

## IL TELERILEVAMENTO PER L'OSSERVAZIONE DEL TERRITORIO DALLO SPAZIO (1)

Maurizio FEA, Associazione Geofisica Italiana (AGI), con la collaborazione di Alberto Baroni (SERCO).

Immagini: cortesia dell'European Space Agency (ESA/ESRIN) e di Google.

### La terra del ghiaccio e del fuoco

Questo inserto della Rivista è dedicato all'Islanda, terra giovane e ricca di contrasti e di energia naturale, seconda in estensione solo alla Gran Bretagna. Parte emersa della Dorsale Atlantica settentrionale, appena a Sud del Circolo Polare Artico, tra la Groenlandia e il Regno Unito, a 63° Nord 18° Ovest, quest'isola ospita ghiacciai, vulcani e sorgenti termali in un clima relativamente mite, temperato dalla Corrente del Golfo. I ghiacciai occupano circa il 10% del suo territorio e il più grande, il **Vatnajökull**, è il quarto al mondo per estensione; in contrasto, numerose sono le fonti di energia geotermica che forniscono elettricità e acqua calda a gran parte della popolazione.

Facendo riferimento, come sempre, alle brevi note pubblicate su questa Rivista nel 2004, l'Islanda è qui illustrata attraverso l'analisi e l'interpretazione di immagini rilevate da satellite in diverse bande spettrali con i metodi tipici del telerilevamento. I portali web dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ([www.esa.int](http://www.esa.int), [earth.esa.int](http://earth.esa.int)) ed il sito web Eduspace, sviluppato dall'ESA per scopi educativi in nove lingue e disponibile all'indirizzo [www.esa.int/eduspace](http://www.esa.int/eduspace), offrono un utile e ricco complemento, così come i portali di altre istituzioni che operano nel campo dell'osservazione della Terra. Al succitato sito Eduspace, in particolare, si rimanda per gran parte dei dettagli metodologici e di elaborazione dei dati da satellite, che qui non è possibile approfondire.

