

Rapporti tecnici

INGV

**Campagna di misure a Lipari per la
calibrazione di dati iperspettrali da
sensore aereo**

275



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

CAMPAGNA DI MISURE A LIPARI PER LA CALIBRAZIONE DI DATI IPERSPETTRALI DA SENSORE AEREO

Malvina Silvestri¹, Gianluca Arcomano², Lucia Pruiti³, Emiliana Valentini⁴

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

²CGIAM (Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo)

³INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Catania)

⁴ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)

275

Indice

Introduzione	7
1. Informazioni generali	7
1.1 Cenni sul progetto asi-agi	7
1.2 Scopo della campagna di misure	7
1.3 Breve storia geologica dell'isola di Lipari	7
2. La campagna di misure	9
2.1 Siti di acquisizione	9
2.2 Stazioni di misura	11
2.3 Dati acquisiti da terra, aereo e satellite	14
2.3.1 Dati di terra	14
2.3.2 Dati aerei	17
2.3.3 Dati satellitari ASTER	24
3. Conclusioni	25
Ringraziamenti	26
Bibliografia	26
Appendice A	27

Introduzione

Questo report vuole descrivere la campagna di misure svoltasi a Lipari a fine giugno 2013 nel quadro delle attività di calibrazione del sensore iperspettrale aereo utilizzato all'interno del progetto ASI-AGI. La campagna di misura è stata condotta da una collaborazione tra personale INGV e da personale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

1. Informazioni generali

1.1 Cenni sul progetto ASI-AGI

L'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) sta finanziando lo sviluppo di una missione iperspettrale nazionale denominata PRISMA, PRecursor IperSPettrale della Missione Applicativa, un sistema di osservazione della terra con strumentazione elettro-ottica di tipo innovativo, che integra un sensore iperspettrale con una camera pancromatica a media risoluzione (maggiori dettagli possono essere trovati al sito dell'ASI http://www.asi.it/it/attivita/osservazione_terra/prisma).

Nell'ambito di questa missione, il progetto ASI-AGI, Analisi Sistemi Iperspettrali per le applicazioni Geofisiche Integrate, coordinato dall'INGV, ha come obiettivo il miglioramento della comprensione a livello scientifico di alcuni fenomeni naturali quali le eruzioni vulcaniche, l'attività tettonica e gli incendi. Inoltre il progetto vuole sviluppare tecniche innovative finalizzate ad ottimizzare le capacità della camera iperspettrale e le caratteristiche geometriche della camera pancromatica. Il progetto ha avuto inizio nel 2011 e avrà una durata di 4 anni. Partner dell'INGV in questo progetto sono il Dipartimento di Ingegneria MEccanica e Civile dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (DIMEC-UNIMORE) e il Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo (CGIAM).

1.2 Scopo della campagna di misure

Obiettivo della missione è stato quello di raccogliere dati di verità a terra per la calibrazione di dati acquisiti da aereo. La campagna di misura si è svolta dal 27 al 29 giugno 2013, in concomitanza con il passaggio del satellite *Terra* della NASA con a bordo il sensore Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) e del un volo aereo con il sensore iperspettrale IPERGEO. I dati raccolti saranno utilizzati per effettuare una comparazione tra le misure eseguite dal sensore aereo e quelle in situ. La calibrazione dei dati aerei sarà a cura del Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo (CGIAM).

1.3 Breve storia geologica dell'isola di Lipari

L'isola di Lipari si trova nella parte meridionale dell'arcipelago eoliano, al di sopra dell'isola di Vulcano. Come tutte le isole dell'arcipelago, anch'essa è di origine vulcanica e si presenta montuosa e frastagliata. Proprio a seguito dell'interesse vulcanico di tutto l'arcipelago, avendo già effettuato campagne di misura nelle altre isole dell'arcipelago eoliano ed avendo quindi un buon database di misure, è stata scelta l'isola di Lipari in quanto offre due siti di interesse per la raccolta e la calibrazione dei dati: le cave di pomice e la riserva idrica di Monte Sant'Angelo.

La storia dell'attività vulcanica di Lipari ha inizio più di 200.000 anni fa, si è protratta fino al VI secolo d. C. e sebbene non ci siano state recenti eruzioni, l'isola può essere considerata ancora attiva. Le esplosioni dell'ultime eruzioni (circa 1.600 anni fa) generarono uno strato di sette metri di pomici. Dopo le esplosioni, lava molto viscosa, fuoriuscita dal vulcano, si fermò sullo sbocco eruttivo senza riuscire a scorrere. Questa occlusione determinò forti esplosioni che frammentarono il blocco di lava, scagliando tutto intorno pezzi di ossidiana. Una volta riaperta la bocca eruttiva, riprese la lenta emissione di lava e la colata si mosse per un breve tratto grazie al pendio, assumendo una forma lobata. Contemporaneamente, cominciarono le eruzioni di Monte Pilato, nella parte nord-orientale dell'isola, con esplosioni ed emissioni di una grande quantità di pomici che si accumularono formando un cono. Il punto di emissione si spostò poi leggermente verso Sud, distruggendo un lato del cono di pomici. Il cratere aveva un diametro di circa 1 km ed era bordato da un accumulo di pomici che raggiunse in breve tempo l'altezza di circa 450 m s.l.m. Le cave di pomice di Campobianco e Acquacalda tagliano e, per ora, mettono in evidenza la struttura interna del cono (Figura 1).



Figura 1. Le cave di pomice in prossimità di Acquacalda (in alto immagine da Bing). In basso una immagine dal mare delle cave di pomice.

Le esplosioni finali scagliarono cenere sull'intera isola. Dal lato aperto del cono tracimò la colata di ossidiana delle Rocche Rosse che, percorsi circa 2 km, arrivò al mare in località Acquacalda. L'interno di questa colata, con le tipiche fratture curvate verso l'alto (ramping) che si formano nelle lave poco fluide, si vede dal mare, tra Porticello e Acquacalda, mentre la strada che unisce le due località corre sul dorso stesso della colata.

2. La campagna di misure

2.1 Siti di acquisizione

La Figura 2 mostra le aree di interesse per la campagna di misure (evidenziate dai rettangoli rosso e bianco). I siti sono stati scelti per la facile individuazione sulle immagini acquisite dal sensore aereo e da satellite.

Il primo sito (rettangolo rosso della Figura 2) è caratterizzato dalle cave di pomice, situate a nord-est dell'isola in località Acquacalda e Porticello. Queste cave, attive fino alla seconda metà degli anni 1980, hanno offerto attività di estrazione e commercio della pomice, una roccia ignea effusiva a pasta vitrea, molto leggera e vescicolata, generalmente di colore bianco e d'aspetto scoriaceo, formatasi durante violente eruzioni di tipo esplosivo (Figura 3). Grazie alla sua elevata percentuale di silice (70 % contro il 50-60% medio delle altre pomici), questa roccia è caratterizzata da maggior durezza e maggiore resistenza agli agenti chimici, rendendola pura e pregiata.

