

# GARR-T

VISIONE, ARCHITETTURA, PROGETTO

Settembre 2022

GARR-T - Visione, Architettura, Progetto

DOI10.26315/GARR\_T\_Visione\_Architettura

VERSIONE: v1.0

#### AUTORI

P.Bolletta<sup>1</sup>, M.Carboni<sup>2</sup>, F.Farina<sup>3</sup>,  
M.Valiante<sup>5</sup>, G.Vuagnin<sup>6</sup>,

C.Battista<sup>4</sup>  
M.Campanella<sup>7</sup>

#### SOMMARIO

Questo documento presenta le motivazioni, la visione e l'architettura del progetto di rete nazionale in fibra ottica per l'università e la ricerca GARR-T. La discussione parte da una breve analisi di trend e requisiti utente, per descrivere poi i principi fondanti della nuova infrastruttura, e le scelte tecnologiche e architettureali che ne derivano. Il documento offre una descrizione di alto livello dei vari livelli dell'architettura di GARR-T e notizie sullo stato di avanzamento (aggiornato a Ottobre 2022).

- 1 GARR - paolo.bolletta@garr.it - orcid 0000-0001-7067-7576
- 2 GARR - massimo.carboni@garr.it - orcid 0000-0003-4296-3799
- 3 GARR - fabio.farina@garr.it - orcid 0000-0001-7861-3673
- 4 GARR - claudia.battista@garr.it - orcid 0000-0002-3794-9581
- 5 GARR - massimo.valiante@garr.it - orcid 0000-0002-2229-3815
- 6 GARR - gloria.vuagnin@garr.it - orcid 0000-0002-1978-535X
- 7 GARR - mauro.campanella@garr.it - orcid 0000-0002-0228-8701

#### LICENZA PER QUESTO DOCUMENTO:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>



#### CITAZIONI

Bolletta, Paolo, Carboni, Massimo, Farina, Fabio, Battista, Claudia, Valiante, Massimo, Vuagnin, Gloria & Campanella, Mauro. (2022). GARR-T: Visione, Architettura, Progetto (1.0.0). [https://doi.org/10.26315/GARR\\_T\\_Visione\\_Architettura](https://doi.org/10.26315/GARR_T_Visione_Architettura)

# INDICE

---

<b>5</b>	<b>SOMMARIO</b>
<b>6</b>	<b>INTRODUZIONE</b>
<b>8</b>	<b>L'ARCHITETTURA DI RETE, VISIONE GENERALE</b>
<b>10</b>	<b>LE COMPONENTI DELL'ARCHITETTURA DI GARR-T</b>
10	INFRASTRUTTURA FISICA IN FIBRA OTTICA
10	Topologia di rete
10	Caratteristiche delle tratte di dorsale
10	Le tipologie di fibra ottica
10	LA RETE OTTICA DI TRASPORTO
13	Dorsale ottica
15	Condivisione di spettro verso Rete Aperta
15	Accesso ad alta capacità per: Data Center, Data Lake, High Throughput Computing
15	Interconnessione fra Data Centre (Data Center Interconnection - DCI )
16	Distribuzione di chiavi quantistiche
16	RETE A PACCHETTO
16	Architettura di rete a pacchetto
18	Protocolli di Rete a pacchetto
18	Servizi utente a pacchetto
18	Il disegno topologico di Rete a pacchetto
18	RESILIENZA AI GUASTI
19	CONTROLLO E GESTIONE DELLA RETE: L'OVERLAY
21	Osservabilità
22	Programmabilità e Automazione
22	Rete gestita dall'utente finale
22	Autenticazione ed Autorizzazione
23	LO SVILUPPO DEL MODELLO DI ACCESSO AI SERVIZI DI RETE
24	Estensione del modello di accesso "on-net" nei siti utente (satellite)
<b>26</b>	<b>REALIZZAZIONE</b>
<b>27</b>	<b>RIFERIMENTI</b>
<b>28</b>	<b>GLOSSARIO</b>



## SOMMARIO

GARR-T(erabit) è la nuova generazione di rete e piattaforma servizi GARR, che permetterà di evolvere in modo trasparente l'attuale rete dell'Università e della Ricerca in una infrastruttura digitale innovativa. La concezione agile permetterà a GARR-T di restare costantemente all'avanguardia a livello di tecnologie trasmissive e di essere "a prova di futuro" rispetto ai requisiti degli utenti.

Il principio ingegneristico alla base della nuova architettura di rete è la capacità di adattarsi velocemente ai crescenti requisiti degli utenti in termini di capacità, capillarità e servizi.

I nuovi network control plane e software control plane assicureranno apertura, personalizzazione e supporto al continuo miglioramento delle feature offerte e alla creazione di nuove. Un robusto e pervasivo utilizzo dell'automazione è un'altra delle caratteristiche chiave della rete, che le permetterà di divenire più reattiva, affidabile, resiliente e monitorabile, grazie a un nuovo e raffinato sistema di monitoring.

GARR-T è basata su una topologia ottica ampiamente distribuita a livello geografico, che estenderà gli oltre 16.000 km di infrastruttura di dorsale e accesso in fibra attraverso contratti in IRU (diritto d'uso inalienabile, Indefeasible Right of Use) con durate di almeno 15 anni. La topologia in fibra sarà illuminata da un sistema trasmissivo ad elevata performance, caratterizzato da una architettura disaggregata: il sistema di linea aperta (Open Line System, OLS) e l'orchestrazione dell'infrastruttura sono basati su hardware e software sotto il diretto controllo di GARR e permetteranno di scalare le capacità della rete a decine di Terabit su ciascuna fibra. GARR-T svilupperà un control plane agile ed estensibile, che permetterà agli utenti autorizzati di accedere direttamente i livelli ottici, anche nel caso in cui, pur essendo collegati in fibra, non siano fisicamente co-locati con un PoP trasmissivo GARR ("siti satellite").

GARR-T rafforzerà continuamente la sicurezza e la infrastruttura ICT, anche attraverso tecnologie di tipo Edge Computing. GARR-T è stata disegnata e verrà evoluta e gestita con l'obiettivo di rispondere alle esigenze della ricerca e dell'accademia italiana nella prossima decade e lavorare in completa sinergia con l'evoluzione delle reti nazionali della ricerca e dell'istruzione (Research and Education Networks, NREN) europee e della dorsale GÉANT che le interconnette tra loro e con il sistema globale delle reti della ricerca.

# INTRODUZIONE

La rete GARR-T nasce dall'evoluzione dei requisiti della comunità. In particolare i modelli emergenti di calcolo scientifico richiedono che il luogo di localizzazione dei dati non ne limiti l'efficacia e che le infrastrutture di comunicazione si possano adattare, anche dinamicamente, alle esigenze del trasferimento dell'informazione.

Le grandi infrastrutture e iniziative di ricerca a livello nazionale e internazionale prevedono la necessità nei prossimi 3-5 anni di capacità di trasferimento oltre il Terabit per secondo e di una rete scalabile e flessibile sia nella parte ottica che a pacchetto e la possibilità per le applicazioni utente di interfacciarsi direttamente al sistema di controllo della rete.

L'evoluzione dei requisiti sottolinea inoltre l'importanza di modelli federativi di condivisione e accesso a risorse.

La tabella che segue elabora i principali requisiti utente e come questi abbiano informato il disegno di GARR-T.

Requisito	Descrizione	Caratteristica
Indipendenza dei servizi dal punto geografico di offerta	La richiesta di accedere, trasferire ed analizzare dati indipendentemente dalla localizzazione dell'utente/applicazione e da quella dei punti geografici delle componenti (dati, risorse di calcolo)	La rete diventa elemento essenziale e per i servizi utente implica una "equivalenza logica" tra rete locale e rete geografica, a cui viene richiesta una capacità almeno 100 volte superiore all'attuale
Centralità del singolo utente	La sorgente principale delle richieste e dell'uso dei servizi per GARR è l'utente finale	Maggiore capacità e connettività capillare in fibra, servizi complessi accessibili all'utente finale
Utilizzo condiviso di risorse	Maggiore distribuzione dei dati e delle risorse di interesse presso l'utenza	Capillarità della comunicazione ad alta capacità, meccanismi di federazione
Supporto alle tecnologie innovative	Servizi quali tecnologie quantistiche, trasmissione ultra-precisa di tempo, non trasportabili su una rete dati a pacchetto	Utilizzo di tecnologie ottiche native e flessibilità dell'infrastruttura ottica per poter supportare l'offerta di nuovi servizi
Sicurezza	Aumentare la sicurezza del dato e della trasmissione, considerare la sicurezza come requisito di base di ogni piattaforma digitale	Costruzione di una piattaforma in cui la sicurezza è parte integrante della struttura fin dalla sua progettazione (approccio security-by-design)

Sulla base dei requisiti raccolti e delle caratteristiche-chiave individuate per la nuova infrastruttura, ci si è posti i seguenti obiettivi principali per il progetto GARR-T:

- Disegnare e realizzare una rete utilizzando apparecchiature e software allo stato dell'arte, che permettano di crescere agilmente in termini di capacità, resilienza e numero di utenti;
- Creare una infrastruttura di rete aperta, non basata su tecnologie e soluzioni proprietarie, che sia sostenibile sia nella gestione, che economicamente, sfruttando l'uso dell'automazione;
- Garantire che l'infrastruttura abbia la potenzialità di offrire servizi indipendenti dal punto fisico di accesso, che sia unitaria e al contempo adattiva, per adeguarsi in modo incrementale all'evoluzione delle tecnologie abilitanti e rispondere ai futuri casi d'uso;

- Accrescere la resilienza e l'affidabilità per ogni sito;
- Potenziare la difesa da attacchi esterni e la privacy dei dati trasportati.

La definizione dell'architettura ha adottato un disegno modulare, che identifica tre livelli, ciascuno in grado di fornire servizi specifici:

- Fisico,
- Trasmissivo,
- A pacchetto e applicativo.

La gestione dei servizi a livelli differenti è unitaria e uniforme. Attraverso l'adozione pervasiva di automazione e telemetria, l'infrastruttura GARR-T diviene nativamente programmabile, aperta e capace di adattarsi a futuri scenari.

Nella rete attuale, alcuni servizi sono accessibili solo per gli utenti che ospitano un punto di presenza (PoP) della rete. Grazie ad una recente attività di sperimentazione e progettazione in GARR è stato possibile validare una soluzione ad impatto ridotto per remotizzare all'interno delle sedi utente (es. laboratori di ricerca, siti osservativi, grandi Data Center, ecc.) la piena funzionalità e l'accesso diretto alla rete ottica (e allo spettro).