### Il territorio al variare delle stagioni

Le immagini di copertina, che illustrano l'Islanda in due stagioni opposte, sono state rilevate dallo spettrometro MERIS del satellite Envisat dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e visualizzate in colori naturali (RGB 7,5,3-2). L'immagine in prima di copertina è stata rilevata il 21 Luglio 2010 in una giornata di cielo sereno su tutto il territorio, vale a dire in condizioni meteorologiche piuttosto rare, mentre l'immagine in quarta di copertina è stata rilevata il 4 ottobre 2008 e mostra l'Islanda coperta dalla prima neve autunnale. Le immagini non sono state georeferenziate e anzi, per includere tutta l'isola nel formato della copertina sono state ulteriormente ruotate in senso antiorario: per ottenerne la giusta proiezione geografica occorre ruotarle, quindi, di circa 20° in senso orario. Nell'immagine estiva si può riconoscere bene il bianco brillante dei diversi ghiacciai: a destra il Vatnajökull, il più grande d'Europa, al centro lo Hofsjökull, che è al tempo stesso il terzo in ordine di dimensioni e il vulcano attivo più grande di tutta l'Islanda, alla cui sinistra si osserva la sagoma allungata del Langjökull, il secondo per ordine di estensione. Per localizzare un evento di cui si parlerà alla fine, è interessante notare, nella parte più meridionale e quasi sulla costa, la piccola macchia bianca che si trova appena a sinistra dell'altra più grande che visualizza il ghiacciaio **Mýrdalsjökull**: si tratta del **Eyjafjallajökull**, che ricopre di ghiaccio la sommità del vulcano Eyjafjöll (Fig. 1) e il cui lago craterico ha un diametro di circa 100 m. È utile ricordare che le nubi dalla sommità bianca si distinguono dalla neve perché nelle immagini ottiche sono accompagnate dalla loro ombra. Sono visibili anche i numerosi laghi e i fiumi glaciali che, dai ghiacciai, attraversano le vaste pianure, in gran parte desertiche, coperte o da lava e da ciotoli basaltici, di colore marrone/ocra o nero, o da vegetazione a pascolo, di colore verde medio o scuro ["soffice erba e muschio a fianco di deserti di sabbia nera, campi di lava e rocce spoglie" da "Ghiaccio e fuoco", pagina del sito del Consolato Generale d'Islanda a Milano] e giungono all'Oceano Atlantico: la loro acqua appare nera quando è limpida, soprattutto nei laghi, o di colore giallo-ciano quando contiene sedimenti sospesi, in gran parte minerali di zolfo legati alla grande attività vulcanica che si svolge senza interruzione in superficie e sotto l'isola. Nell'immagine invernale si nota meglio la struttura ad altipiano di gran parte del terreno e appare ancora più evidente la natura dendritica della geomorfologia islandese in molte parti dell'isola, dovuta all'azione modellatrice del vento ed erosiva dell'acqua sulla superficie. Nella parte centro-meridionale dell'immagine si nota altresì l'acqua turchese del Lago Þórisvatn, acqua glaciale che probabilmente contiene sedimenti morenici in sospensione e alghe o piccole piante acquatiche. Lo stato di purezza dell'acqua si deduce, in generale, dalle tonalità con le quali è visualizzata nelle immagini ottiche multispettrali: l'acqua pura e limpida assorbe tutta l'energia solare nelle bande spettrali del visibile e dell'infrarosso, con una riflettanza bassissima solo nelle lunghezze d'onda molto corte del Visibile, vale a dire del violetto e del blu. Pertanto, l'acqua limpida e profonda appare nera nelle immagini ottiche, mentre in vicinanza delle coste o in acqua bassa la riflessione parziale della luce solare può arrivare dal fondo, in particolare se esso è costituito di sabbia bianca. Sedimenti o alghe sospesi nell'acqua riflettono in parte la luce e la loro presenza è, quindi, indicata da diverse tonalità di colore blu o verde: lungo la costa meridionale dell'isola si possono osservare filamenti più chiari nell'acqua, indice di correnti locali che trasportano sedimenti immessi in mare dai fiumi o fenomeni di erosione costiera; per la stessa ragione, al largo delle coste settentrionali si notano ampie zone di colore blu-verde, indice di vaste concentrazioni di fitoplancton, quindi di nutrienti per la catena alimentare marina. Un'analisi più accurata della copertura territoriale della parte orientale dell'Islanda può essere fatta confrontando due diverse visualizzazioni di un'immagine multispettrale rilevata dal satellite Landsat-5 il 3 giugno 1997: una in colori naturali (RGB 3,2,1) (Fig. 2) e l'altra in falsi colori (RGB 4,3,1) (Fig. 3); nella seconda, il territorio coperto da pascoli appare in tonalità rosse, dovute all'alta riflettanza della vegetazione nella banda spettrale dell'Infrarosso Vicino, visualizzata nel canale "Rosso", mentre le aree coperte da lava o residui di eruzioni vulcaniche appaiono in diverse tonalità di marrone scuro o grigio.

### Osservando nella banda spettrale delle microonde

Il mosaico di due immagini rilevate nella banda spettrale delle microonde dallo strumento ASAR di Envisat il 19 marzo 2011 durante due diverse orbite discendenti (Fig. 4) permette di vedere bene la posizione della capitale Reykjavik: le afe eco di ritorno per riflessione multipla dalle pareti degli edifici e dal fondo stradale e la conseguente loro visualizzazione in tonalità bianche indica che la città si trova nella parte meridionale della grande baia di Faxaflói, sulla costa occidentale, in basso a sinistra dell'immagine. Come confermato dall'immagine ASAR del mese successivo (Fig.5), l'osservazione obliqua del radar provoca nell'immagine una deformazione della parte superiore delle alture verso il satellite, distorsione che però ha il vantaggio di esaltare la topografia del territorio, come nel caso delle antiche strutture moreniche nell'altipiano centro-orientale, che si sono sviluppate lungo la dorsale atlantica sottostante. Il confronto tra le immagini ottiche e quelle nelle microonde conferma che le nubi sono trasparenti agli impulsi del radar, quindi non appaiono mai nelle immagini radar, e che gli oggetti sul territorio sono rilevati in modo totalmente diverso dall'ottico. I ghiacciai assumono aspetto e dimensioni molto diversi rispetto alle immagini ottiche quando sono rilevati nelle microonde. Infatti, i toni di grigio nell'immagine del radar dipendono dall'intensità della eco retrodiffusa dalla superficie del ghiacciaio verso il satellite, che, a sua volta, è funzione della ruvidità della superficie e dell'angolo della sua esposizione verso il satellite. Pertanto, avviene che alcune parti del ghiacciaio appaiono più scure e, quindi, non bianche come ci si aspetterebbe dal ghiaccio asciutto e pieno di crepacci.