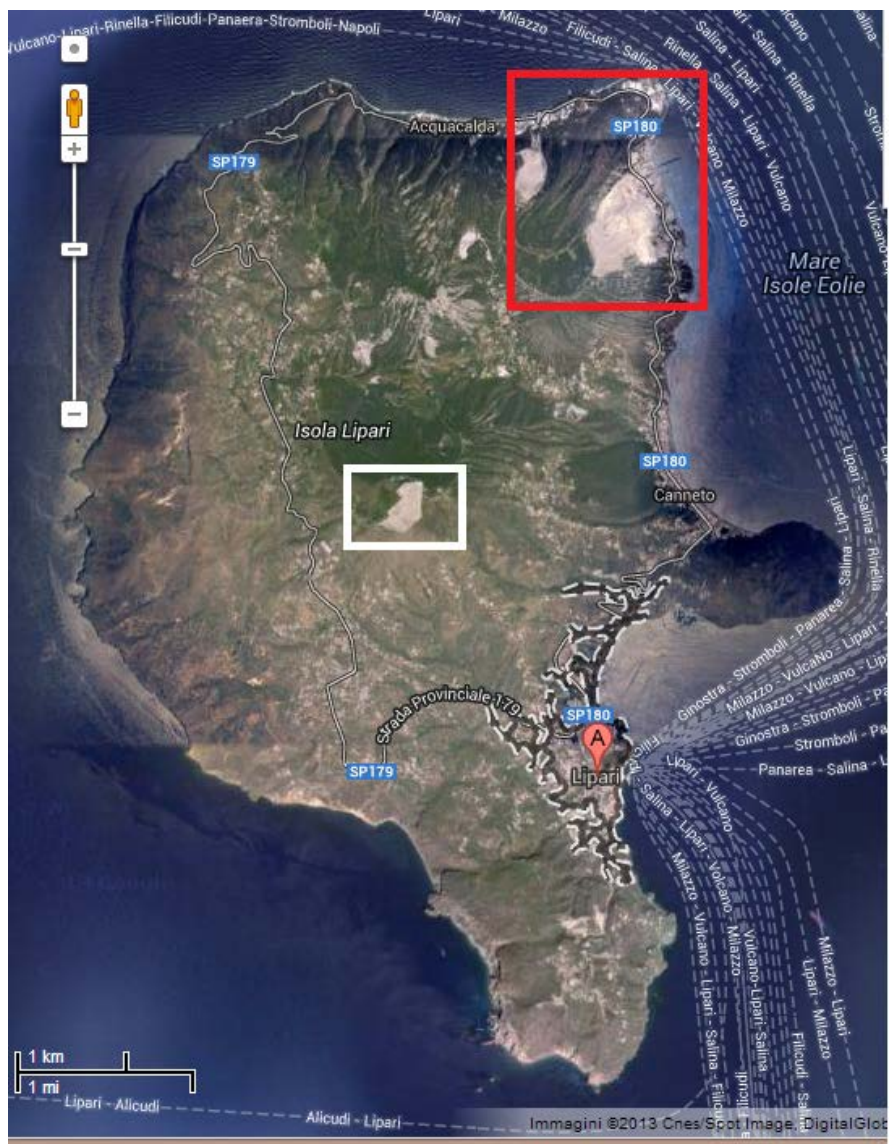


Figura 2. Nei riquadri le aree interessate durante la campagna di misura: in bianco l'area del “Reservoir” e in rosso le cave di pietra pomice di Acquacalda e Porticello (immagine da Google Heart).



Figura 3. Cave di pomice nell'area di Acquacalda.

Il secondo sito (rettangolo bianco della Figura 2) si trova in prossimità di Monte S. Angelo ed è caratterizzato da una vasta area in cemento e vegetazione dove da qualche anno sono stati installati diversi pannelli solari per la realizzazione di un campo fotovoltaico da 1.12 mw. La sua struttura in cemento, situata a 594 m s.l.m. è stata utilizzata come enorme raccoglitrice di acqua piovana e per questo motivo il sito viene anche chiamato “*Reservoir*” (Figura 4).



Figura 4. La riserva idrica di Monte S. Angelo, chiamata “*Reservoir*”.

Un ulteriore sito è stato scelto in prossimità della spiaggia davanti ad Acquacalda per la presenza di un affioramento caratterizzato da ciottolato di varie dimensioni (Figura 5).



Figura 5. Ciottolato presente in prossimità della spiaggia di Acquacalda.

2.2 Stazioni di misura

Nelle Figura 6 - Figura 9 sono riportati i punti delle stazioni con le relative coordinate geografiche (riportate rispettivamente in Tabella 1 - Tabella 4) sui quali sono stati acquisiti spettri di radianza. Le misure sono state acquisite in concomitanza con i passaggi aerei e satellitari anche se l'acquisizione ASTER, il cui passaggio era previsto per il giorno 28 giugno, è stata cancellata dalla NASA per motivi di priorità. Le stazioni sono state scelte in base all'accessibilità dei siti dei siti. Per ogni stazione sono state acquisite più misure al fine di caratterizzare meglio l'area di interesse (inclusendo sia affioramenti di materiale uniforme che superfici miste a vegetazione) e per ogni misura sono stati acquisiti 50 spettri per mediare le misure ed ottenere uno spettro rappresentativo del sito.

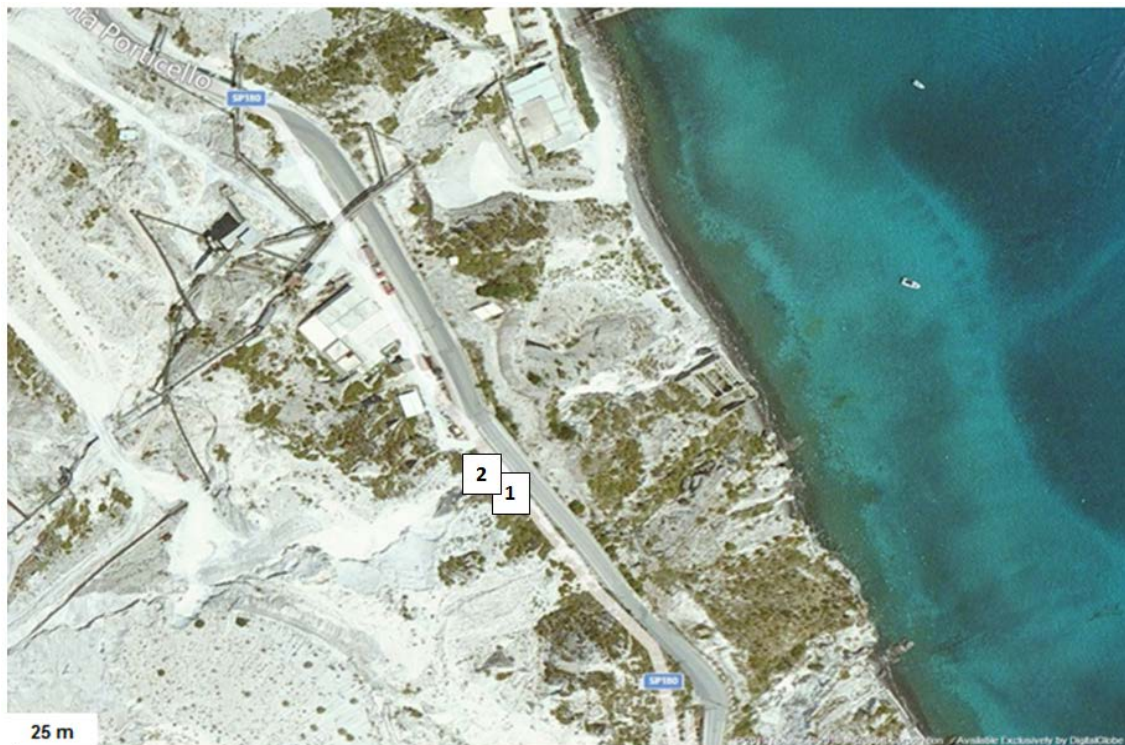


Figura 6. 27 giugno - Primo giorno: Stazione di misura la cava grande. I punti numerati (1-2) individuano le stazioni e per ognuna sono state effettuate 1 o più misure (immagine da Bing).

Nome Stazione	Latitudine (Nord)	Longitudine (Est)	Descrizione	N. di misure
CAVA_GRANDE_ST1 (1)	38,51288	14,960363	L'area interessata dalle misure è coperta da pomice assoluta, pomice mista e vegetazione	5
CAVA_GRANDE_ST2 (2)	38,51292	14,960388	L'area interessata dalle misure è all'interno di una cava, presenza di pomice assoluta e sgretolata con brecciolato	4

Tabella 1. Stazioni relative alle misure del 27 giugno. La tabella riporta oltre alle coordinate delle stazioni mostrate nella Figura 6 una breve descrizione dei siti e il numero di misure effettuate.