Nei successivi capitoli saranno descritti i vari livelli dell'architettura di rete GARR-T, i principi del sistema di controllo e gestione ed il modello di accesso ai servizi.

# L'ARCHITETTURA DI RETE, VISIONE GENERALE

I pilastri su cui si fonda la rete GARR-T sono:

1. Topologia magliata di rete, realizzata su un'infrastruttura in fibra spenta in concessione d'uso pluriennale (IRU);
2. Sistema Ottico di Linea Aperto (OLS);
3. Trasmissione dati a multiplazione di frequenze ottiche ad alta densità (DWDM);
4. Rete di trasporto dati a pacchetto;

Sistemi di calcolo per programmabilità, osservabilità e orchestrazione della rete e fruizione di servizi.

La Figura 1 visualizza l'architettura, rappresentata con una classica struttura a livelli e le interfacce tra livelli. Il livello più basso è quello relativo alla infrastruttura fisica in fibra ottica (Dark Fibre), acquisita in IRU, che realizza la topologia fisica, magliata di raccordo tra tutti i punti di presenza della rete. I segnali ottici vengono instradati da sistemi ottici di linea aperti (OLS) in grado di ospitare segnali trasmissivi DWDM in modalità flessibile. Con le tecnologie attuali è possibile inviare informazioni con capacità di multipli 100Gbps e fino a 800Gbps, con la possibilità di ospitare segnali sino al Terabit per secondo (Tbps). La scelta di un sistema di linea aperto consente l'impiego flessibile dello spettro ottico disponibile, ottimizzando l'utilizzo della singola fibra ottica (ad esempio nelle aree più remote o per le tratte sottomarine). Il sistema permette inoltre sia di realizzare servizi di trasporto dati a pacchetto ad altissima capacità, che servizi non basati su pacchetto o protocollo IP, come nel caso dei sistemi di interconnessione di centri dati (Data Center Interconnection) e dei servizi di distribuzione di tempo e frequenza.

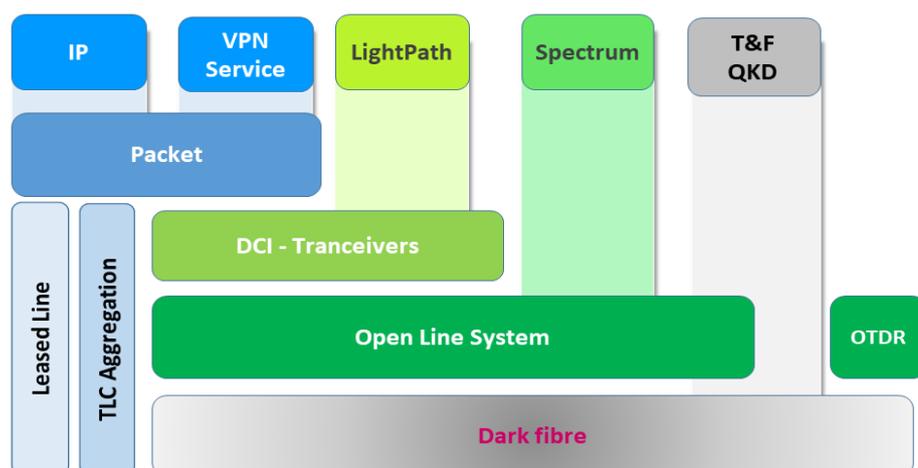


FIGURA 1 ARCHITETTURA DI RETE GARR-T

La rete a pacchetto (IP/MPLS) è stata disegnata adottando il disaccoppiamento funzionale tra elementi di terminazione dei servizi ed elementi di trasporto, basandosi sul paradigma architetturale Spine/Leaf [CLOS]. Questo approccio, già ampiamente impiegato in ambito Data Center, disaccoppia funzionalmente gli elementi di rete nei qua-

li risiede l'intelligenza necessaria alla configurazione ed erogazione dei servizi evoluti da quelli che movimentano grandi volumi di dati ad alta capacità trasmissiva. Come dimostrato in ambito Data Center, questo approccio rende possibile identificare (e adattare nel tempo) molto efficientemente gli elementi dell'infrastruttura in termini di capacità, avvicinando all'utilizzatore i punti di erogazione dei servizi.

Al di sopra degli elementi costitutivi dell'infrastruttura di rete, l'architettura GARR-T prevede uno strato software unitario e omogeneo.

Questo strato avrà una duplice funzione:

- Astrarre i dettagli e la complessità delle piattaforme di gestione dei singoli sottosistemi di trasporto ottico e di rete a pacchetto,
- Preservare ed estendere le caratteristiche di programmabilità e osservabilità delle piattaforme di gestione dei sottosistemi,
- Consentire di creare elementi funzionali di livello più alto.

A tal fine è prevista l'integrazione di una piattaforma ICT distribuita su più punti di presenza, che permetta sia la gestione dei singoli sottosistemi di rete che lo sviluppo e l'erogazione dei servizi applicativi rivolti agli utenti finali.

Tramite questo livello, denominato "overlay di automazione", gli utenti possono richiedere nuovi servizi, gestire quelli in esercizio e controllarne in tempo reale lo stato, il tutto tramite interfacce di programmazione applicative (sia web che non-web). Gli accessi utente sono protetti da uno strato di autenticazione e autorizzazione in base al ruolo del richiedente. I pilastri funzionali dell'Overlay sono:

- Inventario completo ed unificato degli apparati;
- Programmabilità e automazione dei servizi;
- Telemetria, allarmistica e analitica globali.

Lo strato Overlay aderisce ai criteri di apertura e adattabilità comuni a tutta l'architettura di GARR-T, permettendo l'introduzione modulare di nuove tecnologie e nuovi casi d'uso.

# LE COMPONENTI DELL'ARCHITETTURA DI GARR-T

## INFRASTRUTTURA FISICA IN FIBRA OTTICA

La rete GARR poggia su un'infrastruttura in fibra ottica dedicata, acquisita mediante il diritto d'uso irrevocabile (IRU) di durata almeno quindicennale. Nel corso degli anni, un'azione costante di adeguamento dell'infrastruttura fisica ha consentito di collegare con circa 10.000 km di fibra oltre 70 PoP di dorsale e raggiungere capillarmente la maggior parte degli accessi utenti. Solo la disponibilità di una connessione in fibra ottica abilita infatti l'erogazione di tutti i servizi disponibili sulla rete GARR verso l'utilizzatore. GARR continua a investire sull'espansione della sua infrastruttura in fibra, limitata solo da vincoli legati alla indisponibilità del bene o dal carente valore delle soluzioni in campo, ad esempio a livello sottomarino. L'esempio della Sardegna è esplicativo di questa condizione: la regione ha storicamente sofferto per questa carenza di offerta che è stata parzialmente risolta con la recente posa di nuovi cavi sottomarini e soluzioni tecnologicamente moderne.

### *Topologia di rete*

Per assicurare un'adeguata resilienza, la topologia della dorsale di rete progettata dal GARR è chiusa, cioè i PoP sono raggiungibili da almeno due direzioni su percorsi non sovrapposti. I punti di presenza sono inoltre posizionati presso sedi che offrono elevati livelli di affidabilità (siti di operatori TLC o siti utente particolarmente attrezzati per assicurare raggiungibilità, protezione degli apparati e resilienza degli impianti). Inoltre, soprattutto nelle città dove gli accessi utenti sono molto numerosi, il GARR ha realizzato più punti di presenza e la possibilità per i siti utente di avere un doppio collegamento alla rete.

### *Caratteristiche delle tratte di dorsale*

Nel disegno della dorsale GARR pone particolare attenzione ad alcune caratteristiche che sono importanti per la realizzazione di una infrastruttura ad elevate prestazioni funzionali e le implementa attraverso requisiti vincolanti imposti ai fornitori di fibra ottica. Queste caratteristiche sono:

- Uniformità nella distanza tra i siti di amplificazione dei segnali ottici;
- Utilizzo predominante di giunzioni a fusione rispetto a connettori per il raccordo delle fibre;
- Attenta analisi dei parametri caratteristici della fibra (attenuazione specifica, dispersione dei modi di polarizzazione, dispersione cromatica).

### *Le tipologie di fibra ottica*

La fibra ottica attualmente disponibile sul mercato italiano per le tratte terrestri è di due tipologie: la G.655 [2], sviluppatasi nei primi anni 2000, e la G.652 [3] la cui ultima revisione (11/2016) rappresenta una soluzione tecnica adeguata alla trasmissione ottica nei prossimi 20 anni. Nel caso di tratte sottomarine si utilizza invece fibra G.654 [4], che è in grado di assicurare migliori prestazioni per la trasmissione dei segnali ottici, riducendo la necessità di amplificazione e rigenerazione sulle lunghe distanze.

## LA RETE OTTICA DI TRASPORTO

La rete di dorsale GARR è basata su tecnologie di trasporto ottico a moltiplicazione di lunghezza d'onda (Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM) e nodi di rete riconfigurabili (Reconfigurable Add/Drop Multiplexer - ROADM).

