

# DAI PRIMI DISTANZIOMETRI AD ONDE, AL GPS E VERSO GALILEO NELL'OTTICA DEL MASS MARKET

## *FROM THE FIRST ELECTROMAGNETIC WAVE DISTANCE MEASURING SYSTEM TO GALILEO AND THE MASS MARKET*

**Giorgio Manzoni\***

### *Riassunto*

La tecnica dei sistemi satellitari di determinazione delle coordinate geografiche di un punto e di navigazione, si basa su sistemi impiegati durante la seconda Guerra Mondiale e diffusi in campo del rilevamento cartografico, alla sua fine. La nota ne riassume sinteticamente la evoluzione.

### *Abstract*

*The present mass market geographic coordinate determination and satellite navigation systems are based on methods developed during the Second World War and introduced in Cartography immediately after. The present paper reviews shortly the evolution.*

La misura di distanze si rifà alla cronometria dell'intervallo di tempo che un segnale acustico o ottico o radio impiega a percorrere la base, moltiplicato per la velocità di propagazione dell'onda. Il lampo genera il tuono, e se ne misura la distanza; il tonfo del sasso o l'eco sono altri esempi. Il lampo a cui segue il tuono è un impulso luminoso, che fa scattare il cronometro di un osservatore; quando il Tuono viene percepito dall'osservatore, il cronometro viene fermato e quindi il risultato è la misura di un intervallo di tempo al quale va moltiplicata la velocità del suono, dedotta da formule empiriche nelle quali vanno inseriti i parametri fisici dell'atmosfera, in particolare la temperatura, la pressione, il contenuto di vapor d'acqua. Il tuono, il grido, l'eco sono brevi treni di onde sonore, che possono essere schematizzati come impulsi.

Bisogna distinguere dunque fra onde portanti e onde di misura:

- il lampo è un impulso trasportato da un'onda luminosa;
- l'urlo è un impulso acustico, l'onda di misura coincide con l'onda portante;
- il Radar (RADio Detection And Ranging) opera con impulsi su portanti radio;
- il Lidar (Light Detection And Ranging) è fatto di impulsi su portanti Laser, cioè ottiche.

Questi sistemi si possono distinguere in due tipi: il segnale parte, viene cronometrato, si riflette su un sistema adeguato a restituire sufficiente energia, e ritorna al sistema emittente, dove riviene

---

\* Centro di Eccellenza Telegeomatica, Università di Trieste

cronometrato. L'aspetto fondamentale è che , sia alla partenza che al ritorno, il cronometro è sempre il medesimo. Ci sono riflettori-ripetitori nel sistema terrestre TELLUROMETER ([http://celebrating200years.noaa.gov/distance\\_tools/tellurometermra1.html](http://celebrating200years.noaa.gov/distance_tools/tellurometermra1.html)), appunto il primo distanziometro post bellico, e nel sistema satellitare francese EUTELTRAC (<http://www.eutelsat.com/fr/products/mobile-gestion-flotte.html>); per i sistemi a portante ottica ci sono i riflettori a prisma triretto , usato anche nella misura di distanza tra Osservatori terrestri e i punti di sbarco sulla Luna, Neil Amstrong ne portò uno ([http://www.lpi.usra.edu/lunar/mis-sions/apollo/apollo\\_11/experiments/lrr/](http://www.lpi.usra.edu/lunar/mis-sions/apollo/apollo_11/experiments/lrr/)). In anni più recenti molti distanziometri furono dotati di una sorgente adeguatamente energetica e di un ricevitore adeguatamente sensibile per non aver bisogno di riflettori speciali, ma usare la riflessione da parte dell'oggetto che costituisce l'estremo della base di misura: Ohne Reflektor fu infatti la sigla originaria della Casa WILD DIOR (see f.e., Dusan Kogoj-Fähigkeiten elektronischer Distanzmesser bei reflektorloser Distanzmessung in <http://www.wichmann-verlag.de>

I problemi stanno nella capricciosità della riflessione dell'onda che ripercorre la base di misura, verso lo strumento: essa dipende dalla natura della superficie riflettente , dal suo orientamento rispetto all'onda incidente, dalla sua rugosità perché se fosse speculare, rifletterebbe come desiderato solo se ortogonale al raggio incidente, condizione assai aleatoria da ottenere sul campo.

Invece il segnale per la misurazione della distanza Satellite-Utente, emesso dai satelliti, non torna ad essi: è un sistema a solo andata e quindi richiede due cronometri, uno alla partenza ed uno all'arrivo. I cronometri possono essere sincronizzati solo rozzamente, perché l'utente non può usare raffinati ma ingombranti orologi atomici che attrezzano invece i satelliti. Quindi esiste una mancanza di sincronismo fra i due cronometri che impedisce di misurare l'intervallo di tempo impiegato a fare il tragitto; l'asincronismo viene calcolato, grazie a delle osservazioni aggiuntive e ad ipotesi sulla elevata stabilità degli orologi a bordo dei satelliti.

