

Sistemi di posizionamento, navigazione e sincronizzazione alternativi ai GNSS

di Marco Lisi

Nonostante il pervasivo e fondamentale ruolo dei sistemi globali di navigazione via satellite ("Global Navigation Satellite Systems, GNSSs") in praticamente tutte le infrastrutture economiche ed industriali della nostra società, cresce la preoccupazione per la troppa dipendenza da sistemi altamente affidabili, ma al contempo anche intrinsecamente vulnerabili.

Stiamo parlando delle quattro costellazioni GNSS attualmente operative: GPS, Glonass, Galileo e Beidou.

Tutti questi sistemi hanno architetture simili: satelliti in orbita intorno alla Terra, che trasmettono segnali opportunamente codificati e criptati; segmenti terrestri molto complessi, che includono numerose stazioni, linee di comunicazione sicure e centri di processamento e controllo.

La dipendenza di tutte le infrastrutture critiche della società dai sistemi GNSS, in particolare, per il mondo occidentale, GPS e Galileo, e la consapevolezza delle catastrofiche conseguenze in caso di loro, anche temporanea, indisponibilità, crea la sensazione che essi possano essere una sorta di bomba ad orologeria, pronta a scoppiarci fra le mani.

Ma non è necessario che sia così. Le vulnerabilità di questi sistemi sono essenzialmente di tre tipi: "jamming", "spoofing" ed attacchi cibernetici.

Per "jamming" s'intendono le interferenze, intenzionali e non, che possano sovrastare i segnali GNSS ed impedirne una ricezione corretta. In senso lato, si possono ascrivere a questa tipologia anche le perturbazioni della propagazione ionosferica causate da tempeste solari.

I segnali GNSS sono particolarmente vulnerabili al "jamming" in quanto sono estremamente deboli, sia perché trasmessi da satelliti che viaggiano a circa ventimila chilometri di altezza, sia per limitazioni di tipo regolatorio.

Il "jamming", sia in campo militare che in quello civile, è il mezzo più semplice, economico ed allo stesso tempo più malau-



Fig. 1 - "jammer" commerciali, spesso acquistabili in rete.

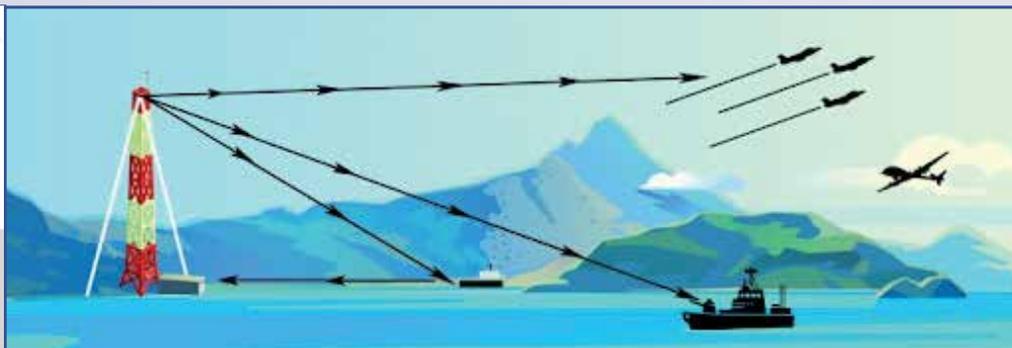


Fig. 2 - Il sistema terrestre di navigazione eLORAN.

guratamente efficace per impedire l'utilizzo dei sistemi GNSS in aree geografiche circoscritte (da pochi chilometri quadrati ad intere regioni) (fig. 1). Lo "spoofing" è una forma più sofisticata (e sicuramente intenzionale e malevola) di attentato alla funzionalità dei sistemi GNSS. Grazie agli sviluppi delle tecnologie digitali, è oggi possibile, ad un malintenzionato tecnicamente preparato, con un investimento economico ormai molto limitato, trasmettere verso obiettivi mirati, ovvero in una certa regione, segnali GNSS falsificati, che riescono, ad esempio, a deviare un aereo o una nave dalla loro rotta, portandoli fuori strada. La contromisura adottata nelle applicazioni militari e governative è quella di criptare i codici dei segnali GNSS, rendendone impossibile la falsificazione. In ambito civile, vale la pena di sottolineare l'iniziativa della Commissione Europea che ha introdotto nel sistema Galileo un'autenticazione del segnale civile, la cosiddetta "Open Service Authentication" (OS-NMA). La terza area di vulnerabilità, quella dovuta ad attacchi cibernetici, deriva dalla tecnologia stessa del segmento terrestre dei sistemi GNSS, tipicamente basata su programmi software molto complessi, centri di processamento e calcolo e linee di comunicazione dati. La possibilità di attacchi "cyber", interni ed esterni, è, come in tutte le grandi architetture informatiche di questo tipo, molto elevata. A conclusione di questa breve analisi delle aree di vulnerabilità, si dovrebbe anche aggiungere una possibilità che sembra farsi sempre più concreta: quella di veri e propri atti di guerra spaziale, miranti a distruggere i satelliti GNSS in orbita attraverso