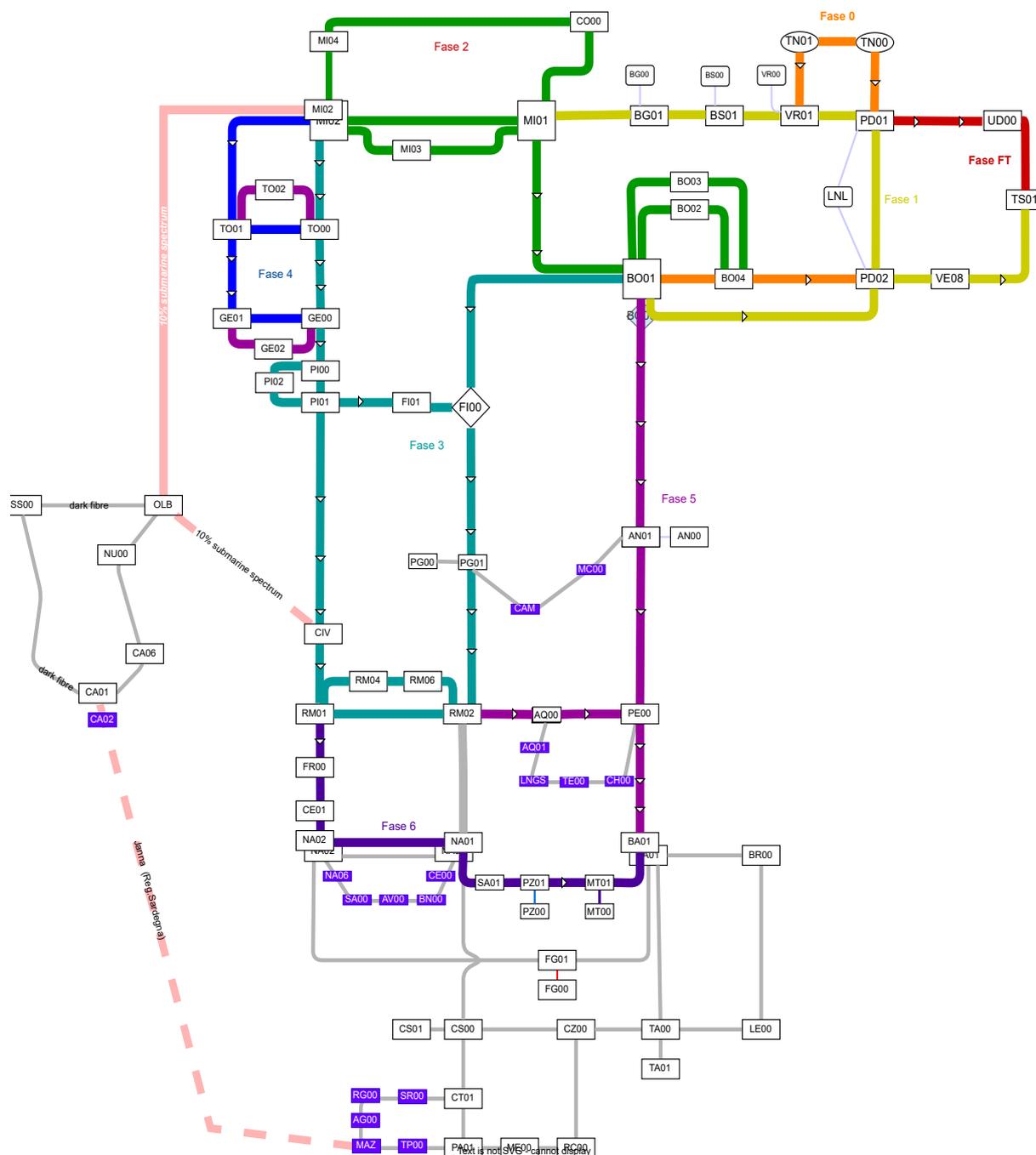


FIGURA 2: INFRASTRUTTURA DI RETE IN FIBRA

La sua evoluzione mira a interconnettere i punti di presenza della rete GARR mediante un'infrastruttura ottica in grado di scalare nel tempo, per soddisfare la sempre crescente richiesta di banda e fornire il grado di flessibilità necessaria per rispondere alle esigenze della comunità della ricerca e dell'istruzione.

ne, con particolare riferimento alle applicazioni dei grandi esperimenti scientifici e al calcolo scientifico ad alte prestazioni (HPC) e ad elevato throughput (HTC).

Per raggiungere questi obiettivi la dorsale ottica di GARR-T implementerà:

- Dominio fotonico unificato su tutta la rete nazionale, basato su sistema di linea aperto. Accesso diretto allo spettro ottico tramite lambda aliene o condivisione con gestione flessibile dello spettro e monitoraggio della rete fisica in fibra ottica;
- Modularità dei nodi di rete, per poter scalare in termini di capacità e disponibilità di risorse, con ridotto impatto in termini di spazio e consumi elettrici;
- Topologia magliata con coesistenza di anelli regionali e tratte di lunga distanza, con opportuno bilanciamento tra punti di presenza in sedi utente e sedi operatore e capillarità sempre maggiore presso le aree di presenza della comunità ricerca ed istruzione;
- Controllo e gestione della rete unificato e sotto il diretto controllo di GARR;
- Omogeneità nell'erogazione delle funzionalità di rete su tutti i punti di presenza; con ampliamento dell'offerta dei servizi a disposizione della propria utenza.

GARR sta realizzando una rete ottica flessibile completamente coerente secondo il modello di rete parzialmente disaggregato che prevede il disaccoppiamento degli elementi fotonici di linea (Line System) dai transponder. Il modello di rete parzialmente disaggregato si può rappresentare come nello schema in Figura 3.

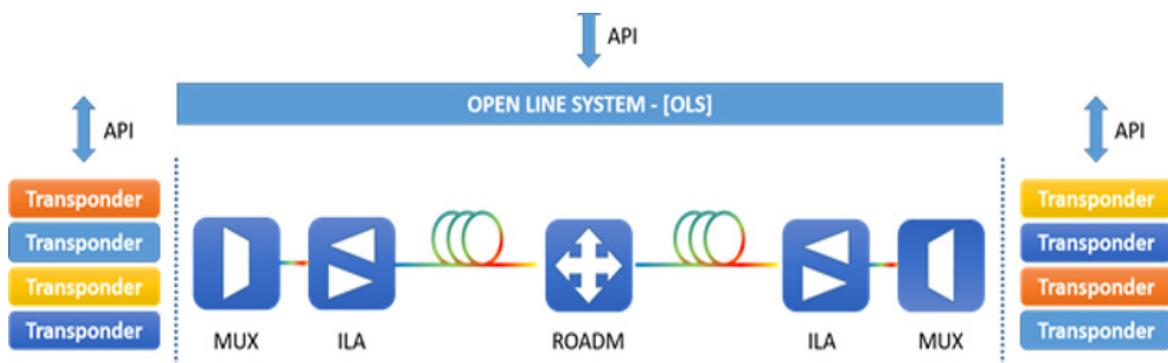


FIGURA 3: MODELLO DI RETE PARZIALMENTE DISAGGREGATO

Il sistema si compone dei seguenti elementi:

- Open Line System: elementi fotonici di linea per il trattamento del segnale ottico e la gestione di infrastruttura e topologia fisica in fibra ottica come amplificatori, mux/demux, ROADMs (Reconfigurable Add Drop Multiplexer), OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), WSS (Wavelength Selective Switch);
- Elementi di Rice/Trasmissione (DCI e Transponder): interfacce di Rice/Trasmissione del segnale ottico colorato all'interno della rete ottica e del suo adattamento verso le interfacce client. La componente Trasmissiva DWDM è deputata alla rice-trasmissione dei segnali dati, ha un ci-

clo di vita più rapido dell'infrastruttura ottica di dorsale e deve consentire di realizzare interconnessioni e circuiti ottici attraverso le più moderne tecnologie per raggiungere bit rate sempre maggiori;

- Interfacce Programmabili: gli elementi della rete ottica espongono verso l'esterno delle interfacce programmabili per il controllo, la gestione e il monitoraggio;
- Elementi di Controllo, Gestione e Monitoraggio: piattaforme software per il controllo e la gestione dell'infrastruttura e per il monitoraggio delle performance ottiche.

Una delle principali motivazioni della scelta di realizzare un disegno di rete ottica parzialmente disaggregato è l'opportunità di disaccoppiare la componente fotonica di linea da quella di trasmissione dati. Questi elementi hanno infatti cicli di vita completamente differenti, 8/10 anni per gli elementi di linea e 3/4 anni per gli elementi di trasmissione dati, e la realizzazione di un Open Line System consente di aggiornare agevolmente i componenti di trasmissione dati mantenendo inalterata l'infrastruttura fotonica alla base della rete ottica.

### *Dorsale ottica*

Il progetto GARR-T rinnova la dorsale di rete con sistemi di linea aperti ottimizzati per comunicazioni "coerenti", che rappresentano la tecnologia di riferimento per le comunicazioni a lunga distanza ad alta capacità. La rete dorsale ottica GARR-T è progettata per realizzare interconnessioni in grado di attraversare l'intero territorio nazionale (e.g. Bari-Milano) con canali ad alta capacità (multipli 100Gbps), introducendo basse penalità e latenze, legate prevalentemente alla sola velocità di propagazione del segnale sull'infrastruttura in fibra ottica. I sistemi fotonici realizzano un unico dominio ottico, che potenzialmente consente l'interconnessione tra qualunque coppia di nodi di dorsale attraverso un segnale puramente ottico, evitando la rigenerazione digitale, che rappresenterebbe un onere a livello economico ed energetico e un potenziale limite alla scalabilità del throughput. I nodi trasmissivi della dorsale GARR-T sono basati su tecnologie in grado di gestire in modo flessibile lo spettro (FlexGrid), veicolare segnali eterogenei e adattarsi al trasporto anche di transponder di future generazioni, non ponendo limitazioni intrinseche ai segnali trasportati in termini di bit-rate, modulazione e ritmo di simbolo.

Ulteriore aspetto fondamentale è l'apertura della rete, declinata in tre accezioni:

- ottica: la dorsale è in grado di trasportare segnali originati da sistemi di trasmissione di produttori eterogenei e basati su tecnologie anche molto differenti tra loro;
- spettrale: consente la condivisione dello spettro ottico;
- controllo e gestione: consente di utilizzare interfacce standard per operare e monitorare gli elementi di rete.

Il disegno di rete prevede una architettura gerarchica su quattro livelli mostrata in figura 4.

Le principali funzionalità e l'accesso allo spettro sono garantiti sui nodi di tutti i livelli gerarchici. Inoltre, la modularità del disegno di rete e della piattaforma tecnologica consentono di far evolvere i nodi da un qualunque livello a quelli superiori.

La struttura gerarchica della rete consente di allestire in ciascun sito nodi di complessità commisurata con il ruolo del PoP all'interno del disegno di rete complessivo, mantenendo limitato l'impat-

to in termini di spazi e consumi nei nodi periferici della rete e favorendo al contempo la capillarità. L'infrastruttura di dorsale attraverso i sistemi di linea aperti consente di interconnettere, direttamente nella rete di lunga distanza terrestre i, collegamenti su cavi sottomarini, integrandoli in un unico dominio di rete ottica, gestibile da un piano di controllo unificato.