Figura 7. 27 giugno - Primo giorno: stazioni di misura su monte Sant'Angelo (immagine da Bing).

Nome Stazione	Latitudine (Nord)	Longitudine (Est)	Descrizione	N. di misure
RESERVOIR_ST1 (3)	38,48714	14,93532	Tutte le stazioni/punti sono caratterizzate dalla presenza di cemento puro, vegetazione e pannelli solari (distribuiti nell'area tra le stazioni 8, 9, 10, 11)	1
RESERVOIR_ST2 (4)	38,48723	14,9354		1
RESERVOIR_ST3 (5)	38,48739	14,93554		1
RESERVOIR_ST4 (6)	38,4873	14,93494		5
RESERVOIR_ST5 (7)	38,48775	14,93425		1
RESERVOIR_ST6 (8)	38,4876	14,93399		2
RESERVOIR_ST7 (9)	38,48675	14,93324		1
RESERVOIR_ST8 (10)	38,48602	14,9325		2
RESERVOIR_ST9 (11)	38,48585	14,93179		1

Tabella 2. Stazioni relative alle misure del 27 giugno presso il “Reservoir”. Come per la tabella precedente, vengono riportate le coordinate delle stazioni mostrate in Figura 6, una breve descrizione dei siti e il numero di misure effettuate.



Figura 8. 28 giugno - Secondo giorno: stazioni di misura in prossimità del ciottolato di Acquacalda (immagine da Bing).

Nome Stazione	Latitudine (Nord)	Longitudine (Est)	Descrizione	N. di misure
CIOTTOLATO_HOTEL_ST1 (13)	38,51934	14,94288	Tutte le stazioni/punti sono caratterizzate dalla presenza ciottolato di diverse dimensioni	2
CIOTTOLATO_HOTEL_ST2 (12)	38,51954	14,94367		2
CIOTTOLATO_HOTEL_ST2 (14)	38,51943	14,94286		1

Tabella 3. Stazioni relative alle misure del 28 giugno in prossimità di Acquacalda.



Figura 9. 28 giugno - Secondo giorno: stazioni di misura vicino la cava grande (immagine da Bing).

Nome Stazione	Latitudine (Nord)	Longitudine (Est)	Descrizione	N. di misure
CAVA_GRANDE_STRADA_ST1 (15)	38,52196	14,1495732	Aera coperta da pomice pura, pomice mista a ossidiana e vegetazione	5
CAVA_GRANDE_STRADA_ST1 (16)	38,521918	14,958463		1

Tabella 4. Stazioni relative alle misure del 28 giugno tra Acquacalda e Porticello.

2.3 Dati acquisiti da terra, aereo e satellite

2.3.1 Dati di terra

Le misure di radianza sono state effettuate attraverso l'utilizzo dell' ASD FieldSpec Pro FR, uno spettroradiometro portatile capace di misurare in modo passivo la radianza/riflettanza altissima con alta risoluzione radiometrica (1, 2 nm), nell'intervallo spettrale da 350 a 2500 nm. Il parametro riflettanza è espresso come rapporto di intensità fra radiazione riflessa e radiazione incidente, in funzione della lunghezza d'onda. L' andamento dell'intensità, in valore relativo, in funzione della lunghezza d'onda fornisce lo spettro di riflettanza caratteristico del materiale, altrimenti detto *firma spettrale*. È possibile quindi utilizzare il FieldSpec per ricavare le firme spettrali delle diverse superfici investigate. Ogni superficie è quindi caratterizzata da una propria riflettanza che la rende ben riconoscibile sulle immagini riprese sia dai sensori ottici che dallo spettroradiometro. I valori di riflettanza di una superficie dipendono da numerosi fattori, come ad esempio la composizione della superficie stessa, la presenza di uno o più materiali che possono assorbire o riflettere la radiazione solare incidente, la morfologia, l'umidità, e così via. Se una superficie è

composta da più materiali che possono subire un “invecchiamento” nel corso del tempo, la sua firma spettrale cambia. Nelle Figura 10 - Figura 14 sono riportati alcuni esempi di spettri acquisiti dallo strumento. Per ogni oggetto ripreso è possibile definire nel software dello strumento il numero di spettri da acquisire che vengono poi mediati per ottenere una unica firma spettrale. La presenza di assorbimento nel range 1340-1410 nm e tra 1850-1910 nm circa è dovuto principalmente alla finestra di assorbimento dell’atmosfera, mentre l’eventuale presenza di un salto delle misure a 1000nm e 1800 nm è dovuta al fatto che lo strumento ASD FieldSpec è costituito da 3 spettrometri, ognuno dei quali ha un proprio tempo di “riscaldamento”. Quanto più lo strumento è acceso (è consigliato accenderlo almeno 30 minuti prima della misura) tanto più le misure sono accurate e l’effetto dello “scalino” sullo spettro è ridotto. Tuttavia non sempre è possibile eseguire correttamente il pre-riscaldamento dello strumento; in questo caso è necessaria una fase di *post-processing* in laboratorio per la rimozione degli artefatti dal dato.

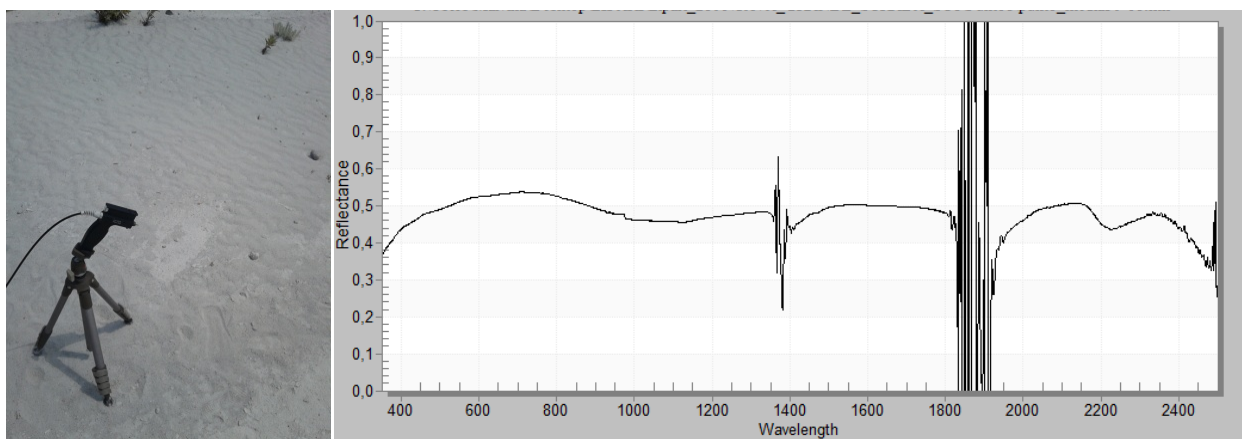


Figura 10. Esempio di una firma spettrale acquisita con l’ASD FieldSpec Pro FR relativa a pomice pura e fine.

