

**Zeitschrift:** Rivista militare della Svizzera italiana  
**Herausgeber:** Lugano : Amministrazione RMSI  
**Band:** 76 (2004)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Il sistema GPS : le applicazioni  
**Autor:** De Marchi, Fausto  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-283706>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Il sistema GPS

## Le applicazioni

ING. FAUSTO DE MARCHI

In questa seconda parte del "Dossier GPS" vengono descritte brevemente alcune tra le più importanti applicazioni militari e civili del sistema di navigazione satellitare GPS. Si metterà tuttavia l'accento sui progetti futuri che faranno capo al sistema europeo GALILEO: sono progetti generalmente ancora in fase di definizione o agli albori del loro sviluppo.

Le applicazioni di un sistema di navigazione satellitare sono già oggi innumerevoli e trovano una larga diffusione in svariate discipline: volerli descrivere in un unico articolo sarebbe praticamente impossibile. Alcune di esse sono d'altronde ben conosciute da un vasto pubblico (basti pensare all'impiego dei navigatori stradali nelle automobili) per cui riteniamo inopportuno riproporli in questa sede. Ci è apparso invece più interessante presentare nelle grandi linee le applicazioni che saranno disponibili nei prossimi anni, soprattutto dopo la messa in servizio di GALILEO. Dal mondo della ricerca scientifica proporrò infine, a titolo informativo, alcuni risultati di studi in una disciplina particolare, la geodesia, che fa largo uso già oggi del sistema GPS. A questi studi partecipo attivamente e con successo alcuni istituti universitari e organizzazioni scientifiche svizzere.

Per quanto riguarda le applicazioni future è utile fare alcune premesse di ordine generale:

- Sovente l'utente usa oggi il navigatore satellitare "passivamente": in altre parole egli viene informato della propria posizione senza tuttavia comunicare questo dato ad altri. In futuro si prevede un uso decisamente più "attivo". L'utente otterrà sempre le coordinate della sua posizione ma i dati saranno trasmessi via radio a una centrale operativa, la quale avrà accesso ad altre reti locali con dati e informazioni complementari. A loro volta queste informazioni o parte di esse saranno messe a disposizione dell'utente. Un tassista di una grande città che dovesse portare da un punto A a un punto B un suo cliente ha in generale la scelta tra vari percorsi alternativi che il suo navigatore stradale gli propone. Ma soltanto un collegamento con la centrale gli permetterà di scartare quei percorsi con ingorghi, incidenti, lavori in corso ecc. Si assisterà quindi a un maggior interscambio di informazioni e dati con una unica finalità: ottenere un servizio più completo e più efficiente.
- Oltre ai dati sulla posizione un sistema di navigazione permette di ottenere un parametro supplementare sovente "dimenticato": il tempo come parametro universale di riferimento. L'istante in cui un certo evento ha avuto luogo può essere stabilito con estrema precisione dagli orologi atomici del sistema satellitare. A secondo delle necessità anche questo dato può essere comunicato a terzi grazie a trasmettitori di dati, e può essere di grande utilità per svariate applicazioni.

- Grandi fenomeni naturali (si pensi alle eruzioni vulcaniche) ma anche quelli prodotti dall'uomo (incendi di foreste oppure inquinamento del mare) vengono oggi osservati e monitorati in tempo reale da speciali sensori imbarcati in satelliti artificiali. I sistemi di navigazione satellitari riescono invece a localizzare sulla terra con precisione il luogo dove questi eventi sono stati osservati. La fusione dei dati provenienti dai diversi satelliti permetterà in futuro una valutazione più precisa dei fenomeni e interventi più tempestivi.
- Alcune applicazioni civili qui citate potranno apparire un po' fantasiose. Non lo sono dal punto di vista puramente scientifico o tecnologico. Ma è evidente che il loro successo (o insuccesso) dipenderà in massima parte dalla loro diffusione e quindi da un rapporto costi / utilità dell'applicazione per il singolo utente. Il fattore diffusione è anche strettamente legato alla capacità di espansione delle applicazioni già esistenti sui mercati di paesi in via di sviluppo e non unicamente in quelli industrializzati.

### Applicazioni militari

L'impiego del GPS nelle Forze armate di molti paesi ha conosciuto negli ultimi 15 anni una forte diffusione. L'esercito americano ha introdotto i sistemi di navigazione GPS in modo sistematico e capillare. Carri armati, aerei, mezzi d'artiglieria, veicoli di ogni genere e in molti casi anche il singolo fante sono stati o verranno dotati di un navigatore GPS. Operando in Codice P e usando misure "Anti-Spoofing" si è ottenuta una precisione più che sufficiente per la missione da compiere e una buona (ma non eccezionale) protezione elettronica da possibili disturbi e dagli effetti devastanti degli "hackers del GPS".

Il pilotaggio automatico - applicato a missili da crociera, missili aria-suolo e recentemente a velivoli senza equipaggio - rappresenta il settore tecnologico nel quale si sono concentrati gli sforzi più importanti della ricerca scientifica con navigatori satellitari.

### Missili da crociera

Un missile da crociera a lungo raggio d'azione percorre sovente distanze di 1'000 o 2'000 chilometri volando a basse quote. La sua velocità è paragonabile a quella di un normale jet civile. Di conseguenza la durata del volo può facilmente raggiungere e oltrepassare le due ore. Il missile segue una rotta prestabilita tra il punto di lancio e l'ob-



L'ingegnere  
Fausto de Marchi

**L'impiego del GPS nelle Forze armate di molti paesi ha conosciuto negli ultimi 15 anni una forte diffusione. L'esercito americano ha introdotto i sistemi di navigazione GPS in modo sistematico e capillare. Carri armati, aerei, mezzi d'artiglieria, veicoli di ogni genere e in molti casi anche il singolo fante sono stati o verranno dotati di un navigatore GPS. Operando in Codice P e usando misure "Anti-Spoofing" si è ottenuta una precisione più che sufficiente per la missione da compiere e una buona (ma non eccezionale) protezione elettronica da possibili disturbi e dagli effetti devastanti degli "hackers del GPS".**