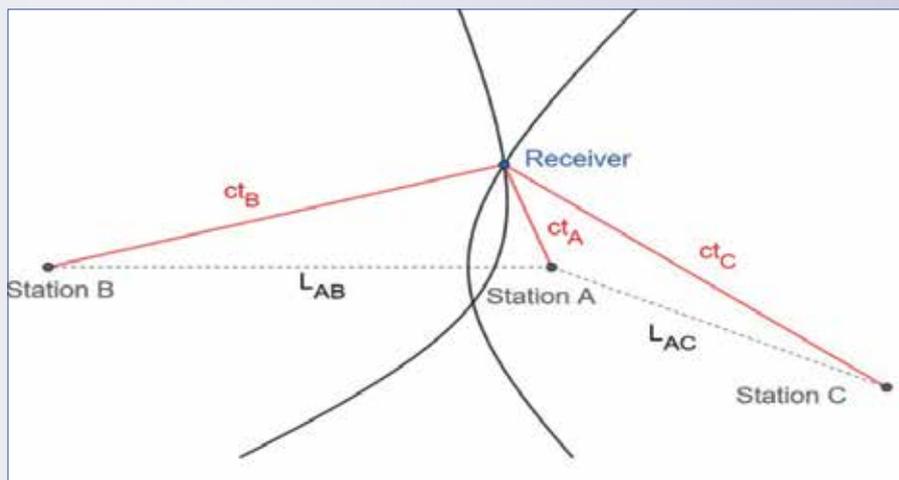


Fig. 3 - Il principio della navigazione iperbolica, basato sulla trilaterazione.

missili lanciati da terra, satelliti "killer" ed armi elettromagnetiche o laser.

Sebbene la disponibilità per gli utenti di quattro costellazioni indipendenti crei una ridondanza intrinseca nell'infrastruttura PNT ("Positioning, Navigation & Timing") globale, ed i vari governi responsabili applichino misure di sicurezza molto stringenti, ci si pone tuttavia la domanda: è possibile integrare i sistemi GNSS con sistemi terre-

stri, anche locali, e rendere l'intera infrastruttura più affidabile e resiliente?

Il sistema eLORAN, un' alternativa terrestre ai GNSS

Il sistema eLORAN (fig.2) è la versione moderna ed aggiornata, con l'utilizzo delle moderne tecnologie digitali, del vecchio sistema di navigazione LORAN ("LONG RANGE NAVIGATION"), sviluppato dagli Stati Uniti e dal Regno Unito durante la