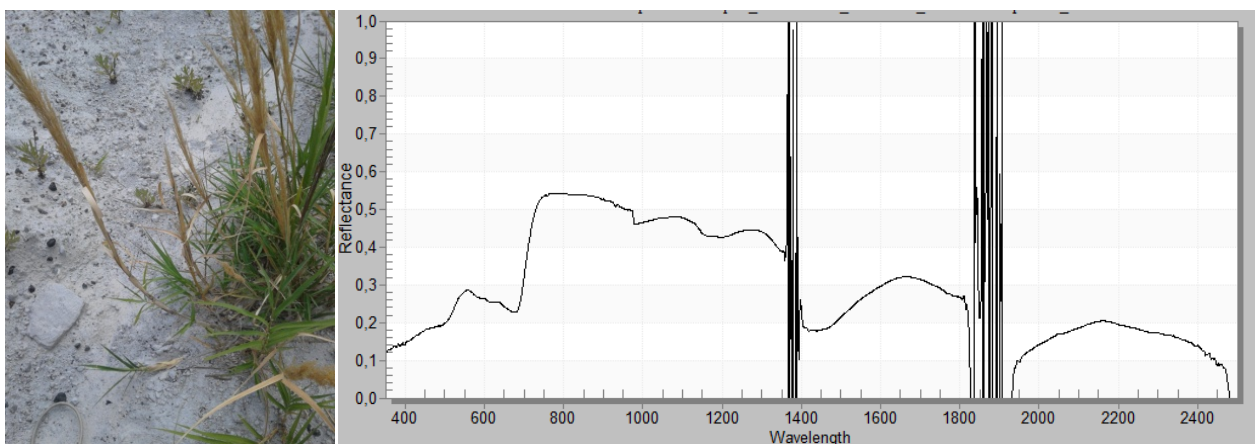


Figura 11. Esempio di una firma spettrale acquisita con l’ASD FieldSpec Pro FR relativa a pomice mista con vegetazione.

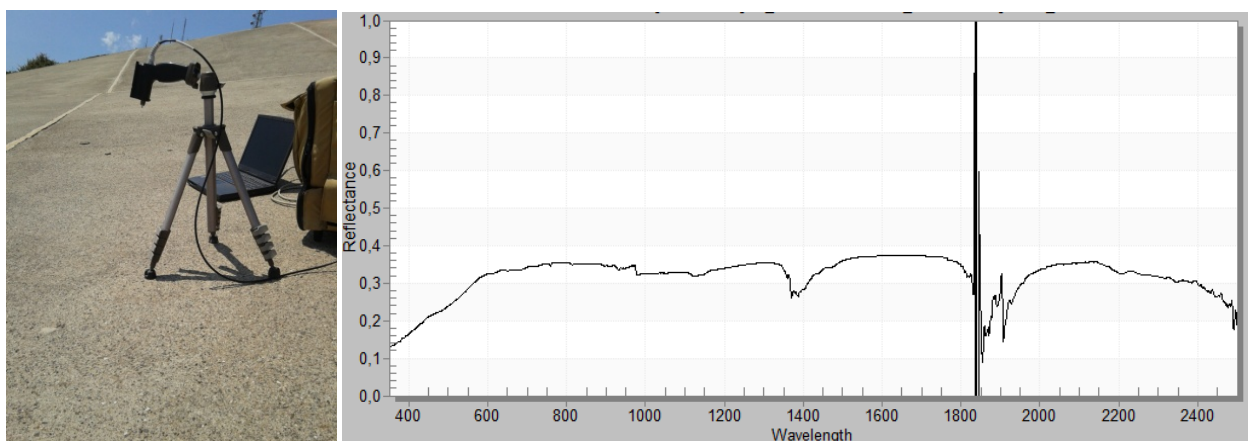


Figura 12. Esempio di una firma spettrale acquisita con l'ASD FieldSpec Pro FR relativa al cemento nella zona del "Reservoir".

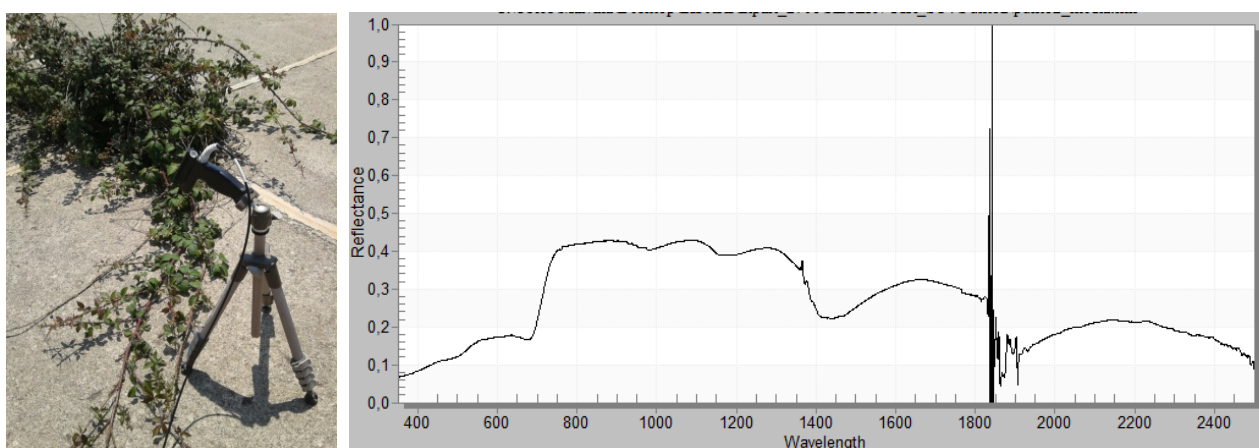


Figura 13. Esempio di una firma spettrale acquisita con l'ASD FieldSpec Pro FR relativa al cemento misto a vegetazione nella zona del "Reservoir".

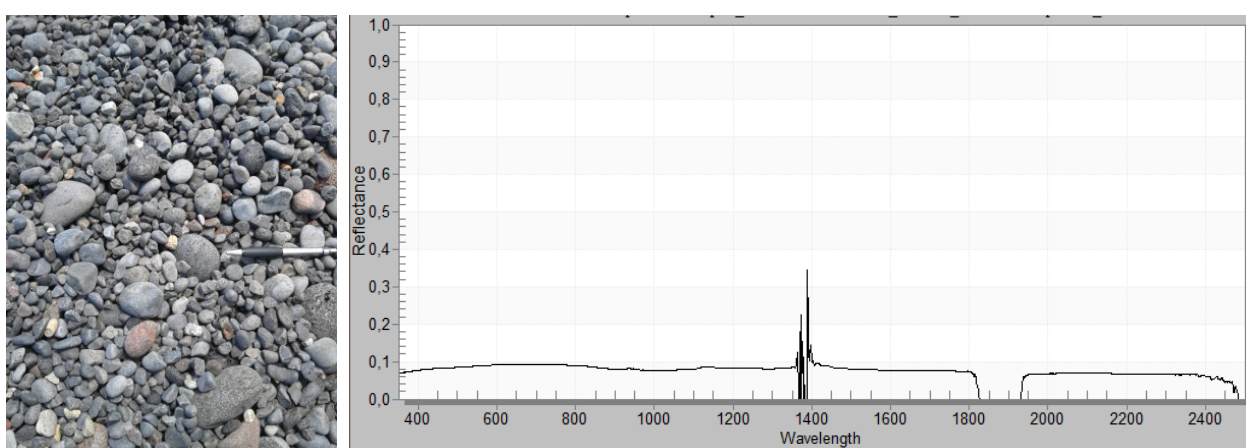


Figura 14. Esempio di una firma spettrale al ciottolato presso la spiaggia di Acquacalda.

Un totale di 35 campionamenti sono stati eseguiti, ognuno dei quali caratterizzato da 50 misure. Per ogni campionamento, la firma spettrale è ottenute mediando le 50 misure (Figura 15).