Nel citato TELLUROMETER, la misura di distanza avveniva visualizzando su un CRT (Cathod Ray Tube), con visione protetta dalla luce diurna mediante un maschera, la figura di LISSAJOUX (<http://museo.liceofoscarini.it/virtuale/lissajous.phtml>), composizione della sinusoide di misura trasmessa e della sfasata di  $90^\circ$ , interrotta da una onda quadra sincrona alla sinusoide ricevuta, ritardata dal doppio transito lungo la base .

In quel tempo in Svezia, il prof. Bergstrand sperimentava la modulazione a birifrangenza indotta ([http://celebrating200years.noaa.gov/distance\\_tools/0411.html](http://celebrating200years.noaa.gov/distance_tools/0411.html)) cioè un effetto identico a quello che si verifica in cristalli come la calcite, attraverso il quale due componenti del medesimo raggio di luce, polarizzate (come negli occhiali da sole polaroid o in quelli usati nei film a 3D), viaggiano con velocità (rifrangenza) diverse, uscendo e ricomponendosi in funzione della birifrangenza. Nel caso del Geodimeter, prodotto della svedese AGA, la birifrangenza mediante un campo elettrico in una ampolla del liquido Nitrobenzene (cella di Kerr) , che faceva sinusoidalmente variare in intensità, in modo da ottenere alla fine un fascio di luce di intensità variabile sinusoidalmente:

La modulazione sinusoidale era essenziale per la Misura dello Sfasamento di un'onda, sinusoidale appunto, percorrente una distanza (base) in andata e ritorno, ovviamente e fortunatamente, a velocità finita, circa 300.000 km al secondo

Il medesimo effetto può ottenuto in un cristallo KDP (Potassium Dihydrogen Phosphate and Potassium Dideuterium Phosphate, su cui la birifrangenza può essere indotta a frequenze elevate. Il vantaggio è di poter generare un'onda, portata da un Laser o altra sorgente, con lunghezza d'onda (rapporto fra velocità e frequenza) inferiore ad un metro. Il confronto di fase fra l'onda in partenza e quella in arrivo, dopo aver percorso la base in andata e ritorno, può essere fatto in modo tanto più fine quanto più piccola è la lunghezza d'onda. Si riesce anche ad arrivare ad un decimillesimo della lunghezza d'onda. Di conseguenza il MEKOMETER del National Physical Laboratory di Teddington, UK (<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a752598694>), riuscì a misurare distanze con precisione sub millimetrica. Fu il distanziometro più preciso al mondo, usato per il monitoraggio di dighe, di importanti edifici, come il Duomo di Milano e per la costruzione degli acceleratori di particelle (LEP del CERN, ELETTRA di Trieste eccetera).

I distanziometri ad onde portanti ottiche funzionano con qualsiasi sorgente di luce. I primi avevano una lampada a filamento e, più tardi, una a vapori di mercurio. Ma appena venne inventato e prodotto il Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) a vapori di una miscela di elio e di Neon, esso fu adottato come sorgente. È molto importante per un discorso corretto dal punto di vista fisico, che il Laser è, in questi casi, usato solo come sorgente a contenuta divergenza del fascio emesso. Esso non viene impiegato per la sua ben più importante caratteristica che è la monocromaticità che per mette la interferometria, usata nel controllo delle macchine utensili in meccanica e nello studio dei movimenti del suolo con precisioni nanometriche e gli Ologrammi anticontraffazione (carte di credito, carta moneta, scenari 3D nei Musei (per es Oetzli a Bolzano) e nell'OCT, Ophthalmic Coherence Tomography.

La bassa divergenza (3 milliradiani, circa) del Laser consentì, pur con basse potenze, portate adeguate a misurare i lati della rete geodetica del primo ordine, per la quale l'Istituto Geografico Militare si dotò di GEODIMETER Modello 8 (Piero Bencini-Geodetic measurements made by Istituto Geografico Militare in the Strait of Messina area, Tectonophysics Volume 29, Issues 1-4, December 1975, Pages 331-337

Ma il record della portata fu raggiunto da uno strumento prodotto in pochi esemplari, il GEODOLITE della Spectra Physics (<http://americanhistory.si.edu/collections/surveying/object.cfm?record-number=748473>), che era al top della produzione di Laser d: venne misurata la distanza tra Mawui e Hawai, circa 120 km.

