

Link in fibra ottica Torino-Firenze per confronti remoti di frequenza ad alta accuratezza

C. Clivati^{1,2}, D. Calonico², A. Mura², F. Levi², G. A. Costanzo¹, N. Poli³, A. Godone¹

¹Politecnico di Torino

²INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica - Torino

³Dipartimento di Fisica e Astronomia Università di Firenze e LENS



Realizzato con i fondi della



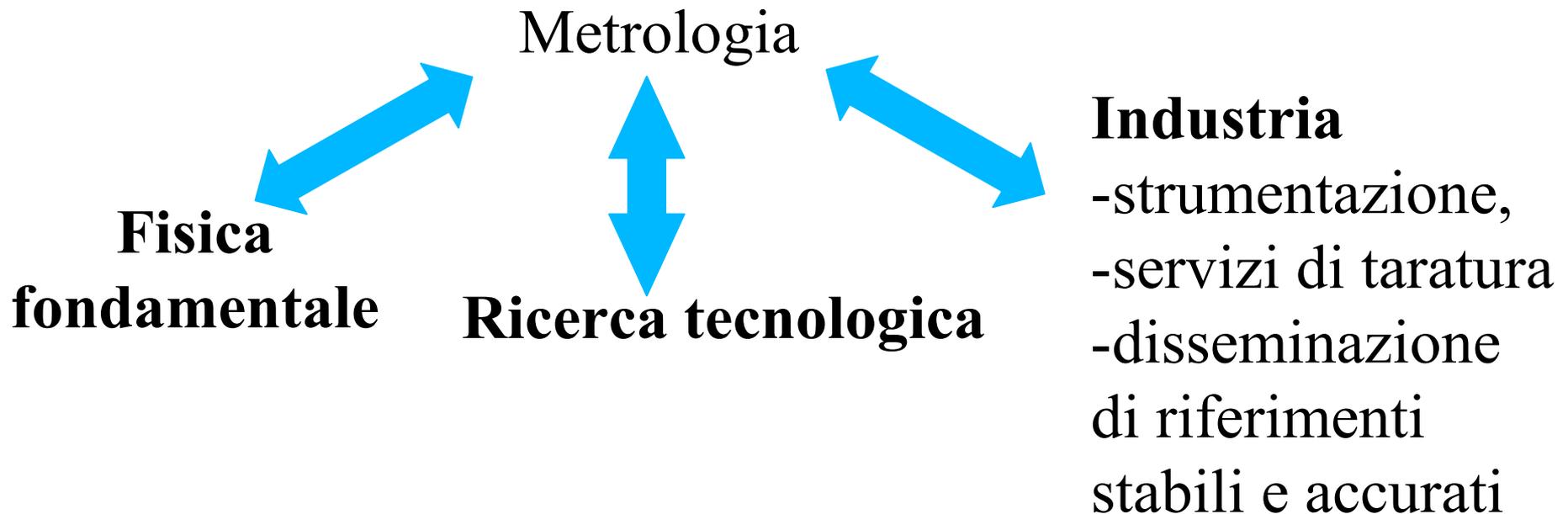
Istituto Metrologico Nazionale in Italia



Si occupa della

- Definizione,
- Realizzazione
- Disseminazione

Delle unità di misura del **Sistema Internazionale**



Metrologia di Tempo e Frequenza

L'INRIM realizza la definizione del Secondo:

*Il secondo è la durata di **9 192 631 770** periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.*

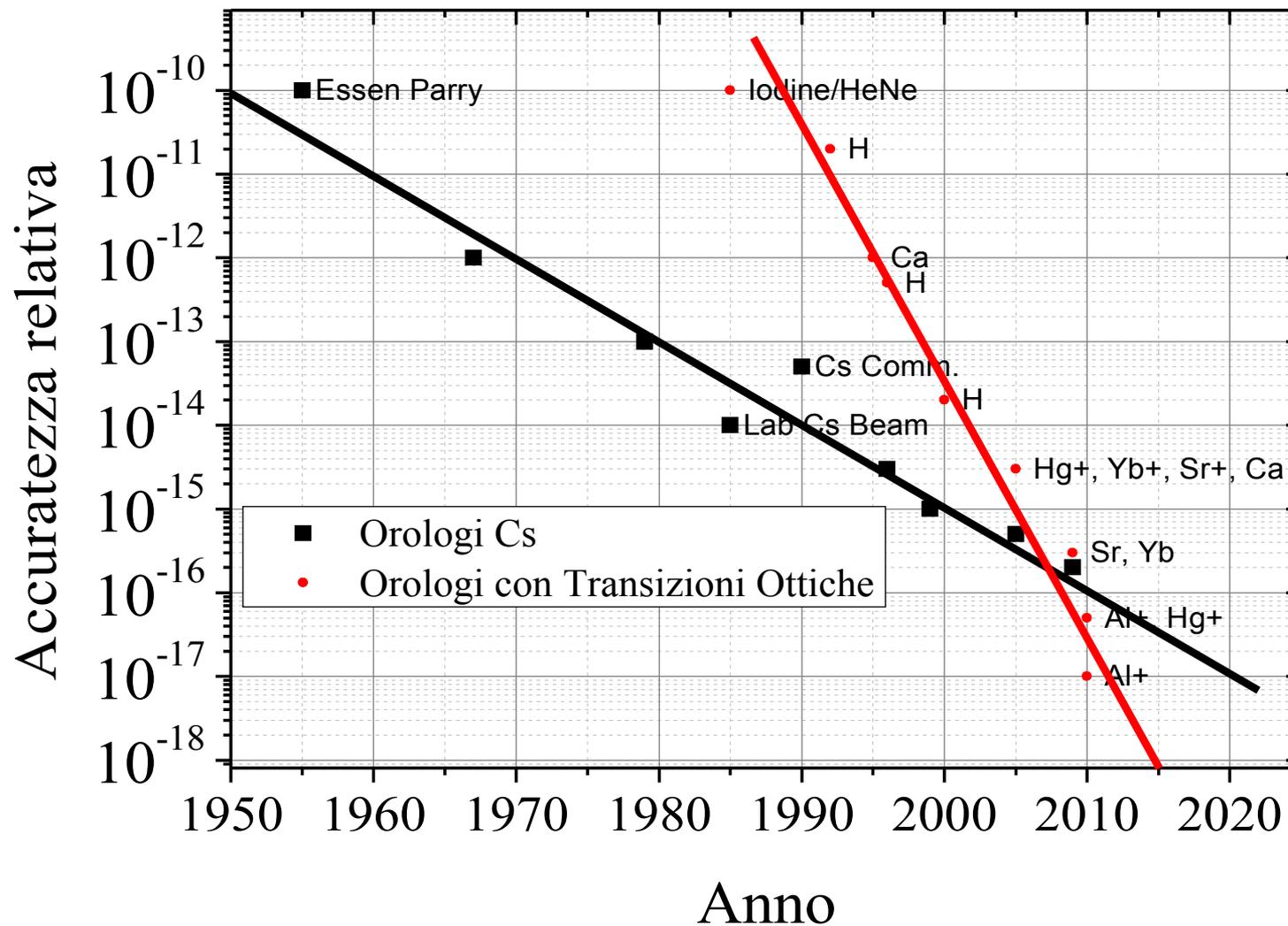
Il segnale disseminato è utilizzato per:

- **Scala di tempo internazionale, ora legale in Italia**
- **Esperimenti di Fisica fondamentale (Relatività, Modello Standard), Fisica Atomica, Radioastronomia, Spettroscopia**
- **Sincronizzazione e calibrazione di sistemi di Navigazione Satellitare**
- **Industria Spaziale e delle Telecomunicazioni**