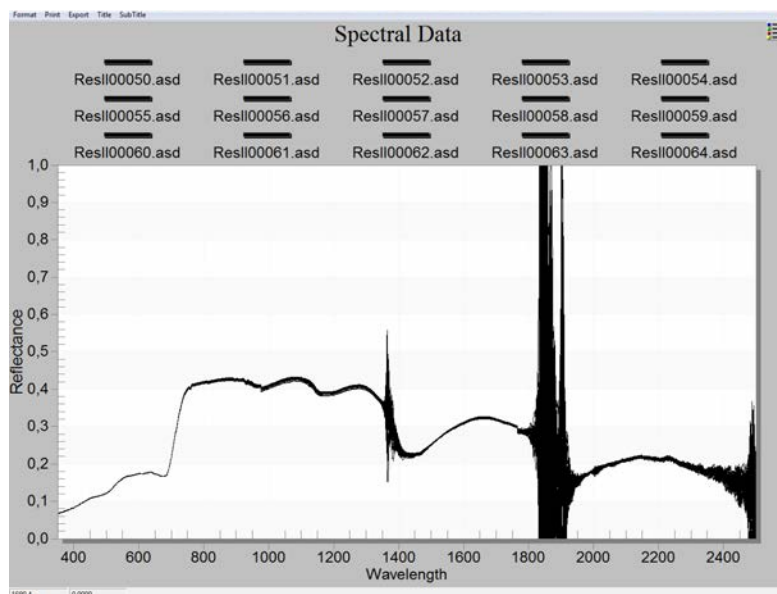


Figura 15. Le 50 misure acquisite sul punto di misura della Figura 13.

Le misure sono state raccolte nell'arco di 6 ore circa, dalle 9.30 alle 15.30. Poiché la riflettanza spettrale dipende dalla radiazione solare, è fondamentale che le condizioni meteorologiche e di illuminazione rimangano stabili durante tutto il tempo dell'acquisizione. In particolare la presenza di nubi tende a modificare la traiettoria e l'intensità della radiazione solare in atmosfera alterando di conseguenza la misura della firma spettrale a terra. Di seguito sono riportati due esempi dell'acquisizione delle 50 misure con e senza nubi.

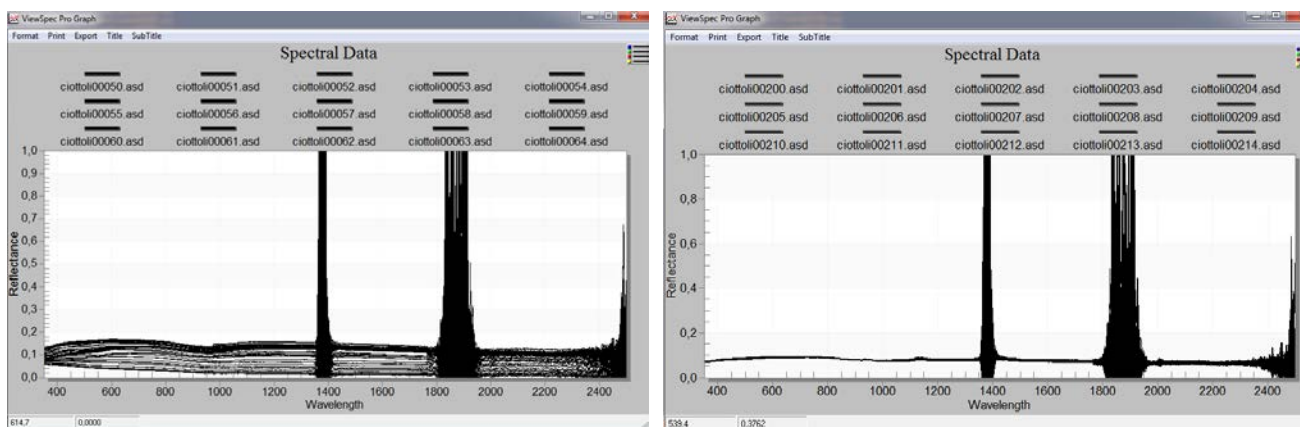


Figura 16. Esempio di acquisizione di spettri con cielo nuvoloso (sinistra) e cielo limpido (destra). Nel caso di cielo senza nubi le 50 misure acquisite su un singolo campione presentano valori di riflettanza pressoché uguali.

2.3.2 Dati Aerei

Lo scopo della campagna aerea era di acquisire dati iperspettrali su tutta l'isola di Lipari e di Vulcano. Le acquisizioni (le cui strisciate sono riportate in Figura 17) sono state pianificate tenendo conto delle passate campagne di misura effettuate dal Laboratorio di Telerilevamento dell'Istituto (come ad esempio dati di terra raccolti per l'isola di Vulcano nel 1999 [Buongiorno et al., 1999] e nel 2010 [Colini et al., 2012]) e la campagna di giugno al fine di coprire le aree non ancora analizzate (in particolare la strisciata 22 riportata in Figura 17 che copre le cave di pomice e il sito *Reservoir*).

Per l'acquisizione dei dati aerei è stata utilizzata una piattaforma multisensore composta dal sensore iperspettrale IPERGEO, da un laser scanner, da una camera termica e da una camera digitale, installati su un aereo P68. Le caratteristiche tecniche del sensore iperspettrale IPERGEO, costituito da due moduli operanti nel VNIR e nello SWIR (Figura 18), sono riportate nella Tabella 5.



Figura 17. Pianificazione campagna aerea; la numerazione riportata in figura rappresenta il numero di strisciate acquisite nei due giorni di campagna.

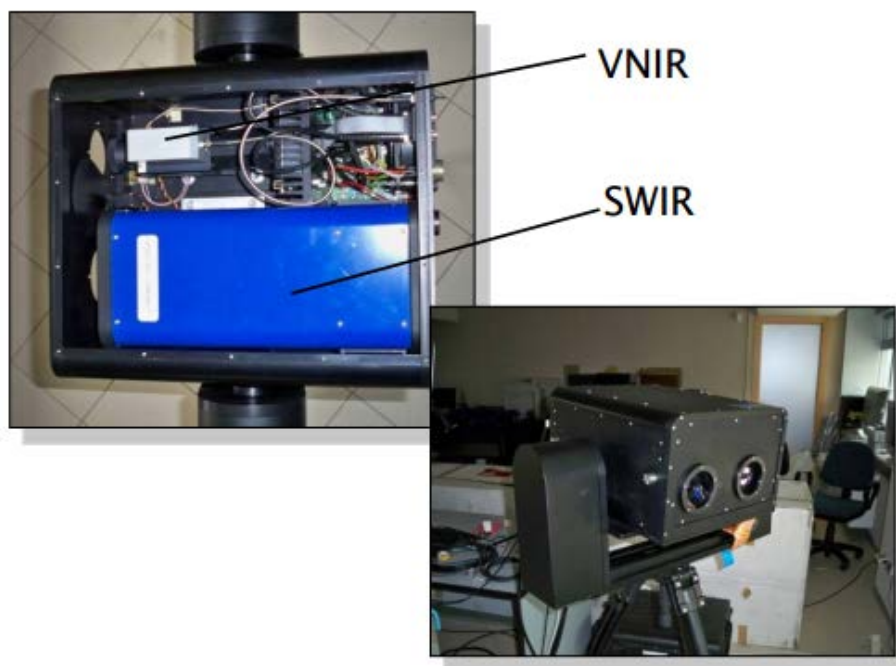


Figura 18. Il sensore iperspettrale costituito dai due sensori operanti nel VNIR e SWIR. Il sensore è stato collocato su una piattaforma installata su aereo.

	VNIR	SWIR
Spectrometer Name	ImSpector V10E / Specim	ImSpector N25E / Specim
Spectral Range	400-1000 nm	1000-2500 nm
Spectral Resolution	2.8 nm	10 nm
Spectral Sampling	1.2 nm	6.3 nm
Spectral bands	504	239
Spatial pixels	1024	320
Digital resolution	12 bit	14 bit
FOV	68.64°	36°
Focal length	9 mm	15 mm

Tabella 5. Caratteristiche del sensore iperspettrale nei rispettivi VNIR-SWIR.

