
LinkO: Una infrastruttura in fibra ottica per confronti remoti di tempo e frequenza ad alta accuratezza.

D. Calonico, F. Levi, A. Mura, C. Clivati, G. A. Costanzo e A. Godone

Divisione di Ottica

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRIM

Strada delle Cacce 91 10135 Torino

d.calonico@inrim.it

Introduzione

Il Tempo e la Frequenza sono le grandezze fisiche misurabili con la migliore accuratezza. Gran parte dei processi tecnologici richiede accurati riferimenti di tempo o di frequenza, pertanto ogni miglioramento nella realizzazione e nella disseminazione ha un impatto a largo spettro sull'innovazione sia scientifica che tecnologica, in particolare in aree come le telecomunicazioni (velocità/capacità di trasmissione dati) o la navigazione satellitare (GPS, Galileo).

Gli Istituti Metrologici Nazionali, tra cui l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica INRiM di Torino, possiedono approfondite conoscenze nel settore di tempo e frequenza, comprendendo la realizzazione di orologi atomici, la generazione di scale di tempo, la disseminazione e la sincronizzazione.

I campioni primari di frequenza sono oggi capaci di un'accuratezza relativa di alcune parti in 10^{-16} (orologi atomici a fontana di cesio) ma gli orologi atomici di nuova generazione mostrano la capacità di scendere nettamente sotto questa soglia.

Invece, la possibilità di confronto, sincronizzazione, disseminazione remota di segnali di tempo/frequenza hanno il loro stato dell'arte nei metodi satellitari a due vie (in particolare il Two Way Satellite Time and Frequency Transfer TWSTFT), che al massimo consentono confronti a livello di parti in 10^{-16} dopo più di 20 giorni di misure continue, e che quindi si manifestano come totalmente inadatti a sfruttare le potenzialità dei nuovi orologi atomici.

Lo sviluppo di nuovi metodi di sincronizzazione e confronto in remoto che raggiunga adeguati risultati in termini di incertezza è stato riconosciuto ai più alti livelli metrologici internazionali, in particolare nelle raccomandazioni del Consultative Committee for Time and Frequency (CCTF), Comitato tecnico consultivo del Bureau International de Poids et Mesures (BIPM), organo scientifico della Convenzione del Metro.

Il solo metodo finora riconosciuto in grado di raggiungere gli obiettivi prefissati è il link ottico di frequenza su fibra ottica dedicata.

Lo sviluppo di Network fibrati per il confronto di frequenza tra Istituti Nazionali di Metrologia e Laboratori di Spettroscopia atomica sarà una priorità per questi Istituti nel

futuro prossimo venturo, come già riconosciuto dall'Associazione Europea degli Istituti Metrologici Nazionali (EURAMET), e già sono presenti concrete proposte per la costituzione di network transnazionali.

Progetti pionieri hanno dimostrato eccellenti risultati in Francia, U.S.A., Germania.

L'INRIM, che realizza e mantiene in Italia le unità campione del Sistema Internazionale della Convenzione del Metro di cui l'Italia è firmataria, ha avviato l'esperimento LinkO, finalizzato a realizzare la sincronizzazione di nuova generazione, ossia la disseminazione di frequenza innovativa basata sull'uso di infrastrutture in fibra ottica.

Alla conferenza, proponiamo di descrivere questa applicazione innovativa per una rete in fibra ottica nazionale e/o internazionale, di illustrarne il funzionamento, i risultati attesi e l'impatto che essa può avere sulla comunità scientifica e tecnologica, nonché industriale.

Verrà presentato lo stato dell'esperimento LinkO dell'INRIM e verrà contestualizzato nello scenario internazionale, in particolare Europeo, dove già esperimenti di successo su reti in fibra sono stati realizzati, con una fruttuosa collaborazione tra consorzi per le reti in fibra e istituti di ricerca, come ad esempio in Francia tra Renater e Istituto Metrologico Nazionale.

