - 5500 m
5. LW P1500 - 5500 m

WET PLANT E DRY PLANT

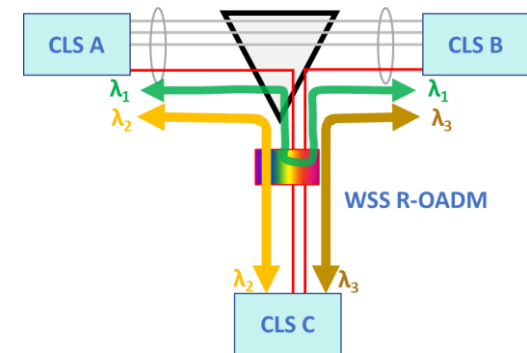
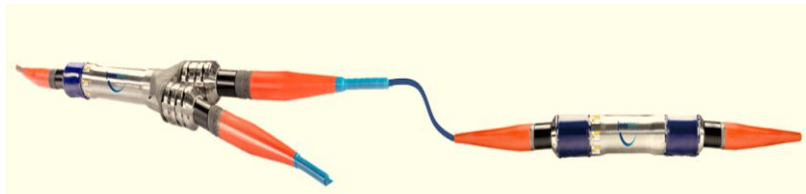


Wet Plant	Dry Plant
Cavo sottomarino (fibra ottica, protezioni)	Stazione di atterraggio (connessione rete terrestre)
Repeater (amplificazione ottica)	Terminal Equipment (trasmettitori, ricevitori, amplificatori)
Branching Unit (connessioni secondarie)	Power Feeding Equipment (alimentazione amplificatori)
Cavo di alimentazione (energia elettrica)	Network Management System (monitoraggio e controllo)
Protezione meccanica (zone critiche)	Infrastruttura terrestre (collegamenti e backbone)

AMPLIFICATORE OTTICO E WSS ROADM (WET PLANT)

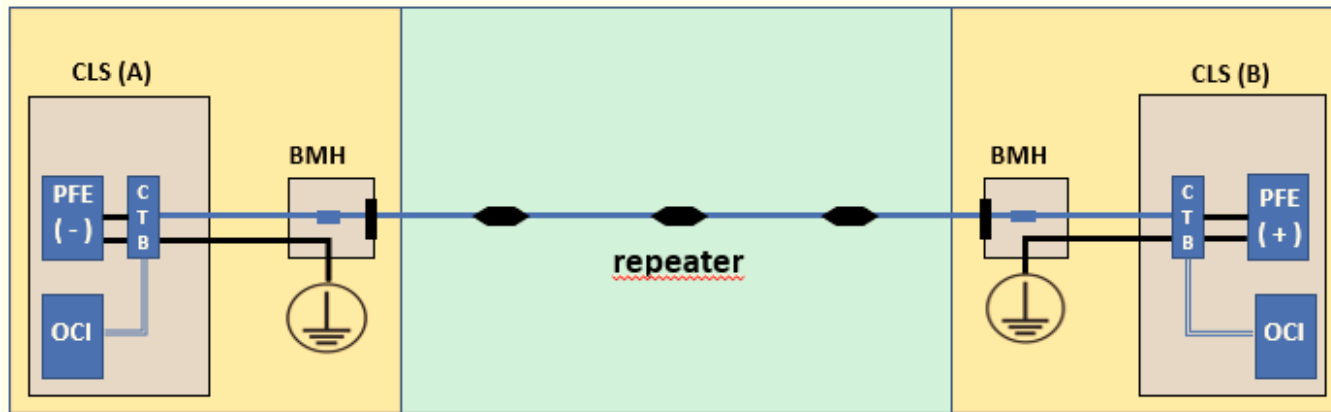


Il ripetitore integra amplificatori ottici per tutte le fibre (**banda C: 1530–1566 nm**) e sistemi di monitoraggio. Le **pompe laser** sono condivise tra le fibre. Supporta posa fino a 8000 m di profondità, pesa **350-450 kg** con code, e ha isolamento elettrico fino a **±15 kV**.

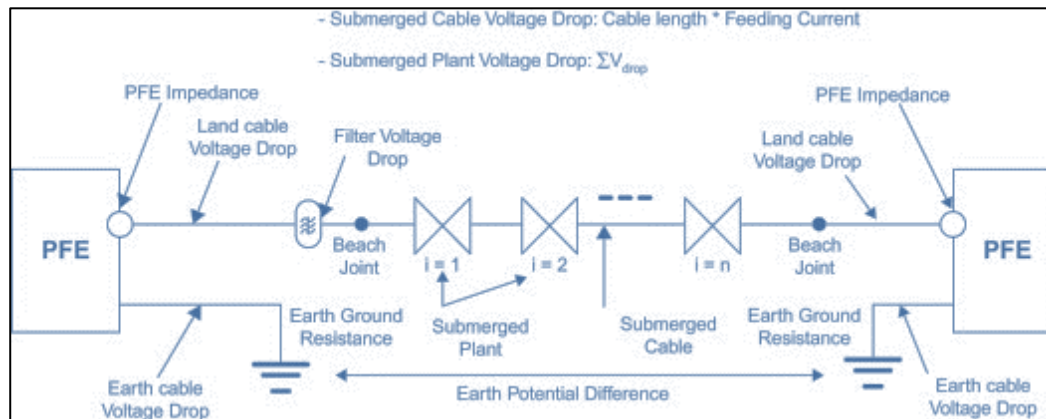


I moduli **WSS R-OADM** offrono flessibilità per l'istadamento ottico tra i rami della BU, con granularità di **6,25 GHz** (banda **1528-1568 nm**). Installati a km dalla BU, **integrano amplificatori ottici e supportano lo *spectrum sharing*** per partizionare lo spettro della fibra.