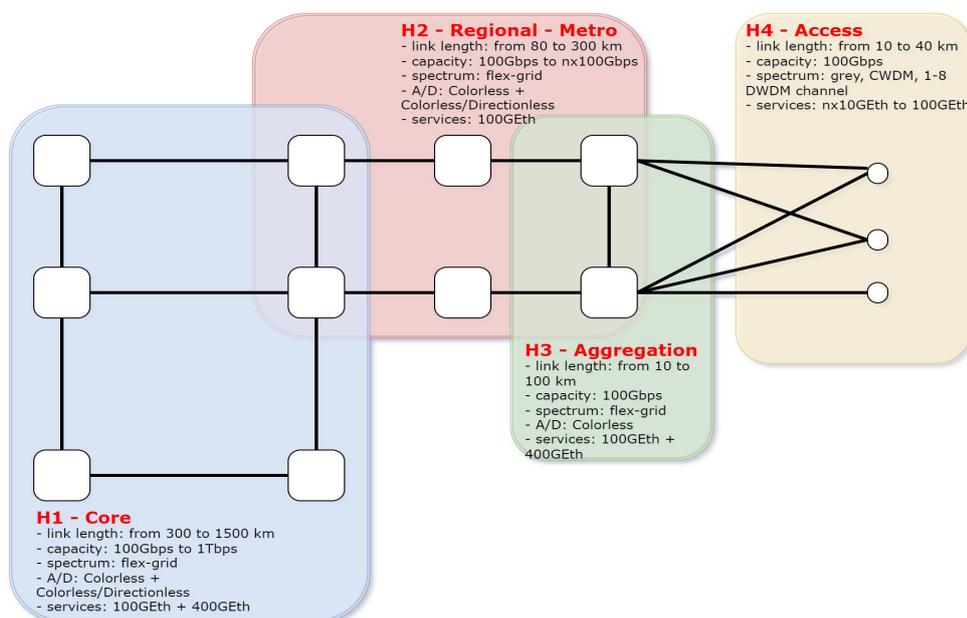


FIGURA 4: LA GERARCHIA DI RETE OTTICA

L'evoluzione della rete trasmissiva GARR-T ha tra i risultati più rilevanti l'aumento della diffusione territoriale e della capillarità della rete ottica di trasporto, che mira ad essere sempre più pervasiva e vicina all'utente finale, così da erogare servizi direttamente sulla rete ottica e consentire l'accesso diretto dai siti utente allo spettro ottico. Questo risultato è ottenuto in tre modalità:

- Architettura gerarchica che preveda la possibilità di realizzare nodi ottici molto compatti (H3) presso i PoP GARR periferici, integrando le sedi che li ospitano con l'infrastruttura di trasporto ottica di lunga distanza e trasformandoli in elementi di transito;
- Estensione del dominio fotonico di GARR-T verso sedi (H4) remote (da 10 a 30km dal PoP) non co-locate con la rete di lunga distanza. In questa modalità è possibile interconnettere alla rete di lunga distanza dei siti "satellite" che rappresentano un'estensione vera e propria del dominio fotonico, seppur non fisicamente ubicati sull'infrastruttura di lunga distanza. Questa soluzione consente di trattare dei siti distanti dall'infrastruttura come on-net dal punto di vista funzionale e di accesso allo spettro;
- Utilizzo remoto di dispositivi DCI da interconnettere verso la rete ottica di dorsale.

### *Condivisione di spettro verso Rete Aperta*

Il sistema di linea aperto realizzato con il progetto GARR-T consente la condivisione dello spettro ottico, cioè la possibilità di condividere parte dell'ampiezza spettrale disponibile nell'infrastruttura ottica offrendola all'utilizzo di segnali Alieni.

Questo consente di implementare una rete ottica "overlay", condividendo l'infrastruttura composta da fibre, amplificatori e apparati di linea. Tipici casi d'uso per queste tecniche di condivisione dell'infrastruttura sono le interconnessioni tra Data Center. In questo caso due o più Data Center dislocati anche a distanze rilevanti (1.000/1.500km) possono sfruttare parte dello spettro ottico messo a disposizione sull'infrastruttura per interconnessioni punto-punto ad alta capacità con apparati di ricetrasmisione dedicati e direttamente integrati con le reti del Data Center stesso.

Con queste potenzialità tecniche si mira all'interconnessione diretta allo strato ottico tra domini di rete differenti, aprendo alla possibilità di scambiare segnali con NREN confinanti o con GÉÉANT, per raggiungere Data Center o siti di esperimenti e infrastrutture di ricerca sul territorio europeo attraverso interconnessioni ottiche dirette ad alta capacità, fino al Tbps.

Così come l'infrastruttura GARR consente di trasportare segnali Alieni e di terze parti, i DCI utilizzati in GARR-T possono essere impiegati per utilizzare spettro in sistemi di linea di terze parti, come cavi sottomarini o per richiudere anelli tramite infrastrutture di rete di altri soggetti.

### *Accesso ad alta capacità per Data Center, Data Lake, High Throughput Computing*

Per i siti Data Center, Data Lake, High Throughput Computing, l'estensione del dominio fotonico attraverso soluzioni di rete di gerarchia H4 consente di abilitare l'accesso diretto al piano fotonico, con la possibilità di condividere lo spettro e definire reti overlay direttamente sul piano ottico della rete. Inoltre le piattaforme utilizzate rendono questi nodi estremamente compatti e dall'impatto energetico molto contenuto e commisurato all'effettiva capacità destinata al sito. Come evidenziato nello schema in figura 5, i siti H4 remoti sono in grado di garantire la realizzazione di servizi ottici tramite apparati di tipo Data Center Interconnection (DCI) (a 100/200/400Gbps) e l'accesso allo spettro per servizi di tipo "alieno" (Alien Wavelengths).

### *Interconnessione fra Data Centre [Data Center Interconnection - DCI]*

L'attuale stato dell'arte delle tecnologie di trasmissione ottiche utilizza comunicazioni coerenti basate su transponder disaggregati e ingegnerizzati per installazioni di tipo Data Center. I transponder utilizzati sono ingegnerizzati appositamente per le applicazioni Data-Center e i DCI disaggregati offrono densità, flessibilità e basso consumo energetico; infatti offrono fino a 4.8Tb/s di throughput di capacità in una singola unità rack.

La piattaforma impiegata in GARR-T abilita i servizi di connettività WAN basati su 100GEth e 400GEth. I dispositivi impiegati supportano interfacce di linea programmabili da 100Gbps fino a 600Gbps, con modulazioni flessibili e riconfigurabili, ritmi di simbolo e larghezza spettrale flessibili e adattabili ai diversi scenari d'uso.

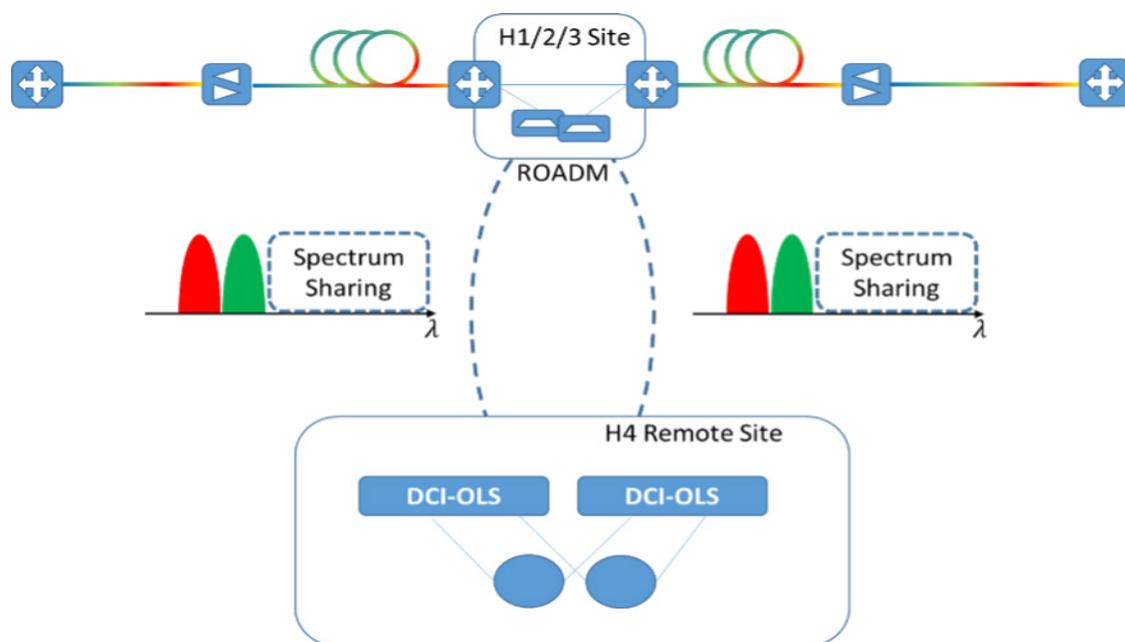


FIGURA 5: SCHEMA DI INTERCONNESSIONE DEI SITI REMOTI

La soluzione inoltre è concepita per essere modulare e avere spazi e consumi contenuti, commisurati con l'effettiva capacità necessaria. I DCI impiegati inoltre forniscono interfacce di gestione e controllo basate su standard che semplificano l'integrazione e il funzionamento all'interno di ambienti cloud e Data Center, incluso il supporto di interfacce Northbound (NBI) e API aperte.

#### *Distribuzione di chiavi quantistiche*

Sono in corso attività di studio, prototipazione e realizzazione di integrazione tra sistemi di linea aperti e tecniche per il trasporto di chiavi quantistiche (QKD). Questa attività può aprire a integrazioni e sinergie tra le infrastrutture di rete per le comunicazioni dati e il trasporto di segnali di QKD.

## RETE A PACCHETTO

L'architettura di rete a pacchetto è pensata per offrire servizi di trasporto con la flessibilità della scelta dei protocolli e delle topologie più adatti al caso utente. Il servizio principale è fornire collegamento ad Internet basato su IP, previsto sull'intera rete. La famiglia dei protocolli IP è alla base del sistema di controllo e gestione ed è previsto il supporto di quelli di livello data link, adatti a Data Center. La numerosità delle componenti autonome che compongono la rete a pacchetto è in crescita e include sistemi di elaborazione.

#### *Architettura di rete a pacchetto*

L'architettura prevista conferma la schematizzazione in livelli ed il principio di modularità, per ottenere una chiara strutturazione in funzioni e interfacce di comunicazione tra loro. Restano fondamentali i requisiti di affidabilità e funzionamento ininterrotto, che portano a specifiche scelte di resilienza anche per la rete a pacchetto, oltre che per quella ottica.