### Un'eruzione che ha interessato tutta l'Europa e non solo

Il 20 marzo 2010 ebbe inizio un'intensa e lunga attività eruttiva del vulcano Eyjafjöll, già citato. Il 14 aprile ci fu una nuova eruzione che causò il blocco totale per dieci giorni del traffico aereo in Europa, e non solo: nell'immagine rilevata dallo strumento MERIS di Envisat il 19 aprile (Fig. 6), si osserva che la nube ocra chiaro di gas e materiale eiettato verso il cielo si propagò verso Sud per poi virare verso Sud-Est e minacciare direttamente le operazioni aeronautiche sull'Europa. Il traffico aereo poi riprese, anche se in modo saltuario per molto tempo. Infatti, nell'immagine rilevata dallo stesso satellite un mese dopo, l'11 maggio (Fig. 7), il pennacchio del vulcano è ancora ben visibile, ma ha una forma lunga e stretta dovuta a un forte vento da Nord-Ovest. Da notare: alcuni ghiacciai dell'interno hanno tonalità molto più scure o nere, perché sono stati ricoperti dalla cenere. La Fig. 8 è una carta tematica, che illustra il percorso fatto dalla nube di cenere e la concentrazione di SO<sub>2</sub>, ed è un tipico prodotto del telerilevamento, preparato per illustrare in modo sintetico l'evolversi di un fenomeno.

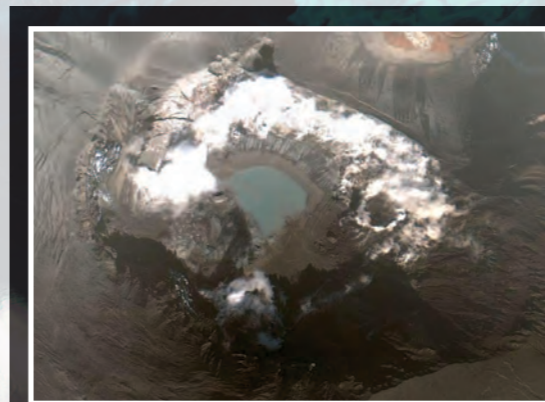


Fig. 1 - Immagine multispettrale del vulcano Eyjafjöll, rilevata dal satellite GeoEye e visualizzata in colori naturali (cortesia Google).

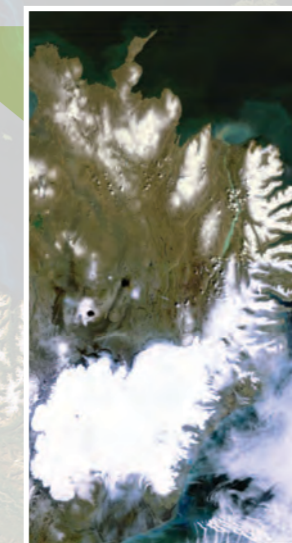


Fig. 2 - Immagine multispettrale della parte orientale dell'Islanda, rilevata dal Thematic Mapper del satellite Landsat-5 il 3 giugno 1997 e visualizzata in colori naturali (RGB 3,2,1) (cortesia ESA/ESRIN).

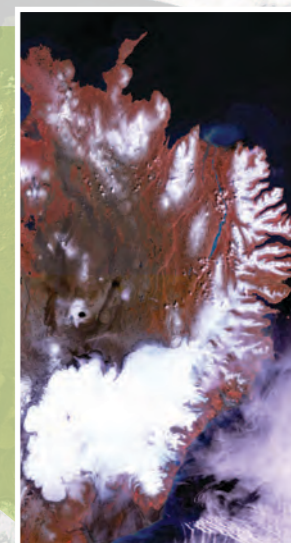


Fig. 3 - Immagine multispettrale come in Fig. 2, ma visualizzata in falsi colori (RGB 4,3,1) (cortesia ESA/ESRIN).