STAZIONE D'APPRODO E PFE (*DRY PLANT*)



Il **PFE** fornisce **corrente continua** (1,0–1,2 A) per ripetitori, BU e moduli WSS-ROADM, alimentando la dorsale in doppia polarità (< 15 kV). In caso di guasto, un PFE alimenta l'intero cavo. Il circuito si chiude tramite i sistemi di terra vicino agli approdi. Il **Cable Termination Box** (CTB) separa conduttore elettrico e fibre ottiche, interfacciandosi con il controllore del *wet plant* e l'**Open Cable Interface** (OCI).



ULTERIORI APPROFONDIMENTI SU... **BLOG DEI SEGNALI**

<https://teoriadisegnali.it/ottica-coerente/>

Blog dei Segnali

HOME ▾ LEGGI ▾ SCARICA ▾ SERVIZI ▾ ABOUT



Sistemi di comunicazione ottica coerente

Una approfondita panoramica del più recente sviluppo per le fibre ottiche, la tecnica **coerente**, che sta per *centuplicare* la velocità nelle dorsali di rete.

Per forza di cose l'esposizione si sviluppa attraverso diverse sotto-sezioni, anche in conseguenza del fatto che l'evoluzione della tecnologia coerente è avvenuta *per gradi*, guidata dalla necessità per gli operatori di contenere drasticamente i *CapEx* e gli *OpEx*, ed al contempo soddisfare il considerevole aumento di domanda per il traffico IP.

Un'opera come questa *non si scrive in un giorno*, cosicché i diversi aspetti sono affrontati un po' alla volta, per come li troviamo elencati di seguito, man mano che se ne completa lo sviluppo:

- **Evoluzione della trasmissione in fibra verso l'ottica coerente** – si ripercorrono le soluzioni che negli ultimi cinquant'anni hanno preceduto la tecnica coerente, in qualche modo ritardandola, finché non se è più potuto fare a meno;
- **Modulazione numerica** – i concetti generali della trasmissione dati multilivello, che l'ottica coerente permette di implementare nel contesto della trasmissione su fibra;
- **Trasmettitore ottico coerente** – il blocco fondamentale per la generazione di un segnale ottico che convogli più di un bit/simbolo, la cui descrizione si articola a sua volta in
 - **sorgente laser** – i concetti di optoelettronica alla base della generazione di una radiazione elettromagnetica monocromatica nello spettro del visibile, i suoi aspetti implementativi, ed i parametri che la descrivono;

STRUMENTI E SPUNTI

Vetrina dei Download



Tutti i contenuti prodotti negli anni e disponibili in accordo alla licenza **Creative Commons**

Mappa real time delle visite

Clicca per la [situazione attuale!](#)



I contenuti tecnici finora esposti, con un focus particolare sui **sistemi di comunicazione ottica coerente**, sono approfonditi nel dettaglio in una sezione dedicata del ***Blog Dei Segnali***, curato dal **Prof. Alessandro Falaschi**, docente di **Teoria Dei Segnali** presso la **facoltà di Ingegneria della Sapienza**.

