

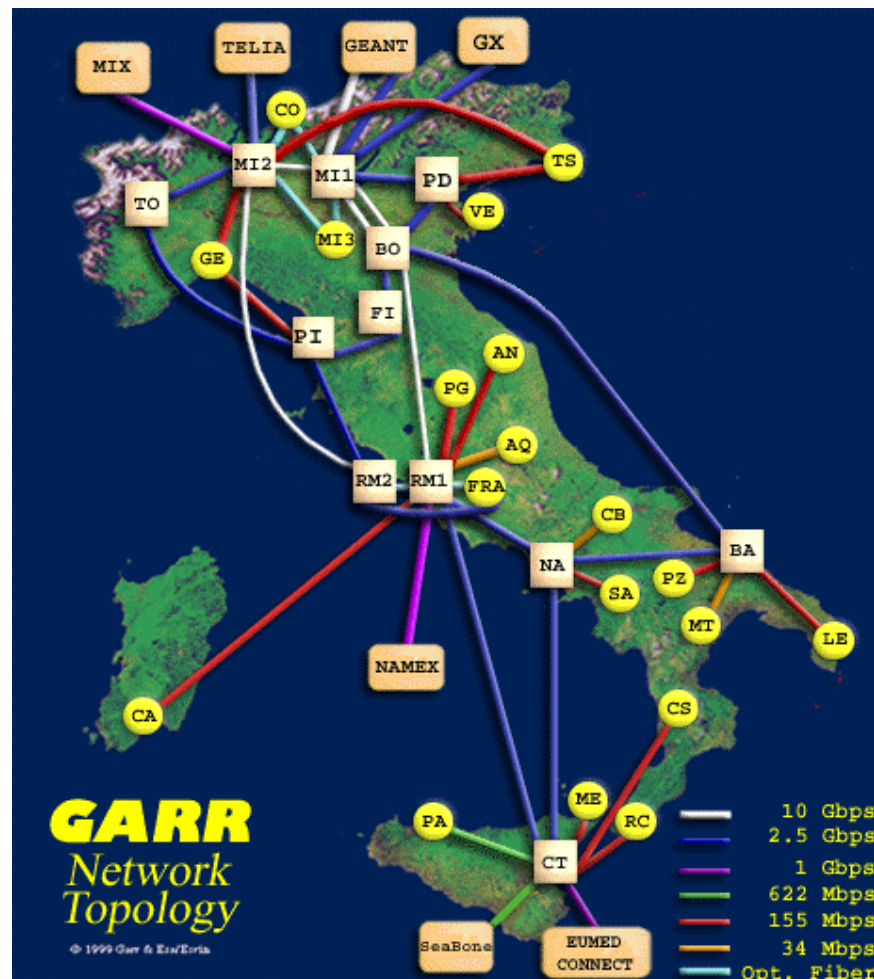
# L'evoluzione della rete GARR

**Roma, GARR-Workshop 6  
16-18 Novembre 2005**

***Massimo.Carboni@garr.it***

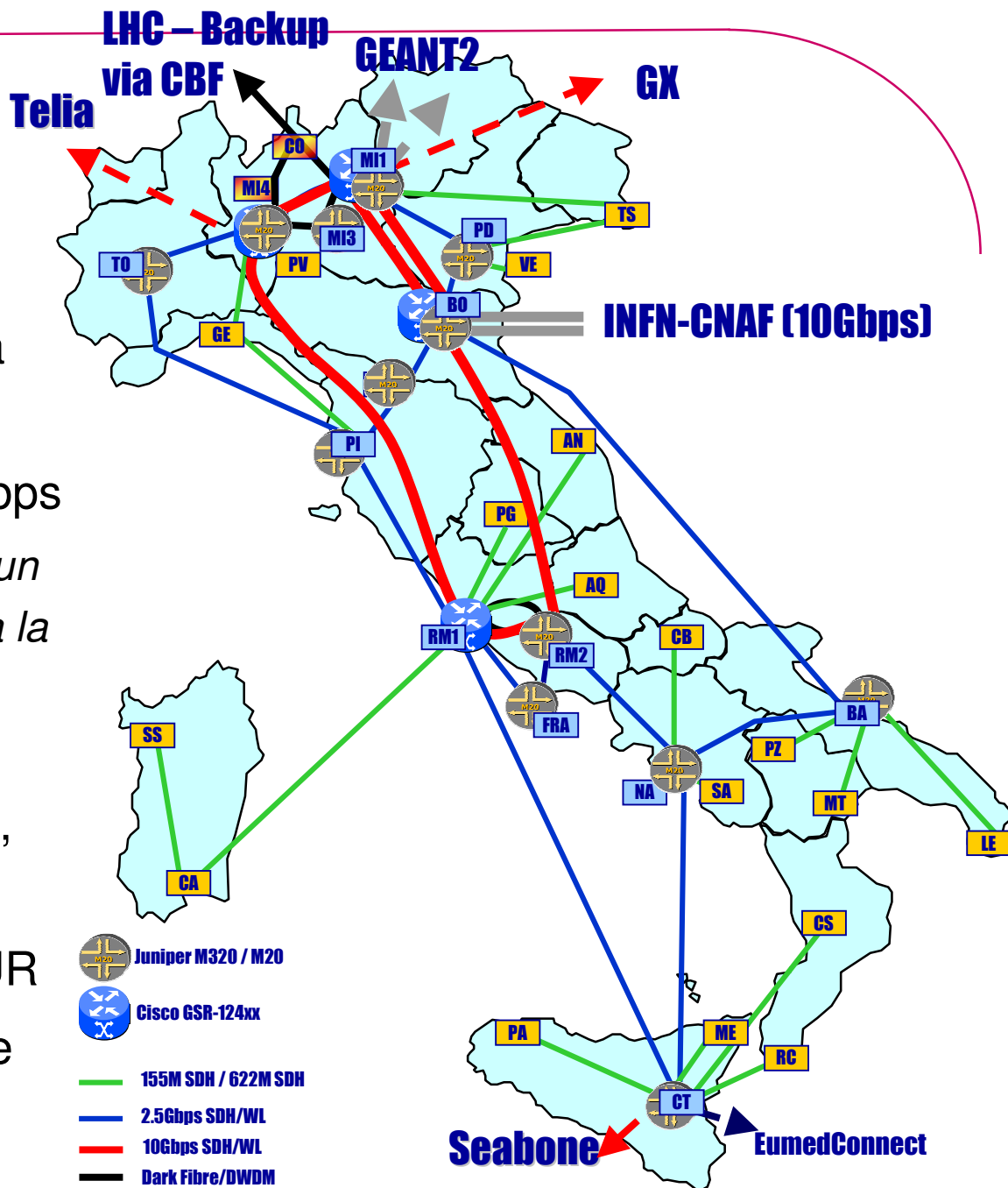
# Agenda

- ▶ Stato della rete GARR-G
- ▶ Consolidamento dei servizi di rete
- ▶ GARR-x: the Next Generation Network
- ▶ GARR-x Pilot
- ▶ Conclusioni

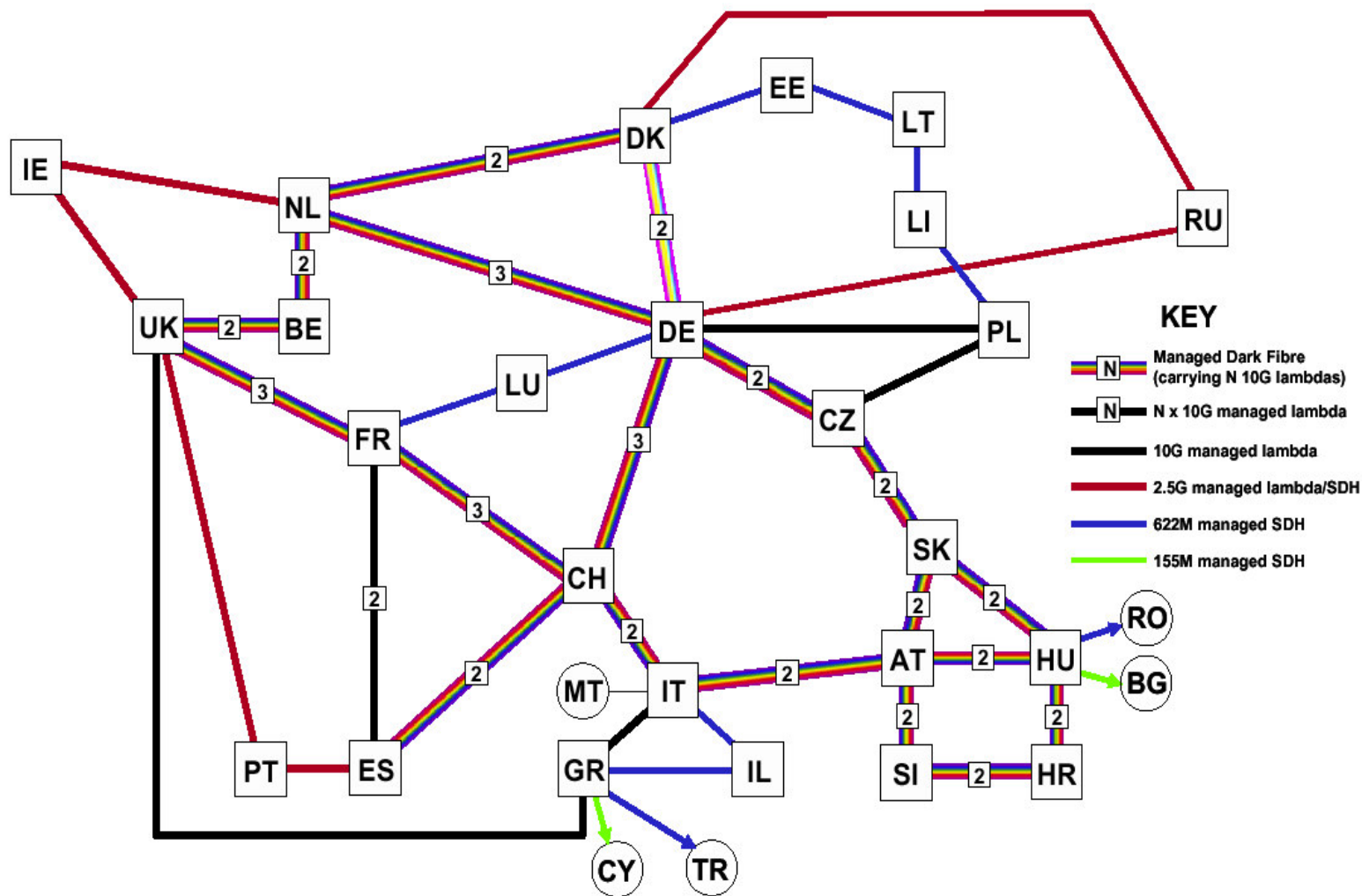


## GARR-G Fase3

- ▶ Upgrade dei collegamenti del BackBone principale a 10G in modalita' SDH
- ▶ Accesso GEANT2:n\*10Gbps
  - Dal 16/11/2005 e' attivo un collegamento a 10GE tra la rete GARR ed il CERN attraverso GEANT2
- ▶ Creazione nuovi POP: PZ, LE, CB, TN, RC.
- ▶ Migrazione sedi USR-MIUR
- ▶ Collegamento delle scuole



# GEANT2 Network Architecture



## # GARR-G

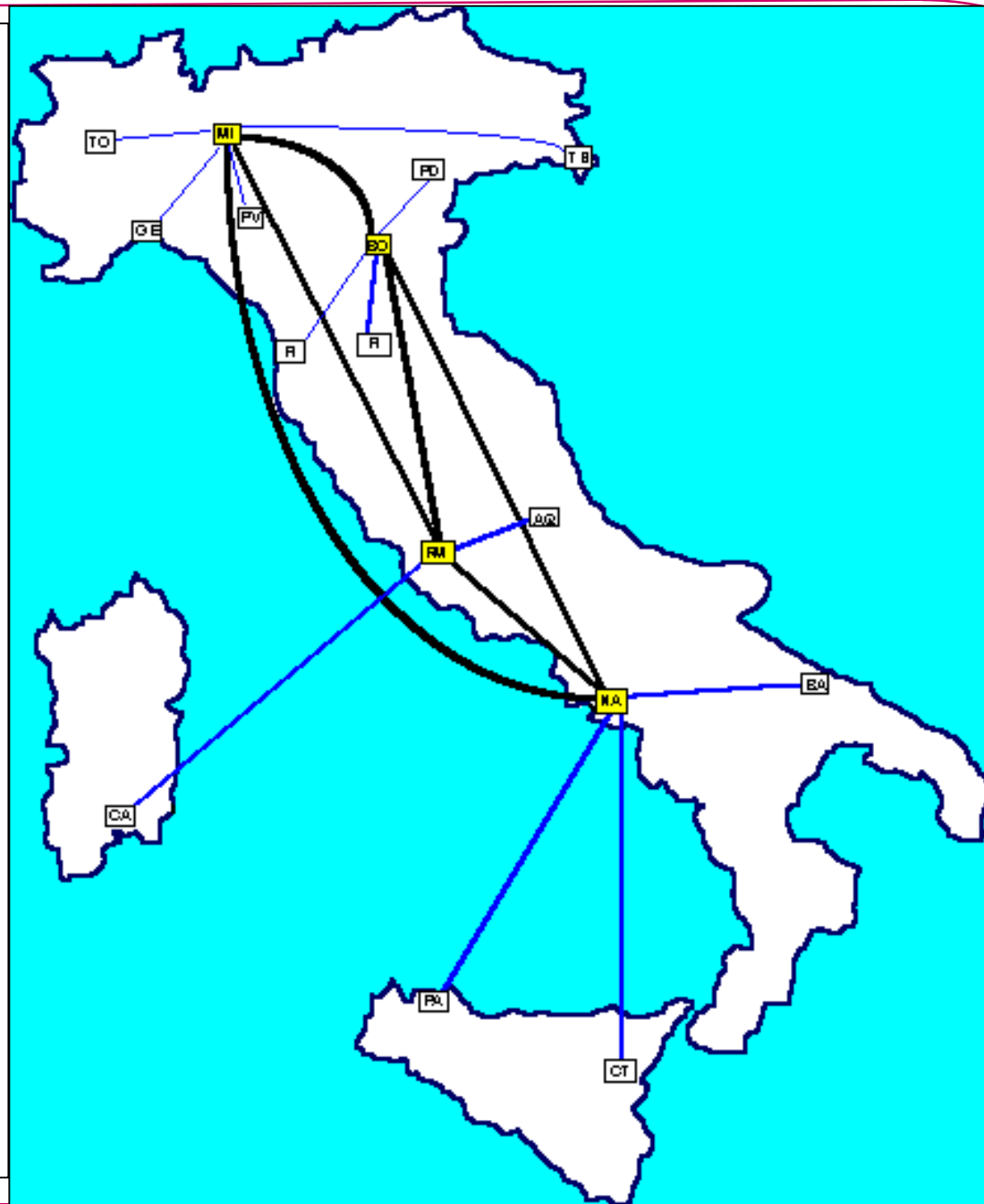
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* **January 1999**