**I missili da crociera moderni dispongono sempre più frequentemente (oltre al sistema INS) anche di navigatori satellitari GPS per raggiungere la zona del bersaglio prescelto.**

biiettivo da colpire. È di capitale importanza che la rotta venga mantenuta il più fedelmente possibile e che quindi la posizione del missile sia determinata ad ogni istante con precisione e paragonata ad intervalli regolari con quella prestabilita. La determinazione della posizione viene comunemente assicurata da un sistema inerziale di navigazione INS (Inertial Navigation System), un insieme di giroscopi ed acceleratori i cui segnali elettrici vengono combinati e integrati da un computer di bordo: il risultato di questa elaborazione elettronica è la determinazione in permanenza della posizione, della velocità e della rotta del missile in volo. Il metodo di navigazione INS è conosciuto da oltre 50 anni: esso fu negli anni sempre più perfezionato e la sua realizzazione strumentale sempre più miniaturizzata. INS conosce tuttavia una difficoltà di base, quella di dover correggere gli errori propri dei singoli strumenti (giroscopi ed acceleratori), errori che combinandosi e sommandosi generano con il passare del tempo deviazioni di rotta importanti (il cosiddetto "drift" del sistema inerziale) dell'ordine di diversi chilometri. Senza adeguate contromisure un missile da crociera correrebbe il rischio, dopo un lungo volo, di mancare la zona dell'obiettivo. È quindi essenziale per la buona riuscita della missione prevedere durante il volo correzioni periodiche del sistema INS con un secondo sistema indipendente dal primo. Un navigatore satellitare GPS, con ottime prestazioni, garanzie di disponibilità, semplicità e bassi costi, rappresenta lo strumento ideale a questo scopo. Poiché il GPS ha la funzione di correggere a intervalli regolari il sistema inerziale INS (ma non di sostituirlo), è ritenuto una componente importante del pilotaggio automatico ma con un ruolo ausiliario. I missili da crociera moderni dispongono sempre più frequentemente (oltre al sistema INS) anche di navigatori satellitari GPS per raggiungere la zona del bersaglio prescelto.

#### **Missili aria-suolo (tipo JDAM)**

Durante i conflitti in Iraq e soprattutto in Afghanistan le forze statunitensi hanno fatto largo uso di bombe a guida combinata GPS / INS conosciute con il nome di JDAM (Joint Direct Attack Munition). Esse furono sganciate da bombardieri pesanti del tipo B-52 Stratofortress, B-1 Lancer, B-2 Spirit oppure da caccia-bombardieri del tipo F-16, F/A-18, F-15E ecc.

Con il JDAM si è voluto realizzare un missile aria-suolo adoperando e modificando vecchie bombe convenzionali a caduta libera presenti in grande quantità negli arsenali militari statunitensi. Il "kit" per trasformare una bomba convenzionale in un missile JDAM consiste in un ricevitore GPS, una piattaforma inerziale INS, un microprocessore, un autopilota, ali per le correzioni aerodinamiche di percorso e alettoni fissi per la stabilità di volo. Il tutto per un costo di circa \$ 20'000 per bomba, un prezzo ritenuto oltremodo contenuto se paragonato ad altri missili aria-suolo simili. L'impiego di un JDAM al posto di bombe convenzionali si giustifica quindi con il rapporto costi - efficacia. Con un errore inferiore ai 10 metri un solo JDAM ha delle probabilità ben più elevate di distruggere un determinato bersaglio di quelle di una bomba convenzionale dello stesso calibro a caduta libera, non teleguidate: que-

st'ultime se sganciate da grandi altezze commettono errori al suolo valutabili tra i 50 e i 100 metri. Da notare che la precisione di 10 metri di un JDAM è ottenuta dalla combinazione di guida INS e GPS. Nel caso che un JDAM fosse guidato unicamente dal sistema inerziale INS si otterrebbero valori di circa 30 metri. Per contro se si dotasse lo JDAM di una guida supplementare con sensori infrarossi o radar (è un progetto in fase di studio da parte della USAF) si raggiungerebbe una precisione ancora maggiore, valutabile attorno ai 2 - 3 metri; ovviamente il costo di un singolo JDAM così modificato subirebbe una forte crescita.

Lo JDAM è stato sviluppato in 4 versioni di differente calibro e peso (250 / 500 / 1'000 rispettivamente 2'000 libbre) quale bomba di penetrazione per distruggere obiettivi sotterranei fortemente protetti come bunker o caverne (vedi figura 15).



*Fig. 15: le 4 versioni JDAM*

I preparativi per il lancio di JDAM possono essere assai laboriosi e dipendono in primo luogo dal tipo di velivolo utilizzato. Un bombardiere pesante esegue tutte le procedure di preparazione (individuare e identificare i bersagli, calcolarne le loro coordinate, attribuire i bersagli ai singoli JDAM) e le procedure di lancio (verifiche delle possibilità d'impiego, trasmissione dei dati al computer del JDAM) in modo autonomo. Va notato che il computer del JDAM determina, prima del lancio, la traiettoria ottimale del missile, il quale cercherà di seguirla durante il volo il più fedelmente possibile. La potenza di fuoco di questi bombardieri è molto elevata: ad esempio un singolo B-1 Lancer può lanciare in rapida sequenza durante la stessa missione fino a 24 JDAM contro altrettanti bersagli al suolo.