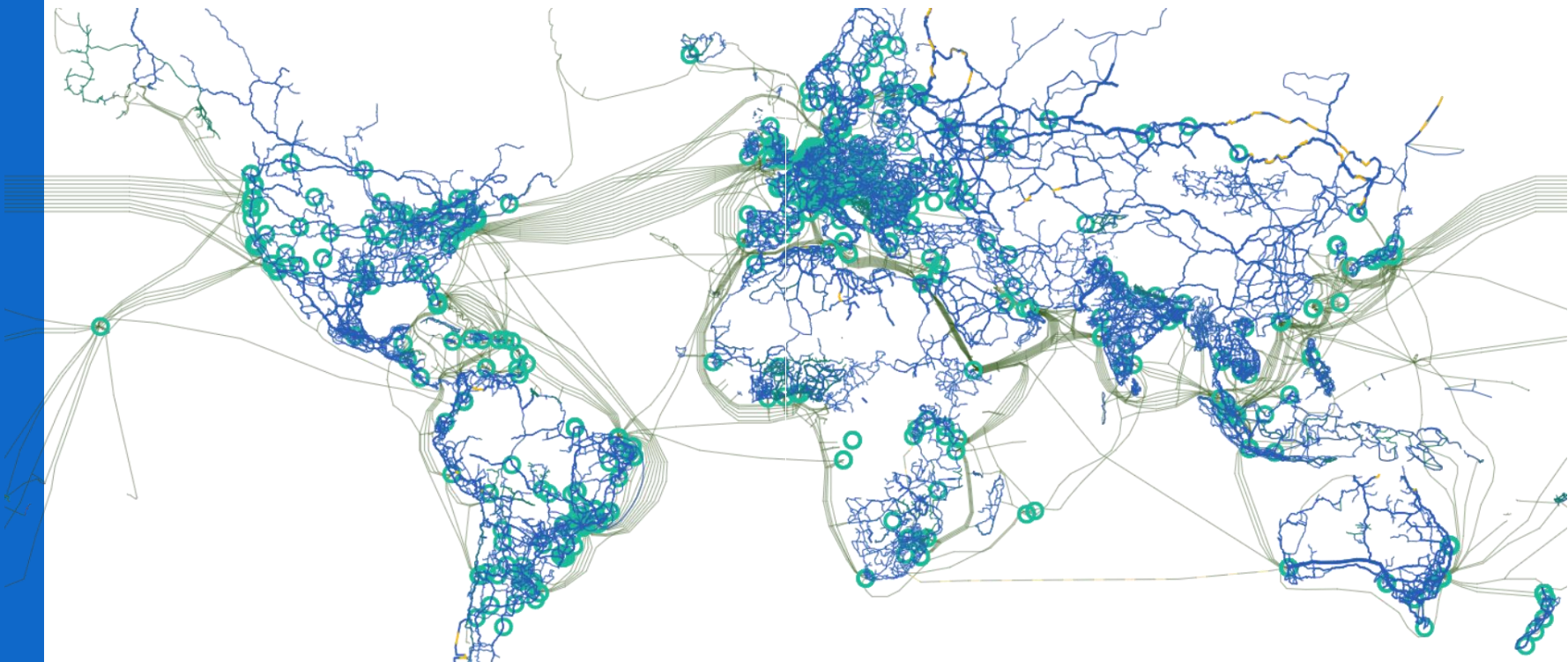


AGENDA

- Comunicazioni ottiche coerenti sottomarine
- Infrastruttura IP per backbone internazionale
- Connettività e routing IP
- Sicurezza del traffico IP nei backbone Tier 1

INFRASTRUTTURE IP - RETI INTERNAZIONALI

Partendo dalla descrizione ITU «CONNECTIVITY INFRASTRUCTURE MAP», è possibile inserire diversi layer di visualizzazione della mappa mondiale delle infrastrutture di connettività.