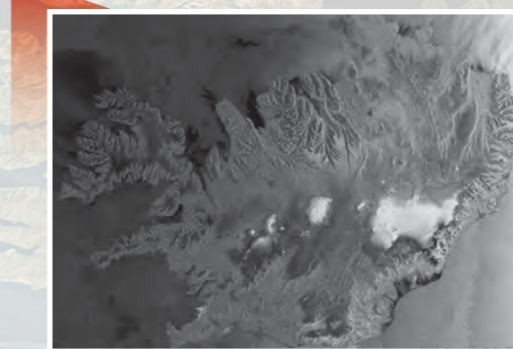


Fig. 4 - Mosaico dell'Islanda, rilevato nella banda spettrale delle microonde dallo strumento ASAR di Envisat il 19 marzo 2011 (cortesia ESA/ESRIN).

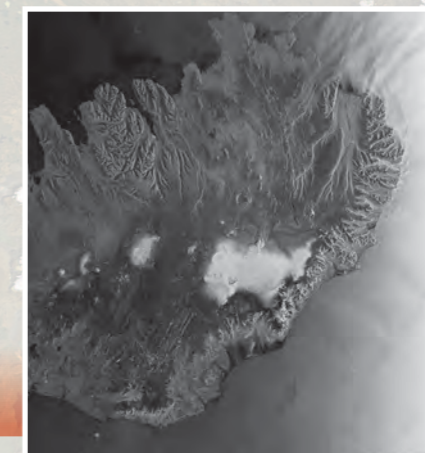


Fig. 5 - Immagine radar come in Fig. 4, ma rilevata il 18 aprile 2011 (cortesia ESA/ESRIN).

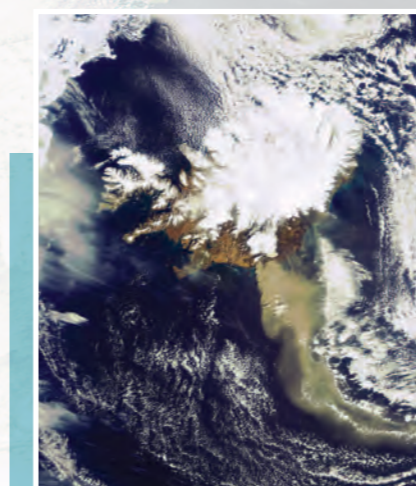


Fig. 6 - Immagine multispettrale dell'Islanda, rilevata il 19 aprile 2010 dal MERIS di Envisat e visualizzata in colori naturali (RGB 7,5,3-2) (cortesia ESA/ESRIN).

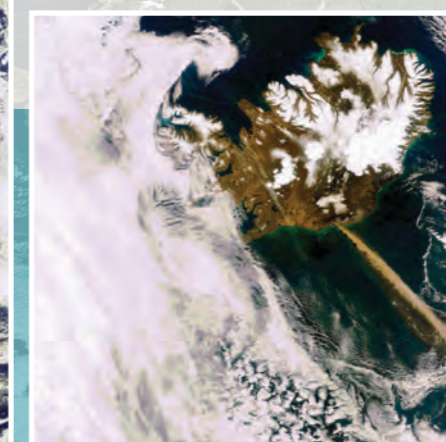


Fig. 7 - Immagine multispettrale come in Fig. 6, ma rilevata l'11 maggio 2010 (RGB 7,5,1) (cortesia ESA/ESRIN).

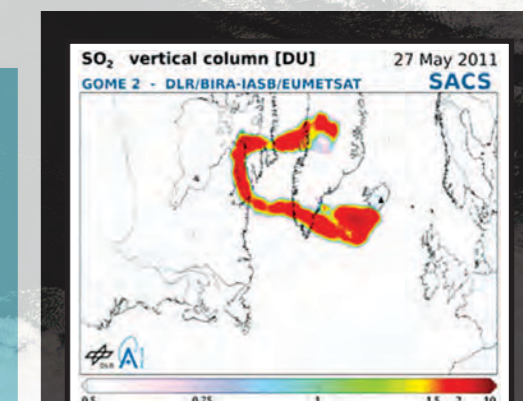


Fig. 8 - Cartina del percorso della nube di cenere generata dal vulcano Eyjafjallajökull.