Una seconda possibilità di tiro dei JDAM presuppone l'impiego contemporaneo di due tipi d'aerei e cioè di un ricognitore (non armato) che esegue tutte le procedure preliminari sopraindicate e di uno (o più) caccia-bombardieri dotati di JDAM che eseguiranno invece le procedure di lancio. Il caccia-bombardiere dovrà ricevere prima del lancio dal ricognitore (via data-link) tutti i dati relativi ai singoli bersagli. Una operazione indispensabile per un impiego corretto del JDAM e che richiede un notevole lavoro di coordinamento tra i vari velivoli impiegati. Di regola il lancio avviene a distanze tra i 20 e i 30 km dal bersaglio e a quote medio-alte (fino a 12'000 metri circa) per evitare il possibile fuoco della contraerea nemica.

Gli sviluppi futuri di armi a guida GPS vanno in più direzioni. Si sta cercando ad esempio di ridurre la loro vulnerabilità da possibili disturbi, interferenze o da contromisu-

re elettroniche. Inoltre la gamma delle applicazioni verrà verosimilmente ampliata. A questo proposito sono da menzionare i molti progetti di ricerca e di sviluppo di velivoli da ricognizione e da combattimento senza equipaggio (UAV) nei quali la navigazione satellitare avrà un ruolo essenziale.

### Applicazioni civili

Oltre all'uso già oggi assai diffuso (ma ancora caro) dei navigatori stradali nelle automobili e camions ci si attende nei prossimi anni un incremento delle applicazioni in molti altri settori tra i quali vanno ricordate: la gestione dei trasporti in generale (stradali, su rotaia, navali e nell'aviazione civile), le risorse energetiche, l'ecologia, l'agricoltura, le costruzioni pubbliche, le comunicazioni, la protezione civile, gli istituti bancari e le assicurazioni, la sicurezza personale e i soccorsi in casi d'emergenza, l'aiuto ai portatori di handicap e alle persone anziane e ovviamente in molti altri settori a carattere prettamente scientifico quali la cartografia, la geodesia, l'oceanografia ecc.

Ci limiteremo a descrivere brevemente alcune di queste applicazioni, sapendo che alcune di esse sono già state realizzate (per lo più a titolo sperimentale) mentre per molte altre i progetti sono ancora in fase di definizione.

### Traffico stradale

Si stima che nel 2010 mondialmente circoleranno 670 milioni d'automobili, 200 milioni di veicoli commerciali leggeri e 33 milioni di camions e bus: si tratta del maggior mercato potenziale per i sistemi di navigazione satellitare. Il calcolo e la presentazione al conducente di tragitti ottimali su cartine stradali elettroniche, già oggi sul mercato, conoscerà nei prossimi anni una forte espansione: ci si attende pure una migliore disponibilità e precisione dei dati in zone urbane, oggi ancora assai carenti. Il navigatore stradale sarà dotato in futuro di una trasmittente che emetterà automaticamente un segnale di richiesta d'assistenza in caso di difficoltà, includendo la posizione esatta del veicolo in avaria, oppure un segnale d'allarme per la polizia in caso di furto del veicolo. La funzione del navigatore stradale quale dispositivo antifurto permetterà di ridurre sensibilmente i gravi danni finanziari arrecati a proprietari e assicurazioni: nella sola Europa vengono rubati e non più recuperati annualmente oltre 500'000 veicoli.

Code ed ingorghi stanno diventando il problema più assillante per le grandi città, soprattutto nei quartieri periferici, agli svincoli autostradali e un po' ovunque nelle ore di punta. Con una alta percentuale di veicoli muniti di futuri navigatori stradali si potrà determinare la velocità media del traffico in movimento nelle zone più a rischio d'ingorghi e proporre percorsi alternativi al conducente nel caso in cui la velocità scendesse sotto una soglia prestabilita. Si è calcolato che con questo espediente si potrà evitare in Europa dal 10% al 20% di perdite di ore lavorative.

Alcune case automobilistiche europee propongono inoltre soluzioni più futuristiche. Stanno ad esempio sviluppando un assistente elettronico di guida abbinato al sistema GALILEO, già battezzato con il nome di ADAS (Advanced Driving Assistance Systems), il quale potrà esercitare certe funzioni di guida sostituendosi al conducente in situazioni di

rischio d'incidenti. In particolare ridurrà automaticamente la velocità dell'automobile in avvicinamento a code, oppure non permetterà al conducente di oltrepassare un determinato limite di velocità in caso di nebbia su autostrade.

In Europa esistono oggi circa 60'000 ambulanze che operano soprattutto in grossi centri urbani. Un sistema di navigazione satellitare collegato con una rete locale di comunicazione e trasmissione dati permetterebbe di ridurre il tempo per il trasporto del ferito o ammalato in ospedale. Già oggi oltre il 50% delle chiamate a centri di pronto intervento viene eseguita da persone sul luogo del sinistro con telefoni mobili. Qualora il telefono mobile fosse dotato di un ricevitore GPS o GALILEO e di una antenna trasmittente la posizione esatta del sinistro sarebbe comunicata istantaneamente al centro di pronto intervento senza possibilità di errori. Inoltre il centro potrà pianificare l'intervento dell'ambulanza in maniera ottimale. Concretamente, scegliendo il percorso più breve possibile (anche in funzione del traffico momentaneo) e controllando i semafori al passaggio dell'ambulanza.

Queste possibilità potranno essere estese ad altri mezzi di pronto intervento, ad esempio ai pompieri.

### Traffico ferroviario

Negli ultimi decenni la quota-parte del trasporto di merci su rotaia ha conosciuto in molti paesi (non è il caso della Svizzera) una lenta e continua regressione. Il navigatore satellitare potrà contribuire ad invertire questa tendenza negativa. Ad esempio eseguendo in modo più razionale uno smistamento dei vagoni o dei containers nelle grandi stazioni merci oppure facilitando la composizione dei treni merci. Inoltre il controllo permanente e preciso dei convogli in movimento sulla stessa linea permetterà di ridurre le distanze tra di loro e quindi d'aumentare la capacità di trasporto della linea.