Orologio Atomico a fontana di Cesio ITCs-F1 all'INRIM

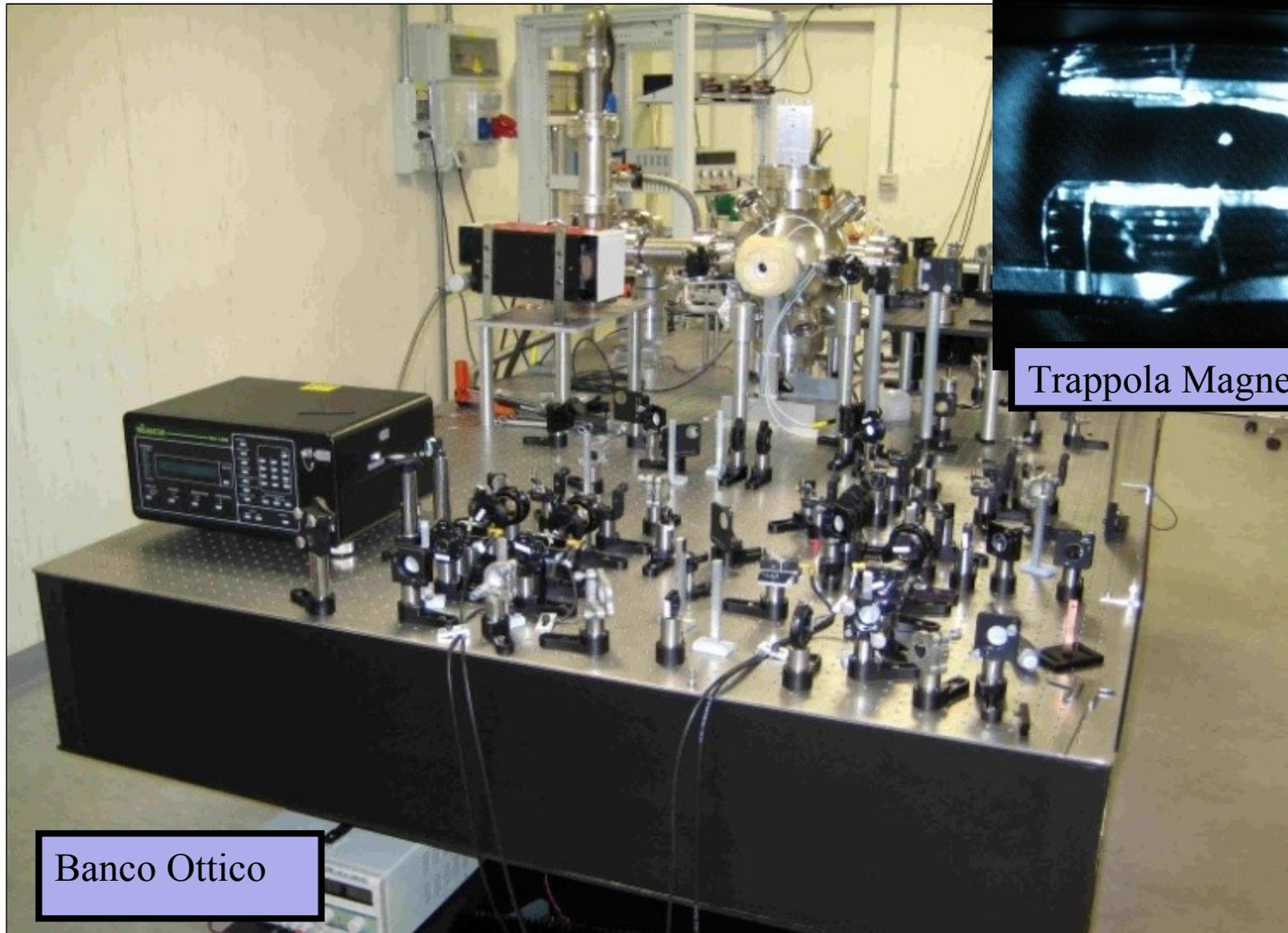
Verso la ridefinizione del Secondo con gli orologi ottici



Orologio a Fontana di Cesio IT-CsF2 all'INRIM



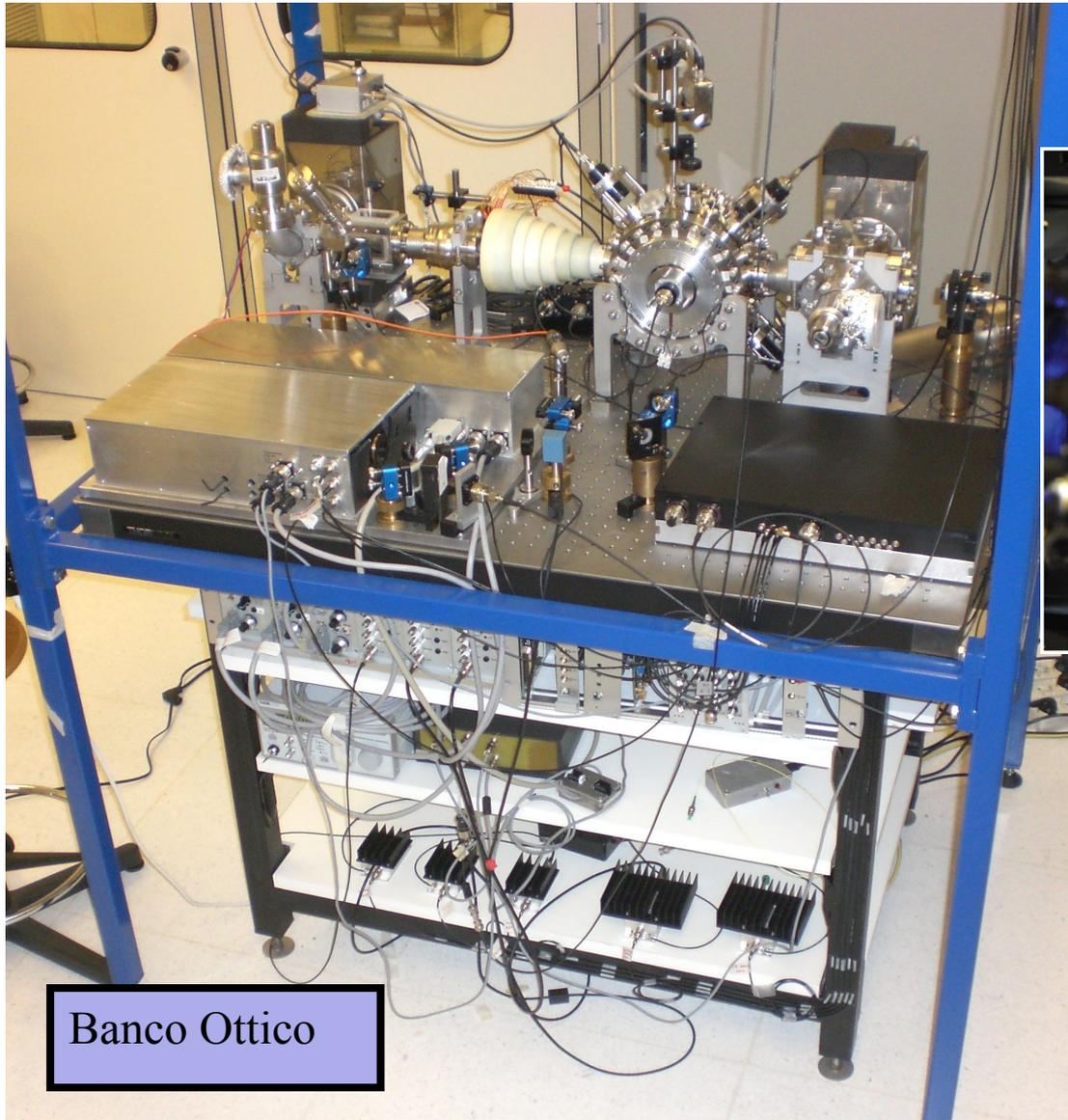
Orologio Ottico a Atomi di Itterbio all'INRIM