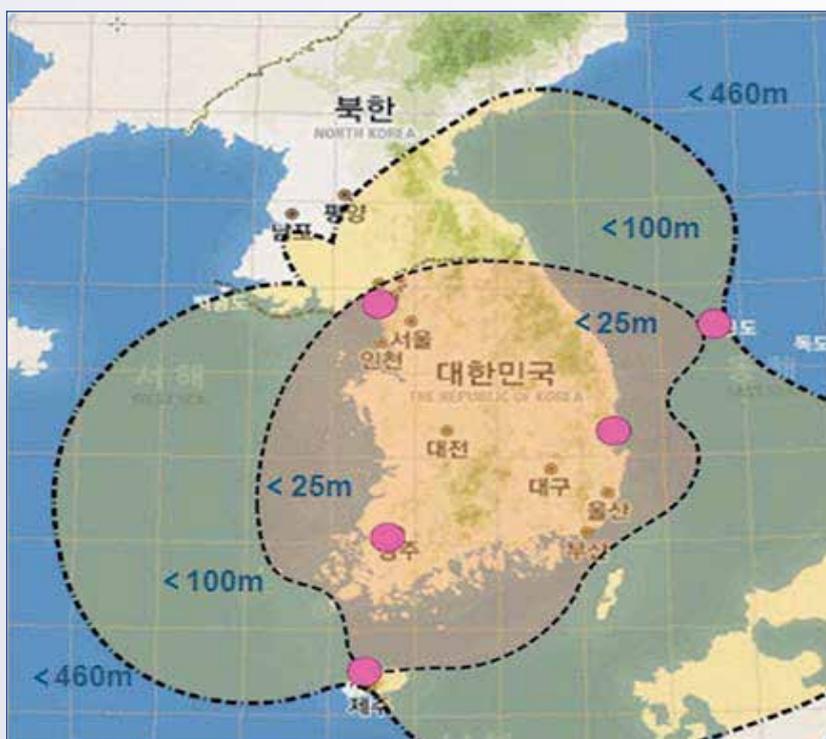


Fig. 4 - La rete eLORAN operante nella Corea del Sud, per controbattere il "jamming" dai paesi confinanti.

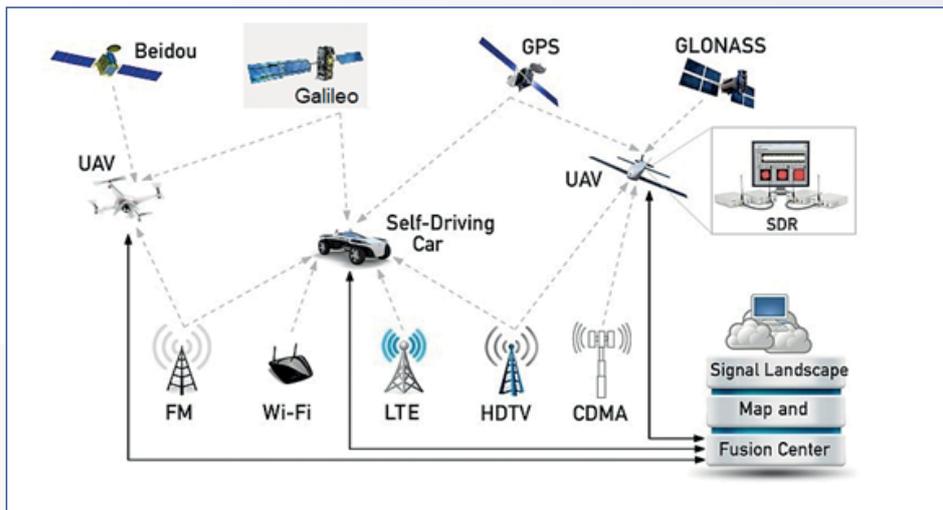


Fig. 5 - Sistema terrestre di navigazione basato su "signals of opportunity".

Seconda Guerra Mondiale, rimasto operativo, soprattutto per la navigazione marittima, per oltre sessanta anni.

Il sistema è basato sul principio della cosiddetta navigazione iperbolica: l'utente riceve i segnali da una serie di stazioni di terra sincronizzate al tempo coordinato universale (UTC), delle quali è nota la posizione, e ne deriva i tempi di arrivo ("Time of Arrival", ToA). Con un minimo di tre stazioni ricevute, l'utente è in grado di calcolare la propria posizione orizzontale (fig.3).

Pur essendo un sistema regionale ed adatto soprattutto alla navigazione terrestre e marittima, il sistema eLORAN ha una serie di caratteristiche positive, che lo rendono un candidato ideale per integrare e rendere più resilienti i sistemi GNSS. In particolare, i suoi segnali possono essere da 3 a 5 milioni di volte (cioè fino a 30 dB) più forti dei segnali GNSS, e

quindi molto più resistenti al "jamming". Inoltre, l'utilizzo di frequenze molto basse, intorno ai 100 KHz (VLF), permette la navigazione all'interno di edifici ed in aree urbane densamente popolate.

L'accuratezza di posizionamento ottenibile con eLORAN (+/- 8 metri) non raggiunge quella dei sistemi GNSS, ma con l'ausilio di tecniche di correzione si riescono ad ottenere risultati molto migliori, utilizzabili nella maggior parte delle applicazioni. Attualmente la tecnologia eLORAN è operativa nella Corea del Sud (fig. 4) ed è oggetto di una serie di progetti di sviluppo negli Stati Uniti, nel Regno Unito nell'Unione Europea (EUSPA ed Agenzia Spaziale Europea).