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

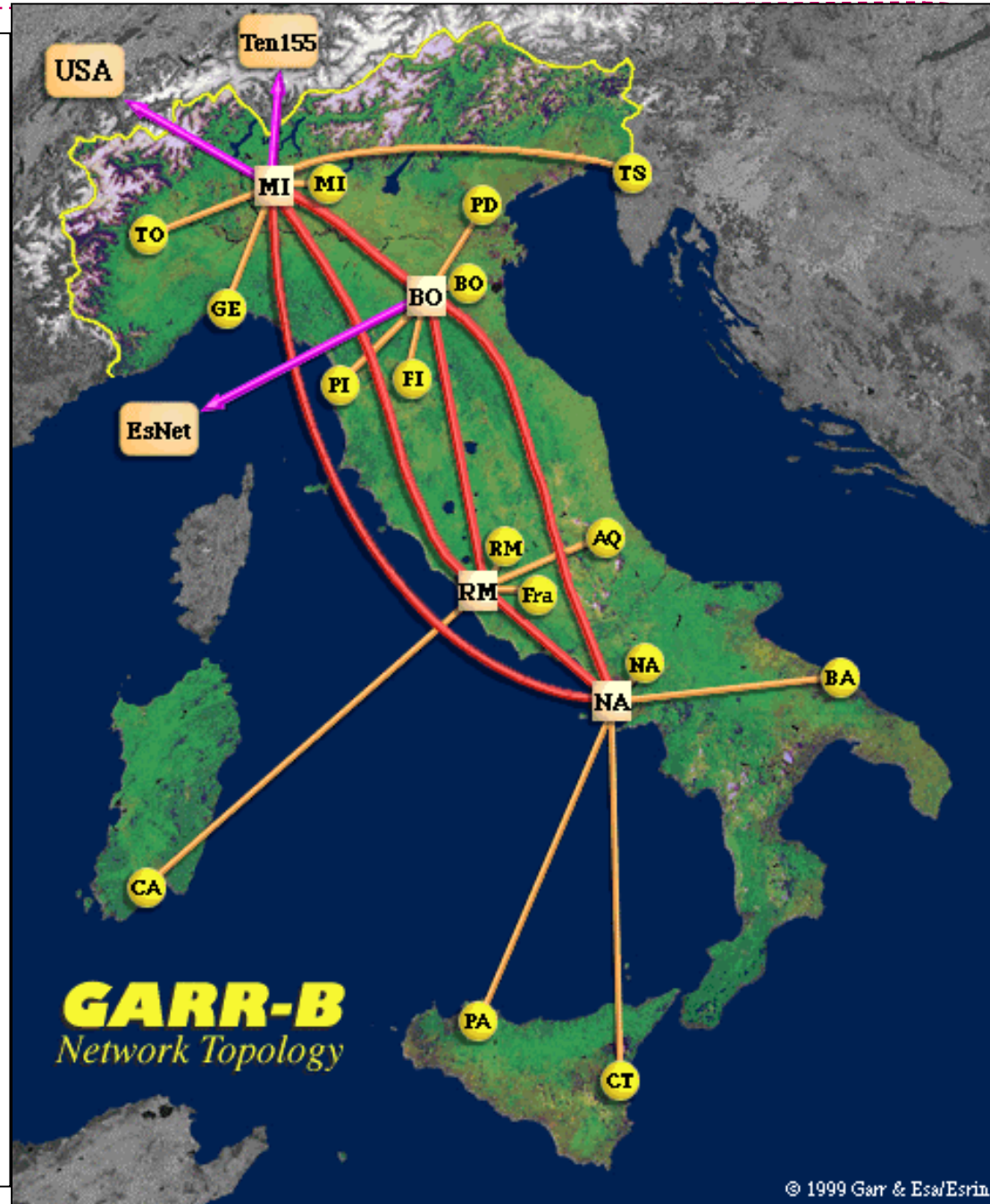
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* **April 1999**
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

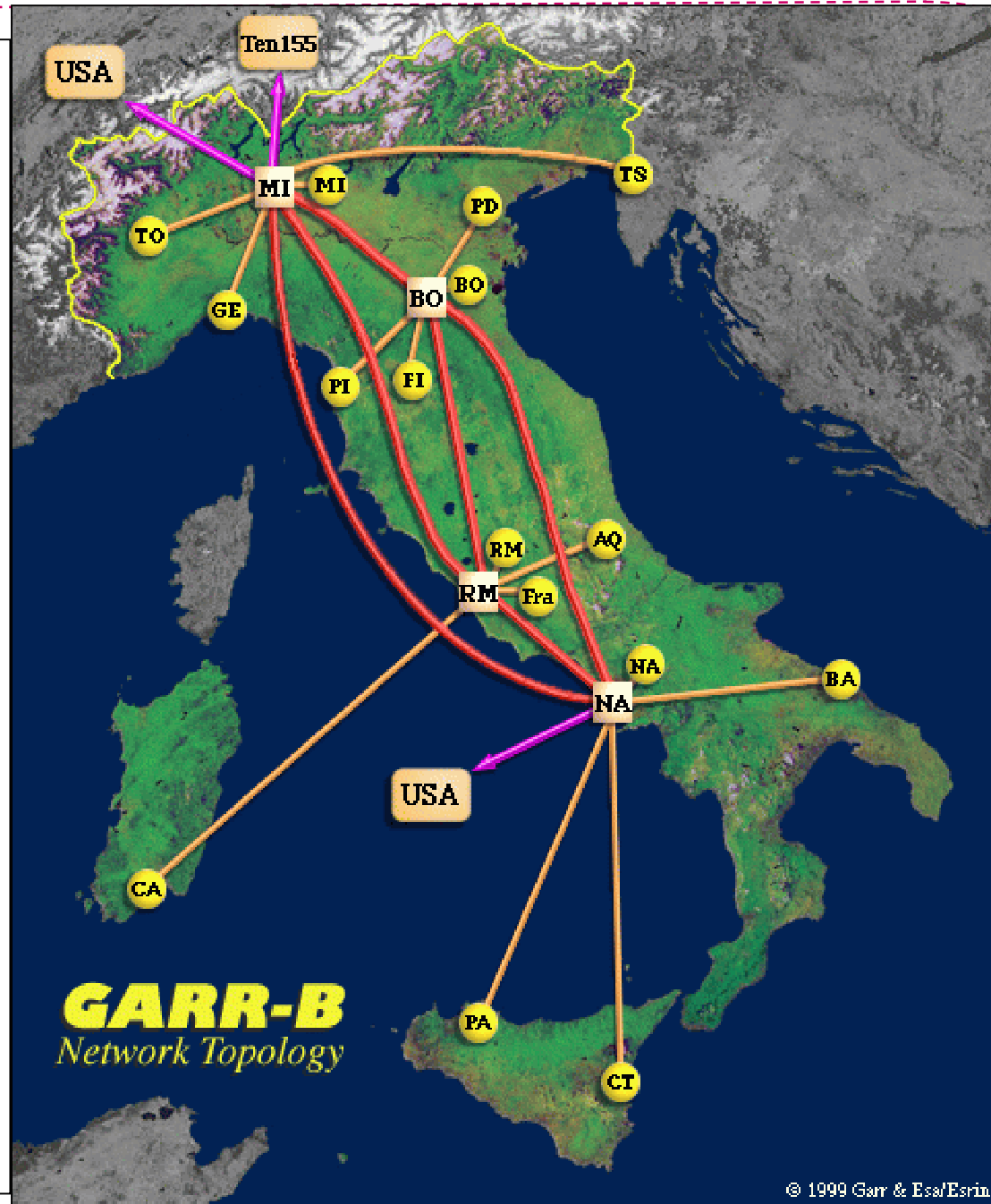
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* **May 1999**
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

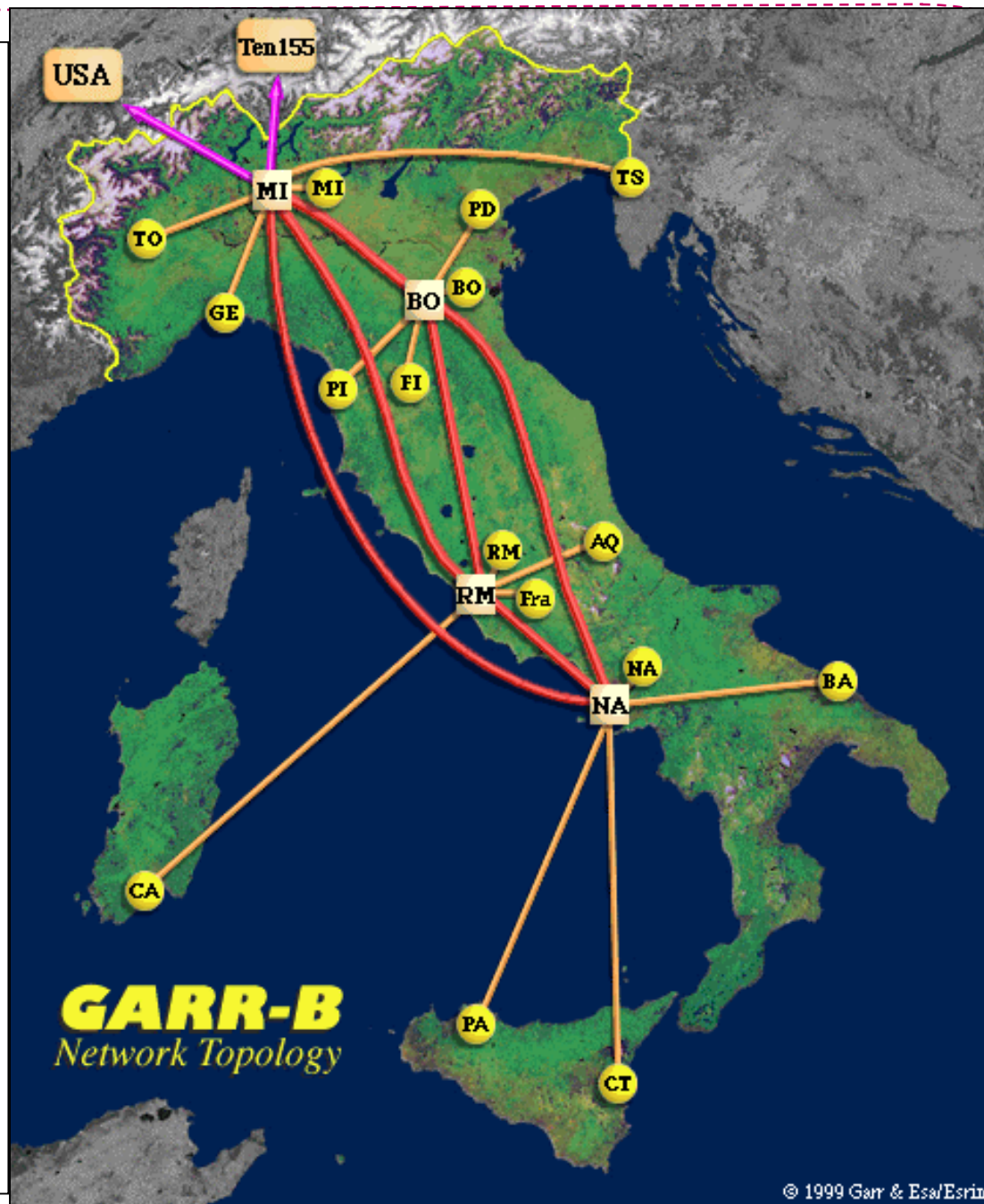
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* **April 2000**
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1





## # GARR-G

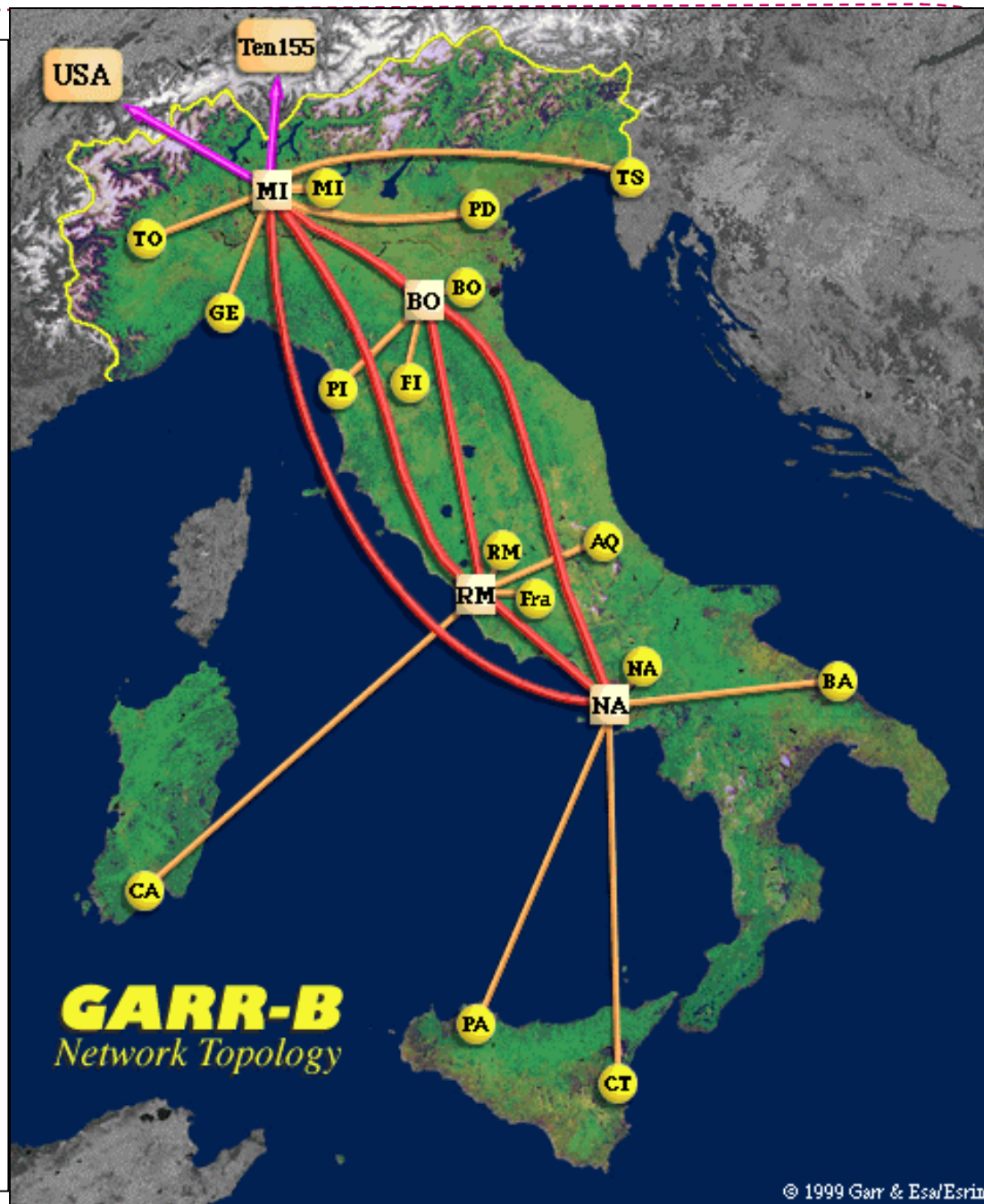
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* **September 2001**
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