Molte linee ferroviarie, soprattutto in paesi in via di sviluppo, non dispongono di adeguati dispositivi di sicurezza. L'istallazione e la manutenzione di segnali e dispositivi sulle linee e un monitoraggio del traffico nelle stazioni sono investimenti spesso troppo costosi per compagnie ferroviarie confrontate con gravi problemi finanziari. Anche in queste situazioni la navigazione satellitare abbinata a sistemi per la trasmissione di dati rappresenta un'alternativa interessante e meno onerosa. Vari progetti per migliorare la sicurezza del traffico ferroviario sono in via di sviluppo. Un primo progetto prevede un dispositivo di allarme per il macchinista nel caso in cui la velocità del convoglio, su tratte particolari come quelle con lavori sulla linea, superasse la velocità massima acconsentita in quel punto. Un secondo progetto prevede pure di allarmare il macchinista qualora la distanza tra il suo convoglio e quello che lo precede si riducesse oltre una soglia minima di sicurezza.

### Traffico aereo

L'aviazione civile fa già oggi largo uso del sistema di navigazione satellitare quale mezzo (complementare) per conoscere la propria posizione in volo. Con un incremento medio del 4% annuo l'aviazione civile necessita sempre più urgentemente di sistemi che garantiscano una migliore sicurezza in ogni fase di volo, soprattutto nelle due fasi più

**Oltre all'uso già oggi assai diffuso (ma ancora caro) dei navigatori stradali nelle automobili e camions ci si attende nei prossimi anni un incremento delle applicazioni in molti altri settori tra i quali vanno ricordate: la gestione dei trasporti in generale (stradali, su rotaia, navali e nell'aviazione civile), le risorse energetiche, l'ecologia, l'agricoltura, le costruzioni pubbliche, le comunicazioni, la protezione civile, gli istituti bancari e le assicurazioni, la sicurezza personale e i soccorsi in casi d'emergenza, l'aiuto ai portatori di handicap e alle persone anziane e ovviamente in molti altri settori a carattere prettamente scientifico quali la cartografia, la geodesia, l'oceanografia ecc.**



**Localizzare a distanza, con precisione e automaticamente la chiamata da un cellulare rappresenta uno delle applicazioni future commercialmente più interessanti. Di indubbio interesse è in primo luogo la realizzazione di un servizio d'emergenza o di assistenza rapido e sicuro. In Europa questo servizio d'emergenza si attiverà con il numero "Emergency calls 112", negli Stati Uniti con il 911. Come già ricordato oltre il 50% delle richieste d'assistenza per incidenti stradali avviene utilizzando il telefono mobile, ma la descrizione del luogo presenta talvolta qualche difficoltà ed è fonte di errori e quindi di ritardi nel prestare il soccorso.**

critiche, cioè al decollo e all'atterraggio in caso di nebbia o di avverse condizioni atmosferiche. Il navigatore satellitare sarà un prezioso aiuto anche in svariate altre situazioni, soprattutto per migliorare la sicurezza negli aeroporti. Vi sono ancora oggi molte (troppe) carenze tecniche in aeroporti che dovranno essere eliminate in breve tempo. Ad esempio vi sono spazi aerei nelle vicinanze di aeroporti che non vengono controllati con la dovuta continuità per mancanza di radar secondari. Altri aeroporti, anche importanti, non sono dotati di una adeguata attrezzatura ILS (Instrument Landing Systems) che permetta un atterraggio strumentale dei velivoli. È importante inoltre dotare maggiormente elicotteri, velivoli ultra-leggeri, mongolfiere e altri piccoli aerei turistici "da fine settimana" (sovente difficilmente reperibili sugli schermi radar) con sistemi di navigazione satellitare e radiotrasmettitori per far conoscere la propria posizione in volo alle torri di controllo e ridurre i rischi di collisioni. Nei grandi aeroporti il traffico di aerei sul tarmac e sulle vie d'accesso alle piste viene controllato da uno speciale radar di terra, ma la posizione dell'aereo viene sovente annunciata a voce (via radio) dal pilota alla torre di controllo e verificata dai controllori a vista, condizioni meteorologiche permettendo. I gravi incidenti degli ultimi anni (basti pensare a quello avvenuto all'aeroporto di Linate l'8 ottobre 2001 in cui perirono 118 persone) hanno messo drammaticamente in evidenza la necessità di migliorare la sicurezza del traffico aereo anche al suolo. In questi casi un sistema di navigazione satellitare preciso come GALILEO sarà in grado di dare un contributo importante alla riduzione dei rischi di collisione.

#### **Traffico marittimo**

I futuri sistemi di navigazione satellitare permetteranno alla marina mercantile di soddisfare molteplici esigenze. Esse si possono riassumere in pochi concetti: più sicurezza, maggiore possibilità operative e nuove rotte economicamente vantaggiose. Per la navigazione in alto mare la conoscenza della propria posizione e della propria rotta è di fondamentale importanza per prevenire collisioni con altre navi (in particolare negli stretti, in canali fluviali con molto traffico e in caso di nebbia) e per evitare la scogliera, l'iceberg o il bassofondo. Anche manovre in porti e operazioni d'attracco saranno facilitate da un sistema di navigazione satellitare preciso e sempre disponibile. Un altro settore sul quale si confida d'ottenere migliori risultati di quelli odierni è la ricerca e il salvataggio di naufraghi o di navi in difficoltà. Oggi il servizio mondialmente conosciuto come SAR (Search And Rescue service) è assai carente: molti falsi allarmi, ritardi nella trasmissione dei segnali SOS e soprattutto una localizzazione dell'imbarcazione in emergenza con incertezze ed errori quantificabile in vari chilometri. Un altro settore nel quale si spera d'ottenere anche vantaggi economici non indifferenti è quello della navigazione nei mari artici con i rompighiaccio. Conoscere lo spessore del ghiaccio sul mare è un primo passo (compito risolvibile con satelliti artificiali), il secondo è quello d'indicare, controllare e correggere la rotta del rompighiaccio lungo un tragitto dove lo spessore del ghiaccio è minimo (compito risolvibile con un sistema di navigazione satellitare).

