

# Navigare tra i pianeti con la bussola ‘marziana’

L'ENEA ha sviluppato una bussola solare, in grado di funzionare –con gli opportuni adattamenti - anche nelle missioni spaziali per navigare tra i pianeti. Questo strumento può avere ricadute di interesse per applicazioni terrestri e, in particolare, per la navigazione su mezzi mobili come navi ed aerei, mezzi speciali, attrezzati per rilevamenti ambientali e mezzi ad intelligenza artificiale, privi di autista. L'Agenzia è aperta a collaborazioni con altri Enti di ricerca o con imprese per sviluppare una bussola ‘marziana’ o, più semplicemente, una bussola per mezzi mobili terrestri.

DOI 10.12910/EAI2021-092

di Francesco Flora<sup>1</sup>, Fabrizio Andreoli<sup>2</sup>, Sarah Bollanti<sup>1</sup>, Paolo Di Lazzaro<sup>1</sup>, Gian Piero Gallerano<sup>1</sup>, Luca Mezi<sup>1</sup>, Daniele Murra<sup>1</sup>, Luca Murra<sup>3</sup> (\*)

**Q**uasi tutti gli escursionisti portano con sé una bussola per orientarsi. Ma se potessero fare una passeggiata su un altro pianeta, ad esempio su Marte, che è privo di campo magnetico, scoprirebbero subito che la loro bussola non è più in grado di funziona-

re, come pure sarebbe inutilizzabile il GPS del loro cellulare (dal momento che su Marte non esiste ancora una costellazione di satelliti di tipo GPS). Come orientarsi allora? La tecnica più semplice, in questo caso, è quella che veniva usata sulla Terra prima dell'invenzione della bussola magnetica:

guardare la posizione del sole nel cielo. Un tempo il sole era il riferimento principale sia per avere un'indicazione approssimata dell'ora e sia per l'orientamento. Tuttavia, per ottenere la direzione del Nord in modo preciso, era necessaria un'intera giornata. Bisognava infatti piantare uno stilo verticale (detto gnomone) su un piano orizzontale e tracciare sul piano, per tutta la giornata, il percorso seguito dall'ombra della punta dello stilo.

Fatto ciò, come mostrato in Fig. 1, si tracciava un cerchio centrato sulla base dello stilo e sufficientemente grande da intersecare il percorso dell'ombra: la retta (rossa in Fig. 1) di congiunzione tra i due punti di intersezione (A e B in Fig. 1) forniva con precisione la direzione Est-Ovest mentre quella che univa la base dello stilo al punto medio (M) tra le intersezioni, detta “linea meridiana” o anche “linea del mezzogiorno”, forniva la direzione del Nord geografico (per essere precisi, tale direzione indicherebbe il Sud geografico se questa stessa operazione

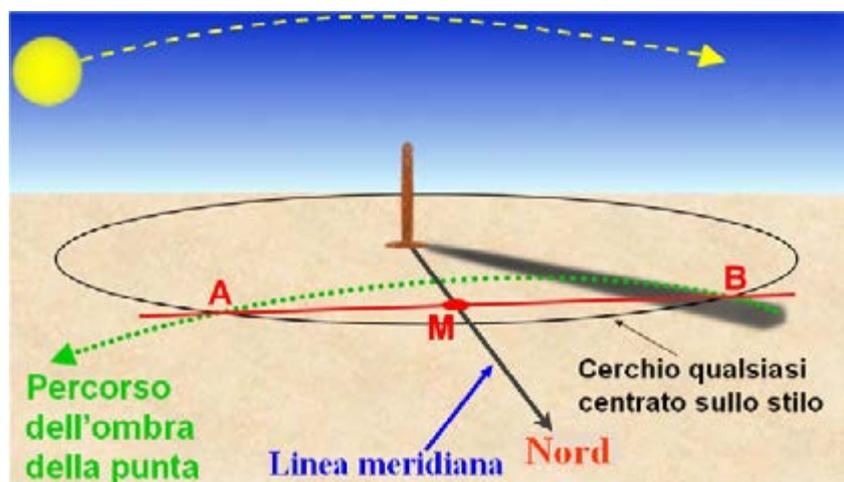


Fig. 1 Antico metodo di orientamento con il sole: uno stilo verticale piantato su una superficie piana orizzontale



Fig. 2 La bussola solare elettronica di alta precisione brevettata da ENEA

venisse eseguita nell'emisfero australe). Successivamente, quasi due secoli fa, furono inventate le prime bussole solari, strumenti in grado di indicare la direzione del Nord geografico con precisione ben superiore a quella delle bussole magnetiche, attraverso un rilevamento del sole, da eseguire in pochi minuti grazie al mirino dello strumento, e attraverso la consultazione degli almanacchi delle effemeridi che fornivano i valori quotidiani di declinazione del sole ed dell'equazione del tempo, indispensabili per far funzionare la bussola.