Per il trasporto dati su famiglia IP, sono individuate tre funzionalità fondamentali: trasporto, accesso e interconnessione. L'architettura di rete si basa su un modello molto utilizzato nella realizzazio-

ne delle reti locali dei centri di elaborazione dati, Spine-Leaf (dorsale-foglia), rappresentata in fig 6.

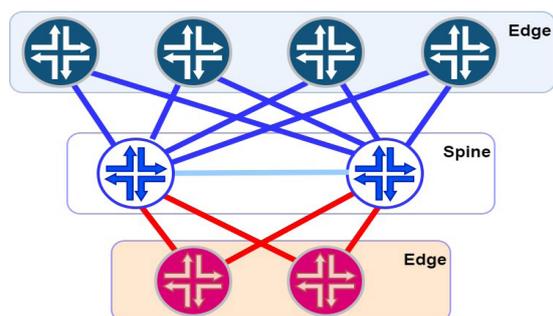


FIGURA 6: ARCHITETTURA SPINE-LEAF

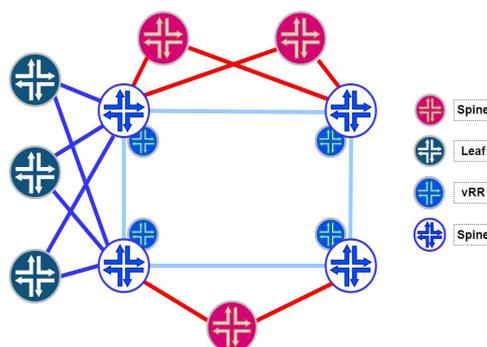


FIGURA 7: ARCHITETTURA BASE RETE A PACCHETTO GARR-T

L'applicazione di questo modello su scala geografica, unitamente alla separazione funzionale degli apparati di rete, conferisce alla rete una struttura gerarchica e simmetrica (Fig.7), che aumenta l'affidabilità e rende più efficiente l'utilizzo della capacità disponibile attraverso la distribuzione del traffico su cammini multipli a costo eguale (ECMP) disponibili. Il livello di ridondanza dei percorsi migliora le prestazioni complessive e limita l'impatto dovuto alla eventuale perdita di porzioni anche significative di rete dovuti a guasti o attività di aggiornamento. La ridondanza dei cammini viene ulteriormente migliorata attraverso l'orchestrazione delle risorse di rete a pacchetto, ottiche e fisiche.

Il livello di trasporto è realizzato dai nodi di dorsale (Spine). Questi nodi sono costituiti da apparati ad alta modularità, equipaggiati con un elevato numero di porte di capacità maggiore o eguale a 100Gbps. I nodi Spine sono collegati agli altri nodi di dorsale (Spine) con link a 400Gbps, o multipli 100Gbps in base alla matrice di traffico. Il livello di accesso è realizzato dai nodi detti Leaf. Sono gli apparati che rappresentano il punto di erogazione dei servizi di rete a pacchetto (§-3.5.4). La capacità minima degli accessi è 1Gbps, con la possibilità di arrivare a multipli di 100Gbps in funzione delle esigenze. I nodi Leaf sono collegati con capacità minima di 100Gbps a nodi Spine geograficamente distinti, per ridondanza. Supportano oltre alle funzionalità base di monitoring (netflow, telemetria), filtering, policing, QoS anche funzionalità di rete avanzate come: accounting traffico, VPN.

Il livello di interconnessione con le altre reti è realizzato dai nodi detti di Edge, la cui funzione consiste nel separare i domini di rete interna GARR da quelli esterni, quali altre reti della ricerca, i Punti di Accesso Neutro ed la rete Internet globale. I nodi di Edge sono funzionalmente equivalenti a quelli di Leaf e nella prima fase prevedono quasi esclusivamente porte a 100Gbps.

Il sistema di trasporto a pacchetto utilizza sistemi di calcolo esterni agli apparati di smistamento per alcune funzioni avanzate, quale il Virtual Router Reflector. Il vantaggio di questa separazione consiste nella possibilità di disaccoppiare il piano di smistamento da quello di istradamento e gestire ed evolvere il sistema attraverso piattaforme dell'Information Technology.

### *Protocolli di Rete a pacchetto*

La rete a pacchetto per il trasporto dei dati su IP utilizza MPLS come protocollo di forwarding e il protocollo IS-IS per la propagazione dei per l'ingegnerizzazione del traffico. A questi si aggiungono i protocolli SPRING e Segment Routing per garantire una scalabilità maggiore di quella basata sul protocollo RSVP e ridurre la necessità computazionale a carico del Control-Plane.

L'introduzione del protocollo PCEP (Path Computation Element Protocol) consente inoltre la gestione e il re-instradamento del traffico sulla base di metriche predefinite oppure specificate dinamicamente da un'applicazione. La programmabilità del sistema nel caso dinamico è realizzata da un agente esterno (controller). La comunicazione con altri domini è mediata dal protocollo BGP, anche per la segnalazione di servizi avanzati quali le reti private virtuali (VPN) di Livello 2 e Livello 3. Si prevede inoltre di utilizzare nuove estensioni del protocollo BGP, quali Ethernet VPN, attraverso il quale è possibile trasportare protocolli tipici di rete locale dei Data Center su scala geografica.

### *Servizi utente a pacchetto*

La rete GARR-T supporta i servizi di Accesso IPv4 e IPv6, che rappresentano il servizio di base della rete a pacchetto per tutti gli utenti. Per la rete vengono mantenute le usuali classi di servizio (QoS): Critical Application, Real Time, Management, Network Control e Best Effort. Sono previsti servizi per la segregazione del traffico, L3VPN statiche o dinamiche, servizi L2 (L2VPN o VPLS) e particolari applicazioni utente, Internet Multicast e Carrier-of-carriers. In aggiunta ai servizi già presenti sull'infrastruttura attuale, la nuova rete supporta servizi L2/L3 basati su EVPN, per i casi di accesso Dual Home con modalità Active/Active o Active/Standby. Sono inoltre disponibili soluzioni Seamless MPLS, per integrazione MPLS fra le Metropolitan Access Network (MAN) e la rete GARR-T, attraverso la creazione di servizi end-to-end su domini MPLS distinti, nei casi in cui questa soluzione è richiesta per la separazione dei domini di rete. GARR-T infine supporta il trasporto del traffico fra DC, Data Center Interconnect (DCI), basato sul framework EVPN per il piano di controllo.

### *Il disegno topologico di Rete a pacchetto*

Oltre ad utilizzare gli elementi architetture descritti nel §-3.5.1, il disegno di rete a pacchetto viene definito a partire dalla matrice di traffico e in particolare dai punti di uscita e dalle sorgenti di traffico attuali. Inoltre, al fine di limitare l'impatto della latenza nella comunicazione tra utenti, GARR-T rende disponibile una dorsale ad alta velocità (v. Fig. 3.7) con collegamenti tra i nodi Spine compresi tra 100Gbps e 800Gbps.

## RESILIENZA AI GUASTI

La continuità del servizio di rete della dorsale è basata su una attenta pianificazione a ogni livello, a partire dalla topologia fisica (si veda fig.2), per proseguire con le risorse ottiche e la topologia (virtuale) della rete a pacchetto, (fig 8) che attraverso vari protocolli software è in grado di garantire vari percorsi alternativi in caso di guasti multipli.

In aggiunta alla ridondanza della topologia fisica e a quella fornita da protocolli sia ottici che a pacchetto, si adotteranno la ridondanza a livello di singolo apparato e la duplicazione di apparati, con alcuni in stand-by. La scelta dell'investimento in ridondanza fisica nei va-

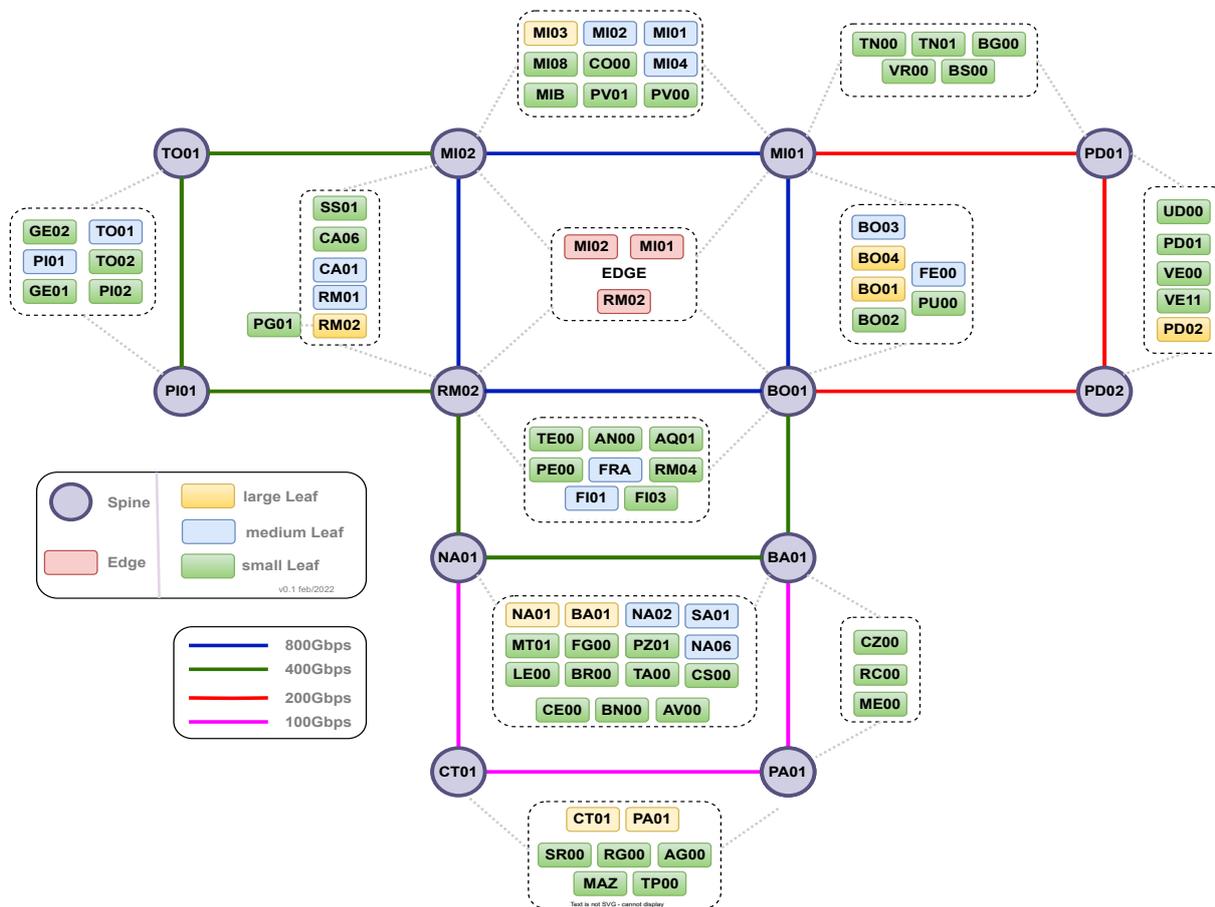


FIGURA 8: ARCHITETTURA DI RETE A PACCHETTO

ri livelli segue una valutazione puntuale con un costante compromesso tra affidabilità e costi. Le funzionalità di ridondanza permetteranno inoltre di garantire la continuità del servizio anche durante le azioni di normale manutenzione programmata, quale aggiornamento software degli apparati.