#### **Risorse energetiche**

I blackout elettrici negli Stati Uniti e in Italia hanno mostrato la vulnerabilità delle reti internazionali ad alta tensione di fronte a perturbazioni, sbalzi di corrente e sovratensioni sulle linee. Evitare il sorgere di questi disturbi non è compito semplice, ma alleviarne le conseguenze è possibile anche grazie ai dati di un sistema di navigazione satellitare. Si è infatti di recente evidenziato che una precisa sincronizzazione delle diverse componenti in rete (generatori, trasformatori, distributori, ecc.) - con errori inferiori allo 0.001 secondo - e una precisa conoscenza della loro posizione sul terreno facilita la localizzazione del disturbo e riduce notevolmente i tempi del blackout. Sono tutte esigenze di precisione e di tempismo che potranno un giorno essere soddisfatte grazie ai dati di GALILEO. Ciò che vale per la rete di distribuzione elettrica vale, almeno parzialmente, anche per le reti di oleodotti e di gasdotti.

#### **Protezione civile**

Essa è chiamata soprattutto a gestire e a organizzare aiuti in casi di catastrofi naturali come terremoti, alluvioni, eruzioni vulcaniche, scoscendimenti, incendi ecc. La disponibilità di dati satellitari permetterà di meglio fronteggiare queste situazioni di emergenza. In una prima fase è indispensabile monitorare le zone sinistrate, e in una seconda localizzare i luoghi più colpiti, gli ingorghi causati dai fuggitivi, le risorse energetiche ancora intatte, di dirigere sulla zona elicotteri e squadre di soccorso, di coordinare gli interventi ecc. Tutti compiti in cui la localizzazione dell'evento o dell'intervento è di capitale importanza: un sistema di navigazione satellitare potrà offrire anche in molte di queste situazioni un prezioso aiuto.

#### **Telecomunicazioni, ovvero il ricevitore di GALILEO nel telefono mobile**

Localizzare a distanza, con precisione e automaticamente la chiamata da un cellulare rappresenta uno delle applicazioni future commercialmente più interessanti. Di indubbio interesse è in primo luogo la realizzazione di un servizio d'emergenza o di assistenza rapido e sicuro. In Europa questo servizio d'emergenza si attiverà con il numero "Emergency calls 112", negli Stati Uniti con il 911. Come già ricordato oltre il 50% delle richieste d'assistenza per incidenti stradali avviene utilizzando il telefono mobile, ma la descrizione del luogo presenta talvolta qualche difficoltà ed è fonte di errori e quindi di ritardi nel prestare il soccorso. Esistono al riguardo stime ufficiali fatte dalla UE. Si calcola che in un anno in Europa vengono eseguite circa 180 milioni di chiamate urgenti con richieste d'intervento per soccorso ed assistenza, ma 6 milioni di esse (quindi oltre il 3%) non ottengono risposte adeguate per l'incompletezza o addirittura per la mancata precisazione del luogo dell'emergenza. Non è difficile immaginare che un numero imprecisato ma non indifferente di persone perda quindi la vita ogni anno a causa di questi errori. Tecnicamente la soluzione del problema è assai semplice: incorporare nel telefonino un ricevitore GPS o GALILEO e un trasmettitore. Ogni possibilità d'equivoco sarebbe eliminata se al momento della

chiamata e sulla stessa rete telefonica venissero anche inviate la posizione del cellulare in modo automatico e senza alcun intervento particolare dell'utente. Una volta realizzato questo primo progetto riguardante l'emergenza non è difficile immaginare che si apriranno le porte a molti altri servizi d'utilità pubblica. Ad esempio si potrà indicare all'utente, su sua specifica richiesta, la posizione dell'ospedale, della farmacia, del posteggio pubblico, del ristorante o del teatro più vicino; il tutto visualizzato su cartine elettroniche di facile lettura. Il potenziale di mercato per questi servizi è enorme, ma è strettamente legato alla crescita della telefonia mobile. Un mercato, quello del telefonino, che oggi si aggira su scala mondiale attorno a 1 miliardo di utenti e che nel 2020 potrebbe raggiungere i 2.7 miliardi. Il condizionale è tuttavia d'obbligo poiché l'espansione della telefonia mobile dipende da quella dei grandi mercati in India e in Asia, in modo particolare da quello cinese.

#### **Aiuto ai disabili**

Una persona su dieci è un portatore di handicap, in maniera più o meno grave. I navigatori satellitari potranno aiutare concretamente questa categoria di sfortunati a superare le molte difficoltà legate alla loro mobilità. Il futuro navigatore satellitare dovrà tuttavia dimostrare precisione e in particolare una perfetta affidabilità in zone urbane e all'interno di edifici: ovviamente a prezzi contenuti. Tre gli esempi che riportiamo in queste righe quali progetti in via di sviluppo a favore dei disabili.

#### *Aiuto ai ciechi*

L'Agenzia spaziale europea ESA sostiene un progetto per facilitare la mobilità a ciechi e ipovedenti (progetto TORMES). Si tratta essenzialmente di un ricevitore del sistema di navigazione GALILEO dalle dimensioni simile a un telecomando TV e di peso inferiore al chilogrammo: si potrà tenere in mano, fissarlo su una spalla o metterlo in uno zainetto. È un navigatore parlante molto simile a quelli ben noti nelle automobili o nei TIR. Il cieco potrà far uso del dispositivo in due diversi modi: come semplice navigatore satellitare a viva voce per raggiungere il luogo prescelto, oppure potrà far richiesta al dispositivo del percorso più breve per raggiungere la meta. Il dispositivo è munito di una tastiera Braille e da un sintetizzatore di voce. Il progetto ha finora dato risultati molto promettenti.