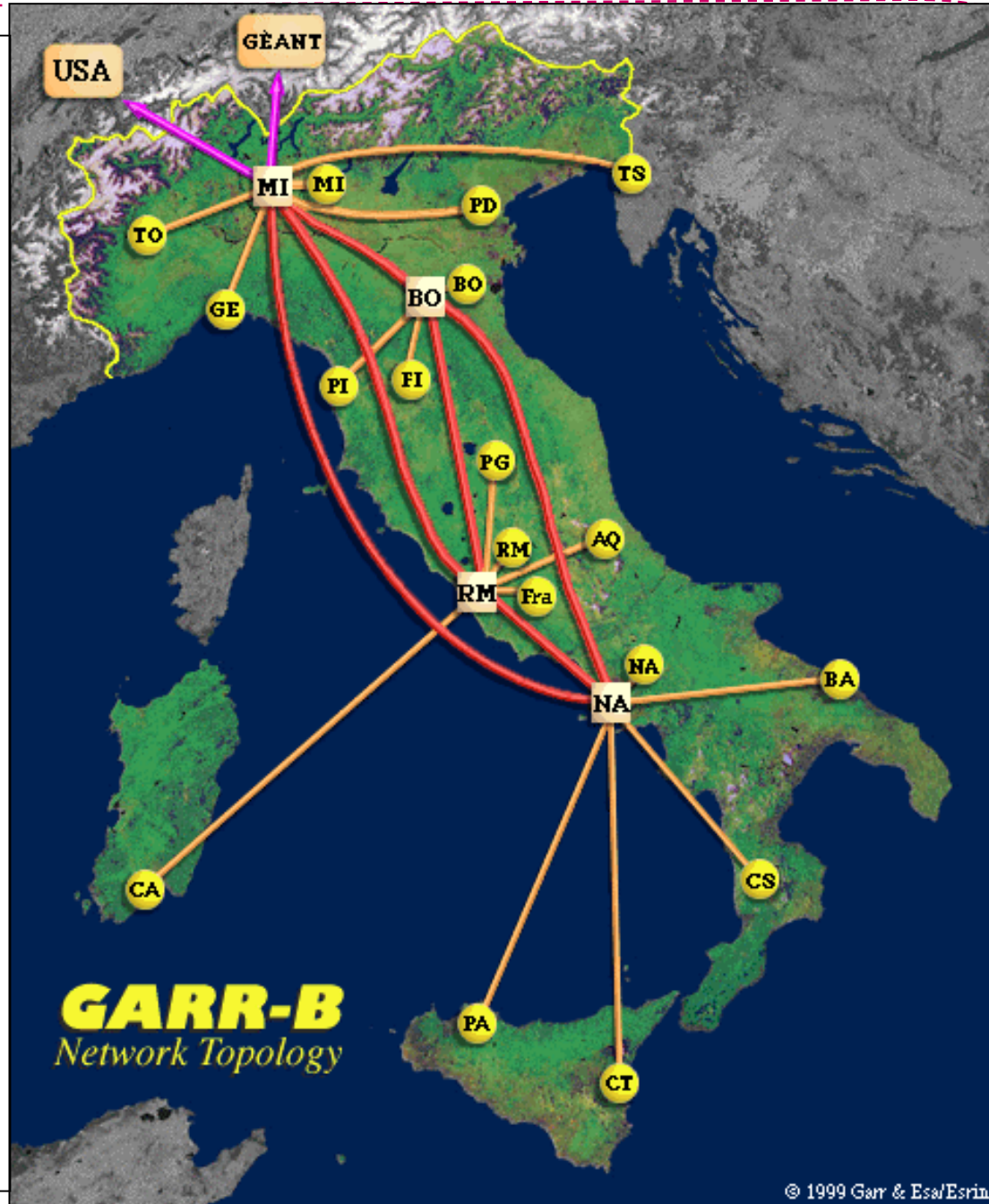
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* **December 2001**
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

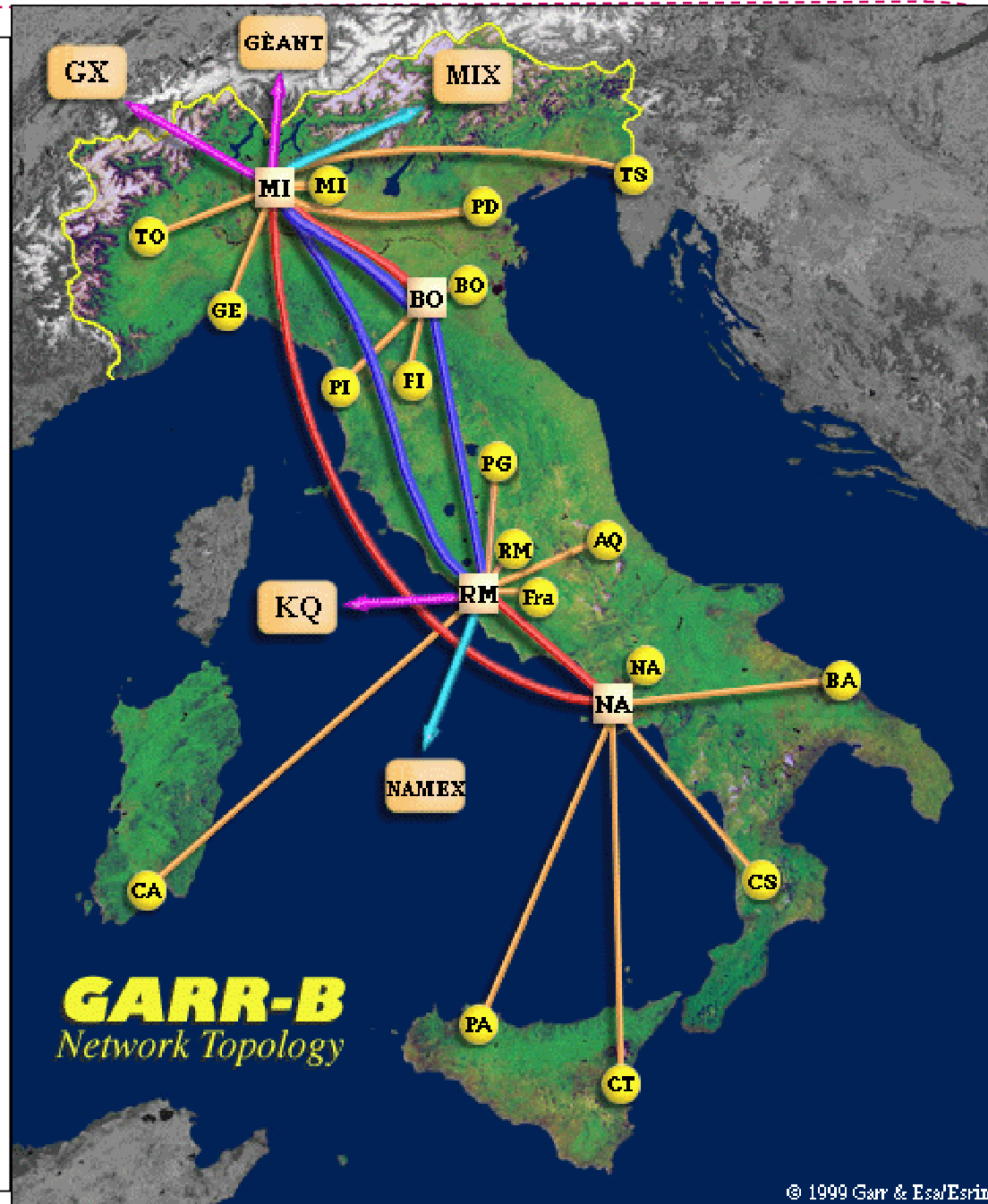
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* **December 2002**
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

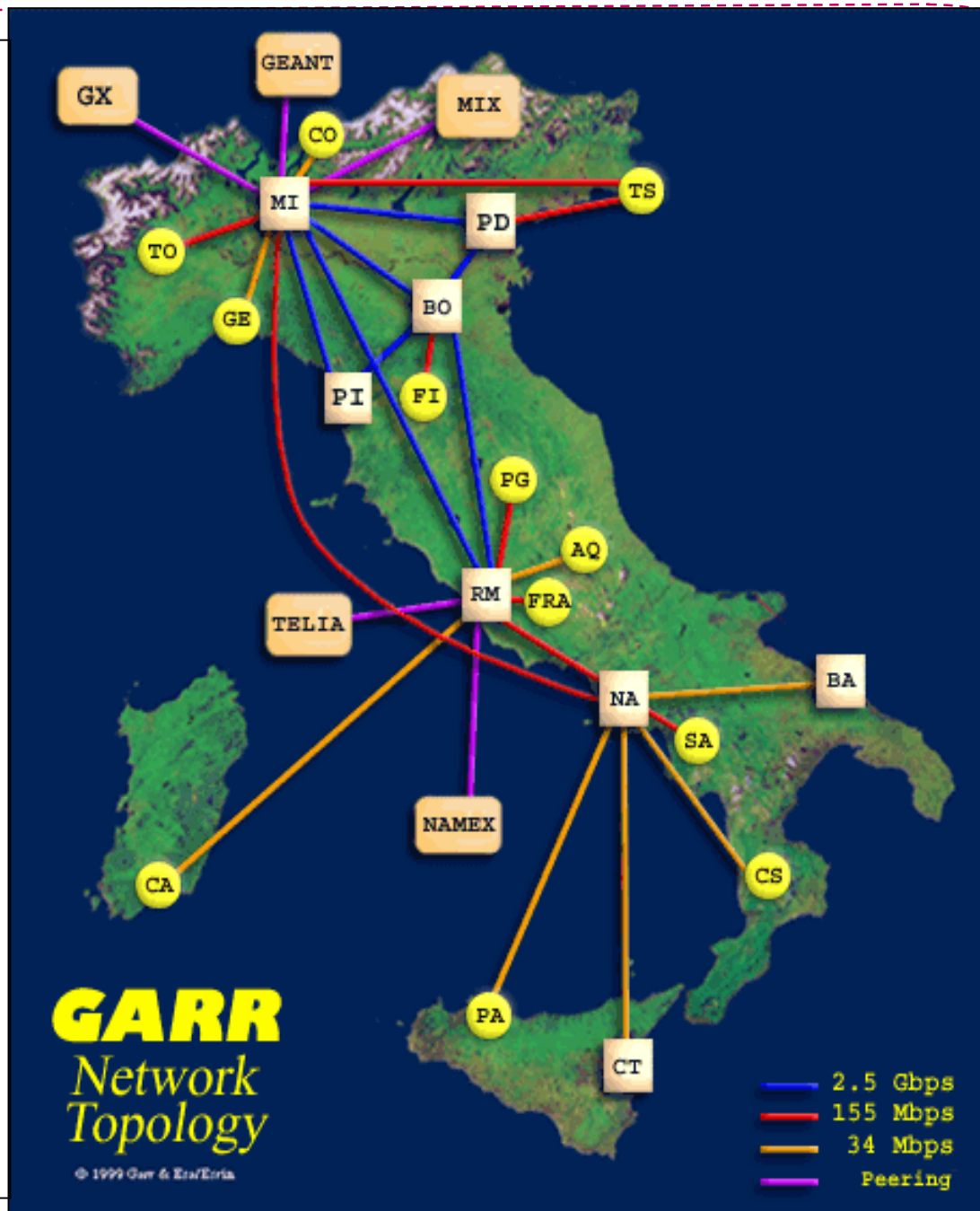
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* **May 2003**

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* **March 2004**
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

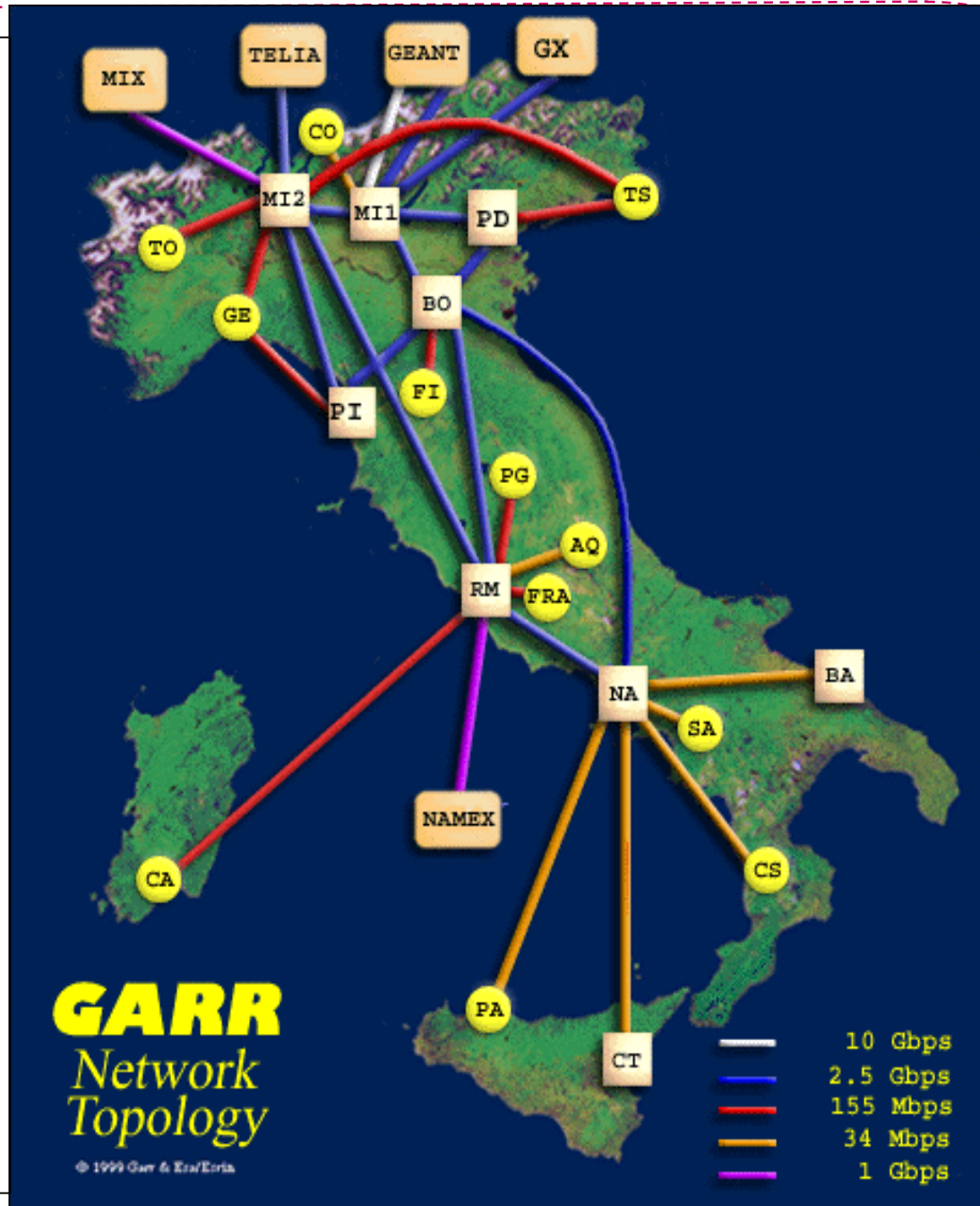
- \* Current map
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* **May 2004**
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

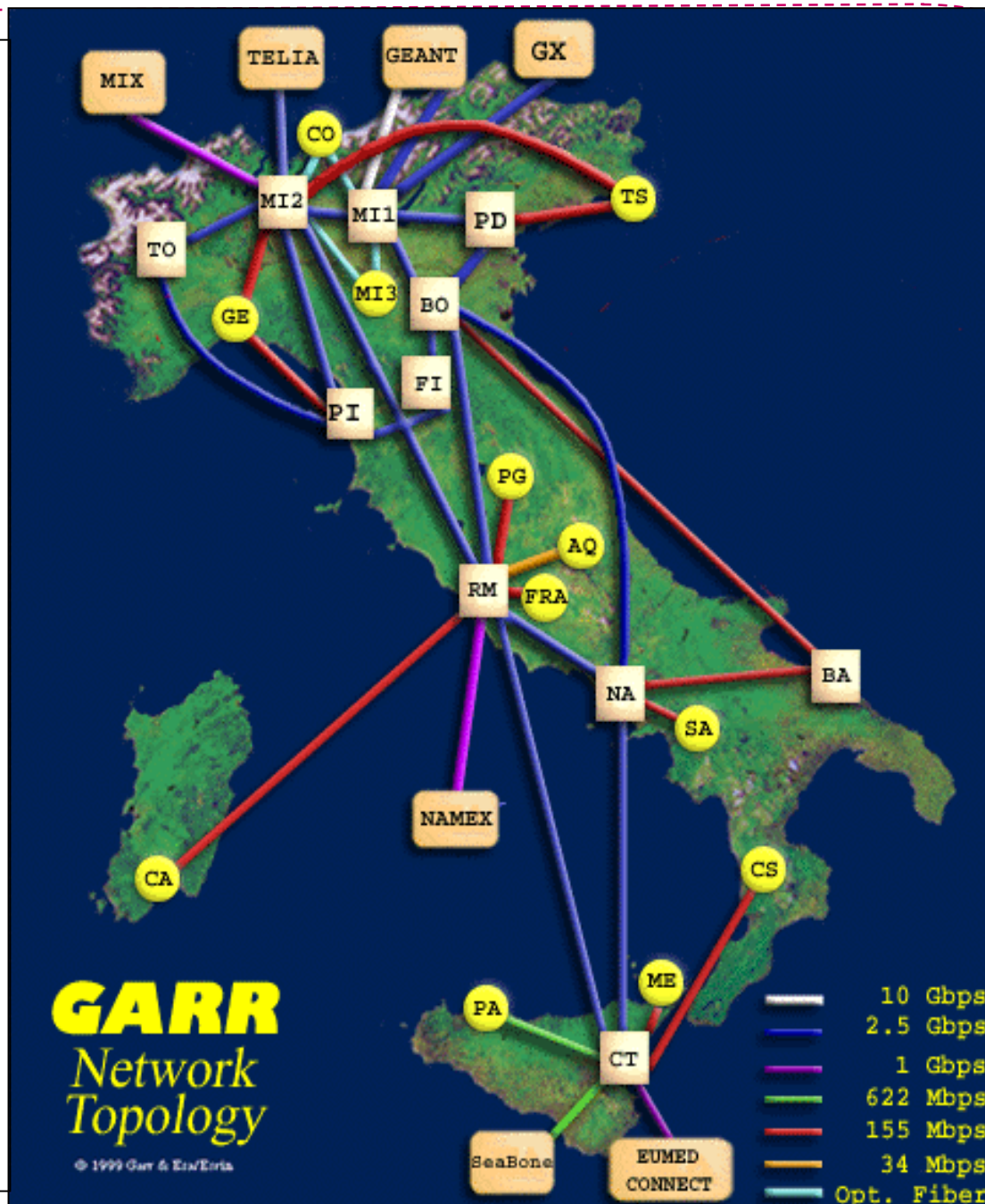
- \* Current map
- \* December 2004
- \* **July 2004**
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1