GIORNO 26 giugno: Calibrazione strumentazione

Il giorno 26 giugno è stato compiuto un volo di calibrazione sull'area dell'aeroporto di Grottaglie. La necessità di eseguire un volo di calibrazione è dovuta al fatto che i sensori sono montati su una unica lastra di alluminio e quindi complanari. Inoltre l'asse principale dell'inerziale è diretto lungo l'asse del velivolo. A causa di piccole imperfezioni nella superficie della piastra di appoggio dei sensori, o di imperfezioni costruttive intrinseche agli strumenti, può verificarsi una non perfetta complanarità tra i piani di riferimento dei componenti, che può portare a significativi errori nelle misure. Per correggere possibili disallineamenti tra i sensori viene effettuato un volo di calibrazione e stimati i tre offset angolari.

Lo schema scelto per i test sul sito di calibrazione è quello a doppia croce con 2 voli in verso opposto per ognuna delle direzioni ortogonali e su due quote q_1 e q_2 , con $q_2 = 2 \times q_1$. In totale sono, pertanto, eseguiti 8 voli per ogni test.

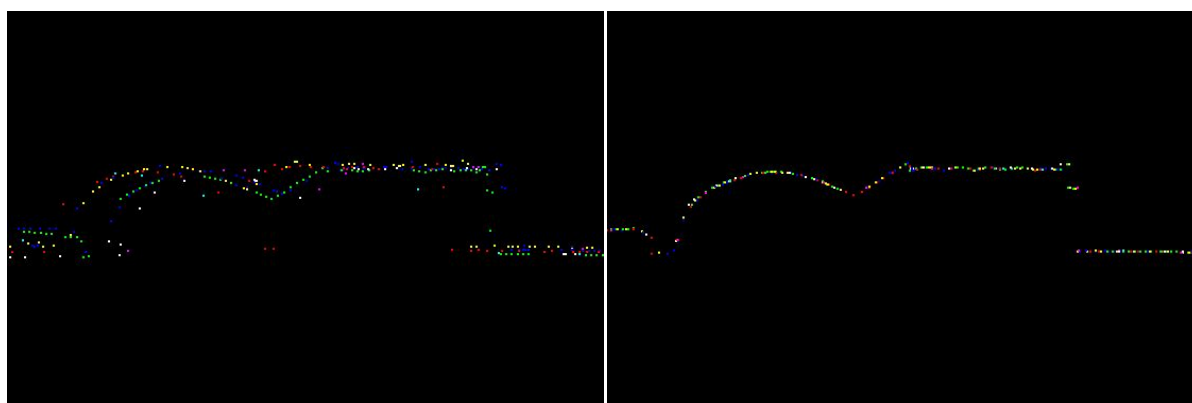


Figura 19. Esempio di dati laser prima e dopo la calibrazione.

Sono state acquisite due doppie strisciate a quota differente, in direzione trasversale tra loro, tali da incrociarsi in un'area coperta da punti a terra noti che verranno utilizzati per la calibrazione del dato laser.

Le strisciate acquisite dalle ore 12.30 alle ore 13.05 (ora locale) sono 8:

- 4 ad una quota media di 600 metri ASL
- 4 ad una quota media di 1300 metri ASL

GIORNO 27 giugno: Primo volo sulle Isole Eolie

Il giorno 27 giugno è stato compiuto un primo volo acquisendo 8 delle 22 strisciate pianificate nel piano di volo redatto in precedenza. Le strisciate acquisite sono quelle più laterali (1-2-3-4-19-20) e le due di controllo (21-22). La 22 è stata acquisita includendo l'area delle Pomice a Nord-Est di Lipari e il serbatoio di cemento al centro dell'isola (*Reservoir*). I tempi di integrazione del sensore iperspettrale sono stati fatti variare al fine di trovare il valore più idoneo al tipo di rilievo. Il tempo di integrazione influisce sul rapporto segnale/rumore del dato iperspettrale. È possibile utilizzare tempi di integrazione più bassi in condizioni di buona luminosità diffusa. Il suo valore massimo è bloccato dal valore di frame rate che a sua volta dipende dalla quota di volo, dalla velocità e dalla percentuale di sovrapposizione (che definiscono la risoluzione geometrica a terra del pixel). Inoltre, si deve tener conto della variazione della quota relativa su una stessa strisciata, per cui è necessario fare una scelta tra differenti set di parametri.

Il frame rate e il tempo di integrazione sono dipendenti l'uno dall'altro ed è quindi necessario trovare un giusto compromesso. Infatti, se il valore del frame rate (Hz) è basso e quello del tempo di integrazione (ms) è alto, si rischia di ottenere un'immagine costituita da tanto rumore e poco dato vero e proprio. In caso contrario invece, il problema potrebbe essere quello di strisciare il pixel con la conseguenza che la risoluzione a terra non sarà più quella attesa.

Le strisciate “prova”, dunque, sono finalizzate a testare alcuni set di parametri e così valutare la scelta migliore per le finalità del rilievo (avere un massimo rapporto segnale/rumore sulle strutture di interesse come il serbatoio di cemento anche al prezzo della lieve distorsione di un'area)

Sono stati effettuati sei passaggi con valori diversi di tempi di integrazione (T_{int}):

- T_{int} Sensore SWIR: 11-13-15-20-8-10
- T_{int} Sensore VNIR: 31-18-23-15

La quota di volo è stata di 1300 m ASL.



Figura 20. Strisciate acquisite sulle Isole Eolie il giorno 27 giugno.

GIORNO 28 giugno: Secondo volo sulle Isole Eolie

Il giorno 28 giugno sono state acquisite le rimanenti 14 strisciate previste dal piano di volo.

È stata scelta una quota di volo di 1300 m ASL e dei tempi di integrazione per lo SWIR e per il VNIR rispettivamente di 10 e 31.

Il volo è stato effettuato dalle ore 11:30 alle 13:30 al fine di acquisire i dati contemporaneamente al passaggio dell'ASTER previsto per le ore 12:00.

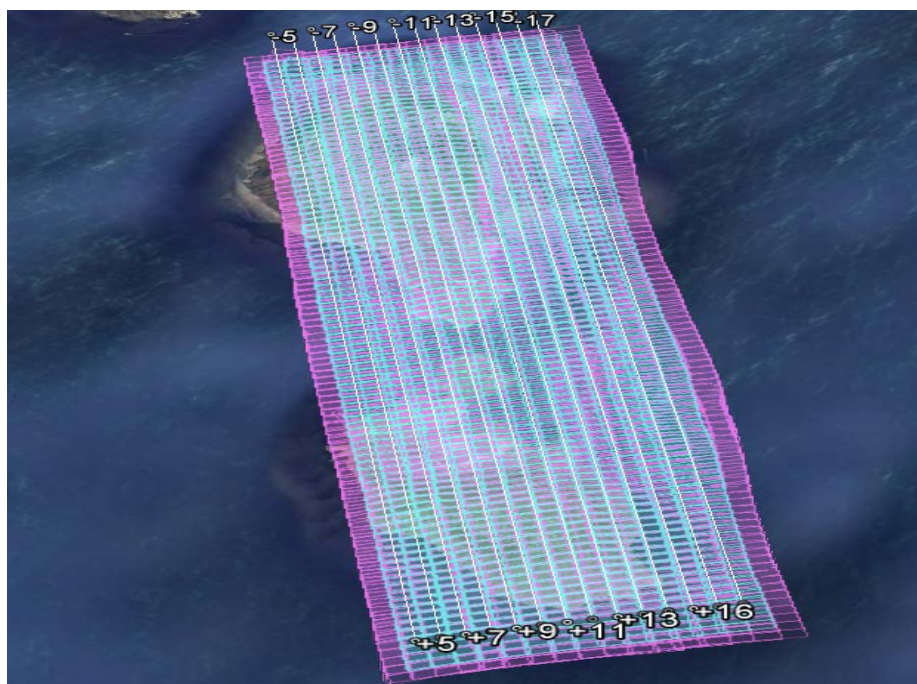


Figura 21. Strisciate acquisite sulle Isole Eolie il giorno 28 giugno.