#### *Aiuto ai malati di Alzheimer*

Sovente i pazienti che soffrono del morbo di Alzheimer (allo stadio iniziale della malattia) continuano a svolgere attività regolari come un lavoro, guidare una vettura o far shopping, ma sono confrontati con il problema della perdita di memoria. Un navigatore satellitare portatile convenientemente adattato, potrà aiutare le persone affette da questa patologia a risolvere alcuni problemi pratici. Ad esempio nel far ritrovare la sua automobile posteggiata in un grande posteggio pubblico o a indicare la via per arrivare alla prossima fermata del bus. L'adattamento consiste nel visualizzare sul navigatore la sua posizione, il luogo di destinazione e la via da percorrere con freccia direzionali di facile interpretazione.

#### *Aiuto ad invalidi in carrozzina*

L'invalido in carrozzina che si muove in luoghi a lui non familiari necessita di informazioni particolari sovente non indicate. Si tratta in concreto di conoscere entrate particolari in edifici pubblici, ascensori, bagni, posteggi ecc. che siano accessibili o riservate ai disabili. Il navigatore sarà fissato sulla carrozzina. Sullo schermo appariranno cartine geografiche del luogo in cui si trova con strade ed edifici, la sua momentanea posizione e l'indicazione dei punti particolari come sopra ricordati.

#### **Banche e assicurazioni**

Istituti di credito e agenzie assicurative sono confrontati con il problema della sicurezza quando effettuano transazione finanziarie, trasmissioni di ordini o di documenti attraverso reti informatiche. Di per sé operazioni semplici ma non prive di rischi quali la visione del documento da parte di persone non autorizzate, di contraffazioni, falsificazioni ecc. Essi potranno allora far uso dell'ora esatta trasmessa da orologi atomici di un sistema di navigazione satellitare quale "tempo di riferimento" per ridurre i rischi di tutte queste operazioni e-banking. Ai dati riguardanti l'operazione finanziaria, alle parole-chiavi, alle firme elettroniche ecc. si aggiungerà il parametro "tempo esatto dell'operazione" formando così un messaggio elettronico più sicuro.

#### **Protezione dell'ambiente**

È sempre più importante il ruolo dei sistemi di navigazione satellitare per risolvere i problemi ambientali, abbinando i dati GPS o GALILEO con quelli d'altri satelliti che hanno il compito di monitorare il nostro pianeta. Molte applicazioni esaminano lo stato di salute del nostro pianeta, della fauna e della flora, altre servono a monitorare catastrofi naturali, altre ancora a monitorare i danni ambientali causati dall'uomo e ricercarne i responsabili. Ecco alcuni esempi.

#### *Oceanografia*

Seguendo con precisione lo spostamento di particolari boie si ottengono informazioni preziose sulle correnti oceaniche. Lo stesso vale per il monitoraggio di grossi iceberg permettendo di avvisare tempestivamente del pericolo navi e pescherecci in navigazione nella zona. Localizzare con precisione le origini d'inquinamenti idrici e seguirne le loro evoluzioni.

#### *Effetti atmosferici*

Le misurazioni con palloni-sonda e l'utilizzo di modelli matematici sofisticati hanno permesso negli ultimi anni di migliorare le previsioni meteorologiche a medio termine. Un pallone-sonda rileva a intervalli regolari e a diverse quote i dati più importanti come il grado d'umidità, la temperatura e la pressione atmosferica, i quali saranno introdotti come valori numerici iniziali nei modelli di simulazione. Le previsioni saranno tanto più attendibili quanto più fitta è la rete dei punti di rilevamento (oggi assai carente sopra gli oceani) e quanto più precisa è la localizzazione del punto di misurazione. Anche studi sulle previsioni meteorologiche a lungo termine (climatologia) e studi

**È sempre più importante il ruolo dei sistemi di navigazione satellitare per risolvere i problemi ambientali, abbinando i dati GPS o GALILEO con quelli d'altri satelliti che hanno il compito di monitorare il nostro pianeta. Molte applicazioni esaminano lo stato di salute del nostro pianeta, della fauna e della flora, altre servono a monitorare catastrofi naturali, altre ancora a monitorare i danni ambientali causati dall'uomo e ricercarne i responsabili.**

**I sistemi di navigazione satellitari al servizio della ricerca terrestre sono molteplici. I più importanti si riscontrano nella cartografia, nella vulcanologia, nella geofisica e nella geodesia. Il rilevamento topografico, soprattutto in territori discosti a bassa densità di popolazione o in zona difficilmente accessibili e senza abitanti (compreso le banchise polari e il fondo marino), è un compito che viene già oggi eseguito con successo e su larga scala dal sistema GPS.**

sulla propagazione di onde radio nella ionosfera (influenzati sovente da effetti atmosferici) potranno largamente beneficiare in futuro del sistema GALILEO.

#### Geofisica

I sistemi di navigazione satellitari al servizio della ricerca terrestre sono molteplici. I più importanti si riscontrano nella cartografia, nella vulcanologia, nella geofisica e nella geodesia. Il rilevamento topografico, soprattutto in territori discosti a bassa densità di popolazione o in zona difficilmente accessibili e senza abitanti (compreso le banchise polari e il fondo marino), è un compito che viene già oggi eseguito con successo e su larga scala dal sistema GPS. La vulcanologia usa pure il GPS per localizzare eruzioni vulcaniche sottomarine: è in grado di prevedere maremoti oppure lo scioglimento di ghiacci in regioni polari causate da attività vulcaniche. Per risolvere i problemi nel campo della geofisica e geodesia molti istituti universitari e laboratori di ricerca sparsi nel mondo si sono dotati di ricevitori GPS e collegati tra di loro formando una rete dove avviene giornalmente uno scambio di dati. Una breve descrizione della rete e la presentazione di alcuni risultati della ricerca sono riportati più in dettaglio sotto il titolo "Ricerca scientifica". Fra le applicazioni più note del GPS nel campo della biologia ricorderemo lo studio dei movimenti e delle abitudini migratorie di molti animali selvatici allo scopo di meglio preservare l'habitat faunistico e la specie stessa. Un collare sul quale viene applicato un ricevitore satellitare e un trasmettitore permette di localizzare facilmente e con precisione leoni, orsi, renne, cicogne ecc. nel loro habitat naturale come pure durante le loro migrazioni annuali.

