

RABDOS

a radar system for sub-surface water detection on arid regions

Premessa

L'ASI ha realizzato nel corso degli ultimi anni una famiglia di strumenti basati su tecniche radar in grado di scandagliare il sottosuolo del pianeta Marte al fine di realizzare la mappatura della distribuzione dell'acqua sia allo stato liquida che solida nei primi strati sotto la superficie di Marte e la mappatura degli spessori di ghiaccio nella regione polare e possibilmente la ricostruzione 3-D delle calotte polari. Questa tipologia di radar, denominati sounding radar, nasce da un'idea originale proposta dal prof. G. Picardi, dell'Università di Roma la Sapienza, e successivamente sviluppata con l'interazione sinergica della comunità scientifica italiana ed internazionale (in particolare del Jet Propulsion Laboratory della NASA) e realizzata dall'industria italiana sotto la guida dell'ASI.

Fino ad ora sono stati realizzati due strumenti di questo tipo, MARSIS e SHARAD che in quasi quattro anni di operazione in orbita Marziana hanno contribuito in maniera significativa alla scienza del pianeta.

I due strumenti, che pongono l'Italia all'avanguardia in questo specifico campo della ricerca e della tecnologia, utilizzano particolari antenne formate da lunghi bracci ultraleggeri che sono ripiegati all'interno di una scatola al momento del lancio e che vengono aperte solo una volta che il satellite che le ospita è entrato nell'orbita finale intorno al pianeta.

I due radar sono complementari tra loro poiché MARSIS produce dati a bassa risoluzione spaziale, ma possiede un'alta capacità di penetrazione, mentre SHARAD ha una bassa penetrazione, ma i dati sono ad alta risoluzione spaziale. I dati di MARSIS consentono di inquadrare a grandi linee la parte profonda (fino a 5 chilometri) della crosta marziana e, soprattutto, di individuare la presenza d'acqua sia liquida che solida. SHARAD, invece, fornisce dati sul sottosuolo più superficiale (fino ad un massimo di un chilometro di profondità) fornendo utilissime informazioni sull'evoluzione del pianeta. Questo tipo di radar potrà essere uno strumento essenziale nell'esplorazione del sistema solare poiché fornisce da orbiter dati sul sottosuolo. Soprattutto i satelliti dei pianeti esterni, che saranno oggetto nelle prossime decadi di uno sforzo esplorativo notevole da parte della NASA, potranno essere investigati con queste tecnologie. La crosta dei satelliti ghiacciati, primo tra tutti Europa, ma anche Titano, potrebbe essere certamente un primo obiettivo, come anche il sottosuolo di Io e Ganimede. Specialmente SAHARD, per le sue frequenze e caratteristiche tecniche, potrebbe avere uno sviluppo nel campo dell'esplorazione del Sistema Solare.

D'altra parte non sono ancora assolutamente comprese le potenzialità di radar simili a SHARAD nell'esplorazione della nostra Terra. I radar a penetrazione del sottosuolo solitamente usano frequenze non adatte alla penetrazione di rocce o sedimenti con percentuali d'acqua liquida interstiziale anche modeste. A differenza dei radar comunemente in uso, sia SHARAD che MARSIS usano frequenze che consentono una maggior penetrazione in rocce e sedimenti saturi o sottosaturi d'acqua liquida e hanno una funzionalità totale in presenza di ghiaccio.

Lo sviluppo della potenzialità dell'uso di sounding radar in ambiente terrestre fa già parte dei programmi dell'ASI per quanto riguarda la ricerca in zone periglaciali. Questi obiettivi sono stati perseguiti nell'ambito dell'esperimento SoRa (2008) da pallone stratosferico, ovvero la verifica sperimentale delle performance del radar SHARAD su superfici note e di differente natura in modo da poterne verificare la risposta e ottenere un set di valori di riferimento da poter poi confrontare con i dati ottenuti su Marte aiutando la comprensione univoca dei dati.

Sulla scia di SoRa, l'ASI sta attualmente portando avanti un progetto di realizzazione e sperimentazione di un radar da aereo che unisce la modalità sounder nadir-looking a quella SAR classica off-nadir a bassa frequenza (Banda P).

