

# Nuovi servizi di timing over fibre su reti di trasporto ottico

Davide Calonico

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica

**Abstract.** La distribuzione di segnale di tempo campione è importante sia in ambito scientifico che industriale. Nuove tecniche di disseminazione di segnali di T/F su fibra ottica oggi offrono le migliori performance, la maggiore resilienza e sono ormai accessibili in termini di costo. Qui si presenta lo stato dell'arte in Europa e in Italia e si analizzano alcuni passi per la diffusione più capillare di nuovi servizi.

**Keywords.** Timing, Orologi atomici, Tempo su Fibra

## Introduzione

Nella nostra società c'è una domanda crescente di reti di sincronizzazione che garantiscano un riferimento accurato e stabile di tempo e frequenza (T/F): dagli operatori di telecomunicazioni, alle smart grid elettriche, al settore finanziario per rispondere con nuove regolamentazioni EU, agli utenti scientifici.

Oggi la distribuzione T/F nella maggioranza delle applicazioni si basa sul broadcasting satellitare, per esempio il tempo distribuito da un Global Navigation Satellite System (GNSS), di cui il Global Positioning System (GPS) è forse il maggiormente noto.

Per le prestazioni, la migliore accuratezza possibile per il T/F distribuito da un GNSS arriva a 2-5 ns, tuttavia, questo risultato si ottiene con ricevitori molto specifici e competenze spesso relegate a pochi istituti di metrologia primaria e di geodesia. L'accademia e l'industria può contare su apparecchiature GNSS meno accurate, ma che garantiscono un'incertezza di 100 ns a costi contenuti.

D'altra parte, il GNSS soffre nell'integrità del segnale, poiché la debole potenza ricevuta dai satelliti rende un pericolo concreto lo spoofing e l'hacking o i disturbi legati alle condizioni del tempo spaziale. Infine, oggi il servizio GNSS più diffuso, il GPS, è distribuito da un ente militare, pertanto non offre alcun livello garantito di servizio, problematica che sarà superata con il pieno sviluppo del GNSS europeo, il progetto Galileo.

In generale, le piattaforme di distribuzione del tempo troverebbero rilevante beneficio nella capillarizzazione delle tecniche di diffusione del tempo campione via fibra ottica. Le tecnologie oggi a disposizione rendono la disseminazione via fibra estremamente interessante non solo per le realtà scientifiche più esigenti, ma anche per l'accademia in generale e per le industrie. Il tutto con un portafoglio di tecniche in grado di soddisfare diverse richieste rispetto alla coppia costi/performance.

## 1. Le tecniche di distribuzione del tempo in fibra ottica

Esistono diverse tecniche per trasmettere il segnale di T/F in fibra ottica. Qui riassumeremo in breve le tecniche più interessanti per l'uso in reti di trasporto ottico. La tecnica più performante, ma difficile nell'integrazione, è quella cosiddetta coerente, che trasporta il segnale di un laser a frequenza ultra-stabile. E' cruciale che la fase della luce laser sia imperturbata e la sua stabilità non sia degradata dalle fluttuazioni del mezzo vetroso, dovute a vibrazioni meccaniche o fluttuazioni di temperatura. Per ovviare a questi disturbi naturalmente presente, una parte della luce viene retro-riflessa dal punto di arrivo verso il sito di emissione. Nel sito di partenza, la luce retro-riflessa è confrontata con quella di origine, pervenendo a una misura del rumore aggiunto dalla fibra nel tragitto di andata e ritorno.

Con tecniche optoelettroniche è possibile cancellare il rumore una volta misurato. L'assunto di base è la reciprocità di cammino in andata e ritorno. La tecnica pertanto raggiunge la massima efficacia con l'uso di una fibra singola in bidirezionalità. Proprio quest'ultimo elemento rende questo metodo poco integrabile con le reti trasmissive, che sono di tipo unidirezionale, nel senso che si hanno una fibra in Tx e una in Rx. Per far convivere la tecnica coerente bidirezionale con le reti ordinarie è necessario quindi che a ogni nodo con apparati della rete ci sia un by-pass che permetta al segnale bidirezionale di non essere compromesso di dispositivi, generalmente unidirezionali. L'amplificazione per compensare le perdite è affidata spesso ad amplificatori di tipo EDFA ma bidirezionali, anche se ottimi risultati sono stati dimostrati con tecniche Raman o Brillouin, e soprattutto con l'amplificazione Raman ci può essere una forte integrazione, anche se questi amplificatori non sono quelli maggiormente usati.

I livelli di accuratezza che si raggiungono sono inferiori alle parti per  $10^{19}$ , raggiunti in long-haul (>1000 km) con tempi di misura di 1000-5000 secondi.