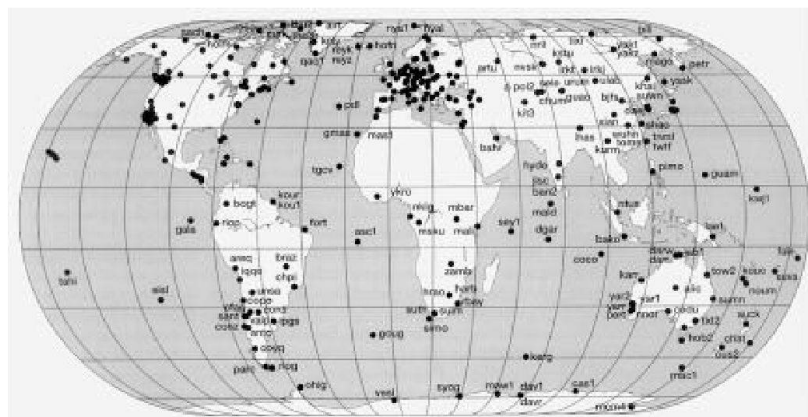


Fig. 16: i membri della organizzazione IGS

#### Ricerca scientifica

Nel 1991 fu fondata l'organizzazione internazionale denominata IGS (acronimo di International GPS Service) che divenne operativa a partire da gennaio 1994. Ad essa aderiscono molti istituti universitari, associazioni accademiche, organizzazioni per la ricerca spaziale (NASA, ESA, JPL ecc.), scienziati privati, specialisti nelle discipline della geodesia, delle scienze spaziali e dell'astronomia. Tutti hanno accettato il principio della collaborazione scientifica su basi di volontariato. I membri dell'organizzazione hanno creato una rete informatica e ognuno si è munito di

ricevitore GPS divenendo quindi una stazione di rilevamento in rete. IGS conta oggi più di 200 partecipanti distribuiti (non uniformemente) su tutta la terra: molte stazioni si trovano in Europa e negli USA, purtroppo ancora poche in Africa), come mostra la figura 16. La Svizzera vi partecipa molto attivamente con l'Università di Berna.

Ogni stazione segue 24 ore su 24 tutti i satelliti GPS a lui visibili, ogni satellite durante almeno 30 secondi. Si raccolgono in questo modo moltissimi dati sulle orbite dei satelliti e sulla posizione della stazione, dati che vengono trasmessi via Internet o per modem e telefono. IGS ha istituito 7 Centrali di analisi dei dati: tre negli USA, uno in Canada, due in Germania (di cui 1 gestito dall'ESA) e uno in Svizzera (a Berna). Alla stazione di Berna è stato dato il nome di CODE, che è una joint-venture scientifica a cui hanno aderito 4 organizzazioni statali: l'Istituto astronomico dell'Università di Berna, l'Ufficio federale svizzero della topografia (Swisstopo), l'Ufficio federale tedesco per la cartografia e la geodesia e l'Istituto geografico nazionale francese. Compito principale dei Centri di analisi è di ricostituire l'orbita di ogni satellite GPS basandosi sui dati delle varie stazioni, determinando con altissima precisione (circa 2 - 3 centimetri) la posizione e velocità di ogni satellite. Un Centro di Coordinamento stabilisce l'orbita "ufficiale IGS": essa viene determinata calcolando l'orbita media ponderata per ogni satellite ottenuta dai 7 Centri d'analisi.

Molti gli studi scientifici che l'organizzazione IGS e CODE hanno pubblicato negli ultimi anni. Uno di essi è apparso sulla rivista svizzera *Spatium* della Associazione ISSI (International Space Science Institute) nel suo numero di giugno 2003: autore è il Prof. Gerhard Beutler dell'Università di Berna. Proponiamo tre esempi tratti da questi studi.

#### Movimento dell'asse terrestre

Sull'arco di 10 anni (più precisamente tra il 29.6.1993 e il 27.3.2003) il gruppo CODE di Berna ha calcolato, basandosi sui dati giornaliere IGS, il movimento dei poli e quindi le oscillazioni dell'asse di rotazione terrestre. Il risultato è rappresentato dalla grafica nella figura 17.

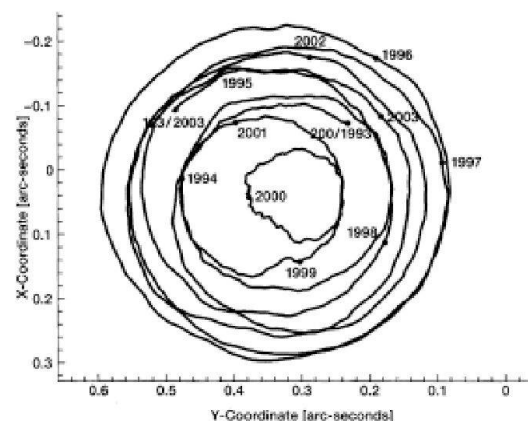


Fig. 17: moto dell'asse terrestre, stime giornaliere CODE (cortesemente *Spatium* No 10, giugno 2003)

Va notato che la scala orizzontale e verticale della rappresentazione grafica ha le dimensioni di secondi di arco: una rotazione dell'asse terrestre di 1" (secondo di arco) corrisponderebbe ai poli di uno spostamento di circa 30 metri. Le analisi dei dati raccolti sui dieci anni hanno evidenziato un movimento rotatorio di precessione dell'ordine di 0.47" in ampiezza, come mostra la figura 17, ovvero 14 metri in diametro ai due poli. Il moto è composto da due oscillazioni superposte: la prima ha un periodo di 430 giorni (nota come l'oscillazione di Chandler) dovuto al fatto che la terra non è un pianeta rigido ma elastico, e la seconda oscillazione ha un periodo di circa 1 anno ed è dovuta agli effetti dei venti atmosferici sulla superficie della terra. Questi risultati sono stati ottenuti analizzando tutte le misurazioni giornaliere: la precisione con cui vengono rilevati gli spostamenti ai poli è straordinaria ed è dell'ordine di 2 - 3 mm. Essi non hanno soltanto un valore scientifico o puramente accademico, servono al controllo climatico del nostro pianeta. È stato infatti dimostrato che uno spostamento angolare importante dell'asse della terra (superiore a 1 grado) sarebbe la causa per una nuova era glaciale, come lo fu con ogni probabilità in passato.