Lo sviluppo di tale nuovo sistema è stato affidato al consorzio CORISTA che ha maturato negli ultimi anni una notevole esperienza in questo campo partecipando significativamente ai programmi MARSIS, SHARAD e SoRa.

I Radar Sounder

I Radar sounder sono dispositivi a onde radio, e quindi frequenze relativamente basse, inusuali per le abituali applicazioni radar che utilizzano frequenze nel campo delle microonde. L'utilizzo di tali frequenze consente a questi sensori di penetrare anche per diversi Km (la profondità di penetrazione è inversamente proporzionale alla frequenza utilizzata) materiali "asciutti" quali rocce, sabbia o ghiaccio, e di rivelare la presenza di particolari strutture che siano in grado di riflettere le onde radio, come ad esempio nel caso di MARSIS e SHARAD, già menzionati nella premessa, il bedrock di strati di ghiaccio o possibili riserve di acqua liquida. Il principio di funzionamento è relativamente semplice: il sounder, che lavora normalmente in geometria "nadir looking", trasmette un impulso radio dalla piattaforma che lo trasporta, tale impulso si propaga nell'atmosfera sino a raggiungere la superficie. L'interazione dell'impulso con la superficie farà sì che una parte dell'energia elettromagnetica associata all'impulso stesso venga retrodiffusa nel mezzo di provenienza generando un'eco che il sounder è in grado di captare (eco di superficie), mentre una parte di energia continuerà a propagarsi nel mezzo che compone la superficie. Se durante la propagazione di quest'ultima parte dell'energia irradiata dal sounder viene incontrata una discontinuità dielettrica (nell'esempio più banale se viene incontrata una stratificazione sottosuperficiale), avverrà di nuovo una retrodiffusione dell'impulso radio che di nuovo il sounder potrà captare con la sua antenna (eco sottosuperficiale). La dislocazione temporale dei due echi dipenderà dalla profondità della discontinuità sottosuperficiale rispetto alla superficie. La differenza in ampiezza tra i due echi dipenderà dalle costanti dielettriche dei diversi mezzi e dall'attenuazione di propagazione dovuta al primo strato.

Meno semplice è sicuramente la scelta dei principali parametri di sistema e l'elaborazione del segnale ricevuto dal sounder. La scelta della frequenza, ad esempio, è vincolata direttamente al requisito sulla profondità di penetrazione del sensore ma anche alla necessità di limitare gli echi superficiali provenienti da direzioni off-nadir (clutter superficiale) e che possono mascherare gli echi sottosuperficiali. Infatti la coerenza o l'incoerenza del fenomeno di scattering superficiale è direttamente legata alla rugosità della superficie rapportata alla lunghezza d'onda associata alla frequenza utilizzata. Più la superficie è liscia più rapidamente lo scattering superficiale decresce all'aumentare dell'angolo di off-nadir e più sarà semplice rivelare la presenza di eventuali echi sottosuperficiali. Ancora, a parità di rugosità della superficie, l'entità del clutter superficiale può essere diminuita migliorando la risoluzione spaziale del sounder sulla superficie. Quest'ultima può essere migliorata, nella direzione cross-track, aumentando la risoluzione in distanza del sounder, ovvero allargando la banda dell'impulso trasmesso che dovrà necessariamente essere un codice chirp per salvaguardare la sensibilità del sistema. Migliorare la risoluzione in distanza peraltro è anche desiderabile poiché migliora la capacità del sensore di discriminare strati relativamente vicini fra loro. Il prezzo che si paga per tale scelta è una maggiore complessità di progettazione dell'hardware per problemi di banda frazionale e di controllo della dinamica del sistema, considerato che l'utilizzo del chirp comporta la necessità di affrontare problemi legati alla presenza di lobi laterali e ripple di Fresnel. Nel verso along-track la risoluzione del sounder può essere migliorata anche utilizzando la tecnica dell'apertura sintetica, ovvero sfruttando il moto relativo tra sounder e superficie osservata per formare un'antenna virtuale molto più direttiva in quel senso, giacché l'utilizzo delle frequenze radio impone che le antenne debbano essere del tipo a dipolo o loop o, eventualmente, Yagi, ma comunque sempre poco direttive o quasi omnidirezionali. L'utilizzo dell'apertura sintetica comporta un'analisi disciplinata e dettagliata delle compensazioni di fase necessarie per ottenere i risultati desiderati.