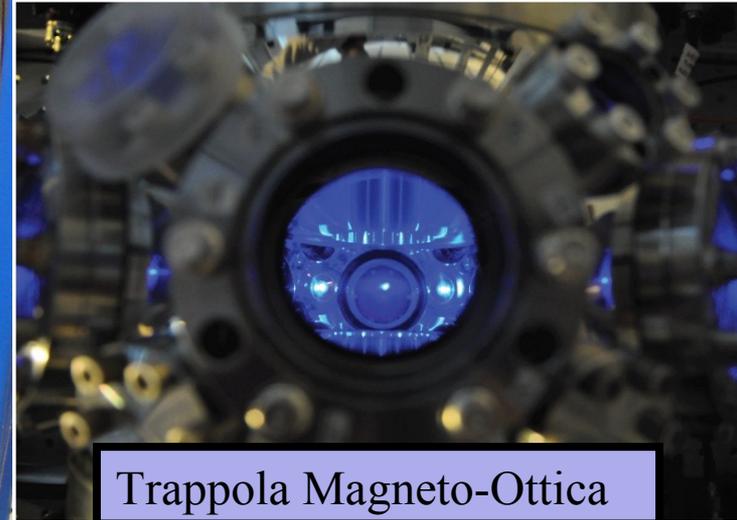
Trappola Magneto-Ottica

Banco Ottico

Orologio Ottico a Atomi di Stronzio al LENS

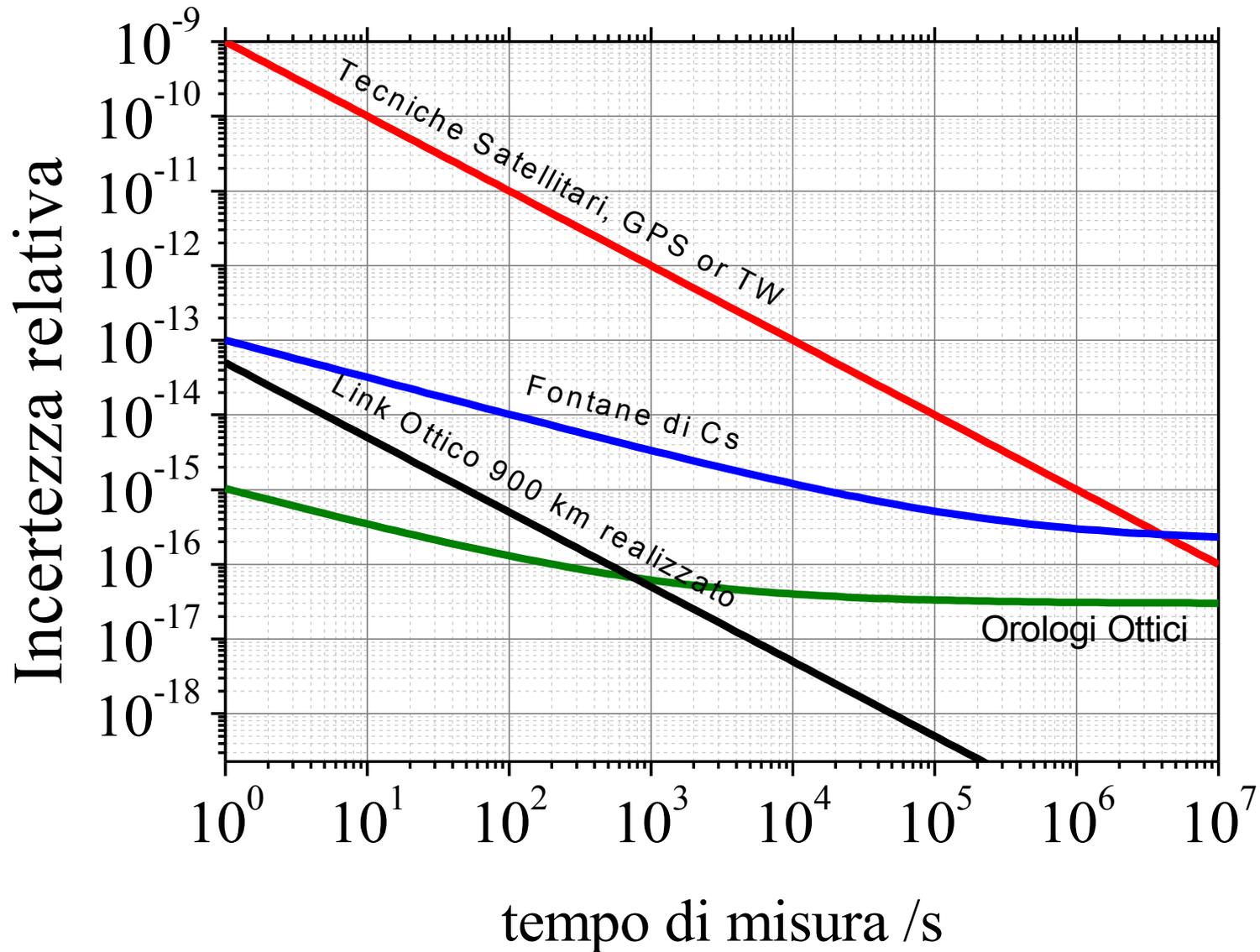


Banco Ottico

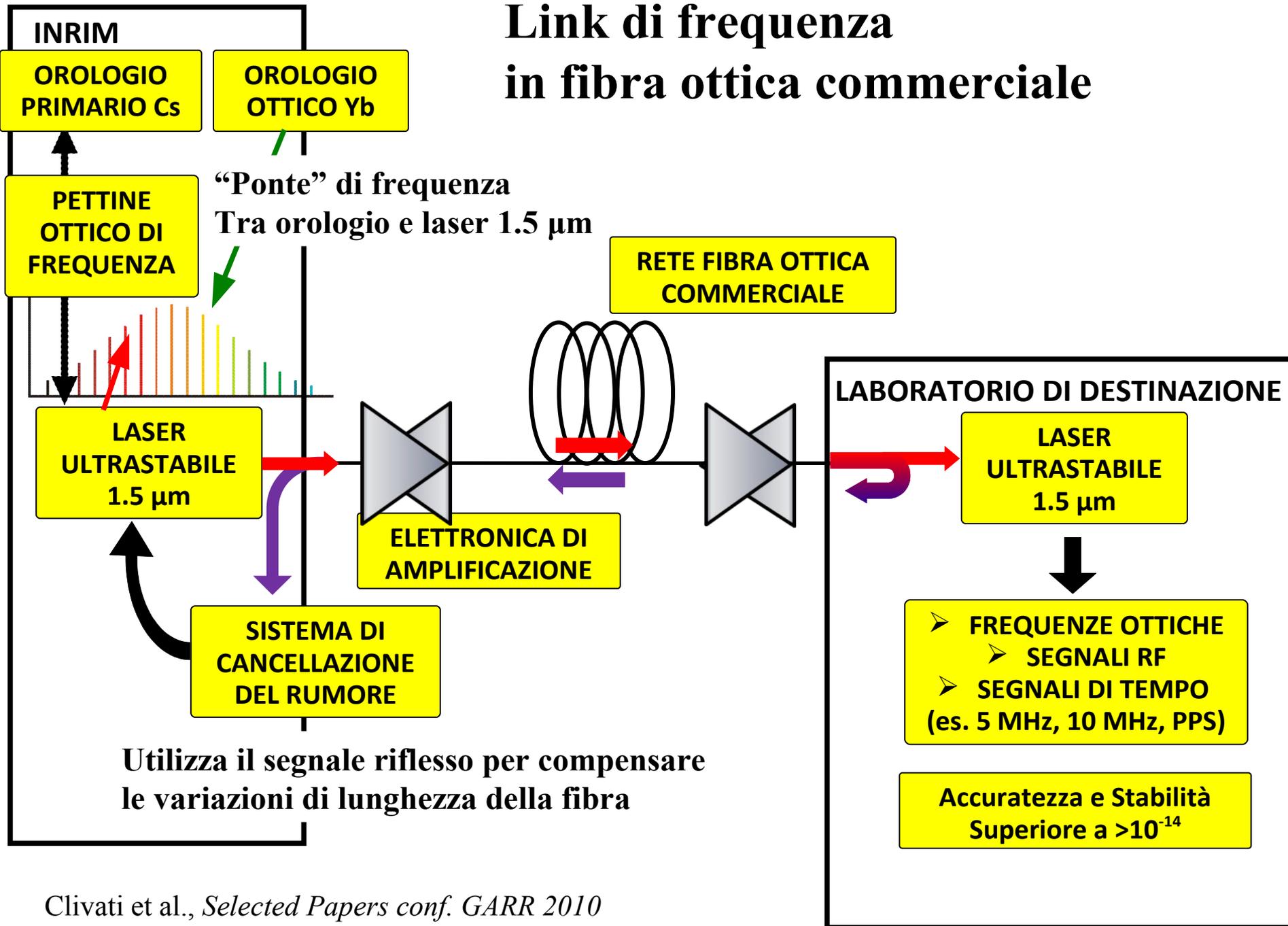