## CONTROLLO E GESTIONE DELLA RETE: L'OVERLAY

Nei paragrafi precedenti sono stati discussi i pilastri fondanti dell'architettura di GARR-T. In aggiunta alla capillarità della fibra, ai sistemi di trasporto ottico e alla rete a pacchetto occorre considerare il pilastro aggiuntivo delle risorse ICT. Queste sono essenziali per operare le piattaforme di gestione di ognuno dei precedenti sottosistemi. Le risorse di calcolo e di rete hanno un ruolo anche cruciale nell'erogazione dei servizi applicativi (es. di autenticazione federata, di videoconferenza, di cloud storage) usualmente denominati come "Top of the Network" poiché indirizzati agli utenti finali. Le risorse sono distribuite in mini Data Center in diversi siti che ospitano i PoP della rete.

La pietra angolare di tutta la costruzione di GARR-T risiede nel suo orientamento al software. Lo strato più alto dell'architettura GARR-T, denominato Overlay, costituisce lo strato software di astrazione della complessità dei tool di controllo e gestione dei singoli sottosistemi. La Overlay inoltre implementa la logica di orchestrazione e automazione unitaria della piattaforma GARR-T, rilanciando verso gli strati di livello superiore, quali i portali utente e le interfacce applicative API, le funzionalità di rappresentazione dei servizi verso gli utenti e la gestione del loro intero ciclo di vita. Il software abilitante della Overlay è costituito dall'integrazione di strumenti open source e sviluppi GARR ad hoc, seguendo le più efficaci metodologie di sviluppo Agile e di design dei servizi.

I criteri di progettazione della Overlay permettono di sfruttare a meglio gli elementi caratteristici di GARR-T, evidenziandone in particolare:

- Unitarietà;
- Apertura;
- Adattabilità.

L'Overlay amplifica l'unitarietà infrastrutturale e tecnologica della rete GARR-T abilitando in modo trasparente la gestione uniforme di risorse e servizi erogati dai differenti strati dell'architettura con tecnologie diverse. Utilizzando programmabilità e automazione semplifica la gestione operativa e permette una visione centralizzata e unitaria dell'infrastruttura e dei servizi che essa eroga a livello nazionale.

La proprietà di apertura garantisce che GARR-T sia un ecosistema non chiuso, in grado di integrare tecnologie eterogenee, e palese, cioè ad elevata osservabilità e misurabilità. La apertura garantisce protezione da eventuali rigidità dei singoli strumenti implementativi, favorendo maggiore semplicità d'interazione con gli utenti e preservando l'usabilità in contesti ad alta variabilità.

L'apertura è propedeutica alla terza proprietà: l'adattabilità, che ha una doppia valenza: da un lato si riferisce alla capacità della piattaforma di adattare nel tempo le proprie parti, anche separatamente, in funzione dell'evoluzione degli scenari d'uso. Dall'altro denota la capacità della Overlay di riadattare il proprio aspetto in base al ruolo ricoperto dagli utenti. Preservando l'unicità di GARR-T, l'adattabilità fa sì che la Overlay esponga funzionalità differenti a utenti differenti, supportando modelli avanzati di autorizzazione, sicurezza e protezione dei dati by-design. Ad esempio, gli utenti GARR che operano la rete avranno visibilità e funzionalità differenti rispetto agli utenti APM, pur condividendo con loro e con altre tipologie di utente. La piattaforma software abilitante sarà comune a tutte le tipologie di utente. Un altro aspetto dell'adattabilità è infine la plasticità di GARR-T, che permette di esplorare scenari di composizione tra servizi esistenti e casi d'uso futuri con uno sforzo contenuto, derivandone benefici di reattività e di economicità.

Materialmente la Overlay è costituita da blocchi che aggregano e armonizzano le funzionalità esposte dagli strati architetturali sottostanti, astraendone i dettagli e arricchendone la semantica al fine di creare una visione unitaria a livello di tutta GARR-T. I blocchi della Overlay costituiscono anche le basi delle funzionalità di più alto livello, con cui gli utenti interagiscono: interfacce per la programmazione o API, portali utente per la richiesta e il controllo dei servizi di rete, e canali di controllo e allarmistica degli eventi rilevanti che coinvolgono le risorse di cui l'utente è gestore. Nelle seguenti sottosezioni sono descritti i blocchi funzionali che la Overlay eroga verso gli utenti di GARR-T.

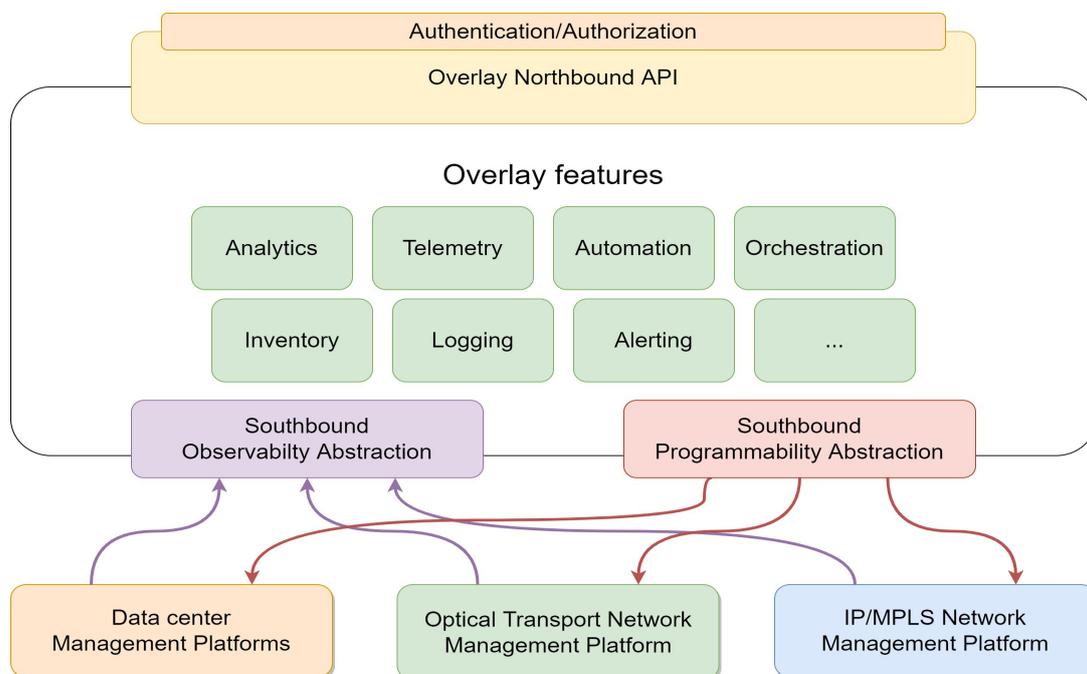


FIGURA 9: DIAGRAMMA A BLOCCHI DELLA OVERLAY DI GARR-T

### Osservabilità

L'osservabilità è una delle caratteristiche-chiave dell'architettura di GARR-T, che si riferisce all'insieme dei sistemi di inventario degli apparati che costituiscono GARR-T, del monitoraggio in tempo reale delle loro metriche di funzionamento e dei canali di allarmistica istantanea per la segnalazione di eventuali violazioni delle policy di comportamento atteso.

Il blocco funzionale di Inventory, denominato anche monitoraggio lento o freddo, aggrega la rappresentazione di ogni singolo device in GARR-T, astraendone i dettagli non necessari. L'inventario non è costruito manualmente: agenti software interrogano le piattaforme di gestione dei sottosistemi ed estraggono le informazioni minime necessarie caratterizzanti gli apparati. La finalità dell'Inventory nella Overlay non è quello di replicare i dettagli che sono presenti nelle singole piattaforme di gestione specializzate, ma di creare una rappresentazione di livello più alto che permetta di correlare e connettere tra loro le entità di layer differenti e rappresentare una visuale topologica unificata di tutta GARR-T. Questa rappresentazione permette di ricostruire l'esatta connettività tra apparati, anche se questi hanno ruoli differenti, sono realizzati da produttori differenti e sono operativamente gestiti attraverso strumenti eterogenei e non compatibili.

Il blocco funzionale di Logging, Monitoring e Alerting, talvolta definito anche monitoraggio veloce o caldo, indica l'aggregato di tutte le fonti di informazione telemetrica prodotte dei singoli sottosistemi di trasporto ottico, di rete a pacchetto, di Data Center, ecc. Analogamente al caso dell'Inventory, lo scopo del monitoraggio telemetrico caldo è quello di raccogliere un sottoinsieme selezionato di misure dagli

apparati e dalle singole piattaforme di gestione, con l'obiettivo di correlare e storicizzare a scopi reportistici informazioni rilevanti generate da strati di rete differenti e non direttamente comunicanti tra loro.

La correlazione dei dati, opportunamente supportata da strumenti avanzati di analisi e classificazione dei dati quali ad esempio gli algoritmi di Apprendimento Automatico e di Intelligenza Artificiale per l'individuazione e la predizione di anomalie, crea nuove informazioni ad alto valore aggiunto, che possono essere utilizzate durante l'analisi dello stato di salute della rete e come sorgente di notifiche a verifica del comportamento atteso della piattaforma.

### *Programmabilità e Automazione*

Le piattaforme di gestione dei singoli sottosistemi che compongono GARR-T sono state selezionate anche in base alle potenzialità di programmabilità e di automazione. Ogni piattaforma espone interfacce programmatiche di tipo REST API, conformi agli standard internazionali per la creazione e la gestione delle risorse e supporta strumenti avanzati di automazione delle procedure operative.