Si puo' quindi notare come la progettazione di un sounder sia un delicato incastro di scelta di parametri che mantengano ad un livello adeguato le prestazioni del sensore.

Peraltro anche ammesso che il sounder sia stato progettato e realizzato rispettando i requisiti posti, rimane il fatto che l'analisi dei profili radar non e' cosa triviale, sia per la necessita' di avere la certezza che eventuali altri echi che seguano quella superficiale non siano da attribuire a clutter superficiale, sia per la complessita' dell'operazione di inversione radar che consente la caratterizzazione della struttura sottosuperficiale che ha generato un'eco rivelata dal sounder.

Comunque i risultati ottenuti sino a questo momento con Marsis e Sharad fanno si che non si possa ritenere inopportuna l'affermazione che ASI abbia tutte le competenze necessarie per l'eventuale sviluppo di nuovi sounder per applicazioni diverse quali quelle citate nella premessa.

La geologia della regione dell'africa del nord e del Kenia

La penetrazione dipende in gran parte sulla Terra dalla presenza di acqua sia come corpo superficiale di acqua libera sia interstiziale all'interno dei sedimenti. Le zone aride e semi aride sono quindi adatte, per un verso, a consentire la migliore penetrazione delle onde radar e, dall'altro, a consentire l'individuazione di serbatoi sotterranei.

Le zone aride del Sahara hanno evidentemente una cronica necessita' d'acqua. In Sahara esistono fondamentalmente due tipi di falda una superficiale (10 – 20 metri) locale e discontinua e con acqua di bassa qualita' e una profonda (30 – 200 metri) estesa su ampie zone e contenuta in depositi continentali Cretacei. Mentre la prima e' di facile individuazione poiche' legata alla presenza di acque superficiali (fiumi e oasi) quella profonda puo' essere riconosciuta con prospezioni regionali. Il radar a penetrazione del sottosuolo puo' avere le capacita' di individuare sia la falda superficiale sia, soprattutto, quella piu' profonda.

RABDOS, inoltre dato lo scenario di esplorazione regionale potra' fornire indicazioni sul contesto geologico delle falde e consentire la costruzione di modelli geologici piu' dettagliati. Infatti, attualmente l'esplorazione per le risorse idriche si sviluppa a macchia di leopardo senza una visione regionale a larga scala.

Le zone di savana semi arida del Kenya forniscono uno scenario piu' complesso: le falde acquifere sono meno definite e la presenza pervasiva di acqua interstiziale e' maggiore rispetto alle aree aride. La differenziazione geomorfologia e' maggiore per la presenza di fiumi perenni. La presenza di un maggior numero di acquiferi a differenti livelli stratigrafici comporta comunque la necessita' di individuare gli acquiferi a scala regionale che posso contenere ampie riserve idriche di buona qualita'.

Principali caratteristiche tecniche

Il sistema radar sounder sarà progettato preferendo le soluzioni tecniche che consentano una flessibilità di funzionamento e di utilizzo, necessarie per gli obiettivi applicativi proposti.

Di seguito sono brevemente elencate alcune possibili scelte tecniche in questo senso:

- doppia frequenza di lavoro (una bassa, 40-50 MHz ed una alta 150 MHz) per permettere diverse profondità di penetrazione e risoluzione;
- sintesi digitale del segnale da trasmettere (tecniche DDS);
- utilizzo di tecniche stepped-frequency;
- elaborazione dei dati in tempo reale;
- utilizzo di sistemi di memorizzazione ad alta velocità e capacità;
- miniaturizzazione dell'apparato;
- automazione del sistema radar con l'utilizzo di sistemi di navigazione.