Trappola Magneto-Ottica

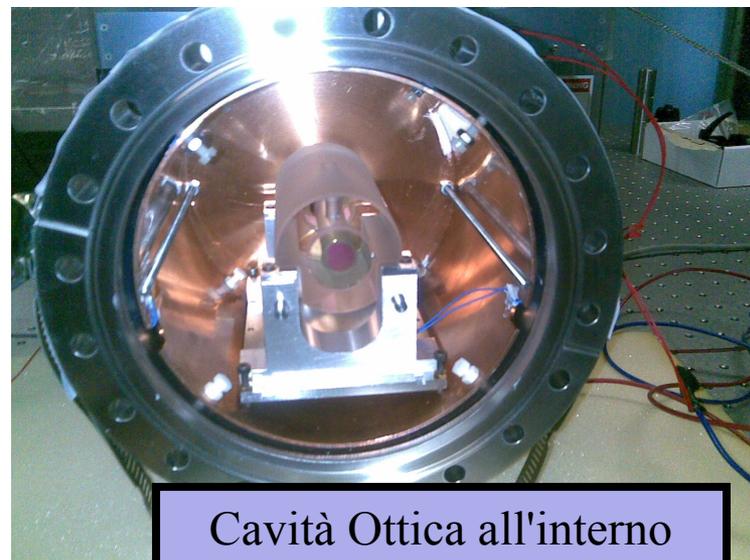
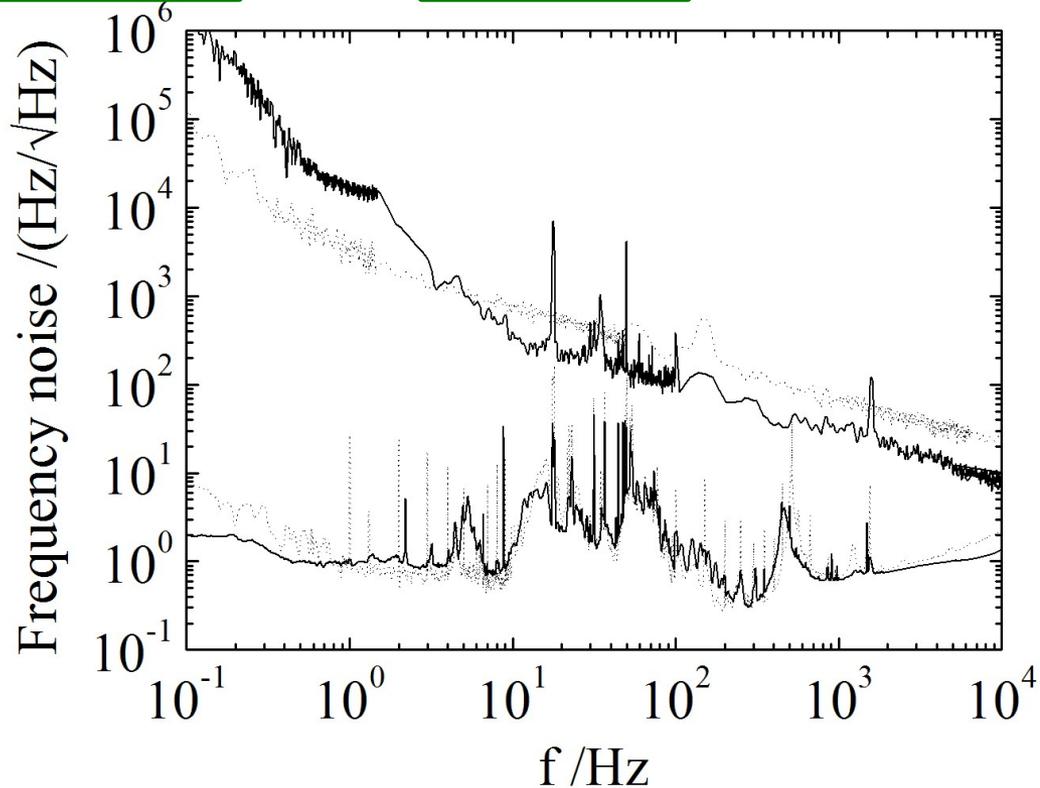
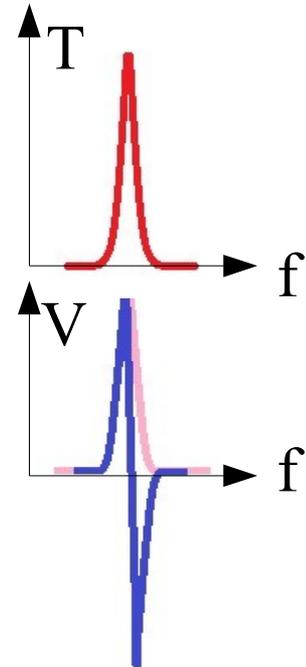
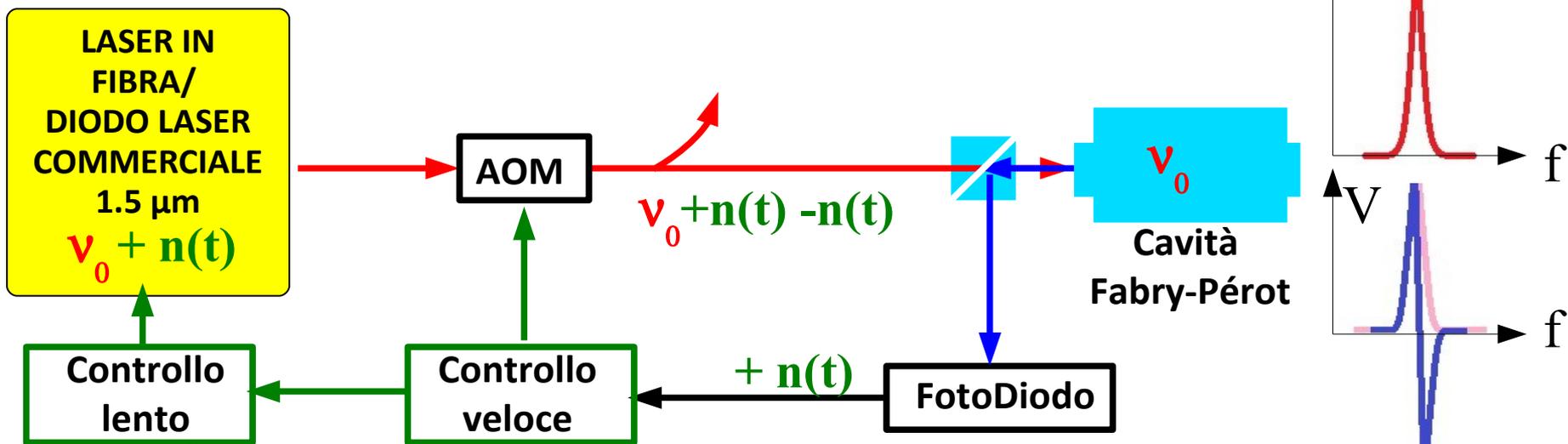
Confronti Remoti di Orologi e Sincronizzazioni