## # GARR-G

- \* Current map
- \* **December 2004**
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1





## # GARR-G

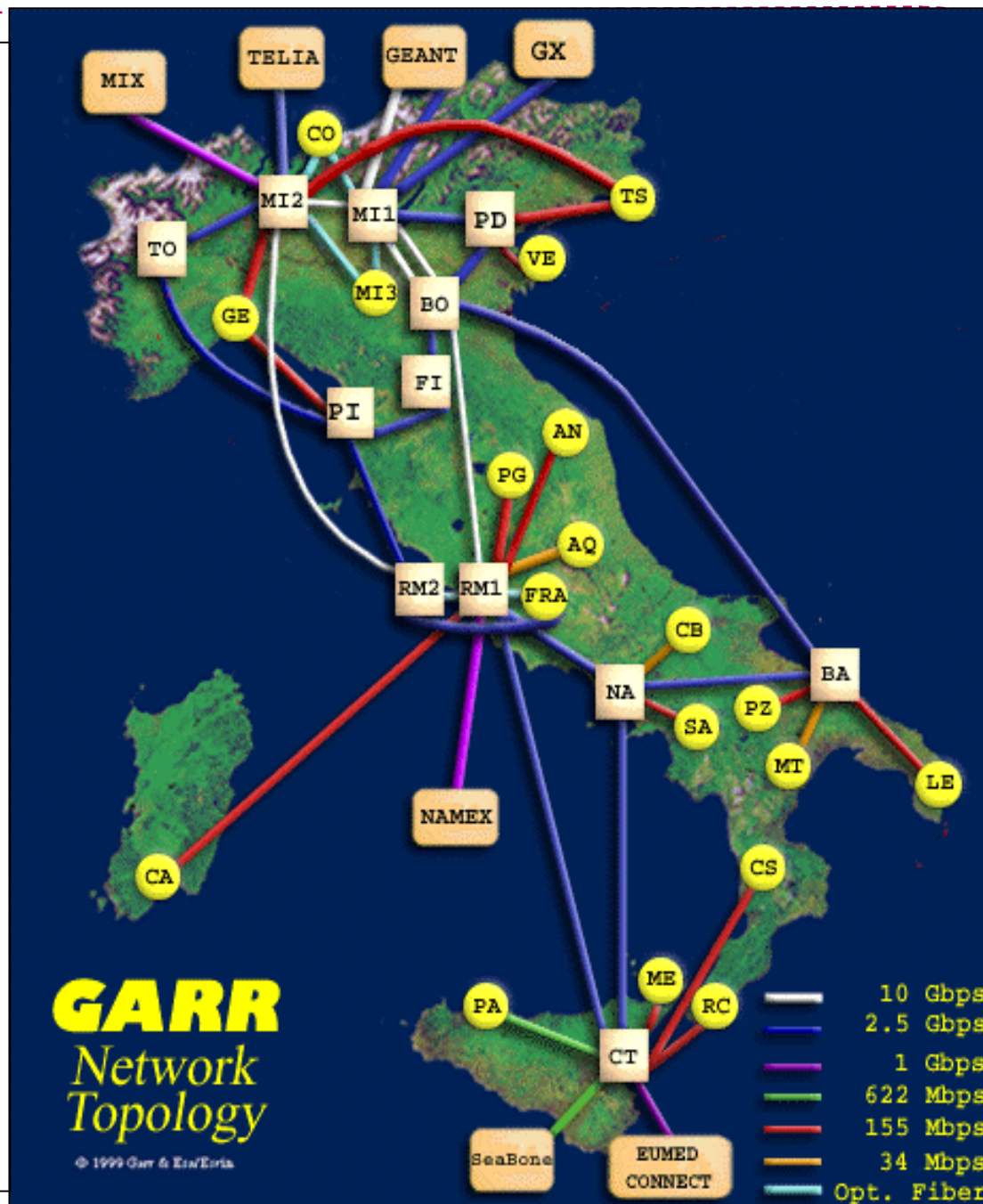
- \* **Current map**
- \* December 2004
- \* July 2004
- \* May 2004
- \* March 2004
- \* May 2003

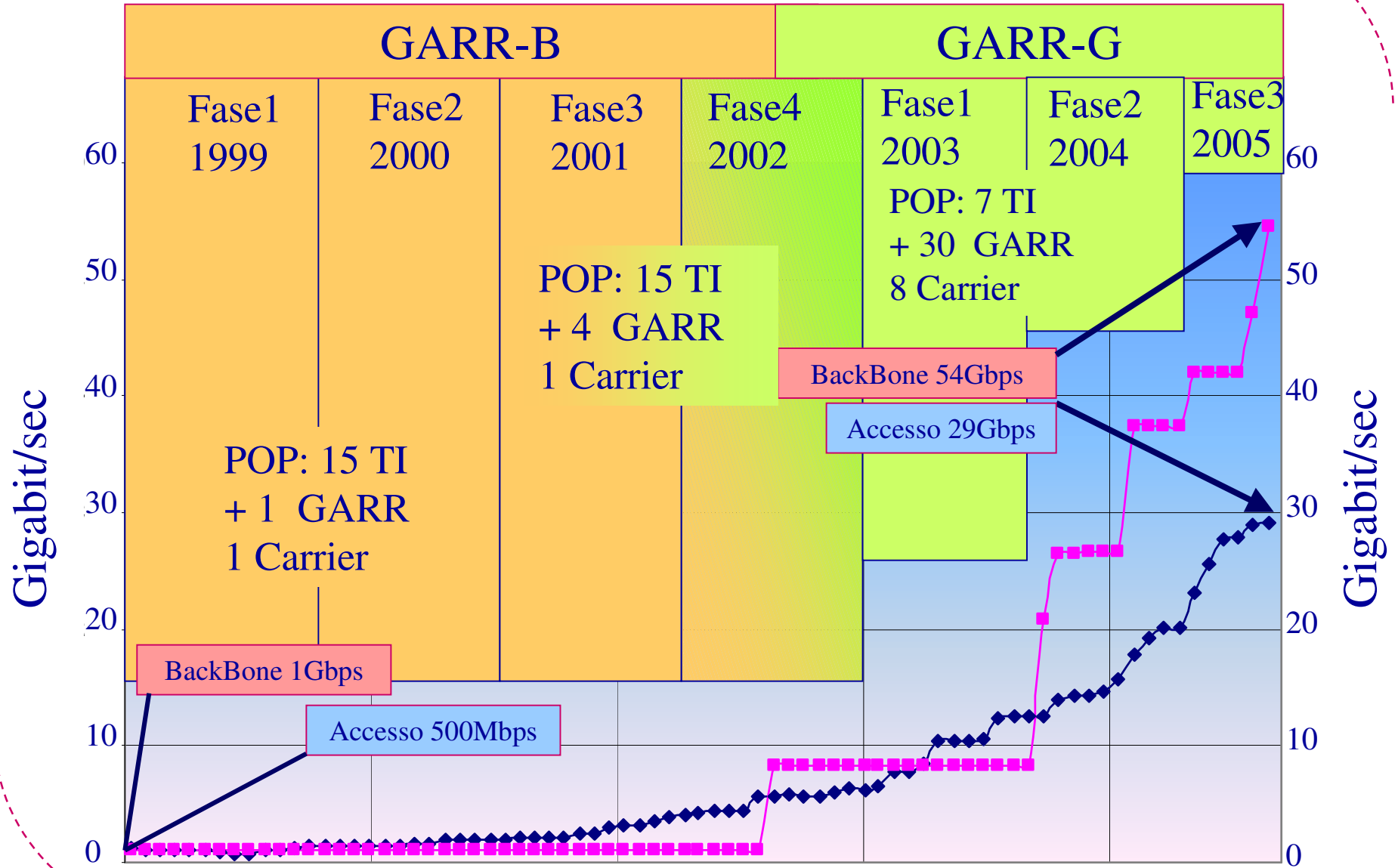
## # GARR-B

- \* December 2002
- \* December 2001
- \* September 2001
- \* April 2000
- \* May 1999
- \* April 1999
- \* January 1999

## # GARR-2

## # GARR-1





## Attività' di consolidamento (1/2)

- ▶ **Infrastruttura:**
  - Incremento del numero/capillarita' di POP
  - Ridondanza dei circuiti di BackBone vs POP
    - Con GARR-B solo 4 POP erano multi-link
    - Valutazione di sistemi di backup anche per i miniPOP
  - Ridondanza degli apparati solo con infrastruttura proprietaria
- ▶ **Estensione del servizio NOC H24**
  - **[2005]** Servizio esteso al sab. 8-14
  - **[2006]** Creazione di un servizio di reperibilita'

## Attività' di consolidamento (2/2)

- ▶ IPv4 monitoring del funzionalita' e della qualita' di servizio
  - Report statistica del traffico
  - Multicast-IPv4 integrazione nella piattaforma di monitoring IPv4
  - QoS Monitoring (slow)
- ▶ IPv6: attivo ma non ancora capillare
  - Consolidamento del monitoring
  - Multicast IPv6 in fase di tuning
- ▶ MPLS: conclusa la fase di studio dei meccanismi MPLS-VPN L2/L3
  - Roll-out del servizio nel 2006
  - MPLS-VPLS
- ▶ IP Premium: in fase di roll-out
  - Essenziale per trasporto di traffico VoIP

# Nuovi utenti e nuove tipologie di accesso

- ▶ **Tecnologie xDSL: (vari Carrier)**
  - HDSL e ADSL su ATM
  - SHDSL e ADSL su MPLS
  - Costo indipendente dalla distanza
  - Tecnologia di trasporto a pacchetto
    - No QoS nel servizio su MPLS
  
- ▶ **Accesso utente di tipo Ethernet**
  - Il circuito arriva fino alla LAN dell'utente
  - Le policy di sicurezza sono ancora di competenza dell'utente finale.
    - Firewall, Antivirus, IDS, IPS, etc. sono auspicabili

## Attività' di Ricerca e Sviluppo (1/3)

- ▶ Come già nel 2005, una parte importante delle risorse verrà destinata alla partecipazione ed al supporto di attività e progetti di ricerca e cooperazione, con particolare riguardo ai progetti finanziati dalla Commissione Europea nell'ambito del 5° e 6° Programma Quadro e del Programma EUROPAID.
- ▶ Il 2006 vedrà la conferma dell'impegno del Consortium GARR nei progetti **EGEE, GN2, MUPBED, EUMEDCONNECT e ALICE**.
- ▶ Per quanto riguarda in particolare le attività di ricerca all'interno di **GN2**, proseguirà l'impegno **GARR** nelle **JRA1, JRA2, JRA3, JRA4** e, indirettamente, **JRA5** attraverso la partecipazione alle TF di TERENA l'attività' di JRA5. Importante, sia in termini di manpower che di impatto sulla rete GARR e sui servizi offerti all'utenza, anche l'impegno in SA3.

L'attività di maggiore interesse e' attualmente la  
*sperimentazione e l'implementazione del servizio Premium IP.*

## Attività' di Ricerca e Sviluppo (2/3)

- ▶ Accanto alla prosecuzione dei progetti già in essere, è prevista la partenza, nel corso del 2006, di una serie di nuovi progetti Europei a partecipazione GARR, sia nell'ambito della connettività internazionale che delle Griglie.
- ▶ **EUMEDGRID**, **EUChinaGRID** e **EU-IndiaGRID** mirano ad un allargamento della infrastruttura di **EGEE** ad aree extraeuropee ritenute strategiche e con cui l'INFN ha rapporti di cooperazione. I primi due hanno appena (20 settembre) concluso positivamente la fase di negoziazione con la Commissione Europea e se ne prevede la partenza per Gennaio 2006, mentre per il terzo si prevedono tempi più lunghi in quanto è ancora in attesa dei risultati del review da parte degli esperti della Commissione.
- ▶ Per quanto riguarda la connettività internazionale, GARR sarà coinvolto nei progetti **AUGERACCESS**, il cui scopo è quello di collegare all'Europa il laboratorio argentino dell'esperimento **AUGER**) ed **ORIENT**, che si propone di creare un link diretto **Francoforte-Shangai**. Anche questi progetti hanno portato a termine la fase di negoziazione con la Commissione e se ne prevede pertanto una rapida partenza.