La Overlay generalizza e astrae l'interazione con le interfacce di programmazione creando uno strato di automazione neutrale, basato sugli strumenti maggiormente diffusi di automazione ICT. Così come le informazioni di monitoraggio sono armonizzate e correlate allo scopo di creare una vista unitaria di tutta la rete, le interfacce di programmabilità specializzate e specifiche sono generalizzate ed estese attraverso un sistema di orchestrazione a ciclo chiuso unificato per tutta GARR-T.

La conoscenza aggregata sullo stato istantaneo di GARR-T proveniente da Inventory, Logging, Telemetria e Allarmistica è utilizzata da un ciclo di orchestrazione di livello superiore.

L'orchestratore della Overlay ha il fine di assicurare che lo stato desiderato richiesto dagli utenti e lo stato osservato della rete siano sempre allineati. Qualora si riscontrasse una difformità tra lo stato atteso e quello osservato, la logica di orchestrazione della Overlay (cfr. figura 10) è in grado di applicare sequenze complesse di azioni correttive atte a eliminare la discrepanza, riconciliando tra loro i due stati.

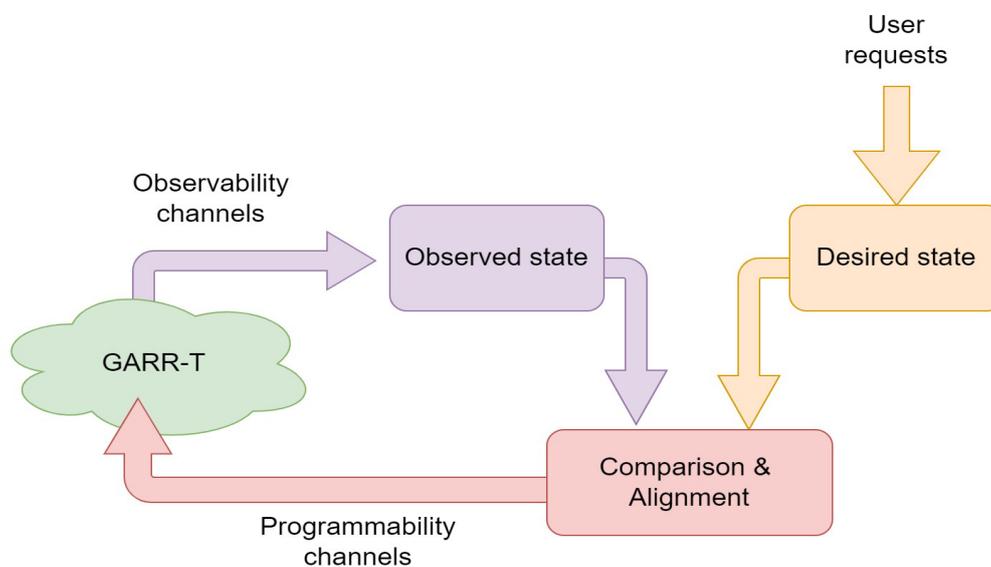


FIGURA 10: CICLO DI RICONCILIAZIONE REALIZZATO DALL'ORCHESTRAZIONE DELL'OVERLAY

### *Rete gestita dall'utente finale*

La componente di frontiera della Overlay è esposta direttamente agli utenti finali e ha il compito fondamentale di implementare il paradigma noto come User Driven Networking.

Questo paradigma è un cambio metodologico rispetto alle precedenti generazioni di rete GARR, in quanto mira a coinvolgere in modo significativamente maggiore gli utenti finali della rete nel controllo e nella gestione delle risorse erogate.

L'approccio User Driven fa sì che tutti gli utenti, dal NOC GARR all'APA e all'APM o al responsabile di un servizio applicativo o della sicurezza presso una istituzione GARR possano interagire con GARR-T attraverso un canale unico "API first", secondo le buone pratiche del mondo cloud. L'accento sulle interazioni è pensato quindi unitario e neutrale, con portali web, CLI ed eventuali agenti software di terze parti (di utenti o attori internazionali paritetici, quali le altre NREN o la dorsale GÉANT) che sono semplici client specializzati dell'interfaccia unitaria di accesso alla Overlay.

Questa assunzione semplifica l'interazione con la piattaforma, minimizzando la superficie di esposizione con benefici in termini di sicurezza e permettendo by design di identificare e caratterizzare in modo semplice tutte le categorie di attori che interagiranno con GARR-T.

### *Autenticazione ed Autorizzazione*

Elementi trasversali a tutti i blocchi funzionali della Overlay, così come alle piattaforme di gestione dei sottosistemi, sono le funzionalità di autenticazione e autorizzazione da e verso le interfacce. Le scelte progettuali descritte in precedenza permettono di semplificare le scelte sui sistemi di autenticazione, che sono quelli regolamentati dalla Federazione d'Identità IDEM. Questo permette di semplificare i criteri di autenticazione a livello applicativo, mantenendo ai massimi livelli la riservatezza.

Anche per le interazioni tra agenti software sono stati adottati i più diffusi standard di autenticazione machine-to-machine, con lo scopo di verificare il corretto accesso ai canali di interazione anche dove non c'è un'interazione mediata da persone.

I criteri adottati nella progettazione delle interazioni tra gli utenti e la Overlay hanno permesso di identificare in modo netto i requisiti di autorizzazione funzionale e non funzionale (es. quote) a vantaggio dell'ulteriore rafforzamento di principi di sicurezza by design e by default. Anche per la regolamentazione delle autorizzazioni la Overlay di GARR-T adotta i più diffusi e consolidati standard protocollari e implementativi.

## LO SVILUPPO DEL MODELLO DI ACCESSO AI SERVIZI DI RETE

Il modello di accesso utente mostrato in figura 11 richiede la disponibilità di coppie di fibra ottica distinte al fine di poter accedere ai diversi servizi di rete. Sono dette "on net" le sedi degli utenti che ospitano o sono ospitati nello stesso sito fisico di uno dei PoP della rete GARR, per i quali non esistono limitazioni o vincoli nella disponibilità di fibre ottiche sia come quantità che come distanza. Tale requisito viene sempre soddisfatto quando la sede utente ospita un punto di presenza della rete.

Gli utenti e i gruppi di ricerca cosiddetti "on-net", oltre a disporre del servizio di base IP (v4/v6) possono

disporre di accesso alla fibra ottica o a una porzione di spettro, così come alla trasmissione DWDM ed allo strato di rete a pacchetto attraverso VPN. Tutte queste funzionalità sono mediate da strumenti di automazione tali da rendere l'azione indipendente, anche se controllata, dalla operatività del personale GARR. L'accesso a questo tipo di servizi è infatti possibile su base porta (con una porta dedicata per ciascuna tipologia di servizio).

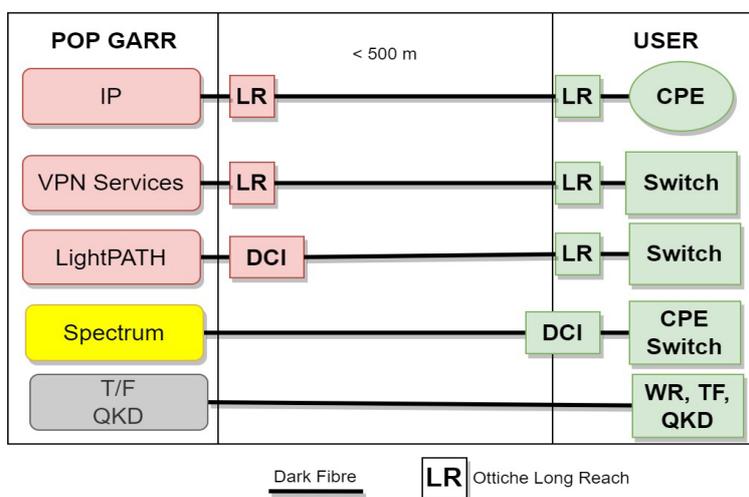


FIGURA 11: MODELLO DI ACCESSO CO-LOCATO IN GARR-T

Con i recenti sviluppi tecnologici e la sperimentazione condotta in GARR sono state individuati degli scenari tecnici in grado di estendere questo modello fino a distanze dell'ordine dei 10-20km dal PoP. Questo consente di estendere il modello "on-net" anche a quelle sedi non co-locate con un PoP mantenendo il livello di complessità della rete (funzione del numero di nodi che ne fanno parte) a livelli accettabili.

### *Estensione del modello di accesso "on-net" nei siti utente (satellite)*

La disponibilità di servizi avanzati dipende strettamente dalla disponibilità di fibra spenta direttamente accessibile nei punti di presenza. Viceversa l'ubicazione dei siti è invece legata a fattori di opportunità tecnica, ambientale e scientifica (es. siti osservativi o laboratori) che solo in parte possono tenere conto della eventuale disponibilità dei servizi su fibra, spettro, ecc.

Al fine di estendere le funzionalità di rete di GARR-T anche ad alcune utenze specifiche non co-locate con uno dei PoP è stata adottata una soluzione tecnica in grado di estendere la sezione "fotonica" fino a 20km di distanza dal nodo ottico di dorsale.

In Figura 2.3 è riportato lo schema logico d'interconnessione che estende le funzionalità di rete fotonica anche ai siti utente lontani da un punto di presenza della rete GARR-T ospitando nella sede opportuni apparati di terminazione della rete ottica e a pacchetto (nodi H4 e leaf della rete a pacchetto) a basso impatto in termini di consumi elettrici e spazi.