Link di frequenza in fibra ottica commerciale



Laser Ultrastabile



Cavità Ottica all'interno
del sistema da vuoto

Cancellazione del rumore

INRIM

LASER
ULTRASTABILE
1.5 μm
 ν_0

AOM1

LABORATORIO DI DESTINAZIONE

AOM2

Faraday Mirror

ν_0 $\nu_0 + 2f_{\text{AOM1}} + 2f_{\text{AOM2}} + n(t)$

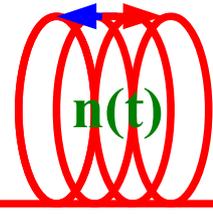
FotoDiodo

$2f_{\text{AOM1}} + 2f_{\text{AOM2}} + n(t)$

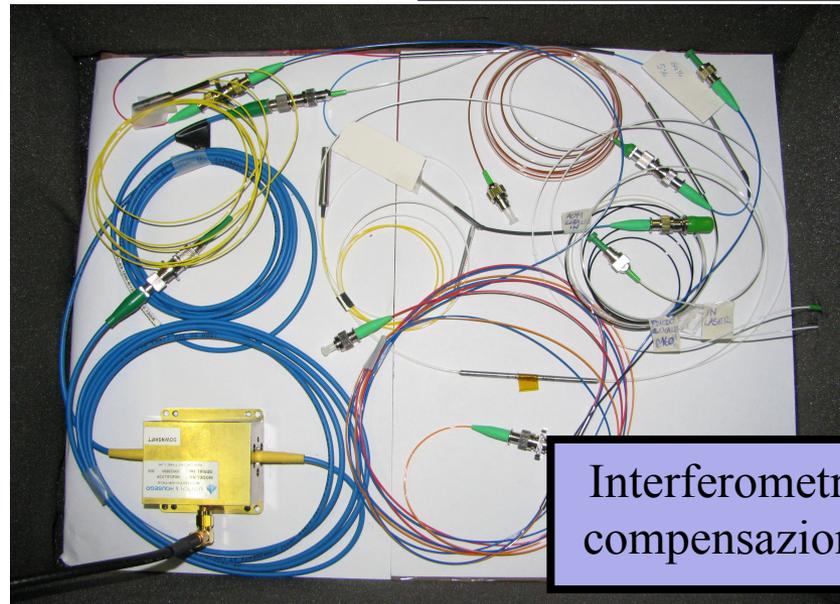
Maser

$2f_{\text{AOM1}} + 2f_{\text{AOM2}}$

$-n(t)$

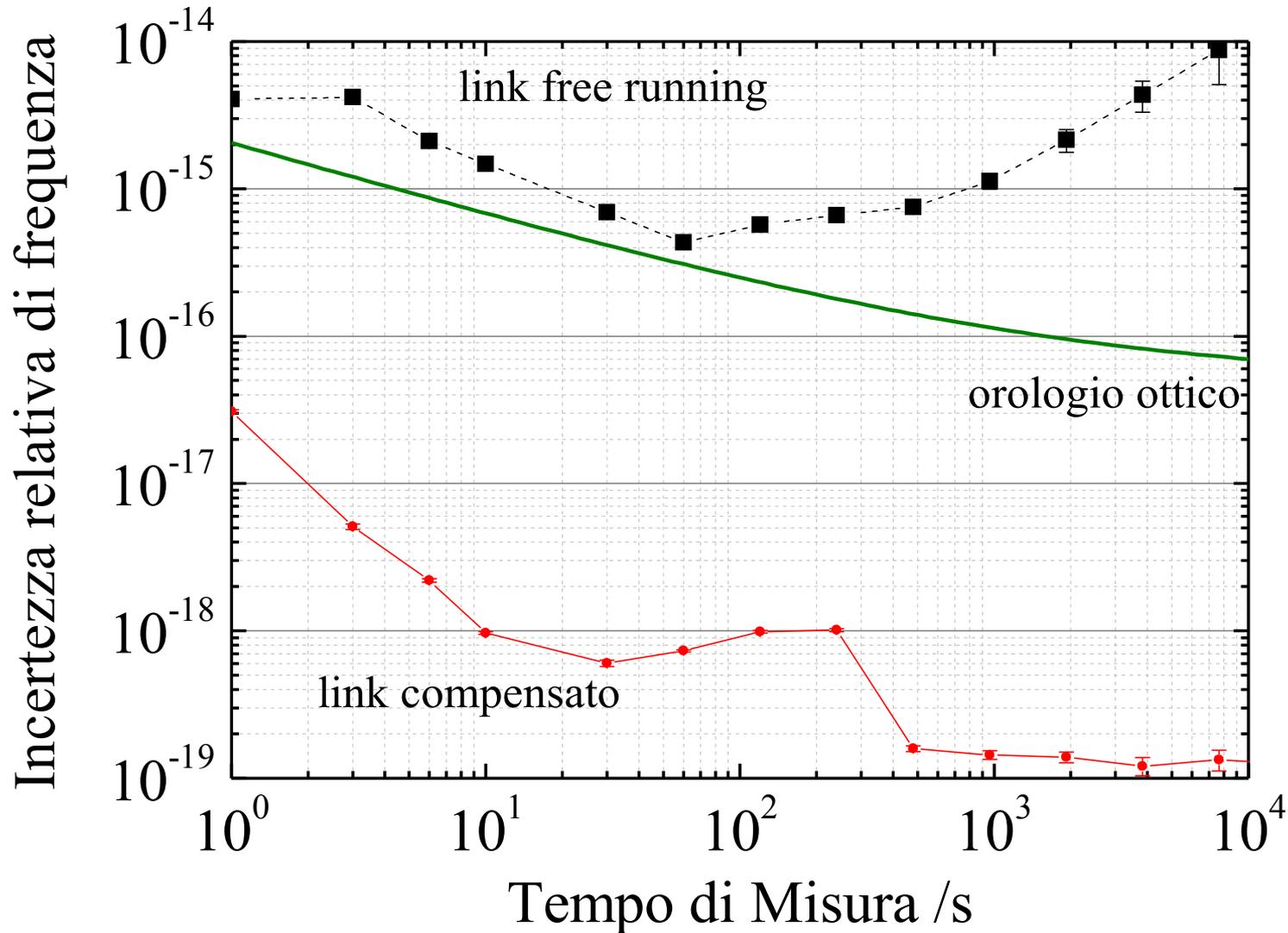


$\nu_0 - n(t) + n(t)$



Interferometro in fibra per compensazione del rumore

Dimostrazione di fattibilità: Link Ottico all'INRIM (100 km in lab)



Link Ottico Reale: INRIM- UNIFI (prin 2012-2013)



Ministero dell'Istruzione
dell'Università e Ricerca

INRIM

ISTITUTO
NAZIONALE
DI RICERCA
METROLOGICA



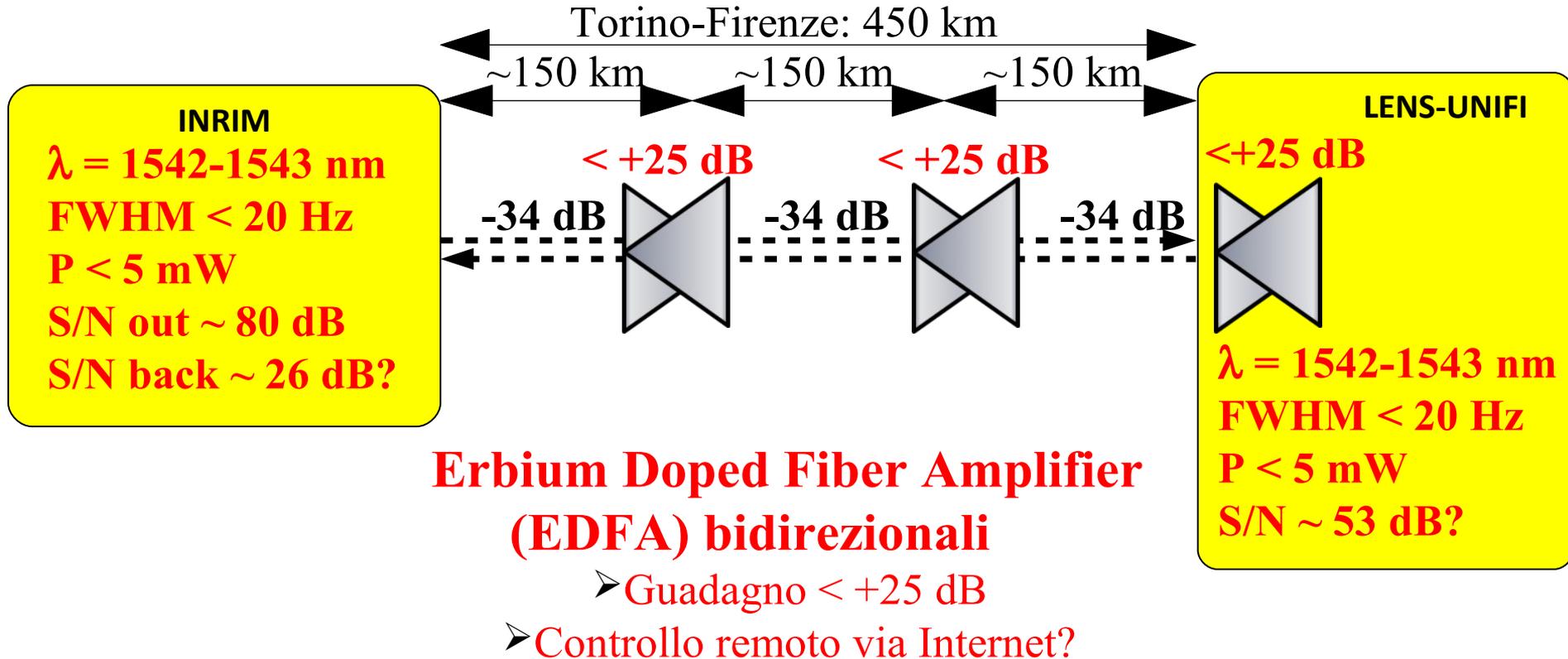
Obiettivi primari:

- **Confronti remoti fra gli orologi** di INRIM e LENS-UNIFI
- **Misure spettroscopiche** assolute
- **Test di fisica atomica** fondamentale

Ricadute/Applicazioni:

- **Sviluppo della tecnologia** necessaria alla disseminazione via fibra
- Test e applicazioni di **prodotti commerciali**
- Possibile estensione/**Disseminazione verso altri tipi di laboratori**
- Sviluppo nuove tecniche di disseminazione di **segnali di tempo**

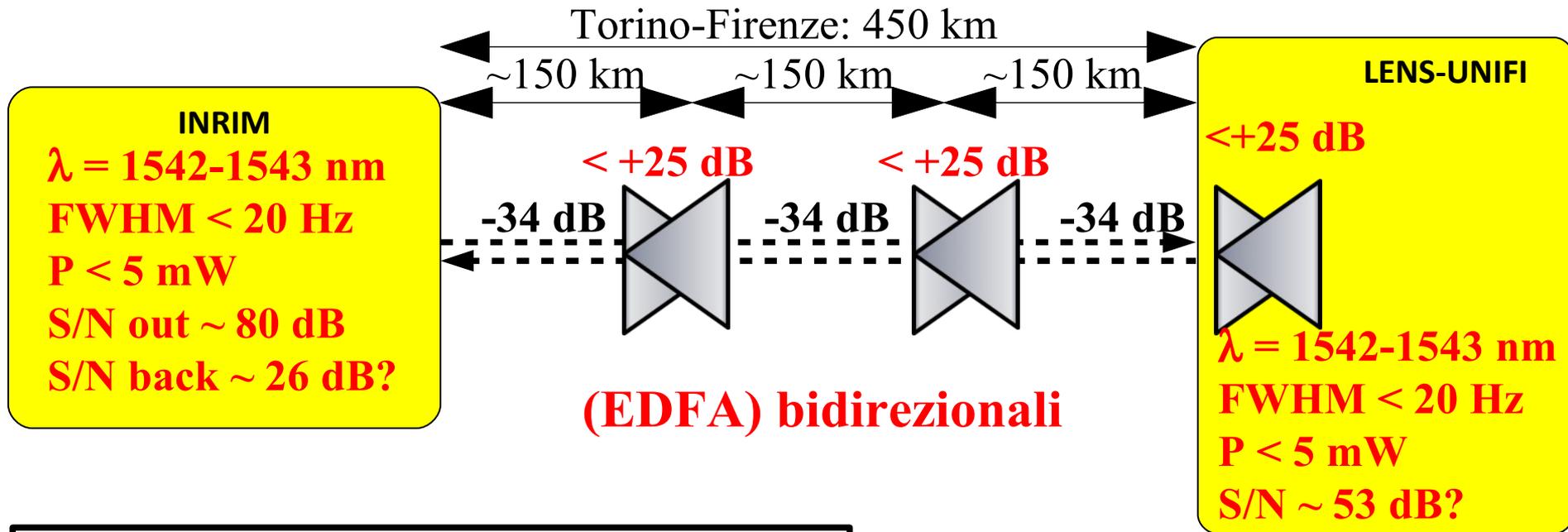
Amplificazione del segnale ottico



Perdite: $0.23 \text{ dB/km} + (\sim 0.6) \text{ dB/connettore} +$
 $+ \text{perdite allacciamento?}$
Perdita complessiva stimata: $\sim 120 \text{ dB}$

Architetture possibili:

1) RETE OTTICA con **Fibra Dedicata (Dark Fiber)**



Requisiti della rete:

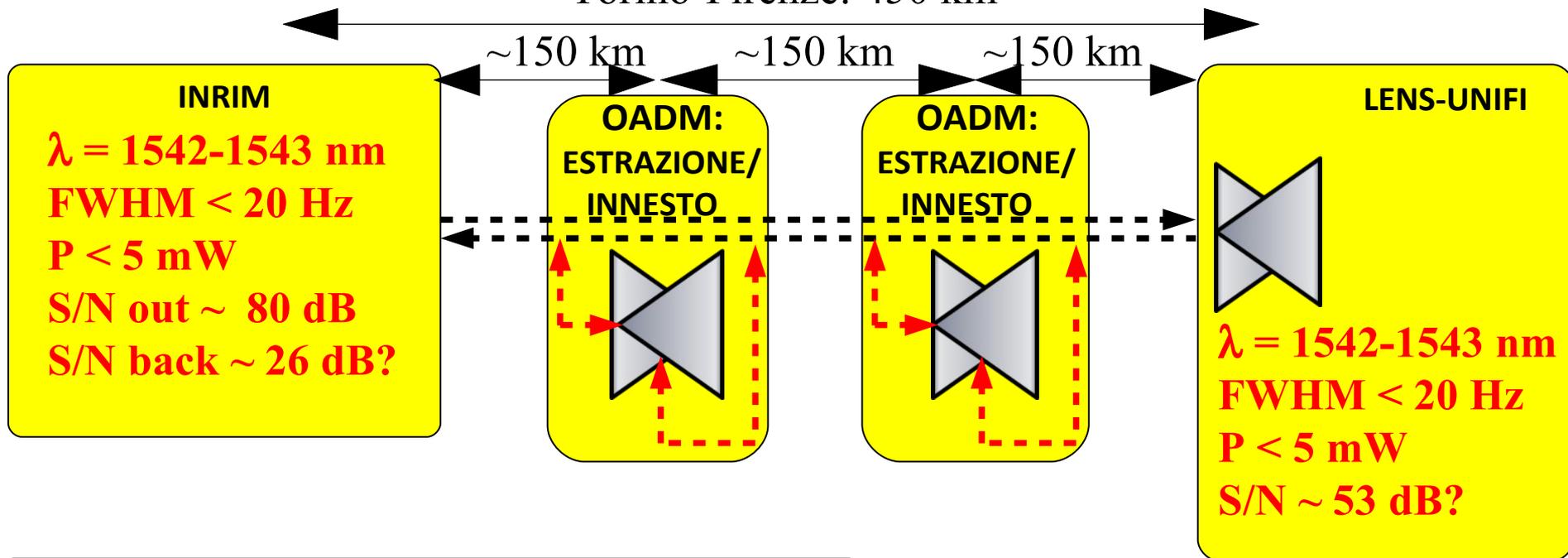
- Continuità ottica
(no conversioni ottico/elettrico)
- Bidirezionalità
- Stesso percorso nel doppio passaggio

- Implementazione più semplice
- Perdita totale minore possibile
- No rumore da canali adiacenti
- Disponibilità della fibra
- Costo maggiore

Architetture possibili:

1) RETE OTTICA con **Canale Dedicato (Dark Channel)**

Torino-Firenze: 450 km



Requisiti della rete:

- Continuità ottica
(no conversioni ottico/elettrico)
- Bidirezionalità
- Stesso percorso nel doppio passaggio

- Implementazione più complessa
- Perdita totale maggiore
- Rumore da canali adiacenti?
- Costo ridotto