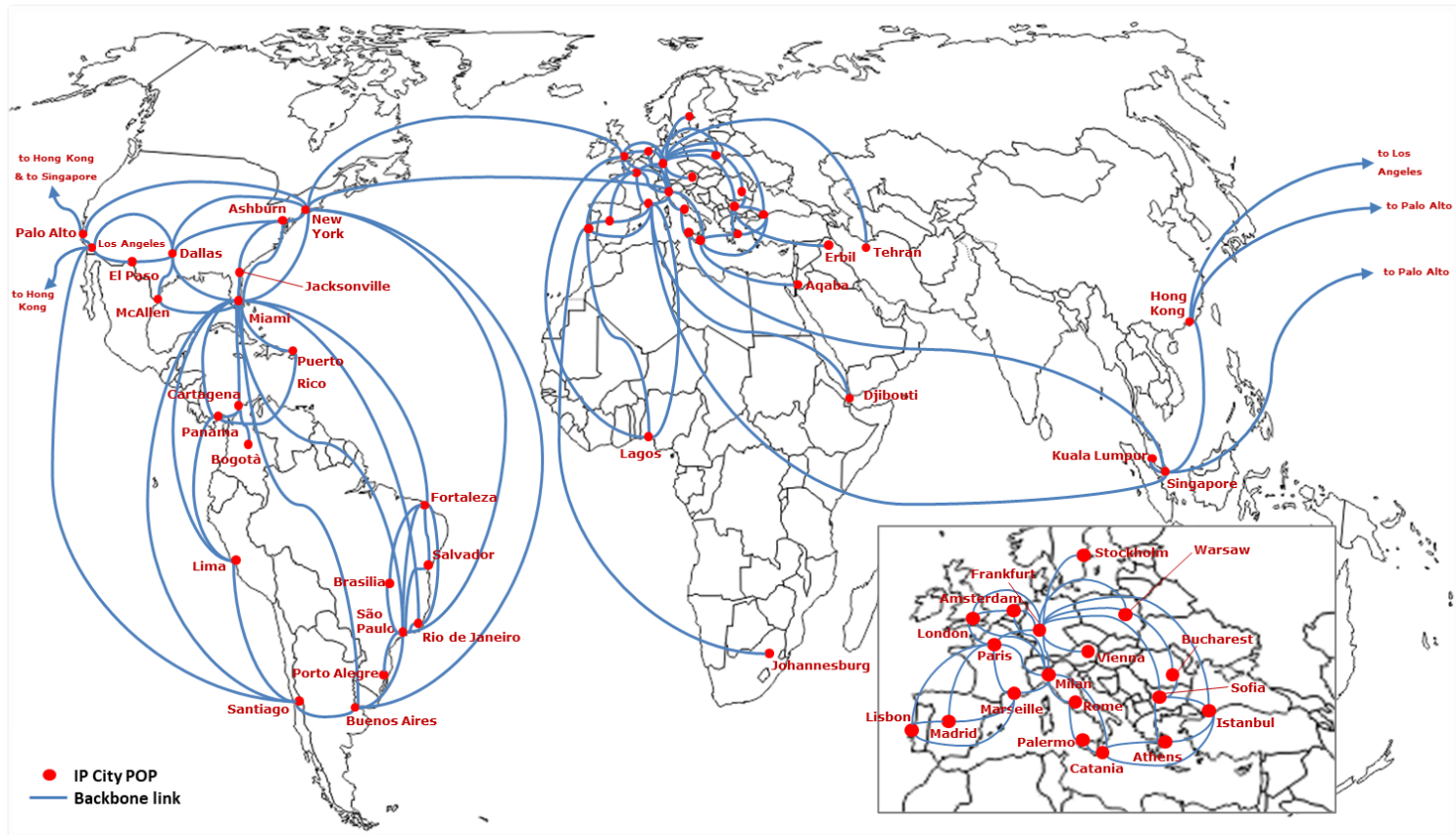


<https://bbmaps.itu.int/bbmaps/>

RETE IP AS 6762- Sparkle Tier 1

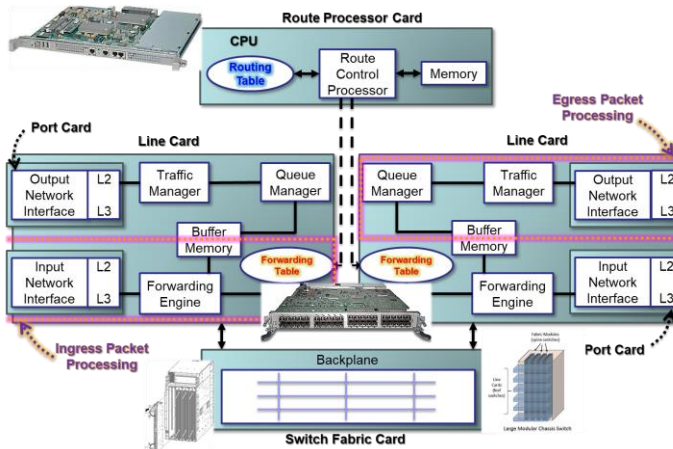
Un esempio di rete IP realizzata è il Tier 1 principale italiano: Sparkle AS 6762

- Global coverage +100 POPs in 4 continents
- Direct and oversized interconnections with all Tier-1 networks & OTT/CDN/CAPs
- Flexible range of IP transit service terms & billing options
- Ethernet port size up to 400G

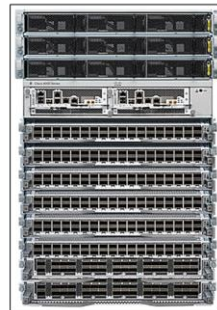


ROUTER: ELEMENTO HW IP

- I router nel contesto internazionale sono degli Hardware con ASIC specialistica per il controllo ed il forwarding dei dati
- La tendenza negli ultimi anni è sempre più verso il compattamento delle dimensioni (RU: Rack Unit), ottimizzazione della Power e scalabilità



- Occupazione = 16 RU;
- Peso = 300 kg (pieno carico);
- Potenza = 9,3 kW @ 115,2 Tbit/s;
- Throughput massimo = 230,4 Tbit/s.



Juniper MX960 (anno 2006)

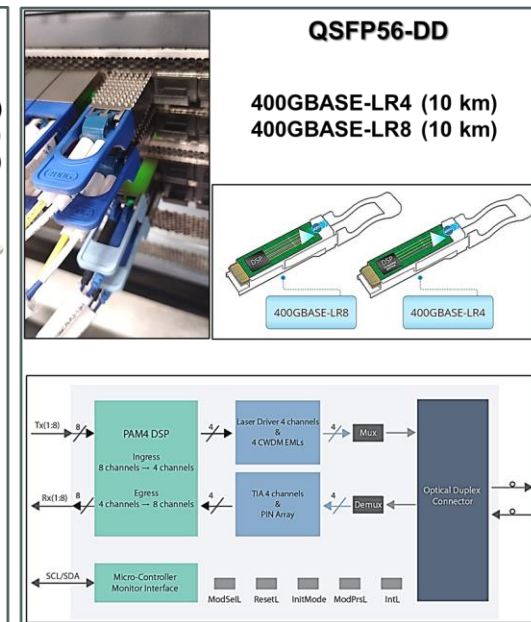
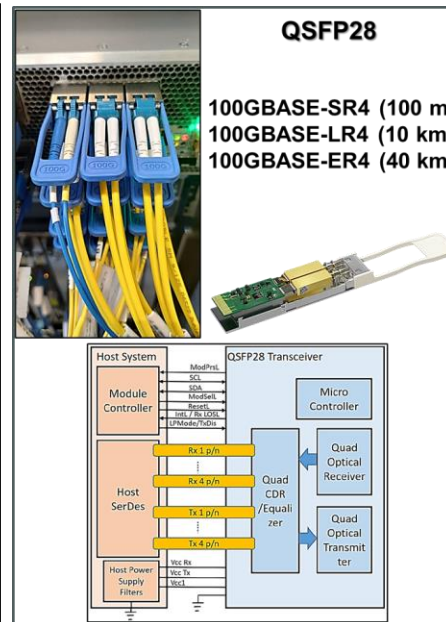
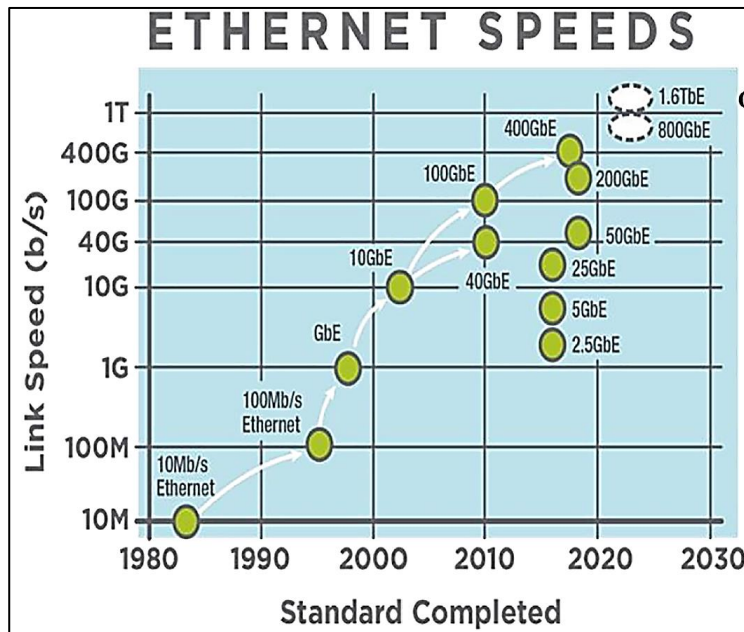
- Occupazione = 16 RU;
- Peso = 151,6 kg (pieno carico);
- Potenza = 8,2 kW (pieno carico 2 alimentazioni);
- Throughput massimo = 10,56 Tbit/s



- Occupazione = 2 RU;
- Peso = 55 kg (pieno carico);
- Potenza = 1,6 kW
- Throughput massimo = 28,8 Tbit/s.