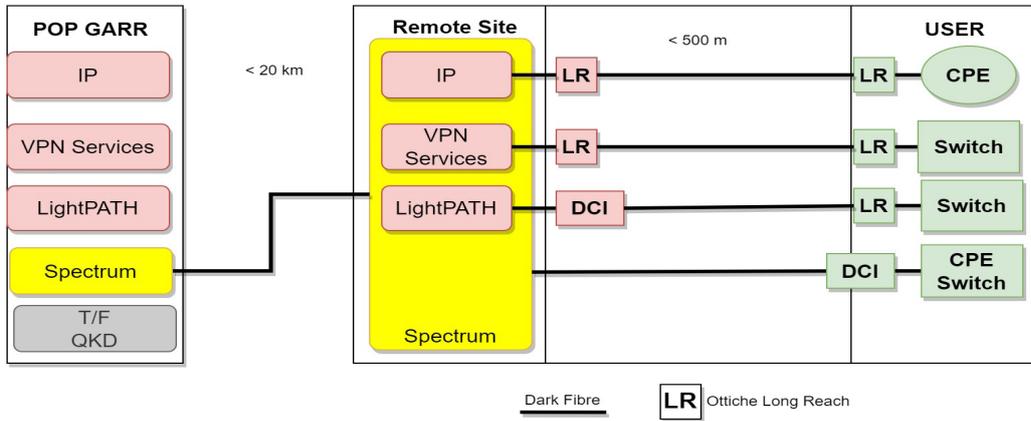


FIGURA 12: MODELLO DI ACCESSO REMOTO IN GARR-T

## REALIZZAZIONE

Il progetto di rete GARR-T è stato preparato e avviato dagli associati e dall'organizzazione GARR con le proprie risorse in questi ultimi anni e la realizzazione dei primi interventi è iniziata nel 2020 per estendere la copertura della rete fisica in fibra ottica nel nord-est, sostituire la rete trasmissiva nel centro-nord del paese con l'apertura di nuovi punti di presenza per l'accesso anche alla rete ottica (nodi H4), e per l'aggiornamento della rete a pacchetto su tutto il territorio nazionale.

Nel corso del 2022 sono state completate le attività pianificate relative all'ampliamento dell'infrastruttura in fibra ottica nell'area del nord-est, alla realizzazione della seconda coppia in fibra che permette la migrazione degli apparati di rete senza disservizio, mentre sono in corso di esecuzione i lavori di adeguamento dei punti di presenza GARR interessati all'aggiornamento delle piattaforme trasmissive e a pacchetto. La migrazione sulla nuova infrastruttura, partita a ottobre 2022, sarà completata nel corso del 2023.

Nei prossimi anni, continuerà inoltre il processo di evoluzione della rete unitaria nazionale GARR-T, che sarà finanziato su fondi PNRR nel Progetto ICSC "Centro Nazionale HPC, Big Data e Quantum Computing", nel progetto TeRABIT e con interventi di completamento del progetto con fondi stanziati tramite decreto MUR (n. 151 del 02/02/2022) e assegnati ai soci fondatori CNR e INFN in accordo con il Piano Nazionale Infrastrutture di Ricerca (PNIR) 2021 - 2027.

Le attività pianificate per questi ulteriori potenziamenti riguardano principalmente la realizzazione della rete ottica regionale della Sardegna e la sua connessione alla rete nazionale tramite acquisizione di spetto su fibra ottica sottomarina, la realizzazione di interconnessioni dei Data Center HPC nazionali e di anelli regionali al sud (Campania) e centro Italia (Lazio, Umbria, Marche).

## RIFERIMENTI

- [1] P.Bolletta, M.Campanella, M.Carboni, F.Farina, G.Viola, S.Visconti e G.Vuagnin. Considering the next generation of the garr network. May 2017. doi:10.26314/GARR-whitepaper-01.
- [2] ITU-T. G.655: Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable. available online <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/en>. Nov 2009.
- [3] ITU-T. G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. available online <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/en>. Nov 2016.
- [4] ITU-T. G.654: Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable. available online <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.654-202003-I/en>. Mar 2020.
- [5] Paolo Bolletta, Massimo Carboni, and Gloria Vuagnin. Field trial of alien wavelengths on garr optical network. April 2018. [Paper Accepted] 2018 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing.
- [6] CISCO Systems. Cisco Data Center and leaf architecture: Design overview. Jan 2020.

# GLOSSARIO

## API - APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE

Un'interfaccia di programmazione dell'applicazione (API) è un tipo di interfaccia software che permette a due o più software di comunicare tra loro.

## APM - ACCESS PORT MANAGER

Un APM è una figura responsabile a livello tecnico locale della gestione del collegamento di una o più delle sue sedi alla rete GARR.

## BGP BORDER GATEWAY PROTOCOL

BGP è un protocollo gateway esterno standardizzato, progettato per scambiare informazioni di routing e raggiungibilità tra sistemi autonomi (AS) su Internet.

## DARK FIBRE

Con questo termine si intende una Fibra spenta non illuminata acquisita spesso in IRU.

## DCI - DATA CENTER INTERCONNECT

Data Center Interconnect (DCI) è una tecnologia per collegare tra loro due o più data center su brevi, medie o lunghe distanze utilizzando la connettività ottica a pacchetto ad alta velocità.

## DWDM - DENSE WAVELENGTH-DIVISION MULTIPLEXING

Il multiplexing a divisione di lunghezza d'onda densa (DWDM) è una tecnologia di multiplexing in fibra ottica utilizzata per aumentare la larghezza di banda delle reti in fibra esistenti.

## ECMP - EQUAL COST MULTI PATH

ECMP è una strategia di routing che può essere usata in congiunzione ad altri protocolli, che permette ai pacchetti instradati verso una singola destinazione di attraversare "percorsi migliori" multipli, che competono tra loro nel calcolo dell'instradamento dei pacchetti.

## EVPN - ETHERNET VPN

La Ethernet VPN è una soluzione di nuova generazione in grado di fornire servizi ethernet multipoint nelle reti MPLS.

## IRU - INDEFEASIBLE RIGHT OF USE

In telecomunicazioni, l'IRU, o diritto d'uso inalienabile, è un accordo contrattuale per la proprietà temporanea di una parte della capacità di un cavo internazionale. Come suggerisce il nome, il contratto prevede un diritto irrevocabile di utilizzare un cavo e non può essere annullato o alienato.

## IS-IS - INTERMEDIATE SYSTEM TO INTERMEDIATE SYSTEM

IS-IS è un protocollo di routing progettato per spostare le informazioni in modo efficiente, determinando il percorso migliore per i dati attraverso una rete a commutazione di pacchetto.

#### MAN - METROPOLITAN ACCESS NETWORK

Una MAN o rete metropolitana è una rete dati ad alta velocità che collega più reti locali (LAN) che si estendono su un'area metropolitana.

#### MPLS - MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING

MPLS è una tecnica di routing nelle reti di telecomunicazioni, che instrada i dati da un nodo all'altro in base ad etichette anziché agli indirizzi di rete. Mentre gli indirizzi di rete identificano gli endpoint, le etichette identificano i percorsi stabiliti tra gli endpoint.

#### NBI - NORTH-BOUND INTERFACE

Un'interfaccia North-bound è un'interfaccia di programmazione dell'applicazione (API) o un protocollo che consente a un componente di rete di livello inferiore di comunicare con un componente di più alto livello, generalmente l'utente finale.

#### OLS - OPEN LINE SYSTEM

Un OLS o sistema di linea aperto è un sistema ottico disaggregato che permette di trasportare segnali generati dagli apparati di fornitori diversi, facilitando l'evoluzione e la modifica del sistema e riducendo il rischio di vendor lock-in. Tipicamente gli OLS possono essere integrati in ambienti software-defined attraverso API aperte e standardizzate.

#### OTDR - OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER

Un riflettometro ottico nel dominio del tempo (OTDR) è un dispositivo che verifica l'integrità di un cavo in fibra e viene utilizzato per la costruzione, la certificazione, la manutenzione e la risoluzione dei problemi di sistemi in fibra ottica.

#### PCEP - PATH COMPUTATION ELEMENT PROTOCOL

Il Path Computation Element Protocol (PCEP) è uno dei numerosi protocolli utilizzati per la comunicazione tra un Path Computation Element (PCE), cioè una componente di sistema, applicazione o nodo di rete capace di determinare un percorso per il trasferimento di dati da una sorgente a una destinazione, e un client che richiede questo calcolo.

#### POP - POINT OF PRESENCE

I PoP (Point of Presence o Punti di Presenza) sono i nodi della rete GARR sul territorio nazionale. Ospitano gli apparati attivi della infrastruttura di rete trasmissiva e di routing e possono svolgere funzioni di trasporto sulla dorsale e/o di raccolta regionale o urbana di diverse dimensioni e capacità.

#### QOS - QUALITY OF SERVICE

Con QoS si intende un insieme di tecnologie che permette di prioritizzare determinate applicazioni o tipologie di traffico, in particolare nel caso di limitata capacità di rete, attraverso una gestione differenziata dei pacchetti e dei flussi di traffico rispetto a parametri come throughput, latenza, jitter e error rate.

#### REST - REPRESENTATIONAL STATE TRANSFER

Un insieme di linee guida e limiti per la definizione di una API, spesso RESTful API.

#### ROADM - RECONFIGURABLE ADD/DROP MULTIPLEXER

Un ROADM è un dispositivo in grado di aggiungere, bloccare, far passare o reindirizzare raggi infrarossi modulati e raggi di luce visibile di varie lunghezze d'onda in una rete in fibra ottica. I ROADM sono utilizzati nei sistemi che usano il multiplexing a divisione di lunghezza d'onda.

#### RSVP - RESOURCE RESERVATION PROTOCOL

RSVP è un protocollo di livello di trasporto progettato per riservare risorse su una rete utilizzando il modello dei servizi integrati.

#### SPRING - SOURCE PACKET ROUTING IN NETWORKING

Il Source Packet Routing è una architettura del piano di controllo che consente a un router di ingresso di instradare un pacchetto attraverso un insieme specifico di nodi e collegamenti nella rete senza fare affidamento sui nodi intermedi della rete per determinarne il percorso effettivo.

#### VPN - VIRTUAL PRIVATE NETWORK

Una VPN o rete privata virtuale estende una rete privata su una rete pubblica, consentendo agli utenti di inviare e ricevere dati su reti condivise o pubbliche come se i loro dispositivi informatici fossero collegati direttamente alla rete privata.

#### VRR - VIRTUAL ROUTER REFLECTOR

vRR è una funzionalità che implementa la funzione di route reflector utilizzando una macchina virtuale generica.

#### WAN - WIDE AREA NETWORK

Una wide area network è una rete di telecomunicazioni che si estende su una grande area geografica e interconnette reti di dimensioni più piccole (tipicamente metropolitane e locali).

#### WSS - WAVELENGTH SELECTIVE SWITCH

Il Wavelength Selective Switch è una componente chiave delle moderne reti ottiche riconfigurabili, che permette di instradare, bloccare o attenuare le lunghezze d'onda all'interno di un nodo di rete. È utilizzato per instradare il segnale su una rete WDM sulla base della lunghezza d'onda.