Attività di sviluppo e prova

L'attività di sviluppo dovrebbe, dato il diverso contesto in cui il sounder opererebbe, includere l'analisi ed il congelamento di tutti i requisiti dell'apparato e dell'elaborazione dei dati che saranno disponibili, basandosi essenzialmente su quanto emergerà dallo studio preliminare. A questo studio dovrà seguire la progettazione a di dettaglio dello strumento e la realizzazione dei sottosistemi che lo comporranno, ovvero antenna, trasmettitore, ricevitore ed una unità digitale che probabilmente dovrà contenere solo le funzioni fondamentali del radar quali la generazione del chirp, il timing e l'interfaccia con un sistema di memorizzazione dei dati. E' infatti verosimile pensare, vista la specifica utilizzazione, che tutta l'elaborazione possa essere effettuata off-line con un semplice laptop. Dovrà quindi seguire una fase di prove che serviranno a verificare le funzionalità e prestazioni dello strumento al fine di consentirne l'accettazione e la successiva utilizzazione in campagne di ricerca.

Per l'attività di prova, potrebbe essere opportuno pensare di montare il sounder su un piccolo aereo o elicottero che potrebbe sorvolare aree selezionate con il contributo dei geologi. La scelta delle quote di sorvolo e della velocità (ad esempio la quota di 150 m e la velocità di 150 Km/h sono valori tipici consentiti dalla regolamentazione italiana per voli effettuati in modalità VFR) potranno anche aiutare a semplificare l'elaborazione dei dati e ridurre la complessità del sistema. Questa sarà comunque una scelta che dovrà essere considerata nel corso dell'attività di studio preliminare. L'esperienza già maturata ci dice che l'attività di prova dovrà iniziare con la calibrazione del radar sounder; questa attività, essenziale per il funzionamento del sistema, dovrà essere effettuata sorvolando un sito opportunamente prescelto in base alla presenza di specifiche caratteristiche geologiche, determinate con metodi indipendenti, e opportunamente supportata da geologi sul campo.

Successivamente verranno riverificati gli algoritmi di deconvoluzione dei dati ed ottimizzato il sistema. In parallelo allo sviluppo dello strumento è essenziale prevedere lo sviluppo di un adeguato SW di terra che si prevede debba poter essere gestito attraverso un normale laptop commerciale al fine di poter rendere il sistema utilizzabile anche in condizioni ambientali difficili. Inoltre dovrà essere studiata e realizzata un'interfaccia uomo-macchina semplice per consentirne l'utilizzo anche a geologi o altro personale non necessariamente esperto di radar.

Tempistica

La tempistica dello sviluppo delle attività di realizzazione e validazione di RABDOS beneficia del progetto di sviluppo del radar in banda P, attualmente in corso.

Il CORISTA, sfruttando le sinergie con tale iniziativa dell'ASI, è in grado di assicurare una tempistica di sviluppo molto compressa e costi ridotti.

Una preliminare pianificazione delle attività prevede quattro fasi principali:

- una fase di studio preliminare e determinazione dei requisiti applicativi della durata di 3 mesi;
- una fase di progettazione e realizzazione della durata di 6 mesi;
- una fase di installazione sul mezzo aereo e calibrazione di circa 2 mesi;
- una fase di validazione con campagne di volo su siti reali di circa 1 mese.

Accordi internazionali

Deve essere evidenziato che le tecnologie utilizzate per questo tipo di radar potrebbero anche essere utilizzate per applicazioni diverse che non la ricerca di depositi di acque sotterranee, inoltre il sorvolo di territori di altre nazioni e la scoperta di possibili risorse naturali pregiate, come l'acqua, necessitano di accordi internazionali ben definiti. Va anche considerata la necessità di coprire buona parte del know-how con apposite clausole di "non disclosure" o segretezza. La definizione di detti accordi dovrebbe essere perfezionata con opportuno anticipo rispetto alle campagne di prova sul territorio e possibilmente, anche al fine di evitare un inutile dispendio di risorse, nella fase di studio preliminare.