## Attività' di Ricerca e Sviluppo (3/3)

- ▶ Per questi nuovi progetti, il coinvolgimento GARR prenderà varie forme: da un lato, continuerà l'impegno tradizionale al livello di network, sia in termini di supporto che di ricerca ed innovazione (un caso di particolare interesse sarà in questo senso l'impegno in **EUChinaGRID**, che vede un importante impegno sul fronte dello studio *dell'interoperabilità IPv4-IPv6*, ponendosi come prosecuzione del lavoro fatto all'interno del progetto 6Net, terminato nello scorso giugno); accanto a questo, verranno però enfatizzate le due aree relativamente nuove della disseminazione e del project management.
- ▶ Un discorso a parte riguarda un quarto progetto di griglia, **EGEE2**, che si propone di proseguire il lavoro di **EGEE** (che terminerà i lavori nei primi mesi del 2006). In questo progetto, GARR sarà coinvolto non sotto il profilo tecnico, ma su quello politico e dei requirements. Lo scopo è di nuovo quello di supportare gli utenti GARR che partecipano a EGEE o ne utilizzano l'infrastruttura.
- ▶ Inoltre, GARR continuerà a fornire supporto a quei progetti che coinvolgono suoi utenti (**DEISA**, **JIVE**) e ad essere presente, direttamente o attraverso i suoi gruppi di lavoro, all'interno di numerose task forces di TERENA  
**TF-NGN, TF-PR, TF-CSIRT, TF-VVC, TF-EMC2 e TF-MOBILITY**



# Requirement utenti (1/3)

- ▶ Aggregato degli accessi:
  - BGA: 3Gbps, BEA: 8.2Gbps, LINK: ~30Gbps
  - Occupazione al 95percentile 2,6Gbps
  - Previsto un fattore di crescita' annuale di 1.5
- ▶ Collegamenti per LHC:
  - 1 Tier1(10G) ad INFN-CNAF (dic 2005)
  - NxTier2 (1G) su tutto il territorio nazionale
- ▶ Deisa CINECA Bologna:
  - 1G: 2004
  - 10G: 2006
- ▶ eVLBI: European VLBI Network (EVN)
  - 3x1.5G da Medicina (Bo), Noto (Ct), SRT(Ca)
- ▶ Earth Observation: Frascati e Matera (~1G)
- ▶ Evoluzione a 40Gbps entro il 2008

## Requirement utenti (2/3)

- ▶ Nuove comunita' di utenti
  - MIUR [130 sedi amministrative]
  - AFAM [24 accademie + 40 conservatori] (in fase di definizione)
  - HSH [65] (in fase di completamento)
  - Scuole [~1000] (diversi progetti in corso)
  - MiBAC [20] (studio di fattibilita')
  - IRCCS [~30] (studio di fattibilita')
- ▶ Richiesta di un nuovo modello accesso e di gestione
  - Validazione degli apparati di accesso
  - Sperimentazione delle tecnologie trasmissive
    - xDSL (Digital Subscriber Line)
    - WLL (Wireless Local Loop)

## Requirement utenti (3/3)

- ▶ Trend: utenti soli nella rete (... non abbandonati)
- ▶ End to End: dal campus alla rete WAN in ambito multi-dominio:
  - Griglie, Evlbi, earth observation, sensori geofisica
  - VoIP, VideoConferenza
- ▶ Reti in fibra ottica:
  - nazionale ed internazionale (GEANT2, PIONEER, CESNET, XWIN, SWITCH, SURFNET, etc)
  - Reti metropolitane come rete multi-utente e multi-servizio
  - Stiamo scendendo di livello, verso la fibra.
    - Sempre piu' sedi GARR in 3 anni avranno un accesso in f.o.
  - Accessi 2M rimarranno con un fase-out dell'ATM.
    - Migrazione verso SDH e sempre di piu' verso Ethernet
- ▶ Capillarita': incremento dei punti di presenza della rete
- ▶ Incremento dei collegamenti di peering, sia con le rete della PA che con le reti regionali

# GARR-x (1/2)

## ► Il Progetto di Rete GARR-X

### – infrastruttura ottica proprietaria

- impiego di fibre ottiche in nolo o in IRU dagli operatori o su infrastrutture di rete di campus, metropolitane o regionali, grazie anche a progetti di collaborazione con le istituzioni nazionali (Infratel) e locali (regioni, province, comuni ecc.).
- apparati trasmissivi basati sulle tecnologie di multiplexing Dense Wave Division Multiplexing (DWDM) e Optical Add Drop Multiplexing (OADM) e Enhanced-Synchronous Digital Hierarchy (SDH).

### – Architettura di rete “ibrida”

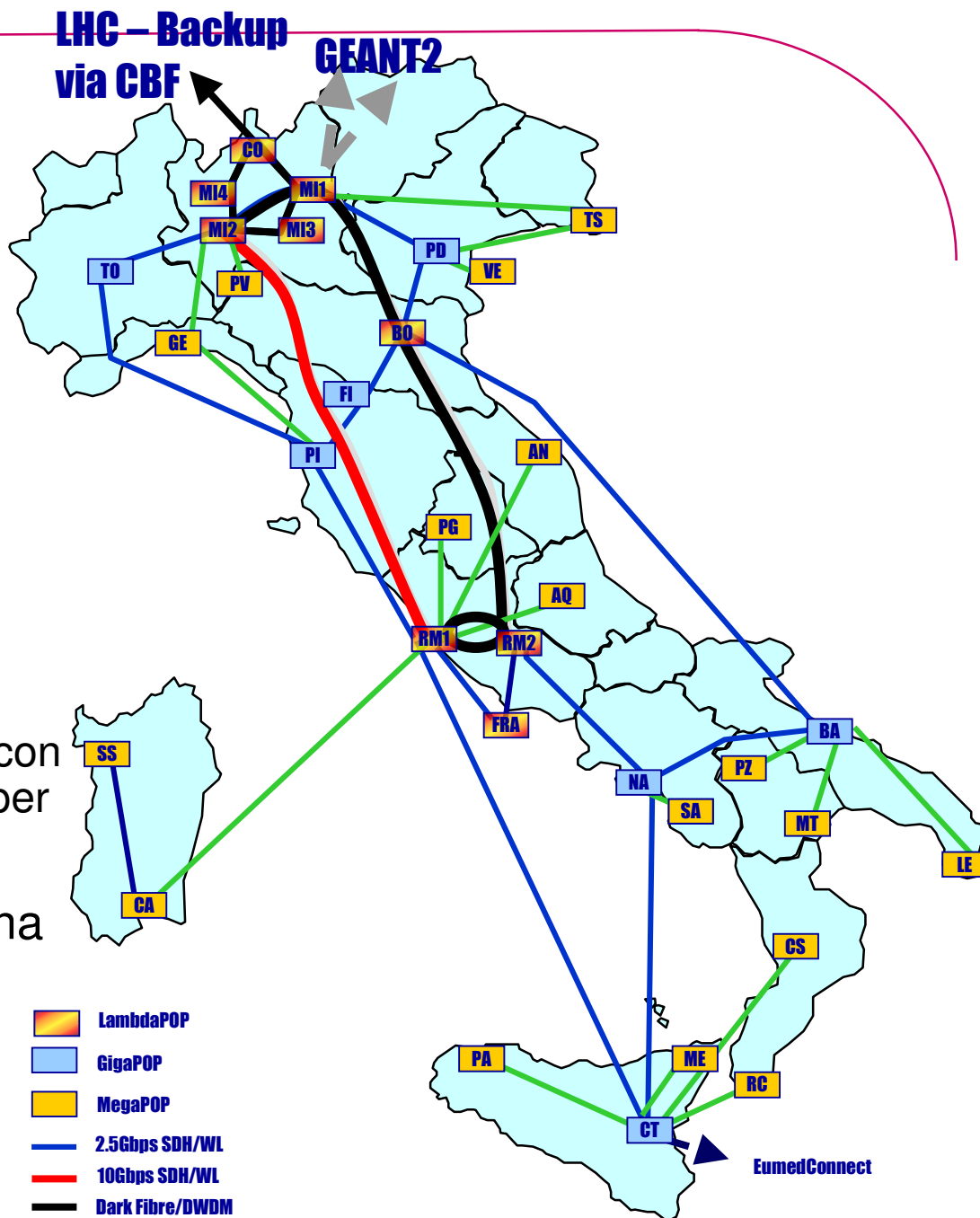
- commutazione di pacchetto : fornita da apparati di routing (di livello 3), con meccanismi come l'MPLS
- commutazione di circuito: erogata con apparati di moltiplicazione come gli OADM (o i più recenti Re-configurable-OADM) o con la moltiplicazione di  $\lambda$

## GARR-x (2/2)

- ▶ GARR-x integrerà:
  - l'infrastruttura trasmissiva SDH con circuiti di tipo LAN (trasporto e switching di VLAN) con qualità di servizio intrinseca, garantita dalla modalità trasmissiva (sincrona)
  - Fornirà connettività IP
  - Fornirà circuiti end-to-end (Bandwidth on Demand)
    - Con VPN (Virtual Private Network)
    - Con Lightpath (eg. cammini ottici dedicati su  $\lambda$ )
    - In modo indipendente dagli operatori di TLC
- ▶ Dova' essere ridefinito una SLA per classi di applicazioni
  - Comprendendo anche la LAN dell'utente
- ▶ Sviluppo di un nuovo sistema di monitoring della QoS:
  - Delay, Jitter, Packet Loss ...
  - ... oltre che dell'usuale parametro relativo ai volumi di traffico
- ▶ Nel progetto GARR-x dovrà essere rivisto anche il modello di gestione della rete alla luce di una struttura più complessa e capillare.

# GARR-G Fase4

- ▶ Preparazione alla rete di nuova generazione
  - GARR-x Pilot
- ▶ Acquisizione di fibra ottica
  - Roma-Bologna-Milano
  - 1000 Km di fibra ottica
  - Utilizzo di apparati DWDM con capacita' di 4x10G iniziale per ogni tratta
- ▶ Sviluppo e integrazione di una infrastruttura di rete complementare a partire dall'iniziativa di **GN2-JRA4 CBF**



# Italy Cross Border Fibres

**Manno**  
**Zurich/CH**

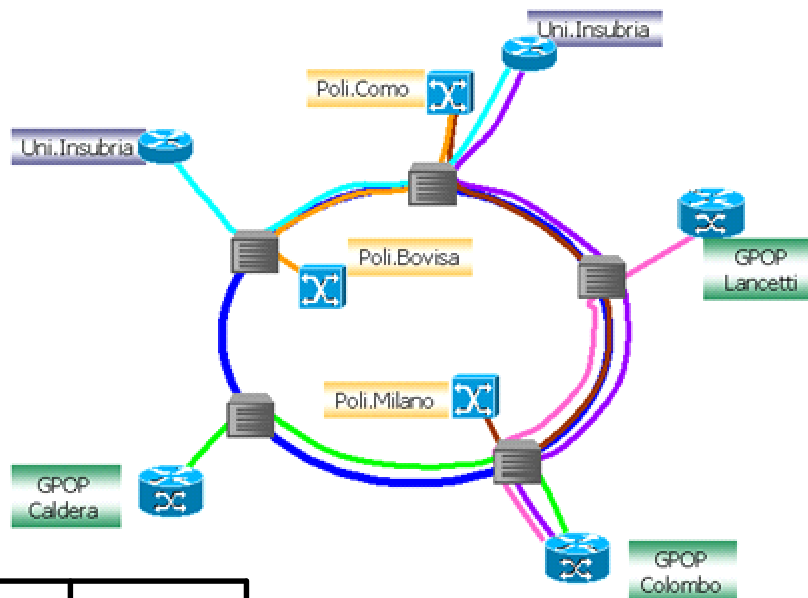
**Ljubljana**



# Anello Metropolitanano: Milano-Como

- ▶ Anello di 130Km in fibra ottica G.652 su 5 sedi
- ▶ La configurazione iniziale 6 lambda fino ad un massimo di 32 lambda
- ▶ Coesistenza di accessi utente G/ETH protetti e lambda a 2.5Gbps SDH non protette
- ▶ Predisposizione per la crescita a 10Gbps

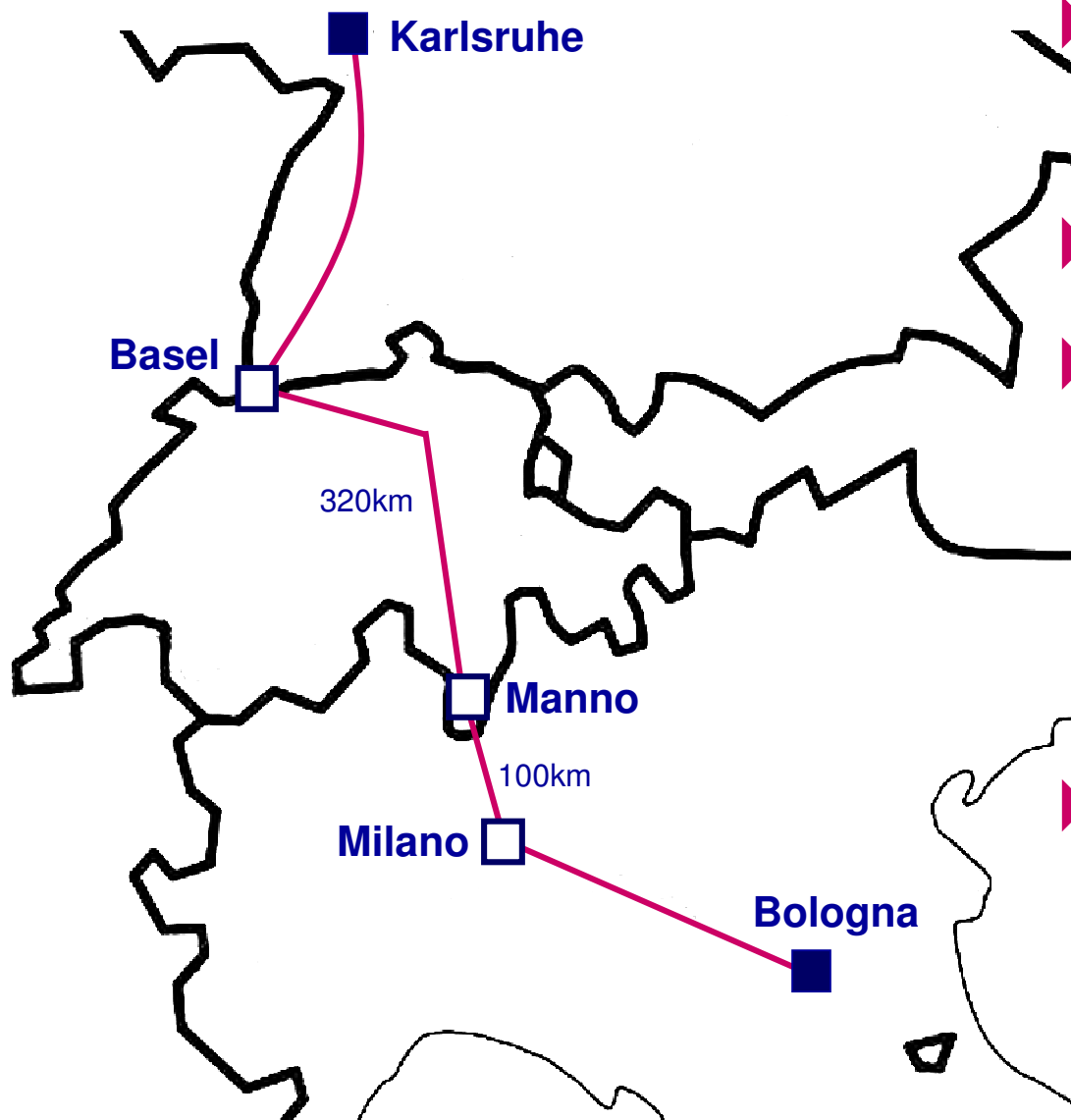
*Singole lambda fase I*



NODO	Lancetti	Caldera	Colombo	Bovisa	Como
Lancetti	x	---	8 km	---	43 km
Caldera	---	x	15 km	13 km	---
Colombo	8 km	15 km	x	---	---
Bovisa	---	13 km	---	x	43 km
Como	43 km	---	---	43 km	x



## CBF: Bologna-Milano-Manno-Basel-Karlsruhe



▶ 3 nazioni (CH solo come transito)

▶ 3 NRENs

▶ 4 segmenti di rete con apparati diversi

▶ MONITORING ???