Attività post acquisizione dati

Subito dopo il volo, i dati raw acquisiti dai sensori insieme ai dati di navigazione del sistema GPS-INS e di posizionamento dei sensori (*“lever arm”*, ossia la distanza, nelle tre dimensioni, tra il centro di fase dell' antenna GPS, il centro del sensore inerziale e il centro dei sensori) tra sensore INS e centro del sensore di presa sono stati scaricati eseguendo una copia di backup.

Successivamente si è passati alla elaborazione di tutti i dati.

Dati GPS/IMU. Questa fase consiste nel processamento differenziale della traccia GPS aerea sulla base dei dati GPS terrestri acquisiti dalle stazioni di riferimento. La traccia GPS così ottenuta, campionata a 2 Hz, viene quindi interpolata con la traccia INS a 256 Hz del sensore inerziale per ottenere una traccia completa e ad alta precisione con posizione e assetto del velivolo.

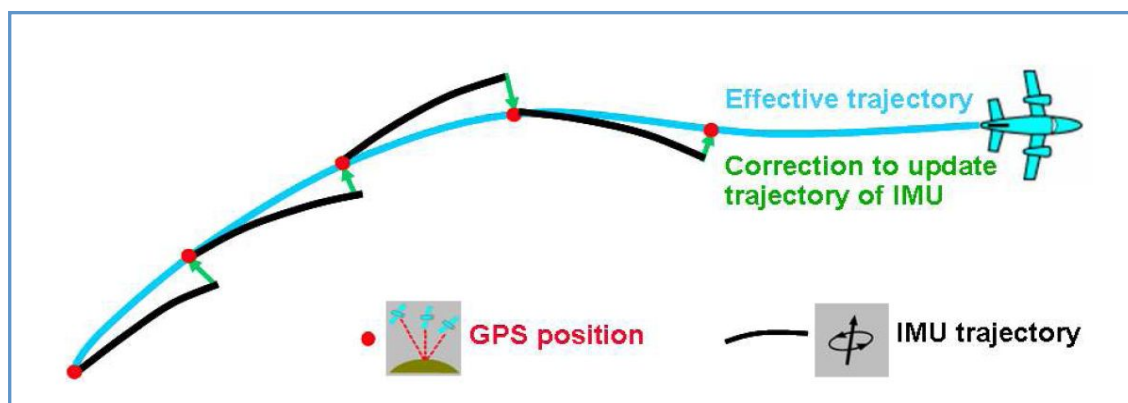


Figura 22. Processamento della traccia aerea.

Dati LASER SCANNER. Il pre-processamento della nuvola di punti viene eseguito in due fasi, la prima consiste nella analisi della forma d'onda degli echi raccolti dal sensore lidar.

Gli impulsi raccolti vengono analizzati e trasformati in punti, non ancora georeferenziati, ma che contengono già le informazioni di base della nuvola di punti (geometria, intensità di risposta e una prima grossolana classificazione).

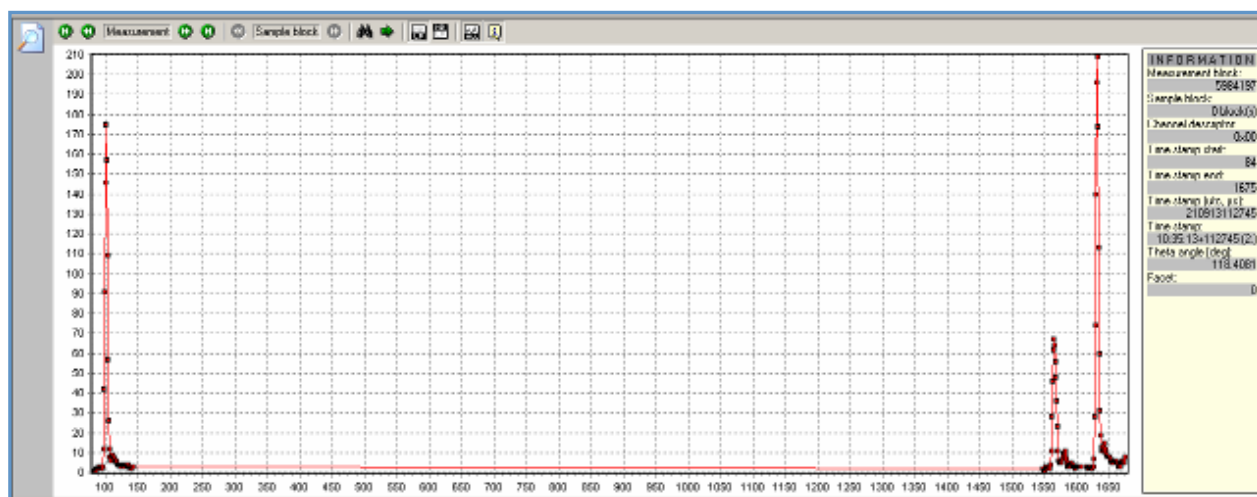


Figura 23. Analisi della forma d'onda.

La seconda fase consiste nella georeferenziazione della nuvola di punti, utilizzando la traccia GPS-INS in precedenza elaborata, le *lever arm* strumentali e i parametri di calibrazione. In questa fase si associa ad ogni singolo impulso laser i dati di posizione e orientamento del sensore all'istante di acquisizione consentendo la georeferenziazione della nuvola di punti.

Alla fine di questa procedura si otterranno le nuvole di punti, una per ogni strisciata, che saranno successivamente unite, ritagliate in blocchi e classificate.

La classificazione prevederà una fase iniziale di classificazione attraverso una serie di algoritmi automatici, in particolare per quanto riguarda:

- il filtraggio dei punti di errore dovuti a falsi echi o oggetti aerei di disturbo (polvere, uccelli ecc);
- la classificazione del terreno che sarà eseguita con un algoritmo parametrizzabile di triangolazione;
- la classificazione della vegetazione;
- la classificazione degli edifici, che avverrà con un algoritmo parametrizzabile di ricerca di oggetti regolari distaccati dal terreno.

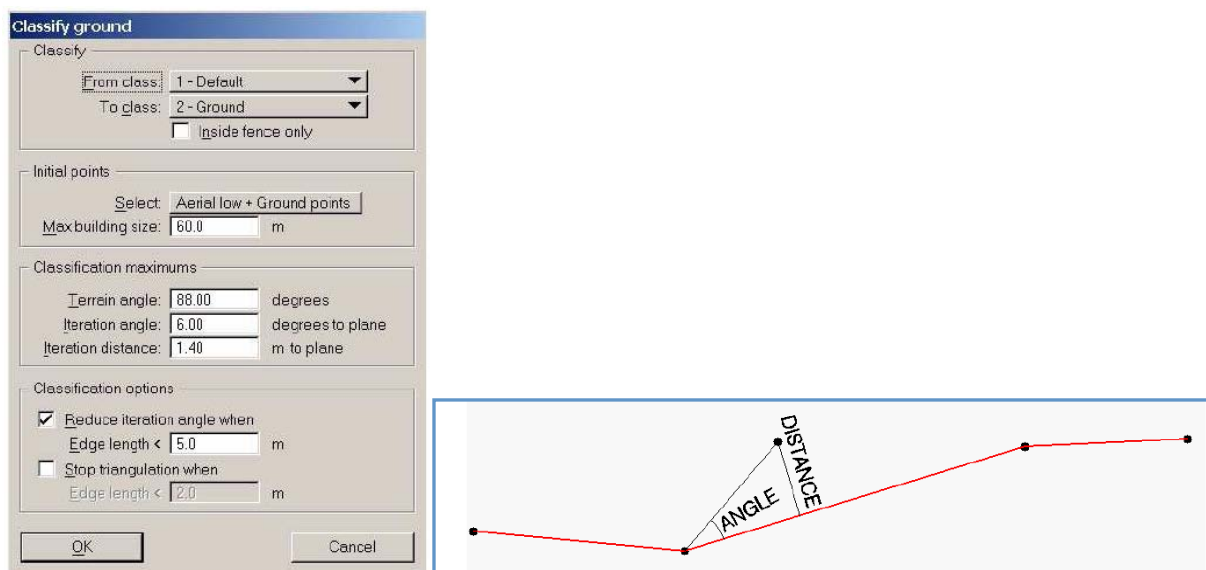


Figura 24. Algoritmo di classificazione del terreno.