LA CONNESSIONE FRA ROUTER - ETHERNET

- Lo standard de facto per la connessione fra router è Ethernet
- A livello internazionale lo standard di capacità per link od accesso cliente è ormai dell'ordine del 100 GE o 400 GE
- L'utilizzo di SFP è lo standard HW sui router (SFP: Small Form Factor Pluggable)
- Lo standard LR4 sembra essere prevalente

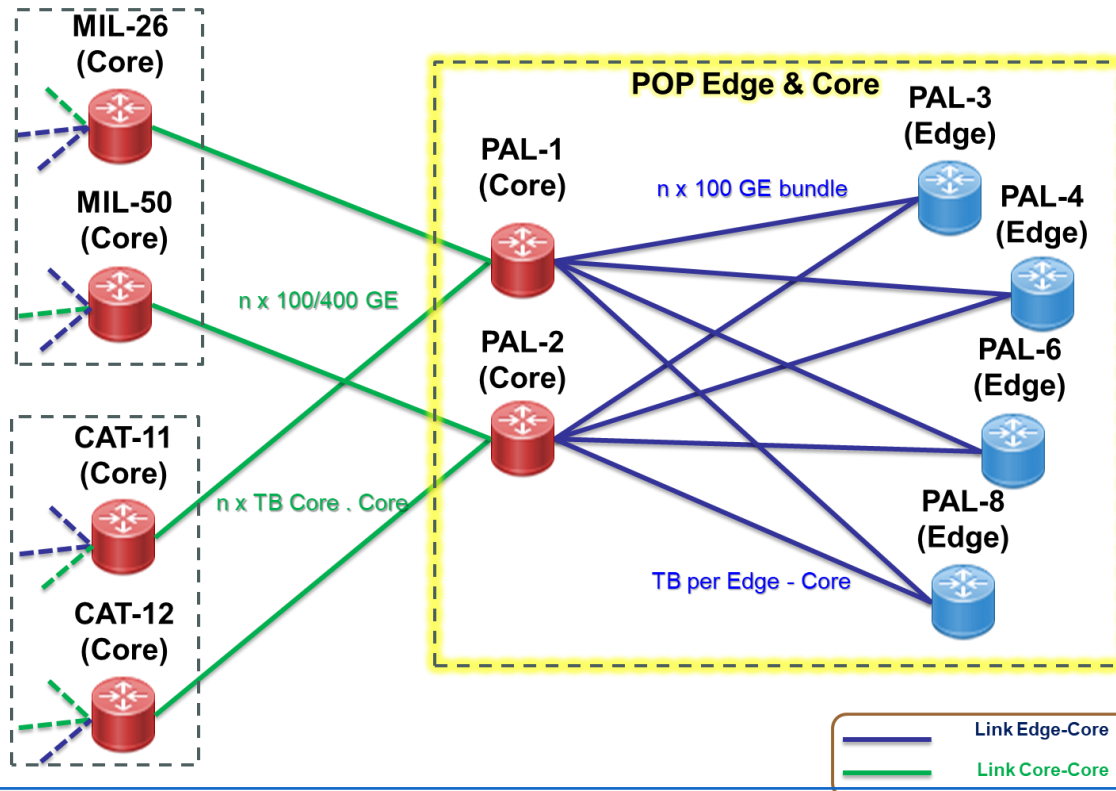


ECOSISTEMA INTERNET INTERNAZIONALE

- Complessità delle relazioni con un insieme di diversi attori:
 - ISP (Internet Service Provider) locali ed Tier 1 internazionali
 - IXP (Internet Exchange Point)
 - CDN (Content Delivery Network)
 - OTT (Over The Top)
- Building internazionali per installazione dei componenti di rete
 - PoP (Point of Presence) proprietari
 - DC (Data Center) colocation – housing
 - CLS (Cable Landing Station)
- Impatto crescente della distribuzione video streaming sulle reti IP
 - «live streaming» sport (ad es. Champions League)
 - «application upgrade» (ad es. nuova release Fortnite)

INSTALLAZIONE E CONNESSIONE IP

- L'interconnessione fra reti IP è uno degli elementi fondamentali per la realizzazione di una rete Internet internazionale.
- La collocazione dei router avviene in diverse tipologie di building:
 - Point of Presence proprietari: siti con forte presenza dell'ISP
 - Internet exchange point: punti di scambio fra ISP, CDN
 - Data Center: punti di hosting cloud