La seconda tecnica è molto più integrabile con le reti di trasporto ottiche e si caratterizza come un'evoluzione del Precision Time Protocol (PTP) già noto in ambiente telecomunicazionista e ritrovabile in diverse realizzazioni commerciali dei vendor. L'evoluzione in esame applica a PTP alcuni accorgimenti software e hardware che ne migliorano nettamente la prestazione portandola a livelli di metrologia primaria, con accuratezze di tempo a livello del sub-nanosecondo e stabilità sotto  $10^{-13}$  già con 1 secondo di misura, che migliora le distribuzioni satellitari di 4 ordini di grandezza. Un'evoluzione disponibile è nota come protocollo White Rabbit, (per esempio, [www.ohwr.org/projects/white-rabbit](http://www.ohwr.org/projects/white-rabbit)), inventato al CERN di Ginevra e diffuso attualmente in diverse esperienze scientifiche e tra diversi istituti metrologici. Il cuore dell'evoluzione PTP risiede nella capacità migliorata di quantificare l'asimmetria dei canali Tx e Rx, visto che una soluzione di protocollo utilizza la rete esattamente come per il traffico dati. La migliore valutazione dell'asimmetria è data da modelli di analisi e anche da un hardware di comparazione di tempo tra segnali di Tx ed Rx molto più accurata. La potenzialità di migliorare la tecnica White Rabbit è molto ben presente soprattutto a livello hardware.

## 2. Prospettive e punti di attenzione

Se guardiamo alla possibilità di una distribuzione capillare di Tempo in Fibra Ottica, sono

diversi i punti di attenzione che richiedono un impegno di ricerca e realizzativo. Innanzitutto, occorre ben distinguere le distribuzioni ad alto costo da quelle invece commercialmente accessibili al segmento maggiore di utenti.

Alla prima categoria pertengono le trasmissioni coerenti in fibra con bi-direzionalità su singola fibra e relativa compensazione del rumore di fase. L'integrazione di reti ottiche per la connettività dati con simili infrastrutture per il T/F richiede una forte interazione con i carrier e con l'infrastruttura, con importanti inserimenti di apparecchiatura dedicata, come elementi di rigenerazione della portante, amplificatori ottici particolari etc. Sebbene dunque questa modalità sembri confinata a un ristretto numero di utenti molto specifici, in prospettiva l'integrazione di dispositivi ottici idonei e l'evoluzione delle moderne architetture di rete non sembra escludere una scalabilità della tecnica coerente.

Se guardiamo invece alle soluzioni di protocollo, quelle cioè che migliorano le tecniche tipo PTP, come il White Rabbit, aumentiamo notevolmente le capacità in termini di accuratezza e stabilità del segnale di tempo, coniugandola con un'alta scalabilità e un'integrazione praticamente già in corso sulle piattaforme ordinarie di telecomunicazioni. Qui le prospettive di sviluppo riguardano la capacità di caratterizzare le asimmetrie di ritardi nei percorsi Tx ed Rx, possibilmente con misure in tempo reale, che permettano di garantire i livelli di prestazione costanti nel tempo.

La coniugazione di accuratezza a livelli del picosecondo, con velocità di misura, resilienza agli attacchi ed elevati SLA sono sicuramente alla portata di queste tecniche che potranno fornire una piattaforma formidabile da affiancare al consueto servizio di traffico dati.

### 3. Conclusioni

In Italia la distribuzione di T/F tramite fibra ottica ha ottenuto risultati di ricerca molto competitivi, e un'infrastruttura di ricerca dedicata di 2000 km realizzata da INRIM è operativa. Il futuro di questa rete sarà quello di collegarsi ad analoghe europee, che stanno sviluppandosi in Francia, Germania, UK, Polonia, Repubblica Ceca. L'interesse per la metrologia e la scienza è ben dimostrato, ma la maturità tecnologica porta oggi anche l'accademia e l'industria a poter usufruire dei vantaggi offerti. Restano ancora alcune sfide aperte, in particolari un'integrazione soddisfacente con le reti ottiche di trasporto dati che renderebbero capillare la distribuzione in fibra ottica dei segnali di tempo.

### Riferimenti bibliografici

Clivati, C et al. (2016) "Measuring absolute frequencies beyond the GPS limit via long-haul optical frequency dissemination" *Opt. Exp.* 24, 865-1875

Clivati, C. et al. (2015) "A Coherent Fiber Link for Very Long Baseline Interferometry" *IEEE Trans. on UFFC*, 62 1907-1912

D. Calonico, M. Inguscio, F. Levi, (2015) "Light and the distribution of time, 2015 European Physics Letters 110 4000

D. Calonico et al., (2014) "High accuracy coherent optical frequency transfer over a doubled 642 km fiber link" *Applied Physics B*, 117, pp 979-986

F. Torres-Gonzalez, E. Marin-Lopez, J. Diaz, (2016) “Beyond PTP technologies: Scalability Analysis of the White-Rabbit Technology for Cascade-Chain Networks”. IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication, Stockholm, Sweden, 7-9 September, pp. 89-94

E.F. Dierikx, et al., (2016) “White Rabbit Precision Time Protocol on Long Distance Fibre Links,” IEEE Trans. UFFC, 63(7), 945-952.

## Autori



**Davide Calonico** [d.calonico@inrim.it](mailto:d.calonico@inrim.it)

Fisico, PhD al Politecnico di Torino. Si occupa all'INRIM di campioni atomici di frequenza e distribuzione di T/F su fibra ottica. Ha realizzato il primo campione ottico italiani ad atomi di Itterbio ultrafreddo e un'infrastruttura di ricerca in fibra ottica per Tempo e Frequenza di 2000 km che collega le principali città italiane da Torino a Matera e si proietta verso l'Europa con un collegamento con la Francia.