Infine arrivò, in pochissimi esemplari, il distanziometro più interessante come prodotto della Fisica, il BICOLORE (3/1.000.000.000), TERRAMETER (J.C.Owens, The use of atmospheric dispersion in optical distance measurement, Bulletin Géodésique (1946-1975), Springer Berlin/Heidelberg, 89,1, September 1968, pp 277,291, che misurava contemporaneamente la base con un'onda di misura modulata su due portanti di colore diverso e quindi utilizzava la dipendenza della rifrazione, cioè della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche, dalla lunghezza d'onda (legge di Cauchy): due valori diversi della lunghezza della medesima base, consentono di determinare il valore della velocità della luce, come oggi le portanti L1 ed L2 fanno nel GPS per il tragitto in ionosfera.

Non appena furono messi in orbita i primi satelliti artificiali, se ne progettò l'uso come vertici di trilaterazioni spaziali, rivestendoli di riflettori a prisma (per esempio il satellite Starlette

([http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite\\_missions/list\\_of\\_satellites/star\\_support.html](http://ilrs.gsfc.nasa.gov/satellite_missions/list_of_satellites/star_support.html) ). Furono così realizzati i LIDAR, distanziometri a sorgente Laser di potenza più elevata dei precedenti (richiedeva impianti elettroottici fissi con sistemi di raffreddamento impensabili in strumenti portatili) (<http://ilrs.gsfc.nasa.gov/reports/workshop/lw07.html> )

Arrivato e pienamente operativo nel 1990, il GPS venne subito inserito come strumento affiancante la topografia ottica e quindi la distanziometria. Ovviamente si partì da imprese di nicchia, ma di alto valore scientifico e la prima fu il montaggio dell'acceleratore di particelle, il LEP del CERN, le cui basi teorico sperimentali risalivano alla prima apparizione del GPS (G. Beutler -**Surface Geodetic Networks And Underground Geodesy, Comparison between terrameter and GPS results**, CERN report, 8/01, February, 1987.

La successiva svolta fu data dalle tecniche ICT e le conseguenti procedure del GPS in tempo reale: RTK OTF, sia per la logistica dei trasporti che per il monitoraggio di frane che per gli atterraggi con visibilità nulla. Oggi, lo scenario tecnologico include una sommatoria di sistemi e tecniche ICT+GPS+GLONASS+EGNOS+EDAS+GALILEO+WIFI+GPRS/UMTS+WIMAX+... Alla fine si è arrivati al mass market, che comprendono varie applicazioni, oltre alla usatissima Navigazione in automezzi.

Tra le applicazioni dei sistemi GNSS, associati ai sistemi ICT, hanno maggior importanza sociale: MONITORAGGI DISASTRI ED EVACUAZIONI (Vedasi Martinolli e altri, La Cartografia, volume VI, numero 19, dicembre 2008); MONITORAGGIO SICUREZZA SUL LAVORO (vedasi Manzoni e Rizzo, La Cartografia, anno VII, numero 20, Marzo 2009, pp 14,19);

GUIDE TURISTICHE (vedasi Manzoni, Martinolli, Naef, Rizzo, La Cartografia anno VI, numero 17, giugno 2008)

Tra due anni è atteso il sistema europeo GALILEO, citato all'inizio e ispiratore di questa nota ([http://www.esa.int/esaCP/SEMv9HXO4HD\\_Italy\\_0.html](http://www.esa.int/esaCP/SEMv9HXO4HD_Italy_0.html)).

GALILEO sarà simile e compatibile con GPS, avendo la medesima frequenza portante L1 del GPS ed, il medesimo codice. Questo consentirà di usare i medesimi ricevitori ed elaboratori dei segnali satellitari delle due costellazioni e quindi di usare molti più satelliti per fornire la posizione, diminuendo le zone urbane o montagnose nelle quali tali posizioni non sono calcolabili per mancanza di segnali GPS.

In più GALILEO avrà diversi servizi per il posizionamento e la navigazione: l' Open SERVICE sarà gratuito e compatibile con i segnali GPS su L1.

In conclusione, l'Europa ha avuto per decenni la priorità nella strumentazione distanziometrica a onde elettromagnetiche. Essa ha poi ceduto la sua posizione leader alla positiva invasione del sistema GPS. Concludendo: per almeno 30 anni, l'Europa non produce novità tali da invogliare i giovani a investire in cultura scientifica e tecnica dei giovani. Ma l'affacciarsi di GALILEO impone un cambio di tendenza, il richiamo di giovani alle Scienze Fisiche, Matematiche e di Ingegneria, e la dedizione alle applicazioni sociali, con la Geografia come guida.

Nel sito del Centro di Eccellenza per la Ricerca TELEGEOMATICA [http://www2.units.it/~telegeom/convegno\\_firenze.html](http://www2.units.it/~telegeom/convegno_firenze.html), si trovano altre notizie sulle applicazioni dei vari metodi distanziometrici e immagini degli strumenti posseduti dall'Università di Trieste e che verranno prossimamente esposti in appositi spazi.