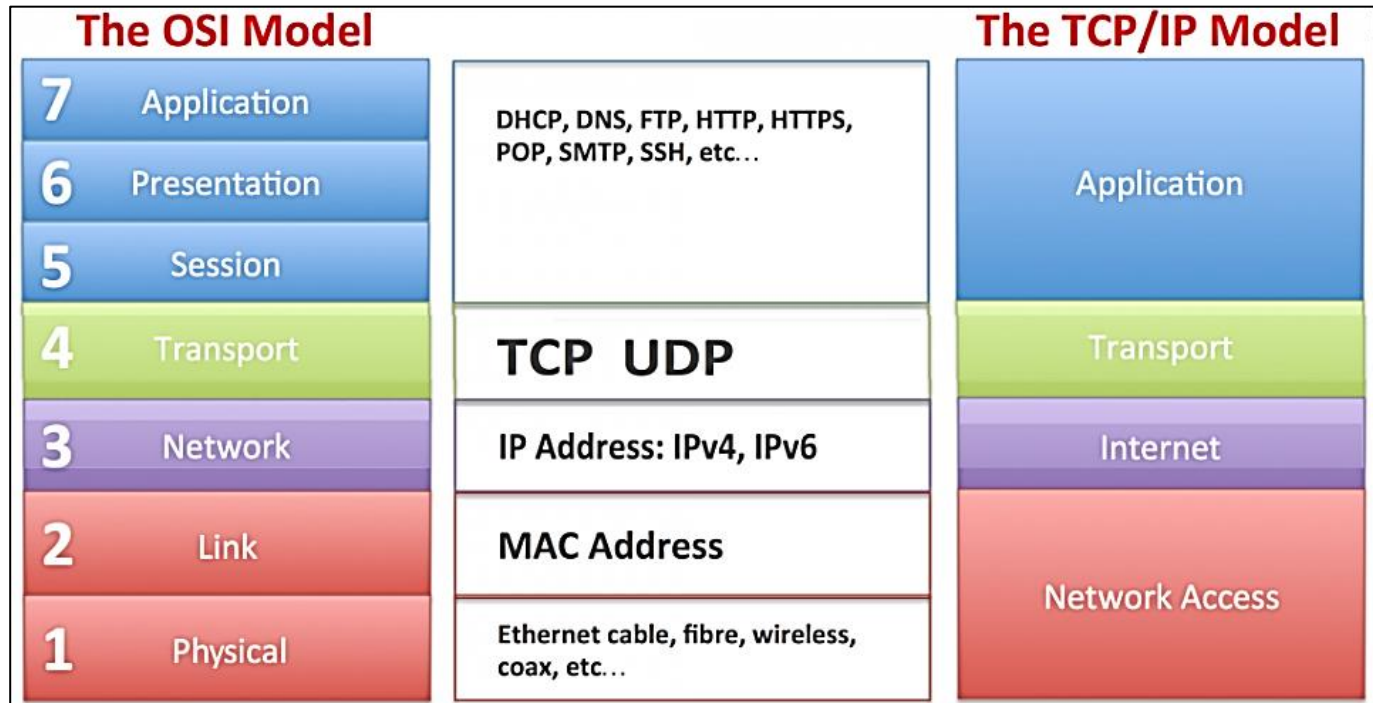


AGENDA

- Comunicazioni ottiche coerenti sottomarine
- Infrastruttura IP per backbone internazionale
- Connettività e routing IP
- Sicurezza del traffico IP nei backbone Tier 1

SERVIZI IP NETWORKING

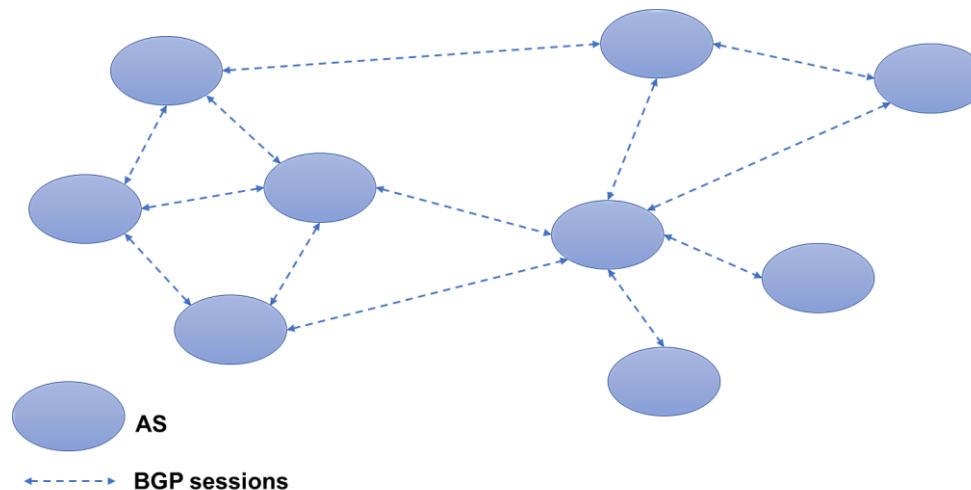
MODELLO OSI



- IP transit
- IP VPN
- Carrier Ethernet
- SD-WAN

IP ROUTING – IL PROTOCOLLO BGP

- Nell'ambito delle rete IP interconnesse, il **Border Gateway Protocol (BGP)** è il protocollo principale attore degli scambi di traffico internazionale.
- Algoritmo di routing: quella parte SW integrata nel NOS (Network Operating System) di un router per la selezione dell'opportuno collegamento di uscita su cui inoltrare i pacchetti in arrivo.
- Routing statico: NON basa le scelte di instradamento su stato del traffico e/o topologia di rete.
- **Routing dinamico:** basa le proprie decisioni adattandosi alle modifiche topologiche e/o dei profili di traffico.
- Il BGP è un **Exterior Gateway Protocol (EGP)** di tipo *path vector* con *hop* misurati in base al numero di AS visitati (attualmente BGPv4 in vigore). Determina i percorsi ottimi secondo un processo di selezione a più metriche, consente la realizzazione di politiche di routing *outbound* e *inbound* ad un AS e gioca un ruolo chiave nell'architettura di routing delle reti dei grandi ISP.
- **Autonomous System (AS):** insieme di router amministrati da un singolo ISP.
- **Autonomous System Number (ASN):** identificativo di un AS, codificato a 16 bit o 32 bit, e assegnato da un RIR.