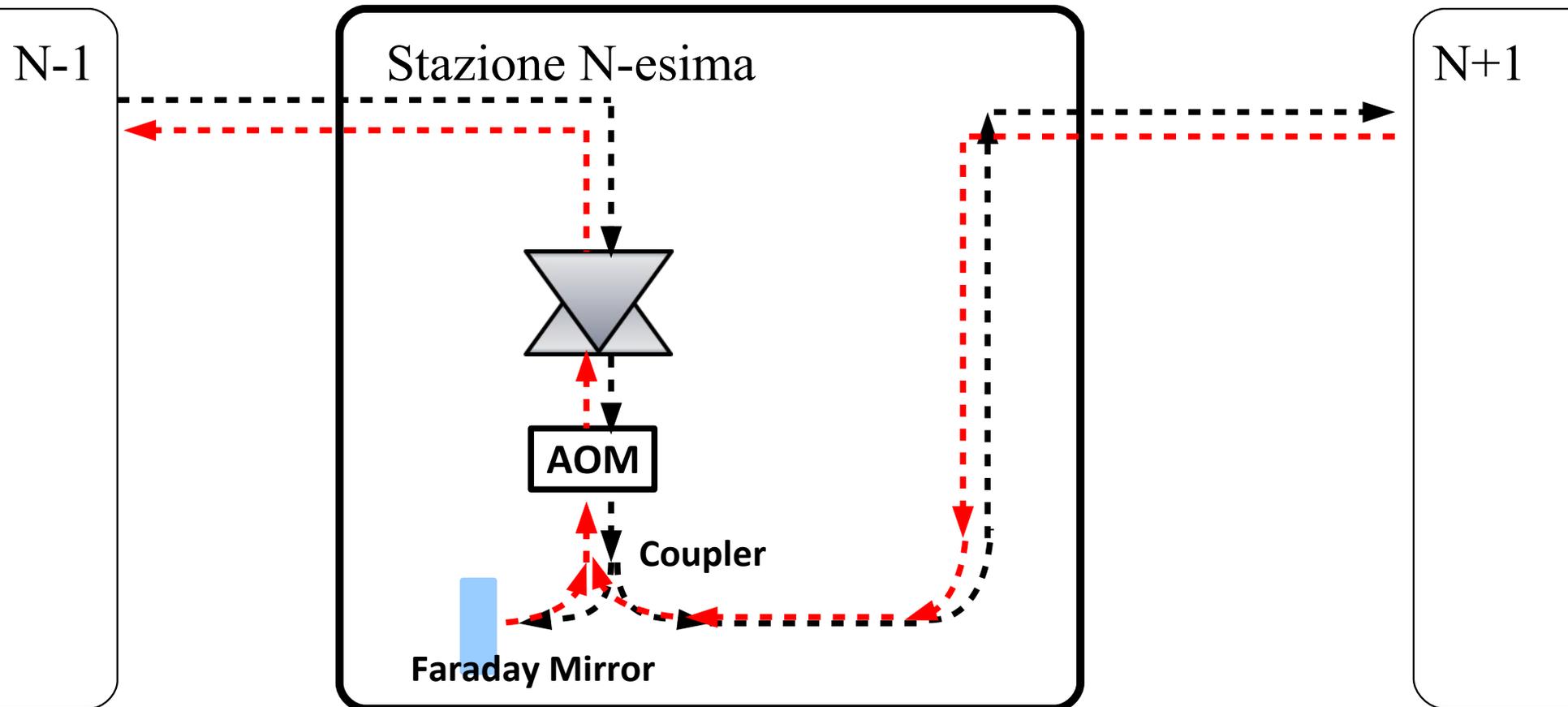
H. Schnatz et al., "A 900 km long optical fiber link for remote comparison of frequency standards", presentato all'IFCS/EFTF 2011, San Francisco, CA

Stazioni di ripetizione:

1) RETE OTTICA con **Fibra Dedicata** (Dark Fiber)