### Velocità di spostamento delle stazioni IGS

Un secondo importante risultato delle analisi effettuate dal gruppo CODE consiste nel aver determinato le velocità relative e le direzioni di spostamento delle singole stazioni IGS, come mostra graficamente la figura 18. Grazie a questi risultati si conoscono oggi con precisione i moti traslatori dei diversi continenti e delle placche tettoniche. L'unità di misura della velocità nella figura 18 è indicata dalla lunghezza del tratto in basso al centro del grafico: essa corrisponde a una velocità di 1 centimetro all'anno. L'immagine mostra come, ad esempio, l'Australia si stia spostando verso nord-est a una velocità superiore di 10 centimetri all'anno. Qualcuno potrà pensare che si tratti di valori irrilevanti. Non lo sono se paragonati ai tempi "cosmologici" della terra. Fra 10 milioni di anni il continente australiano si sarà spostato di oltre 1'000 km verso nord-est e si sarà scontrato con quello asiatico. La terra mostrerà allora una forma e una disposizione dei continenti e degli oceani molto diversa da quella attuale.

Anche in questo caso si potrebbero ritenere i risultati della ricerca di puro interesse scientifico o accademico. Niente di più sbagliato. Le misurazioni degli spostamenti dei continenti hanno un interesse pratico di grande rilevanza: insieme ad altri dati questi ci permetteranno un giorno d'anticipare il sopraggiungere di effetti tellurici. La previsione di terremoti rappresenta una delle sfide più difficili ma importanti da affrontare e da vincere nei prossimi anni e alla quale i sistemi di navigazione satellitare daranno un contributo della massima importanza.

Altri esempi di ricerca scientifica nella quale si è fatto largo uso del sistema GPS e della rete IGS sono quelli che hanno permesso di determinare la quantità e la distribuzione degli elettroni liberi nella nostra ionosfera oppure di calcolare con precisione il campo gravitazionale terrestre.

Le applicazioni pratiche basate sui sistemi di navigazione satellitari e ricordate in questo articolo rappresentano probabilmente soltanto una piccola parte rispetto a quelle che conosceranno le future generazioni. Le ricadute economiche saranno di enorme importanza per tutto il mondo industrializzato e per l'Europa in particolare. Anche per il nostro paese non mancheranno certo le opportunità: starà a noi saperle cogliere tempestivamente. ■

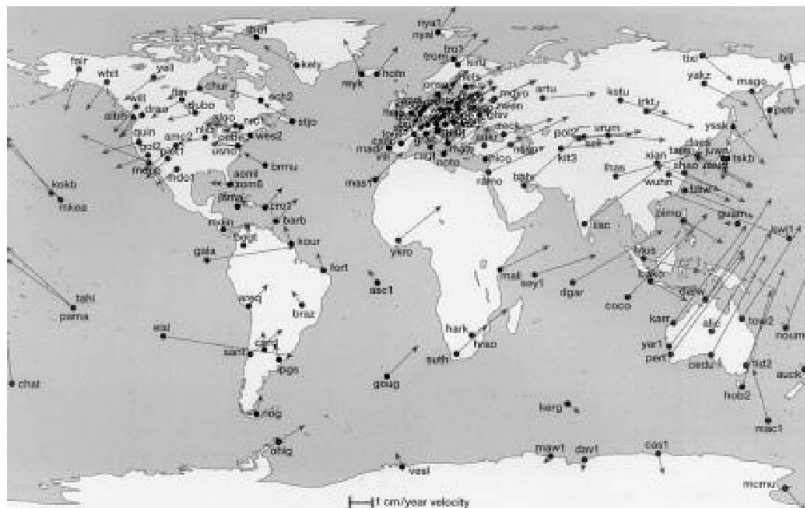


Fig. 18: velocità e direzione di spostamento delle stazioni IGS (cortesemente Spatium No 10, giugno 2003)

### Glossario (in ordine alfabetico)

- ADAS** - Advanced Driving Assistance System  
Dispositivo per il controllo e l'assistenza alla guida (progetto)
- ESA** - European Space Agency  
Agenzia spaziale europea
- IGS** - International GPS Service  
Stazioni GPS in rete per la ricerca scientifica
- ILS** - Instrument Landing Systems  
Sistema d'atterraggio strumentale
- INS** - Inertial Navigation System  
Sistema di navigazione inerziale
- ISSI** - International Space Science Institute  
Organizzazione internazionale per le scienze spaziali
- JDAM** - Joint Direct Attack Ammunition  
Missile aria-suolo a guida GPS
- JPL** - Jet Propulsion Laboratory  
Laboratorio USA di ricerca aerospaziale (della NASA)
- NASA** - National Aeronautics and Space Administration  
Ente spaziale americana
- SAR** - Search and Rescue Service  
Servizio emergenza e soccorso della Marina civile
- Swisstopo**  
Ufficio federale svizzero della topografia
- UAV** - Unmanned Aerial Vehicle  
Aeromobili senza equipaggio

**Altri esempi di ricerca scientifica nella quale si è fatto largo uso del sistema GPS e della rete IGS sono quelli che hanno permesso di determinare la quantità e la distribuzione degli elettroni liberi nella nostra ionosfera oppure di calcolare con precisione il campo gravitazionale terrestre.**