CLASSIFICAZIONE DEGLI AS ed ISP

- AS single-homed

Sono caratterizzati da una connessione, singola o ridondata, verso un solo altro AS.

- AS multi-homed

Sono caratterizzati dall'avere più connessioni verso più AS.

- Primo livello [Tier-1]

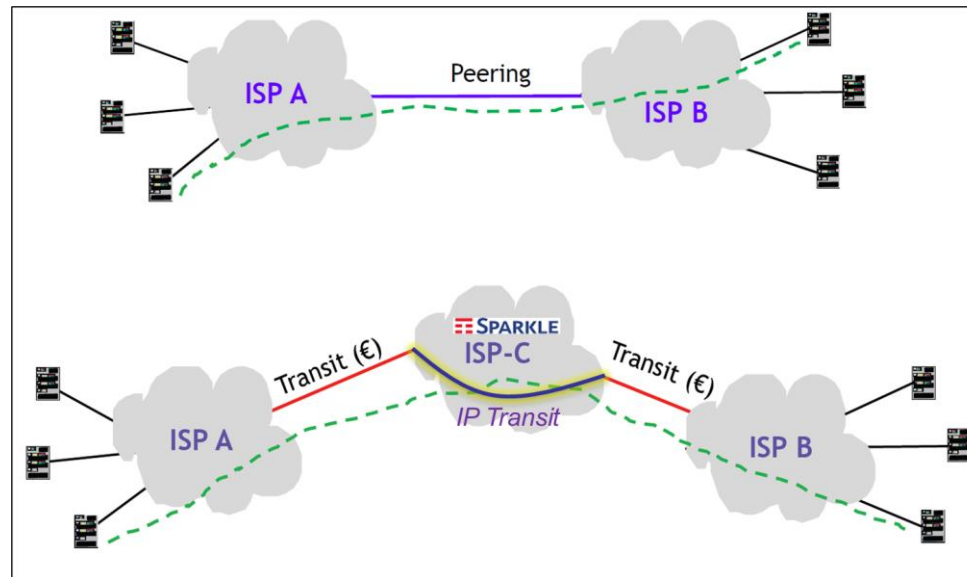
Un AS in grado di connettersi all'intera Internet, senza acquistare servizi di transito da altri ISP (Sparkle è ISP Tier-1).

- Secondo livello [Tier-2]

Una rete che comunica con le altre reti, acquistando almeno due transiti IP per raggiungere l'intera Internet.

- Terzo livello [Tier-3]

Una rete che deve necessariamente acquistare un diritto di transito da altre reti (almeno due) per raggiungere Internet.



ANALISI RELAZIONI CON BGP TOOLS

25 Nov 24 08:59 UTC

<https://asrank.caida.org/>

<https://bgp.tools/>

Ranking positioning

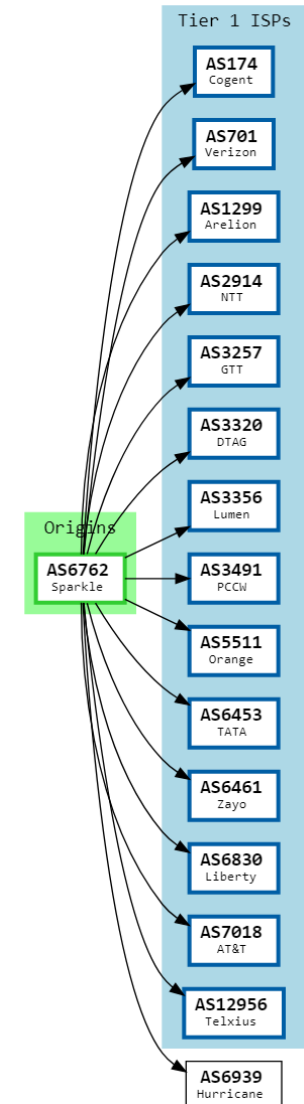
Caida ranking, September 2024

AS Rank ▲	AS Number ▼	Organization	cone size (ASes) ▼
1	3356	Level 3 Parent, LLC	54757
2	1299	Arelion Sweden AB	41781
3	174	Cogent Communications	37340
4	2914	NTT America, Inc.	24935
5	6762	Telecom Italia S.p.A.	23578
6	6939	Hurricane Electric LLC	22707
7	3257	GTT Communications Inc.	20203
8	6453	TATA COMMUNICATIONS (AMERICA) INC	19519
9	6461	Zayo Bandwidth	18819
10	3491	PCCW Global, Inc.	11032
11	9002	RETN Limited	9938
12	5511	Orange S.A.	9057
13	1273	Vodafone Group PLC	7520
14	12956	TELEFONICA GLOBAL SOLUTIONS SL	6214
15	4637	Telstra International Limited	5440

In the Top 10 worldwide IP Transit backbone ranking, occupying now position #5, and with leading positions in South America, Med Basin, Africa & Middle East

“AS rank is CAIDA's ranking of Autonomous Systems (AS) (which approximately map to Internet Service Providers) and organizations (Orgs) (which are a collection of one or more ASes). This ranking is derived from topological data collected by CAIDA's Archipelago Measurement Infrastructure and Border Gateway Protocol (BGP) routing data collected by the Route Views Project and RIPE NCC.

ASes and Orgs are ranked by their customer cone size, which is the number of their direct and indirect customers. Note: We do not have data to rank ASes (ISPs) by traffic, revenue, users, or any other non-topological metric.”