# Conclusioni

- ▶ La rete GARR-G e' over-provisioned, questo paradigma diventera' ancora piu' evidente con l'ulteriore evoluzione verso l'infrastruttura ottica proprietaria.
- ▶ Introduzione di cammini ottici dedicati end-to-end
- ▶ Rete sempre di piu' multiservizio
- ▶ Maggiore affidabilita' e controllo costante della QoS
- ▶ L'evoluzione della rete continua, analogamente a quanto e' accaduto per GARR-G, il contributo degli utenti finali sara' di stimolo in questa fase di cambiamento

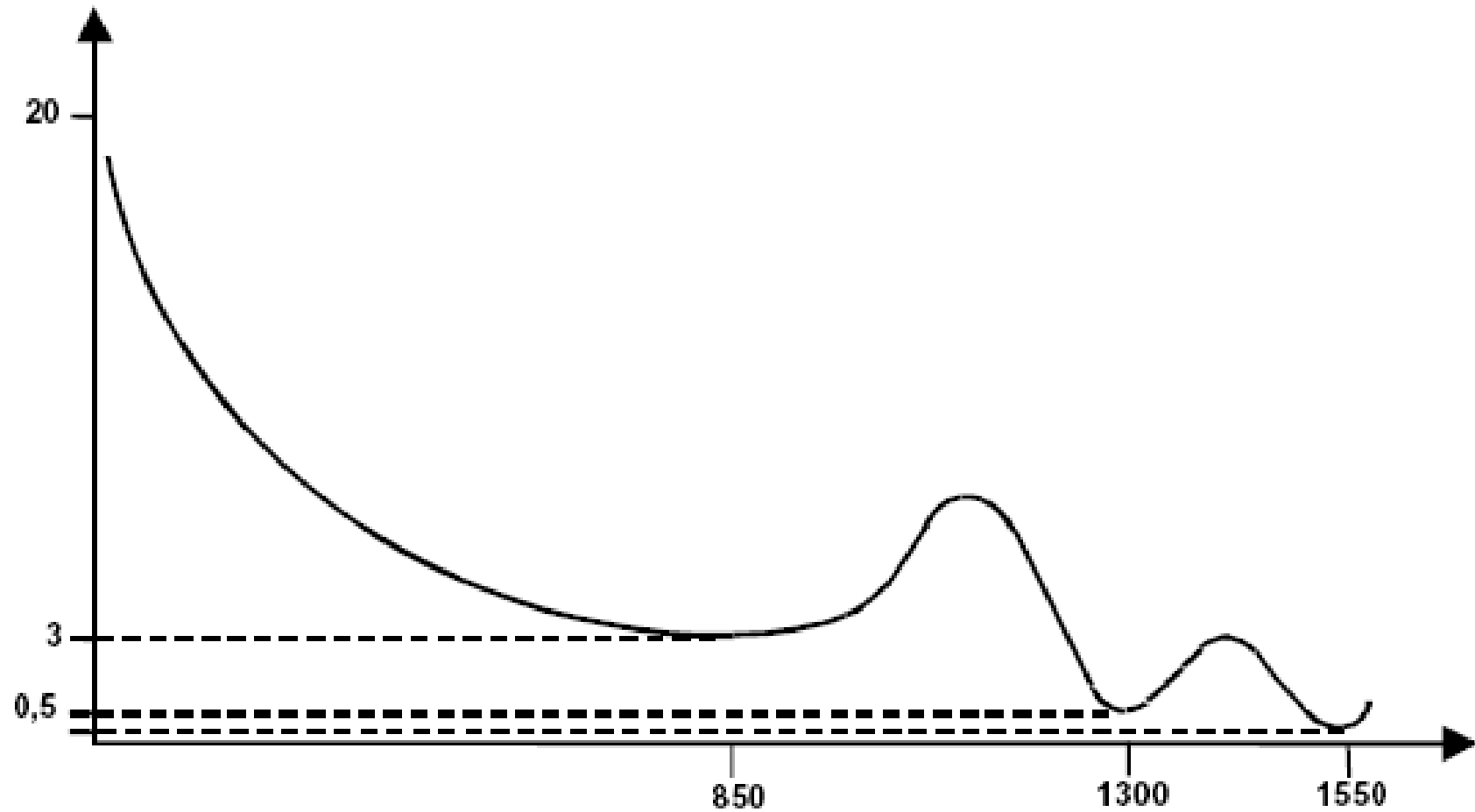
*Massimo.Carboni@garr.it*



## ***Slide Aggiuntive***

# Attenuazione

Attenuation, dB/km



# WDM

## D-WDM

Optimized for bandwidth

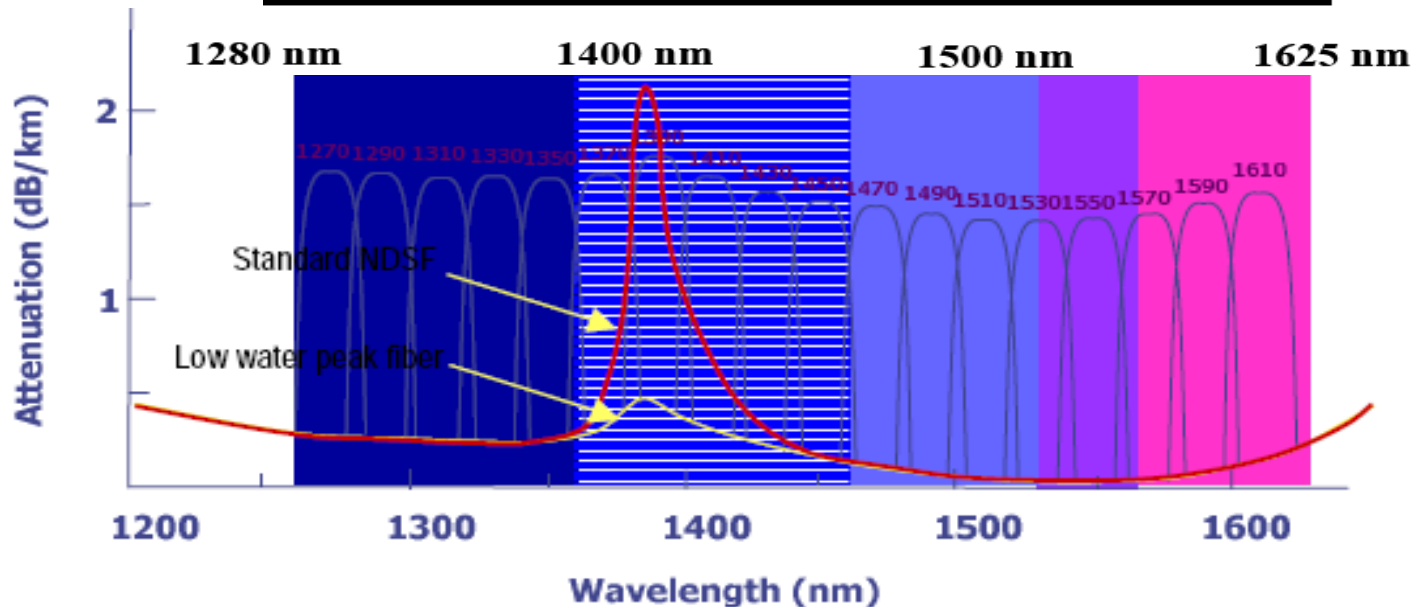
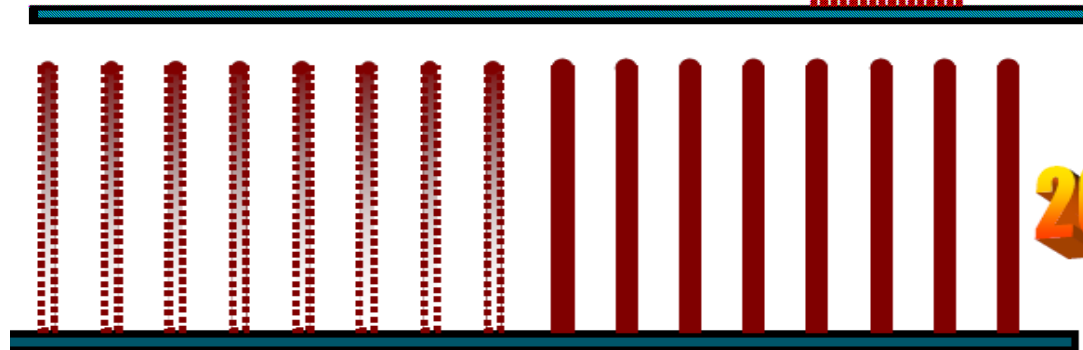
ITU-T G.692/G.694.1

## C-WDM

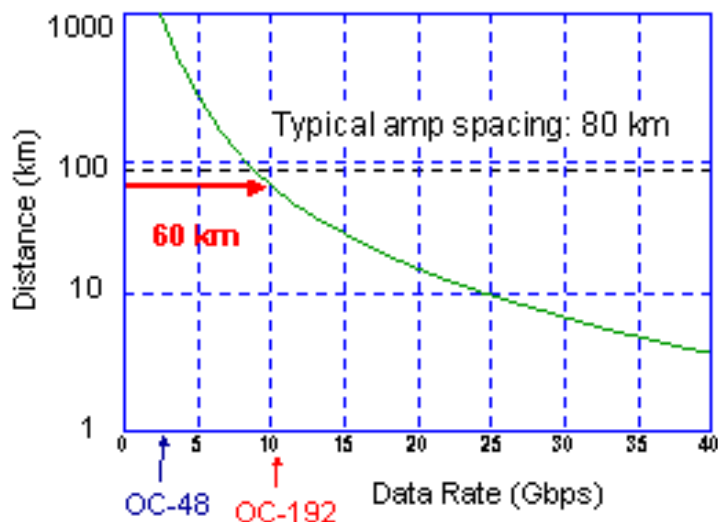
Optimized low-cost

ITU-T G.694.2

C band



## Dispersion Limits



Receiver Tolerance to CD	
Capacity	Tolerance
2.5 Gb/s	16,000 ps/nm
10 Gb/s	1000 ps/nm
40 Gb/s	60 ps/nm

## Dispersion Limits in Fiber Networks

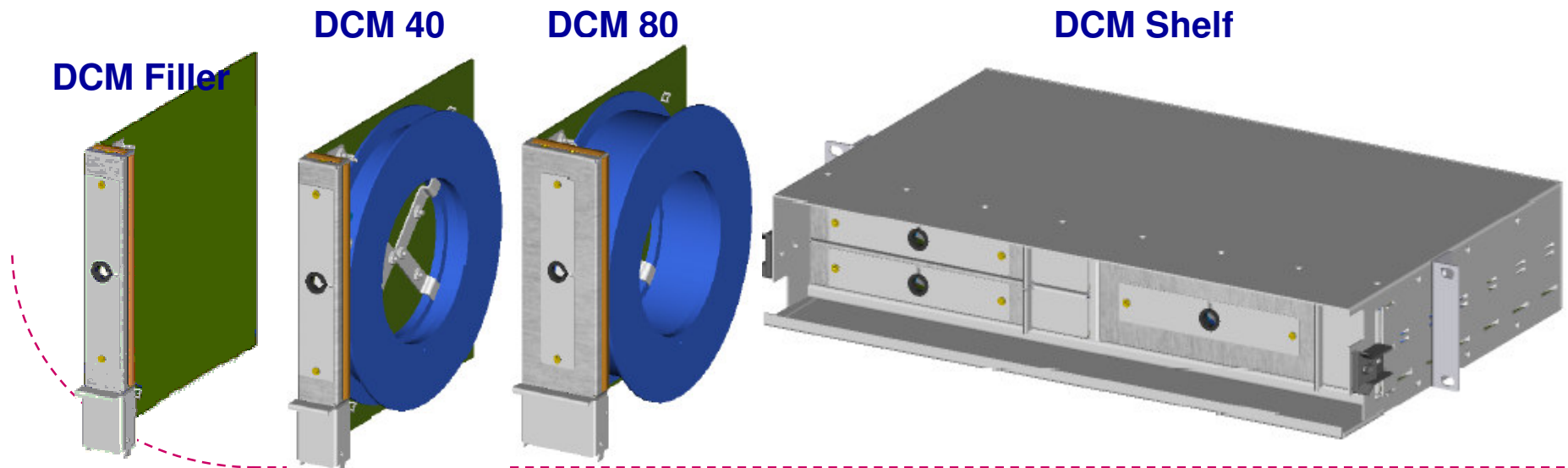
- Tradeoff between capacity and distance is a fundamental property of all WDM systems
- WDM systems are engineered to deliver the best OSNR possible for a given distance
- Good WDM system design maximizes the product of capacity and distance
- Extending the transmission reach using dispersion compensation can save carriers \$\$ in regeneration costs allowing use of legacy fiber plant for 10 and 40 Gb/s transmission
- As the data rate increases the system tolerance to dispersion decreases drastically

# Dispersion Compensation (DWDM)

For 10G networks, chromatic dispersion compensation is necessary when network dispersion exceeds the dispersion specifications of [10G] receivers.

WSM compensates for chromatic dispersion using dispersion compensation modules (DCM's) shown below. DCM's are placed in the mid-stage of the OLD with 3020 EDFA and MSA. Dispersion compensation may also be used to extend the reach of networks with 2.5G DML transmitters. DCM's are used to compensate dispersion to between +60 km and -20 km for any received channel in a multi-span network.

- The DCM 40 compensates for 40 km of chromatic dispersion on standard SMF (18 ps/nm)
- The DCM 80 compensates for 80 km of chromatic dispersion on standard SMF (18 ps/nm)





## Perche' Sonet/SDH

# SONET/SDH

## ▶ SONET

- ANSI Standard
- Deployed in North America
- STS-1 = 51.840 Mb/s

## ▶ SDH

- ITU-T Standard
- Deployed throughout rest of world
- STS-3c/VC-4 = 155.52 Mb/s

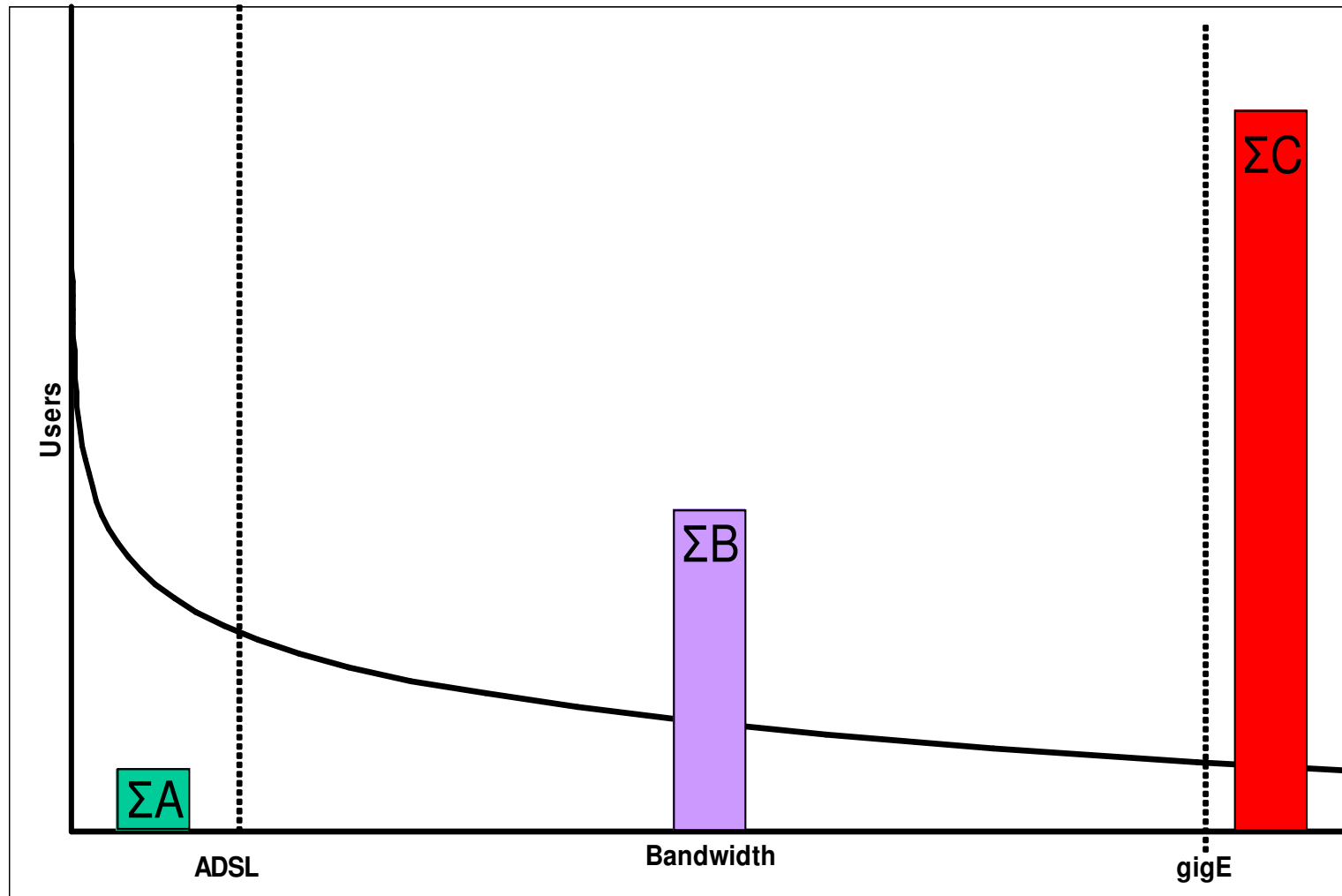
## Time Division Multiplexing (TDM)

- ▶ Allows multiple independent logical circuits to be provisioned over one physical circuit:
    - 4 x VC-4-16c (2.4 Gb/s)
    - 16 x VC-4-4c (622 Mb/s)
    - 64 x VC-4 (155 Mb/s)
    - 192 x VC-3 (51 Mb/s)
- VC-4-64c (10 Gb/s)
- ▶ Time-slots are pre-allocated to the channels, rather than arbitrated on a per-time slot basis.