Sistemi di posizionamento e navigazione basati sui "Signals of Opportunity" (SoP)

I "Signals of Opportunity" (è difficile trovare una tra-

duzione "decente" di questa espressione in italiano) sono tutti i segnali, analogici e digitali, tipicamente trasmessi da centinaia di stazioni terrestri commerciali a supporto di reti di telecomunicazione di vario tipo. Appartengono a questa definizione i segnali radio e televisivi trasmessi da torri di "broadcasting", le trasmissioni delle stazioni dei network cellulari 4G e 5G, ed i segnali dei "Wireless Local Area Networks" (WLAN), come quelli Wi-Fi (fig. 5). È importante sottolineare che tutti questi segnali non sono ottimizzati per la navigazione, come è invece il caso dei segnali GNSS.

Il principio dei sistemi di posizionamento basati sui SoP è simile a quello prima descritto per il sistema LORAN: si basa sull'utilizzo di stazioni terrestri la cui posizione è ben nota e se ne utilizzano i segnali per effettuare la localizzazione dell'utente con varie tecniche: tempo di arrivo ("Time of Arrival", ToA), angolo di arrivo ("Angle of Arrival", AoA), intensità del segnale ricevuto ("Received Signal Strength", RSS).

Un requisito importante per l'utilizzo di queste stazioni commerciali è che esse siano sincronizzate. D'altra parte le tecnologie digitali tipicamente adottate (DAB, HDTV, 4G e 5G, Wi-Fi, etc.) richiedono tutte un livello di sincronizzazione alquanto spinto.

Le soluzioni basate su "hotspots" Wi-Fi pubblici sembrano molto promettenti e vengono attualmente perseguite dalle più importanti aziende informatiche mondiali, quali Google, Microsoft ed IBM. Le grandi sfide del futuro sono la già citata navigazione "indoor", i droni aerei (UAVs) e le automobili a guida autonoma. Per queste ultime, in particola-



Fig. 6 - Orologi atomici miniaturizzati.

re, un'adeguata ridondanza dei sistemi di posizionamento e navigazione è necessaria per raggiungere gli elevati livelli di sicurezza ("safety") richiesti.

Integrazione e fusione alla base della futura infrastruttura PNT globale

I sistemi GNSS, GPS e Galileo in primis, rimarranno negli anni a venire le colonne portanti dell'infrastruttura globale di PNT. Seppur soggetti a volte alle influenze della geopolitica globale, è auspicabile una sempre maggiore cooperazione fra le quattro grandi costellazioni, con l'obiettivo di rendere i loro servizi, almeno quelli civili e pacifici, sempre più affidabili dal punto di vista degli utenti. Tuttavia le sempre più sofisticate applicazioni e la sempre maggiore dipendenza da essi delle varie altre infrastrutture

critiche, dai trasporti alle telecomunicazioni, dai sistemi finanziari alle reti di distribuzione (energia elettrica, petrolio, gas), richiedono un'infrastruttura PNT globale più affidabile, ridondata e resiliente.

La soluzione che si va nei fatti affermando è quella di una sempre maggiore integrazione di piattaforme differenti e complementari: i sistemi satellitari globali, i sistemi terrestri (eLORAN, "Signals of Opportunity") e, non ultimi, i componenti miniaturizzati che realizzano sensori, orologi atomici e piattaforme inerziali, tutti prossimamente integrabili perfino nei nostri smartphone (fig. 6).

Un esempio per tutti: negli ultimi mesi le più avanzate aziende di ricevitori integrati GNSS hanno sviluppato versioni, particolarmente orientate al merca-

to "automotive", che integrano in uno stesso modulo miniaturizzato, oltre ad un ricevitore GNSS multicostellazione, un processore dei dati da tutti i sensori dell'automobile (tachimetro, giroscopio, piattaforma inerziale) e da eventuali altri sensori 3D anti-collisione, quali ad esempio il LIDAR (radar ottico laser). Si realizza in questo modo un'integrazione costruttiva fra navigazione basata su GNSS e navigazione "stimata" ("Dead Reckoning"), con risultati più accurati (nell'ordine dei decimetri), affidabili e robusti.

PAROLE CHIAVE

GNSS; POSIZIONAMENTO; e-LORAN; SoP

AUTORE

DOTT. ING. MARCO LISI
INGMARCOLISI@GMAIL.COM
INDEPENDENT CONSULTANT
AEROSPACE & DEFENSE



ArcGIS Platform

Il potere delle mappe
e dei servizi di localizzazione
nei sistemi operativi