Descrizione di un Link Ottico di Frequenza

Un link Ottico di frequenza per confronti ad alta stabilità ed accuratezza consiste nella disseminazione attraverso fibre ottiche di una portante ottica a frequenza ultrastabile. Pertanto, il Link Ottico si compone dei seguenti sottosistemi fondamentali:

1. Laser (1,5 micron) in fibra agganciato a una cavità ultrastabile (Finezza > 100.000), stabilità relativa di frequenza $< 10^{-15}$ a 1 s in termini di deviazione di Allan della frequenza relativa;
2. Sistema di misura per confrontare portanti ottiche con incertezza di frequenza relativa $< 10^{-15}$ basato su un pettine ottico di frequenza generato da un laser impulsato a femtosecondo (optical frequency comb) stabilizzato su un riferimento primario (INRIM: fontana atomica di Cesio)
3. Infrastruttura in fibra ottica, con cammini dedicati a due vie tra laboratori remoti.

Obiettivi di sviluppo:

1. Confronto remoto di tempo/frequenza ad elevata accuratezza (contributo all'incertezza relativa di frequenza dal sistema di confronto in fibra a livello $< 10^{-13}$ a 1 secondo). Ricadute a livello nazionale: distribuzione di un riferimento primario di tempo/frequenza ad alta accuratezza per misure di fisica atomica e di fisica fondamentale con incertezze migliori di 10-100 volte rispetto alle attuali possibilità. Garantire per industrie high-tech un riferimento di qualità elevata che permetta misure ad alta precisione con tempi di misura tra 10 e 100 volte inferiori.

Ricadute a livello europeo: confronto remoto tra istituti metrologici primari a un livello 10 volte migliore rispetto alle attuali possibilità; confronto *real time* di campioni primari di frequenza a livello di accuratezza pari alle realizzazioni locali, senza degradazione da

parte del sistema di confronto; realizzazione di una scala di tempo *real time* con accuratezza 10 volte e stabilità 100 volte maggiore dell'attuale realizzazione; applicazione di questa scala al miglioramento delle reti di telecomunicazioni e del sistema di navigazione satellitare europeo Galileo.

2. Indagare la possibilità di nuove sorgenti ultrastabili per le telecomunicazioni, con particolare interesse rispetto alla moltiplicazione di banda disponibile. Ricadute a livello nazionale/europeo: incremento della velocità e capacità della trasmissione dati su fibra (con applicazioni ad esempio di telemedicina).

Requisiti tecnici di una rete in fibra ottica per il Link Ottico

1. Presenza di connessioni nazionali ma soprattutto presenza di Cross Border Link per allacciarsi a infrastrutture Paneuropee e collegarsi con i principali Istituti Primari di Metrologia
2. Fibra dedicata in uno dei seguenti due scenari:
 - "Dark Fiber". La Rete deve avere la disponibilità di una fibra "dark" ossia completamente dedicata all'esperienza di confronto remoto.
 - "Dark Wavelength": La Rete deve avere la disponibilità di un singolo canale dedicato su due fibre in una infrastruttura a Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).
3. In caso di Dark Wavelength, Architettura di Rete dotata di stazioni di re-amplificazione bidirezionali con Optical Add-Drop Multiplexers (OADM).

Riferimenti

- [1] F. Kéfélian, et al., High-resolution optical frequency dissemination on a telecommunications network with data traffic, *Optics Letters* 34, 1573, 2009
- [2] U. Monaco, A. Pancaldi, M. Scarpa, *Tecnologie ottiche in GARR-X Workshop Garr_08 Milano 1-4 Aprile 2008*
- [3] F.-L. Hong, et al. Measuring the frequency of a Sr optical lattice clock using a 120 km coherent optical transfer, *Optics Letters* 34, 692, 2009
- [4] G. Grosche, et al. Optical frequency transfer via 146 km fiber link with 10⁻¹⁹ relative accuracy, *Optics Letters* 34, 2270, 2009
- [5] I. Coddington et al. , Coherent optical link over hundreds of metres and hundreds of terahertz with subfemtosecond timing jitter, *Nature Photonics* 1, 283 - 287 (2007)