----- DA INRIM

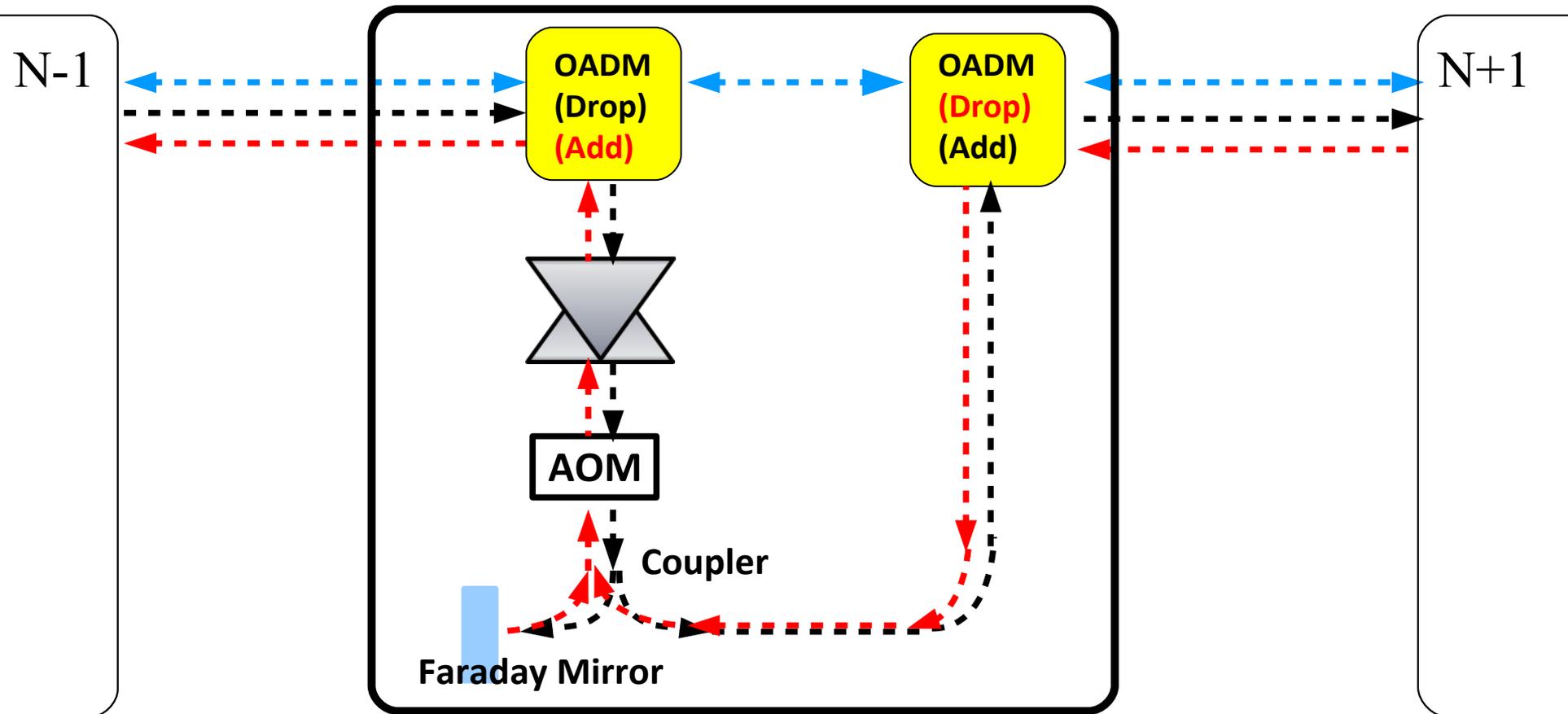
- - - - - VERSO INRIM



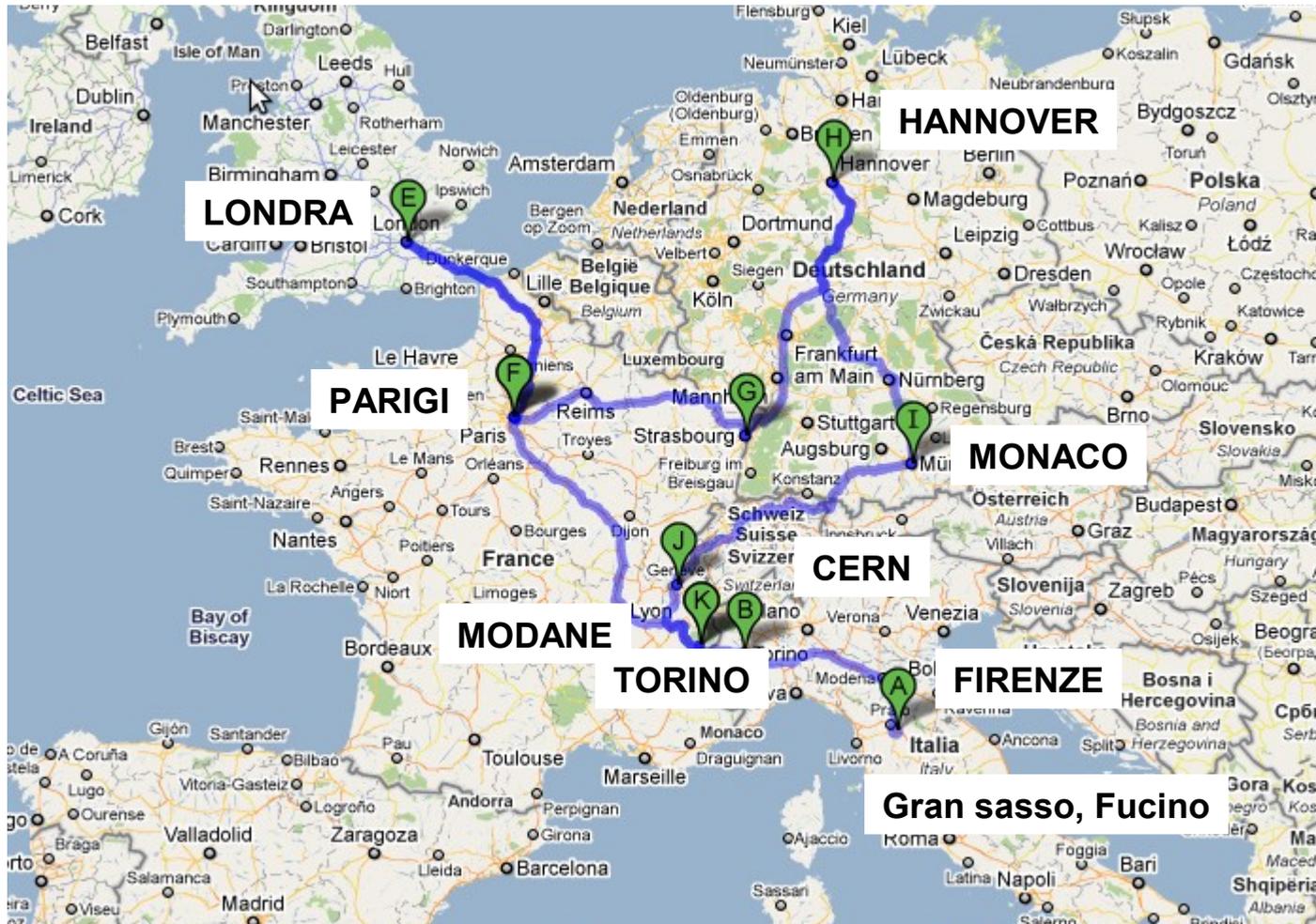
Stazioni di ripetizione:

1) RETE OTTICA con **Canale Dedicato** (Dark Channel)

- DA INRIM
- - - - - VERSO INRIM
- TRAFFICO INTERNET



Verso un Network in Fibra tra i principali Istituti Europei



PTB-INRIM-SYRTE-NPL et al. (coordinatore H. Schnatz)
Joint Research Project , European Metrology Research Programme (EMRP)
***Accurate time/frequency comparison and dissemination through optical
telecommunication networks***

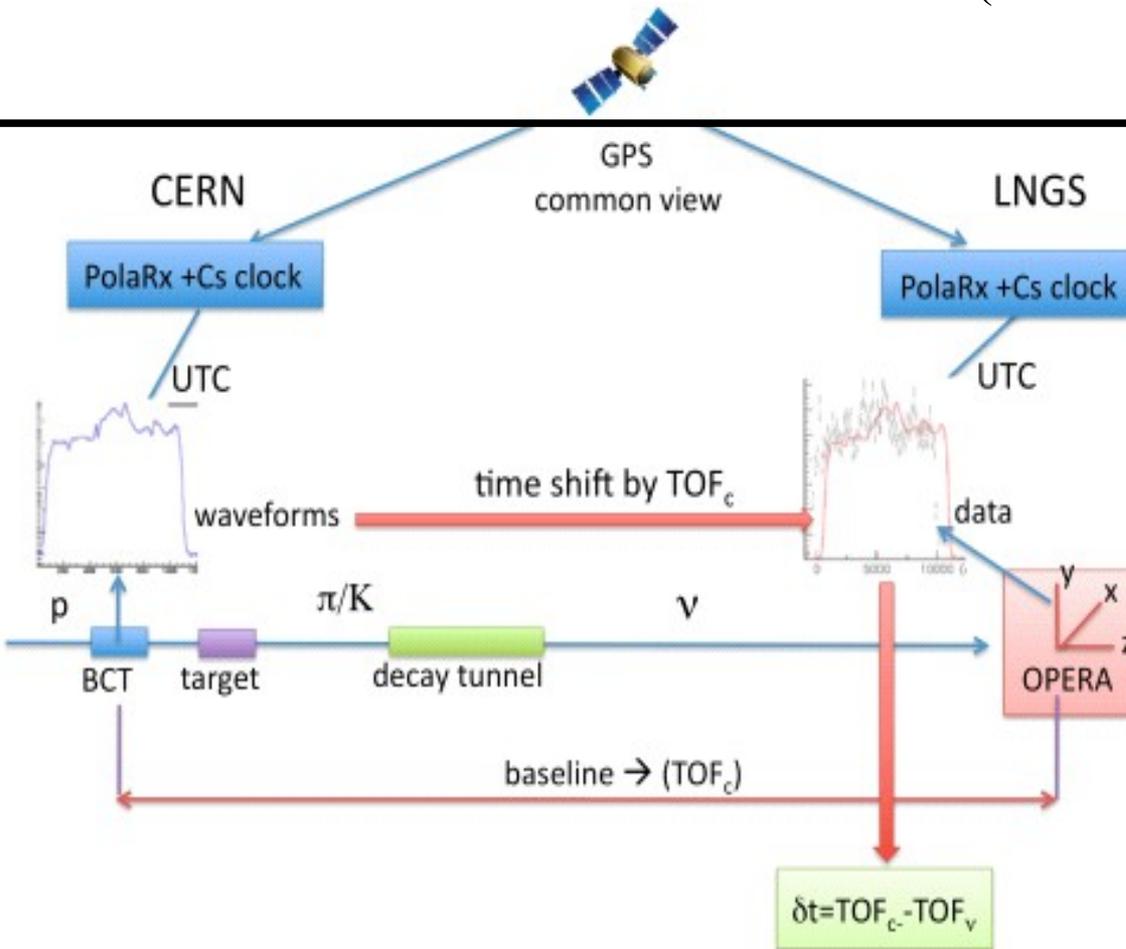
Verso un Network in Fibra di Istituzioni Scientifiche Italiane?



Link Ottico per l'esperimento Opera al Laboratorio Nazionale Gran Sasso

Sincronizzazione CERN-LNGS via satellite (GPS common view)

Accuratezza: ~ 1 ns



Un link in fibra ottica potrebbe offrire Timing migliore:

- Riduzione delle incertezze
- Riduzione dei ritardi

Link Ottico per l'esperimento Opera al Laboratorio Nazionale Gran Sasso



TORINO- FIRENZE 450-500 km

TORINO MODANE 100 km

MODANE – GINEVRA 190 km

FIRENZE-L'AQUILA 400 km

CERN-TORINO-GRAN SASSO : 1100 km

Conclusioni

Le tecniche di trasferimento di tempo e frequenza su fibra sono le **uniche adeguate** agli scopi: **interesse crescente in ambiti scientifici e tecnologici**

➤ Sono possibili **applicazioni** anche in **ambiti diversi** (industria delle telecomunicazioni, aerospaziale, laboratori di ricerca scientifica, tecnologica/industriale)

➤ L'**Italia** è presente in **progetti di avanguardia**, in collaborazione con altri Istituti Europei

➤ INRIM e UNIFI hanno un **progetto finanziato** per un link ottico Torino-Firenze

➤ **GARR-X** è l'**infrastruttura adatta** per questa tecnologia