A partire dal 2000, con l'avvento della microelettronica e dei rivelatori di immagine (CCD), le bussole solari sono diventate strumenti compatti e funzionanti automaticamente. Quella brevettata da ENEA, qui mostrata in Fig. 2, è tra le più precise e con un alto livello di compattezza ed automazione [1,2]; essa fornisce la direzione del Nord geografico in pochi secondi e con una accuratezza di 1 primo d'arco ( $0.017^\circ$ ), ovvero circa 100 volte migliore di quella consentita dalle bussole magnetiche.

**“Sunpass”, la App che trasforma i cellulari in una bussola smart**

Recentemente è stata creata anche una versione “smart”, ovvero una App, denominata “Sunpass”, che trasforma qualsiasi cellulare in una bussola solare con caratteristiche simili a quella della bussola ENEA brevettata. In

questo caso l'accuratezza raggiungibile, limitata dalle imprecisioni meccaniche dei cellulari, è di circa  $0.1^\circ$ , quindi ben 10 volte migliore di quella delle bussole magnetiche. Nella Fig. 3 è riportato un cellulare mentre è in funzione Sunpass.

Come nel caso della bussola ENEA, anche con Sunpass la direzione del sole si calcola a partire dall'immagine di una riga di luce prodotta da una fenditura posta su una parete laterale di una piccola scatola collocata sotto al cellulare (a destra nella Fig. 3). A differenza di quanto avviene nella bussola ENEA, dove la riga di luce viene direttamente proiettata su un sensore di immagine, in questo caso l'immagine viene catturata dalla fotocamera del cellulare e poi elaborata in tempo reale per l'ottenimento della pendenza della riga di luce (immagine in basso a destra sul display di Fig. 3). Sul display appare la rosa dei punti cardinali indicante il Nord geografico e l'azimut del lato lungo del cellulare (in basso in blu, vedi Fig. 3).

### Una bussola ‘marziana’

Sarebbe possibile modificare la bussola solare ENEA in modo che possa funzionare in un altro pianeta, ad esempio su Marte? La risposta è positiva. La bussola ENEA infatti non utilizza tabulati e non si collega ad internet per poter funzionare. E' completamente autonoma e calcola le effemeridi del sole in tempo reale sfruttando una soluzione analitica approssimata delle leggi di Keplero [3] che sono ovviamente valide in tutto il sistema solare. In linea di principio, sarebbe quindi sufficiente sostituire i parametri astronomici della Terra (inclinazione dell'asse, eccentricità dell'orbita, posizioni del perielio-afelio, ecc.) con quelli di Marte e la bussola sarebbe perfettamente in grado di fornire le coordinate del sole visto dal nuovo pianeta e la direzione del Nord di quel pianeta [4]. Inoltre, per certi aspetti, una bussola solare su Marte godrebbe di alcuni vantaggi naturali rispetto alla sorella terrestre: su Marte c'è sempre il sole (non piove mai ed il cielo non

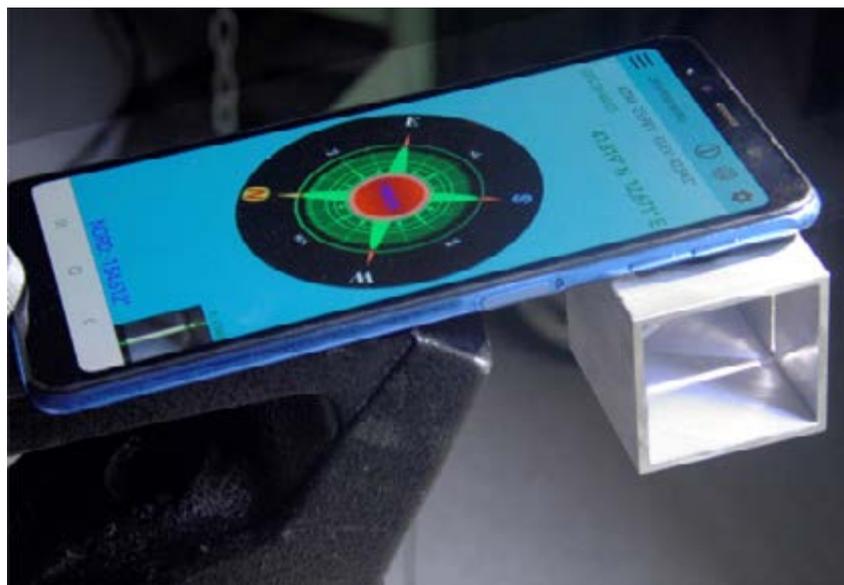


Fig. 3 La versione smart della bussola ENEA: la App Sunpass riconosce la direzione del sole a partire dall'immagine di una riga di luce solare prodotta da una fenditura e proiettata sul fondo di una piccola scatola metallica collocata sotto al cellulare



Fig. 4 La meridiana/bussola solare del rover Spirit su Marte. La foto di destra mostra chiaramente l'effetto delle polveri marziane dopo un solo anno  
 Source: Image Courtesy Nasa/JPL

si annuvola mai) ed il diametro angolare del sole visto dal pianeta rosso è circa 2/3 di quello che abbiamo sulla terra (quindi circa  $0.3^\circ$  anziché  $0.5^\circ$ ) per cui la riga di luce solare che si produce nella bussola sarebbe più stretta. La possibilità di ottenere un discreto funzionamento della bussola anche in condizioni critiche, ad esempio quando il cielo è offuscato da deboli nuvole o da polvere o addirittura parzialmente coperto come durante un'eclissi di sole, è già stata dimostrata [5].