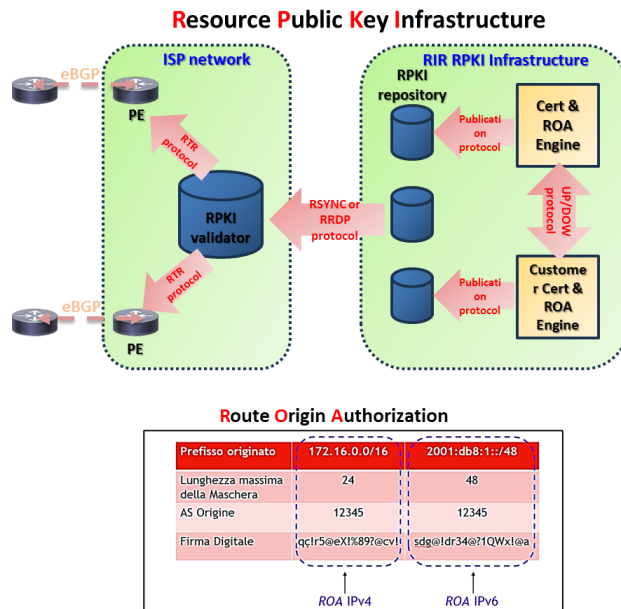


AGENDA

- Comunicazioni ottiche coerenti sottomarine
- Infrastruttura IP per backbone internazionale
- Connettività e routing IP
- Sicurezza del traffico IP nei backbone Tier 1

SICUREZZA BGP - EVOLUZIONI RPKI

- Alla radice del problema è l'assenza intrinseca al protocollo BGP di meccanismi di controllo e verifica su chi sia o meno autorizzato a immettere prefissi su Internet.
- Gli attacchi **Denial of Service (DoS)** tendono a negare il funzionamento di un servizio o impedire l'accesso a determinati contenuti propagando informazioni di routing false.
- Altri attacchi prevedono il prefix **hijacking – spoofing** per dirottare il traffico in black-hole o per analizzarlo per scopi non etici
- L'introduzione RPKI è una delle principali azioni nella internet community per arginare le problematiche sul fronte BGP



Un esempio 2024 di hack: Orange España

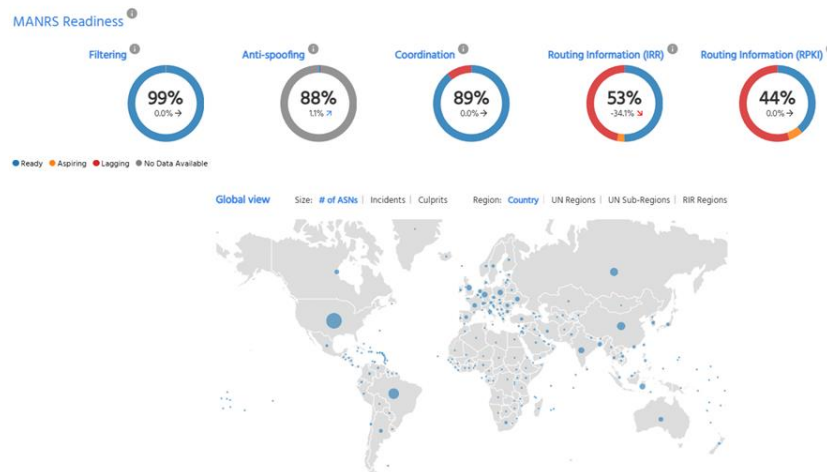


- <https://www.kentik.com/blog/digging-into-the-orange-espana-hack/>
- <https://www.kentik.com/blog/rpki-rov-deployment-reaches-major-milestone/>
- ROADMAP TO ENHANCING INTERNET ROUTING SECURITY - A REPORT BY THE WHITE HOUSE OFFICE OF THE NATIONAL CYBER DIRECTOR - SEPTEMBER 2024

GLOBAL CYBER ALLIANCE - MANRS

- La Global Cyber Alliance è un'organizzazione nonprofit focalizzata sul rendere Internet più sicura riducendo il cyber risk.
- Mutually Agreed Norms for Routing Security (MANRS) è la specifica iniziativa focalizzata su routing threats.
- **Filtering** (Preventing propagation of incorrect routing information)
- **Anti-Spoofing** (Preventing traffic with spoofed source IP addresses)
- **Coordination** - Facilitating global operational communication and coordination between network operators.
- **Global Validation** - Facilitating validation of routing information on a global scale.

<https://observatory.manrs.org/#/overview>



LINEE GUIDA PER UNA INTERNET SICURA

- **Agenzia Cybersecurity Nazionale & Centro di Valutazione e Certificazione Nazionale – ACN CVCN**
<https://www.acn.gov.it/portale/home> - <https://www.acn.gov.it/portale/centro-di-valutazione-e-certificazione-nazionale>)
- **Perimetro di Sicurezza Nazionale Cibernetica**
<https://atc.mise.gov.it/index.php/sicurezza/perimetro-sicurezza>
- **Common Criteria compliance**
<https://www.commoncriteriaportal.org/index.cfm>
- **Common Vulnerabilities Scoring System – CVSS**
<https://www.first.org/cvss/>
- **Common Vulnerabilities and Exposures – CVE**
<https://www.cve.org/ProgramOrganization/CNAs#CNAProgramGrowth>
- **Tenable Community**
https://community.tenable.com/s/?language=en_US
- **National Institute of Standards and Technology – NIST**
<https://www.nist.gov/>
- **Mutually Agreed Norms for Routing Security – MANRS**
<https://manrs.org/>



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

ING. CLAUDIO DI GIROLAMO
claudio.digirolamo@tisparkle.com
claudio.digirolamo1988@gmail.com

ING. GABRIELE LAGHI
gabriele.laghi@tisparkle.com
gabriele.laghi@gmail.com