# Transporting Ethernet

- ▶ Currently use non-standard contiguous concatenation VC-4-8C (1244 Mb/s) per gigE channel.
- ▶ Maximum 8 gigE channels per STM-64
- ▶ New technology soon:
  - GFP-F
  - VCAT
  - LCAS
- ▶ Will allow 9 transatlantic gigE channels!

# Bandwidth Categories

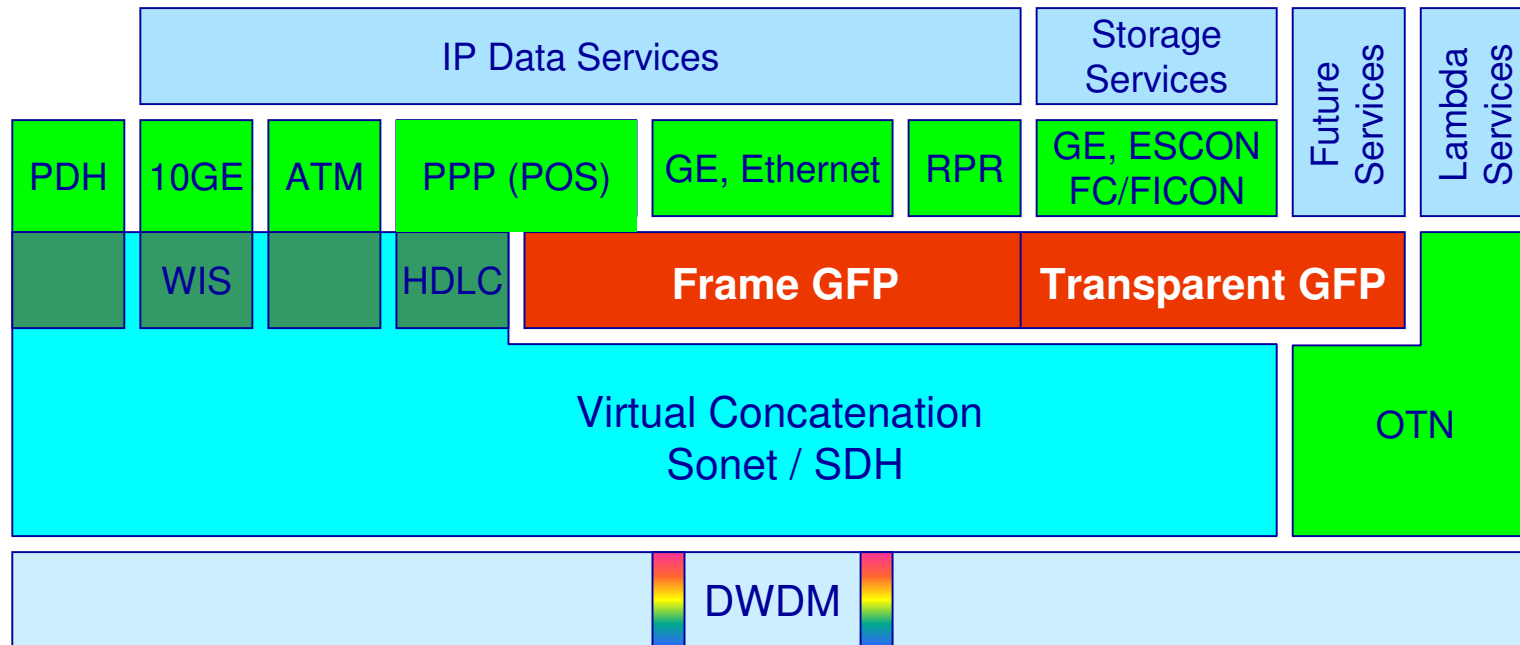


# Routing is Not Mandatory!

- ▶ High bandwidth circuits are affordable.
- ▶ Router linecards are expensive and becoming more so.
- ▶ Optical = 10% Switching = 10% Routing
- ▶ High bandwidth, persistent circuits connecting a few sites require switching gear.
- ▶ Most switching should be Layer I.

## ***Come si realizza l'ottimizzazione***

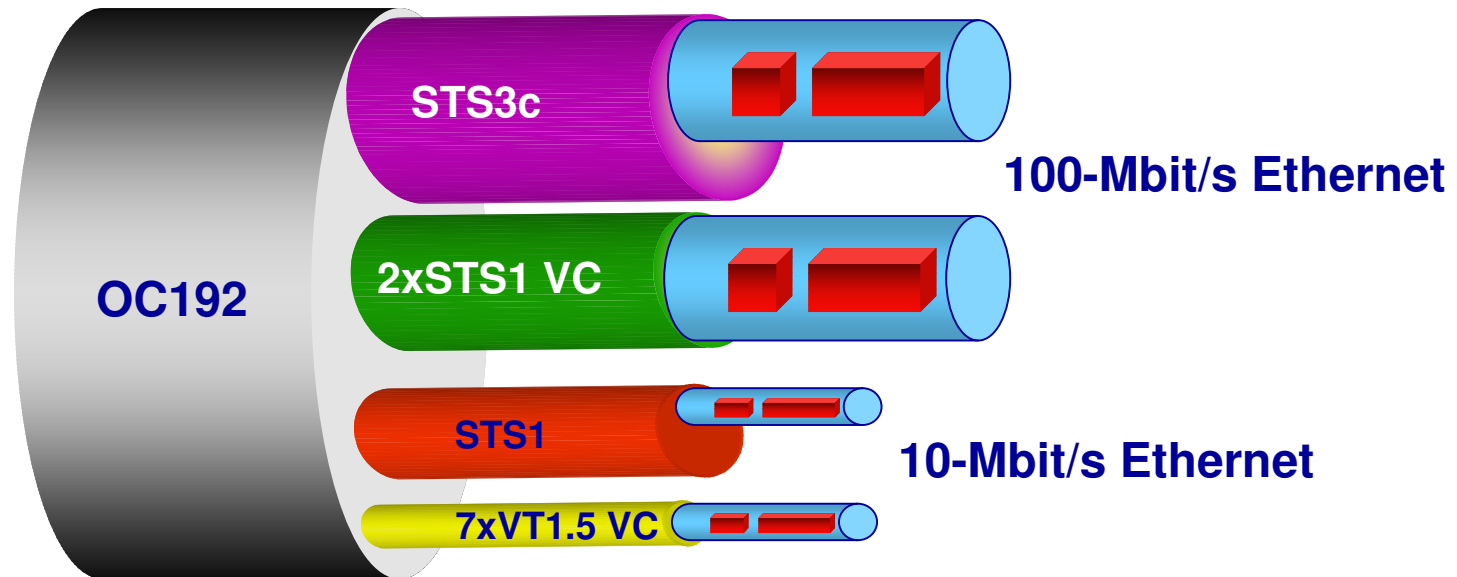
## Enabling Technologies: Generic Framing Procedure (GFP)



- ▶ Carriers required new, more broadly applicable method of mapping new services to their transport networks
- ▶ Packet-over-Sonet, native Ethernet, Fiber Channel, ESCON & Resilient Packet Ring (RPR) all map to SDH/Sonet equipment using GFP



## Enabling Technologies: *Virtual Concatenation*



- Radically improves data/Ethernet transport efficiency
- More granular than typical Sonet concatenations with full legacy Sonet compatibility
- *Dynamically* created N x STS1 or N x VT1.5 Sonet channels for Ethernet transport (N = 1, 2, 3...)

# Optimization for Data

- ▶ **Bandwidth Granularity Issues**
  - Ethernet rates are 10 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1Gbit/s, 10Gbit/s
  - Common private line rates are:
    - North America DS-1 (1.5M), DS-3 (45M),
    - Europe, E1 (2M) E4 (140M)
    - Global, OC-3/STM-1 (150M), STM-4 (600M), STM-16 (2.5G)
- ▶ **Other Issues in WAN Data Transport**
  - Frame Relay does scale to higher speeds
  - Proprietary solutions not interoperable
- ▶ **Need for more efficient transport of data traffic (packet) in SONET/SDH and OTN networks.**

# New Standardized Capabilities

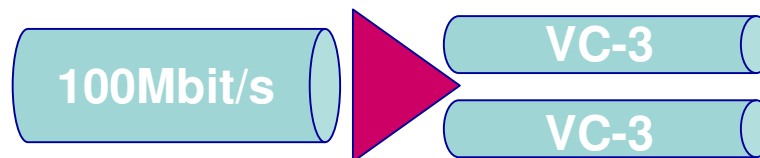
1. Bandwidth Granularity Issues addressed by
  - a. Virtual Concatenation (VCat) [1]
    - Provides flexible channel capacities in transport networks
    - Defined for SONET/SDH and OTN
  - b. Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) [2]
    - Procedures that enable concatenated payloads to be changed dynamically and non-disruptively.
    - Builds on Virtual Concatenation capabilities
2. Generic Framing Procedure (GFP) [3] to replace proprietary mappings
  - Simple and robust encapsulation method for packet traffic
  - Standardized mappings to SONET/SDH and OTN.
  - Reduces need for diversity of mappings

**VCat+LCAS+GFP = New transport plane capabilities**

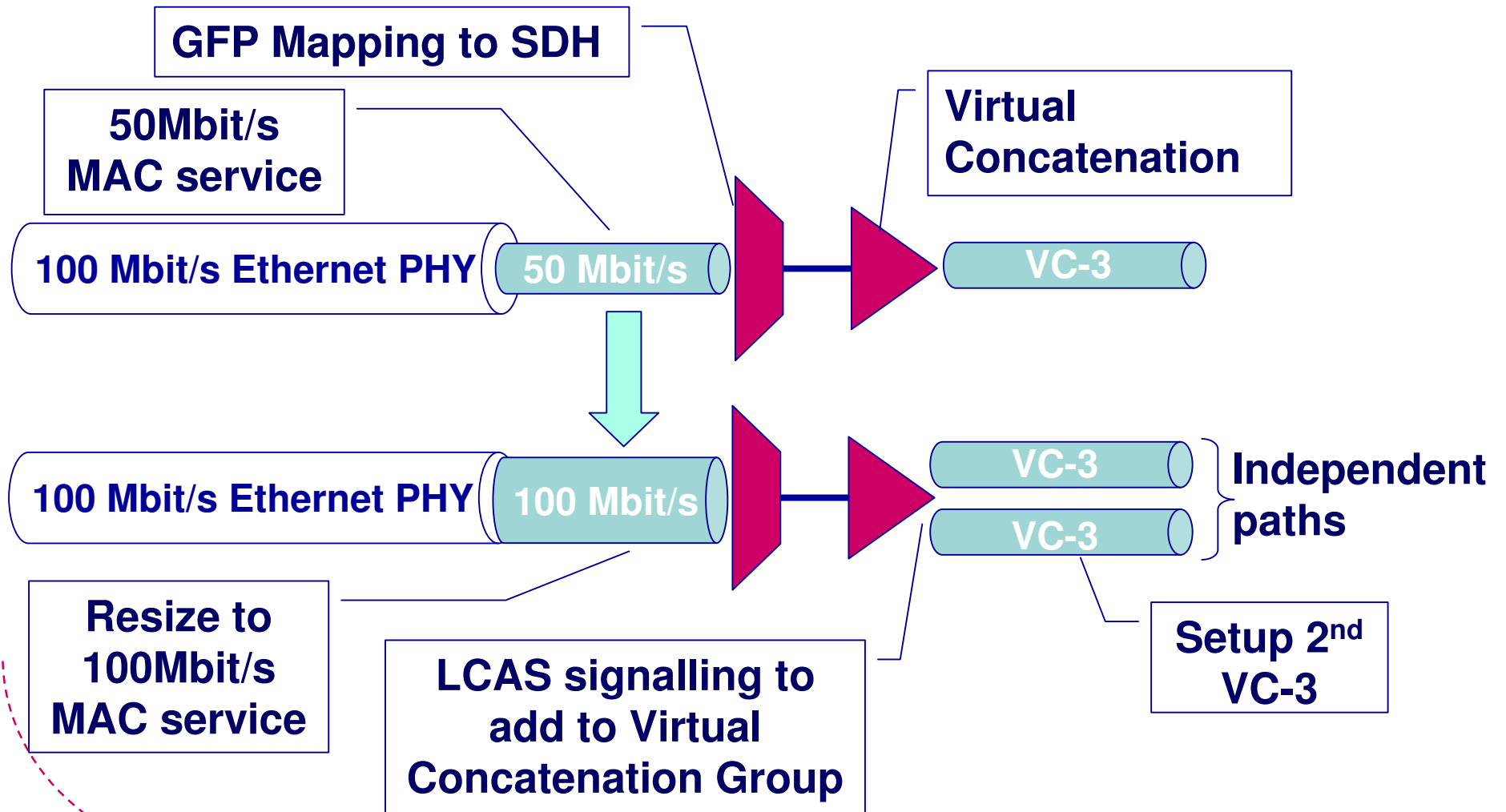
# Bandwidth Granularity Example

► Table 2 from [6]

Bit Rate	Without SDH Virtual Concatenation	With SDH Virtual Concatenation
10Mbit/s	VC-3 (20%)	VC-12-5v (92%)
100Mbit/s	VC-4 (67%)	VC-3-2v (100%)
200Mbit/s	VC-4-4c (33%)	VC-3-4v (100%)
1Gbit/s	VC-4-16c (42%)	VC-4-7v (95%)



# VCat + LCAS+GFP Example



## Extra Slides 2

# Info Valente

- ▶ Trend: utenti soli nella rete.
- ▶ E2E: dal campus, wan, multi-domain
- ▶ Le applicazioni di griglia
  - Evlbi, earth observation, sensori geofisica
  - VoIP, VideoConferenza
- ▶ Reti in fibra ottica....
  - Reti metropolitane come rete multi-utente e multi-servizio
- ▶ Incremento dei punti di presenza della rete.
  - Oggi univ. e research centre
- ▶ Impatto riguardante la sicurezza legata alle nuove applicazioni
- ▶ Stiamo scendendo di livello, verso la fibra.
  - Tutte le sedi GARR in 3 anni avranno accesso in f.o. alla rete.
- ▶ Accessi 2M rimarranno con un fase-out dell'ATM.
  - Migrazione verso SDH e sempre di piu' verso Ethernet

# GARR-x: the Next Generation Network

- ▶ GARR-x sarà basata su:
  - una infrastruttura ottica proprietaria (IRU)
  - apparati trasmissivi DWDM e (R)OADM.
  - Le fibre ottiche potranno essere fornite in nolo o in IRU dagli operatori o messe a disposizione dagli utenti su infrastrutture di rete di campus, metropolitane o regionali, grazie anche a progetti di collaborazione con le istituzioni nazionali (Infratel) e locali (regioni, province, comuni)
- ▶ Per arrivare in casa degli utenti (ultimo miglio), laddove non sia possibile arrivare con infrastrutture ottiche, verranno adottate soluzioni basate sulla fornitura di circuiti da parte degli operatori di TLC. In ambito urbano o di campus verranno inoltre prese in esame le tecnologie di tipo wireless (Wireless Local Loop o WLL).
- ▶ L'architettura di rete GARR-x sarà un'architettura "ibrida", che fonde commutazione di circuito e di pacchetto. La commutazione di pacchetto sarà fornita da apparati di routing (di livello 3) mentre la commutazione di circuito potrà essere erogata con apparati di multiplazione come gli OADM (o i più recenti Re-configurable-OADM) o con la multiplazione di  $\lambda$  lambda. Sulla infrastruttura proprietaria il GARR sarà in grado di integrare l'infrastruttura trasmissiva SDH con circuiti di tipo LAN (trasporto e switching di VLAN) e potrà fornire ai propri utenti oltre alla connettività IP anche circuiti e servizi end-to-end, mediante la configurazione di reti private virtuali (VPN) e di cammini dedicati (anche su  $\lambda$  lambda), modulando le riconfigurazioni della rete in funzione delle reali esigenze.
- ▶ L'evoluzione della rete prevede anche la definizione di Service Level Agreement (SLA) per classi di applicazioni/servizi e quindi lo sviluppo di un efficace sistema di monitoring in grado di garantire il controllo dell'infrastruttura e delle funzionalità anche in ambiente multidominio e il monitoring costante e distribuito dei parametri di QoS (RTT, Delay, Packet loss) nonché il controllo dell'accesso e dell'utilizzazione delle risorse di rete.
- ▶ Nel progetto GARR-x dovrà essere rivisto anche il modello di gestione della rete alla luce di una struttura più complessa e capillare.
- ▶ Sulla base del *Progetto di rete GARR-x* il Consortium GARR procederà alla formulazione del capitolato di gara per la fornitura della connettività (fibre ottiche e circuiti) e per l'acquisto e la gestione operativa degli apparati trasmissivi.