**In realtà, per trasformare la bussola attuale in una bussola marziana servono ulteriori accorgimenti, legati al fatto che l'immediato interesse, emerso anche dal recente convegno dell'Agenzia Spaziale Italiana "Tavolo tematico su Strumentazione Scientifica Spaziale" a novembre 2020, è di avere una bussola che possa funzionare senza un operatore ed ancorata a bordo di un mezzo mobile.**

Questo significa che la bussola deve avere molteplici sensori (almeno 4 a  $90^\circ$  tra loro in modo da coprire contemporaneamente un campo visivo di  $360^\circ$  in cui cercare il sole), una fenditura modificata in modo che possa determinare automaticamente l'altezza del sole ed essere integrata di una base inerziale (detta IMU), ovvero di un dispositivo elettronico che fornisce continuamente la direzione della

verticale del luogo anche in presenza delle forze apparenti che si presentano nei mezzi mobili, come la forza centrifuga (durante una sterzata del mezzo mobile) o la forza di inerzia (durante una frenata).

Altre importanti implementazioni, per ottenere la bussola solare marziana, sono legate alla diversità dell'ambiente marziano rispetto a quello terrestre per cui è necessario:

- Un orologio a tempo medio marziano (l'ora esatta su Marte è diversa da quella sulla terra)
- Un sistema di sincronismo dell'orologio con il mezzogiorno locale (ad esempio prevedendo di mantenere ferma la bussola per un'intera giornata).
- Disponibilità di materiali leggeri indeformabili per l'involucro della bussola.
- Lo studio di un sistema automatico di pulizia delle finestre di ingresso per proteggerle dalla polvere marziana (ad esempio tramite una finestra aggiuntiva lentamente girevole).

L'idea di una bussola/meridiana solare per missioni marziane non è nuova. Già sulla missione del Rover "Spirit" del 2004-2008 era stata installata una bussola solare rudimentale, mostrata in Fig. 4. La bussola solare che emergerebbe dal-

la ricerca sopra descritta presenterebbe un nuovo ed importante vantaggio rispetto a quanto utilizzato fino ad oggi per missioni spaziali: fornirebbe la direzione del Nord geografico di Marte in tempo reale con una accuratezza così elevata (circa  $0.01^\circ$ ) da consentire un'integrazione bidimensionale (x,y) del movimento del mezzo mobile (rover) tale da poterne determinare costantemente le proprie coordinate geografiche, come se avesse a bordo un GPS. In questo modo, il mezzo mobile potrebbe produrre fotografie del territorio marziano con precisi riferimenti geografici (latitudine, longitudine ed orientamento) e rientrare alla base, dopo un viaggio di chilometri, con un errore di pochi metri.

Ovviamente, per poter ottenere questa integrazione del movimento è indispensabile che il rover sia dotato di un dispositivo che misuri con precisione la distanza che viene percorsa.

### Le ricadute industriali

Lo sviluppo di una bussola solare marziana, necessario affinché essa possa funzionare a bordo di mezzi mobili, avrebbe immediate ed importanti ricadute per applicazioni terrestri ed in particolare per:

- navigazione su mezzi mobili terrestri convenzionali (navi ed aerei)
- navigazione di mezzi mobili speciali (mezzi attrezzati per rilevamenti ambientali)
- navigazione di mezzi ad intelligenza artificiale (mezzi privi di autista).

L'ENEA è aperta sin da ora a collaborazioni con altri Enti di ricerca o con imprese per lo sviluppo della bussola marziana o semplicemente di una bussola per mezzi mobili terrestri.

(\*) <sup>1</sup>Laboratorio Sorgenti, Diagnostiche e interazione Laser-materia; <sup>2</sup>Laboratorio Tecnologie Nucleari; <sup>3</sup>Università di Roma Sapienza,

## BIBLIOGRAFIA

1. S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, F. Flora, G. P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, A. Torre, and D. Vicca: "Electro-optical sun compass with a very high degree of accuracy", *Optics Letters*, vol. 40, N° 15, pp. 3619-3622, (2015).
2. Brevetto WO2014102841, UIBM # 0001416021
3. S. Bollanti, et al: "Calcolo analitico della posizione ..." RT/2012/24/ENEA (2012).
4. F. Flora, S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, G.P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, A. Torre, D. Vicca: "Electronic solar compass for high precision orientation on any planet" *Journal of Instrumentation* vol. 11, C07014 (2016). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/11/07/C07014>
5. S. Bollanti, D. De Meis, P. Di Lazzaro, F. Flora, G.P. Gallerano, L. Mezi, D. Murra, D. Vicca: "Performance of an electro-optical solar compass in partially-obscured Sun conditions" *Applied Optics* vol. 55, 3126-3130 (2016). <https://doi.org/10.1364/AO.55.003126> and <https://www.osapublishing.org/ao/fulltext.cfm?uri=ao-55-12-3126&id=338922>