## Extra Slides 3

# WDM

# D-WDM

Optimized for bandwidth

ITU-T G.692/G.694.1

# WDM

C band

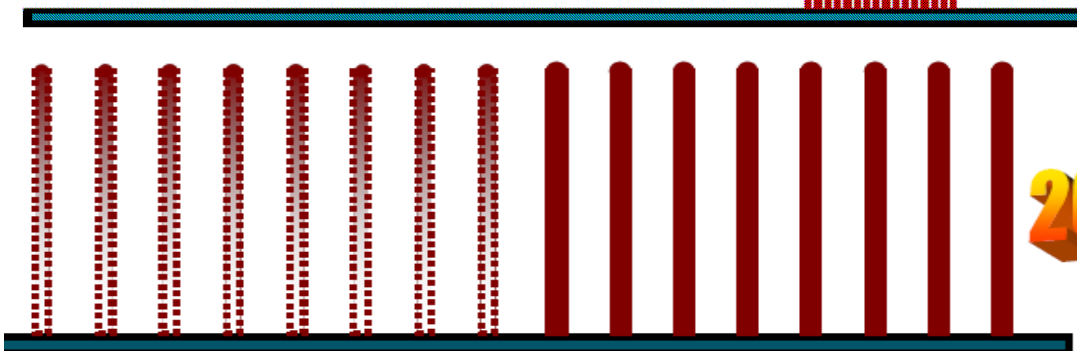


0.8 nm

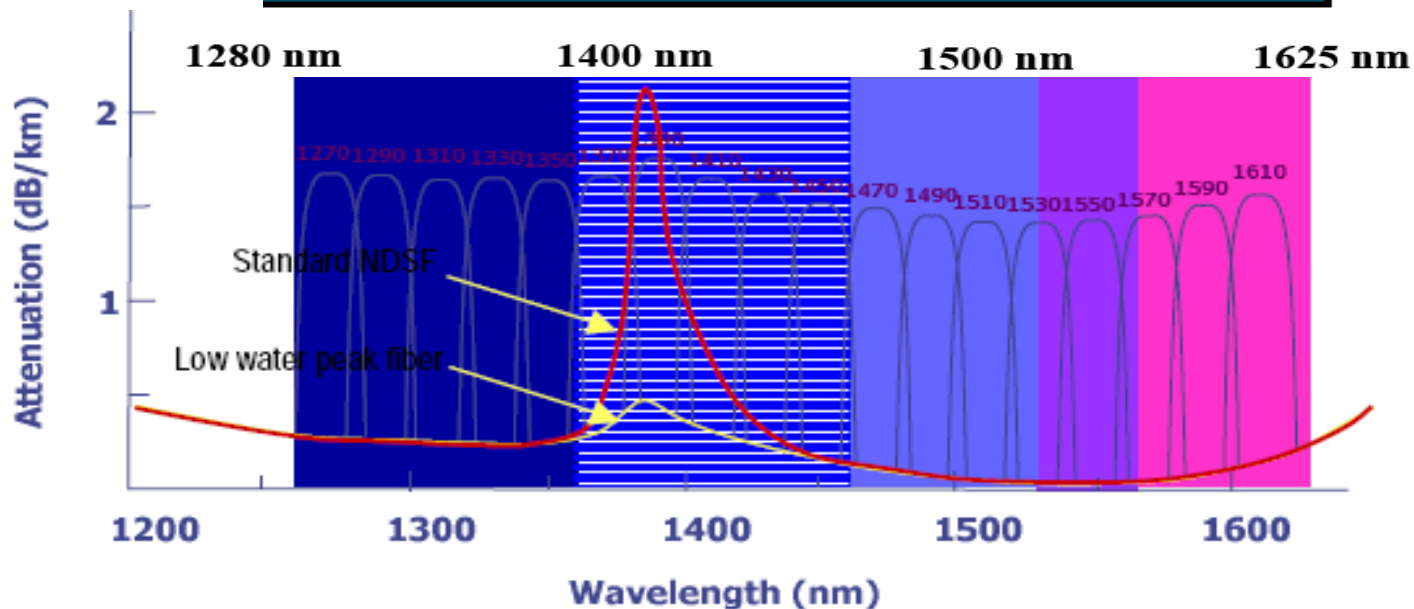
# C-WDM

Optimized low-cost

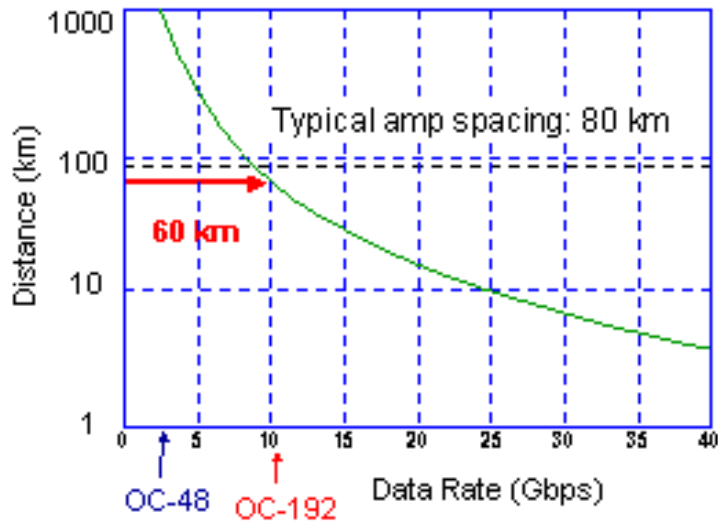
ITU-T G.694.2



20 nm



## Dispersion Limits



### Receiver Tolerance to CD

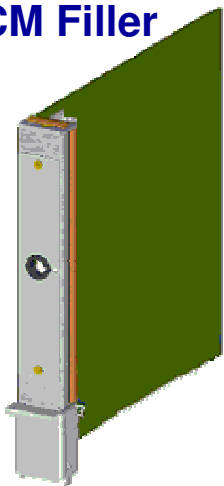
Capacity	Tolerance
2.5 Gb/s	16,000 ps/nm
10 Gb/s	1000 ps/nm
40 Gb/s	60 ps/nm

## Dispersion Limits in Fiber Networks

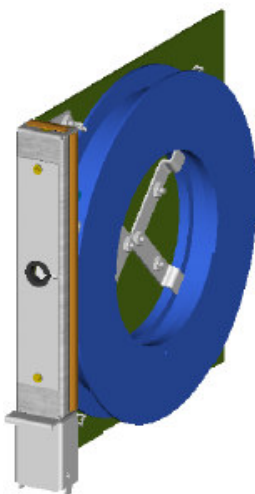
- Tradeoff between capacity and distance is a fundamental property of all WDM systems
- WDM systems are engineered to deliver the best OSNR possible for a given distance
- Good WDM system design maximizes the product of capacity and distance
- Extending the transmission reach using dispersion compensation can save carriers \$\$ in regeneration costs allowing use of legacy fiber plant for 10 and 40 Gb/s transmission
- As the data rate increases the system tolerance to dispersion decreases drastically

# Compensazione cromatica (DWDM)

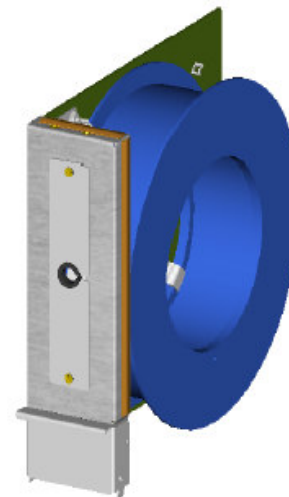
DCM Filler



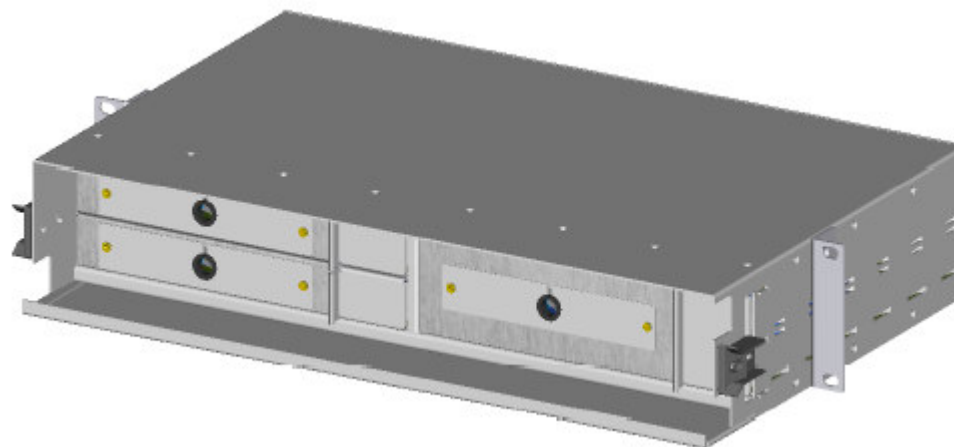
DCM 40



DCM 80



DCM Shelf



## Perche' Sonet/SDH

# SONET/SDH

## ▶ SONET

- ANSI Standard
- Deployed in North America
- STS-1 = 51.840 Mb/s

## ▶ SDH

- ITU-T Standard
- Deployed throughout rest of world
- STS-3c/VC-4 = 155.52 Mb/s

## Time Division Multiplexing (TDM)

- ▶ Allows multiple independent logical circuits to be provisioned over one physical circuit:

- 4 x VC-4-16c (2.4 Gb/s)

- 16 x VC-4-4c (622 Mb/s)

- 64 x VC-4 (155 Mb/s)

- 192 x VC-3 (51 Mb/s)

} VC-4-64c (10 Gb/s)

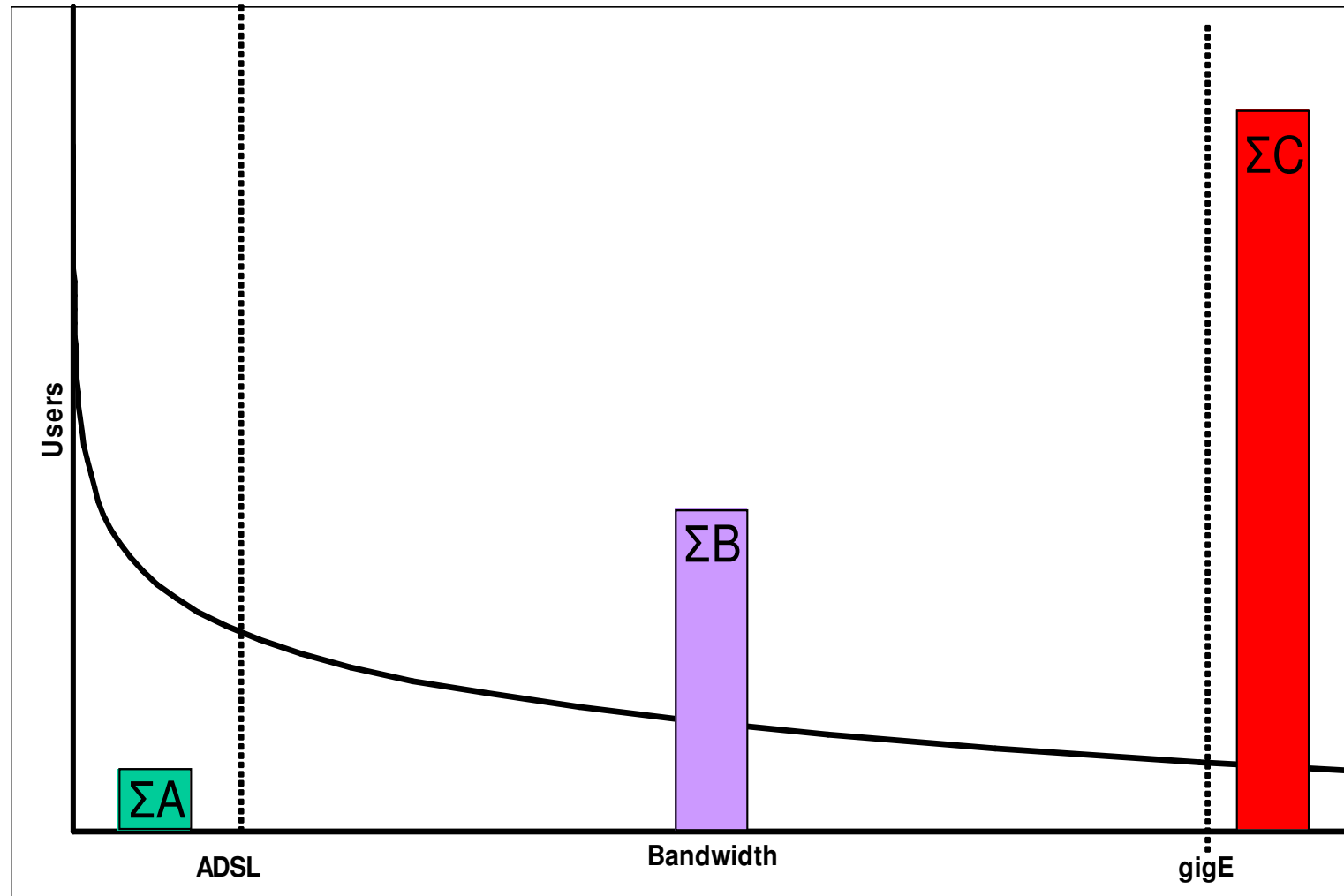
- ▶ Time-slots are pre-allocated to the channels, rather than arbitrated on a per-time slot basis.



## Transporting Ethernet

- ▶ Currently use non-standard contiguous concatenation VC-4-8C (1244 Mb/s) per gigE channel.
- ▶ Maximum 8 gigE channels per STM-64
- ▶ New technology soon:
  - GFP-F
  - VCAT
  - LCAS
- ▶ Will allow 9 transatlantic gigE channels!

# Bandwidth Categories



# Routing is Not Mandatory!

- ▶ High bandwidth circuits are affordable.
- ▶ Router linecards are expensive and becoming more so.
- ▶ Optical = 10% Switching = 10% Routing
- ▶ High bandwidth, persistent circuits connecting a few sites require switching gear.
- ▶ Most switching should be Layer I.