La classificazione automatica di base sarà raffinata manualmente dagli operatori, che provvederanno a correggere, con il supporto delle immagini aeree, le inevitabili imperfezioni delle procedure automatiche.

Dati TERMICI. Il processamento dei dati termici è consistito in una fase di pre-elaborazione finalizzata all'estrazione dei termogrammi ed in una fase di elaborazione in cui è stata definita una scala ottimale di temperatura min-max valida per tutto il rilievo. Si procederà successivamente alla ortorettifica delle immagini.

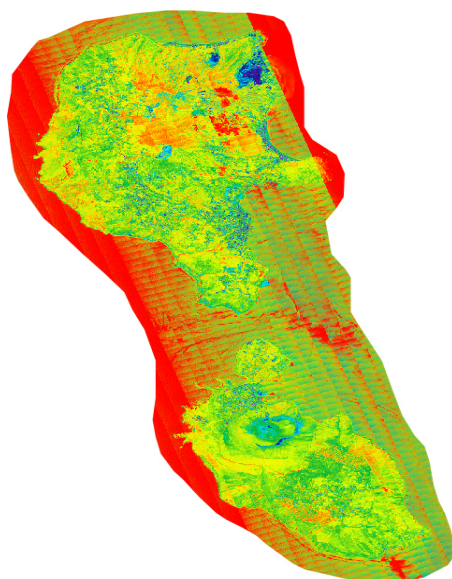


Figura 25. Visualizzazione dei dati termici acquisiti sull'isola di Lipari.

Dati OTTICI. Nella prima fase si è eseguito lo sviluppo dei fotogrammi applicando la correzione geometrica e radiometrica. Successivamente si è provveduto alla triangolazione aerea che consente di migliorare i parametri di orientamento esterno ed infine alla ortorettifica delle immagini.



Figura 26. Visualizzazione dei dati ottici acquisiti sull'isola di Lipari.

Dati IPERSPETTRALI. Dopo il primo controllo sui dati raw si provvederà alla conversione del Digital Number (DN) in radianza delle immagini acquisite.

2.3.3 Dati Satellitari ASTER

ASTER è uno dei cinque sensori a bordo della piattaforma satellitare Terra, in orbita dal Dicembre 1999 come parte del NASA Earth Observing System [EOS, Yamaguchi et al., 1998]. Le principali caratteristiche tecniche sono riportate in Tabella 6. Grazie ad una partecipazione al science team ASTER, il Laboratorio di Telerilevamento dell'INGV ha la possibilità di ottenere gratuitamente i dati storici acquisiti da ASTER e presenti sul sito di USGS. È inoltre possibile pianificare l'acquisizione in aree vulcaniche durante le campagne di misura. Il dato ASTER, previsto per il 28 giugno, non è stato acquisito per cause non dipendenti dall'Istituto; quindi, essendo disponibile un'acquisizione sulla stessa area il 19 giugno, ed essendo piccola la differenza temporale tra le due acquisizioni (9 giorni), si è ritenuto ragionevole utilizzare quest'ultimo dato per il confronto con le misure a terra.

Specifiche dello strumento	VNIR		SWIR		TIR	
Bande e Range Spettrale (μm)	1	0.52-0.60	4	1.60-1.70	10	8.125-8.475
	2	0.63-0.69	5	2.145-2.185	11	8.475-8.825
	3N	0.78-0.86	6	2.185-2.225	12	8.925-9.275
			7	2.235-2.285	13	10.25-10.95
			8	2.295-2.365	14	10.95-11.65
			9	2.360-2.430		
Risoluzione spaziale	15m		30m		90m	
Ampiezza della Swath	60km		60km		60km	
Cross Track Pointing	$\pm 318\text{km}$ (± 24 deg)		$\pm 116\text{km}$ (± 8.55 deg)		$\pm 116\text{km}$ (± 8.55 deg)	
Quantisation (bits)	8		8		12	
Tempo di rivisita	16 days		16 days		16 days	

Tabella 6. Principali caratteristiche di ASTER [Yamaguchi et al., 1998].

Nella Figura 27 è riportata l'immagine sull'isola di Lipari acquisita il giorno 19 giugno dal sensore ASTER. L'immagine in RGB è relativa ai 3 canali del visibile (VNIR) ed ha una risoluzione spaziale di 15 metri. Nella figura si distingue chiaramente la zona di Monte Sant'Angelo (nel centro dell'isola) e le cave di pomice.

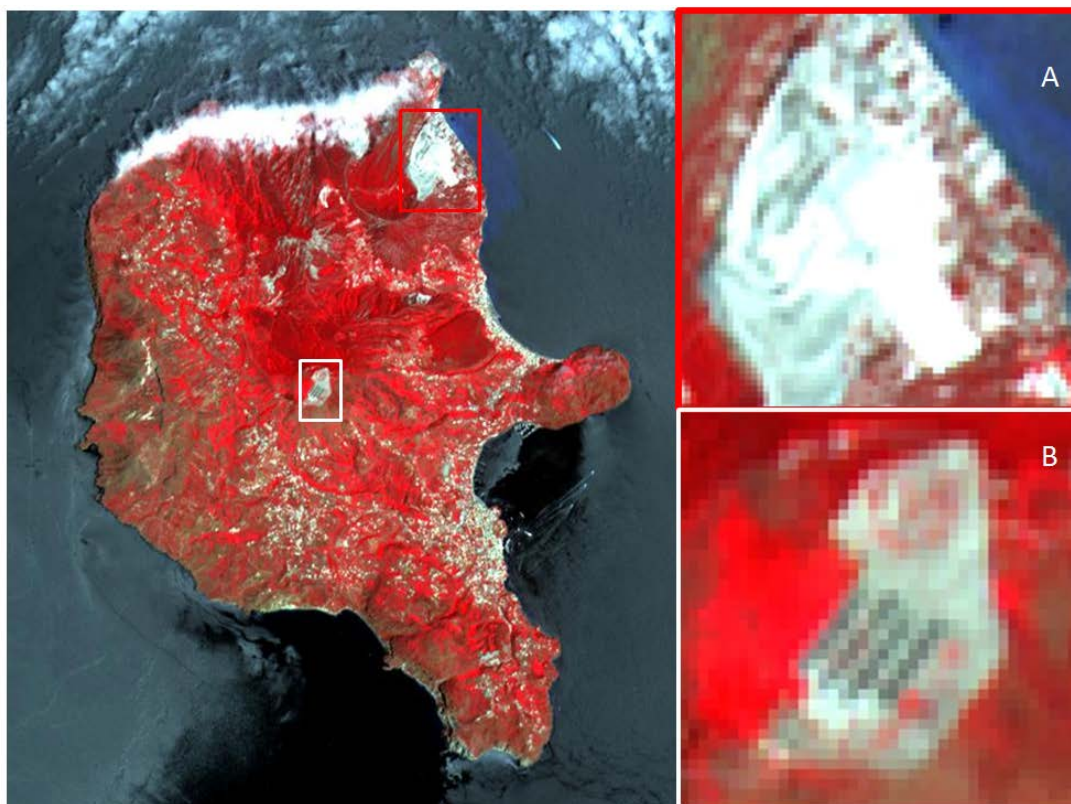


Figura 27. Dato satellitare ASTER, acquisizione del 19 giugno 2013 alle 10.00 UTC (12.00 local time). L'immagine è in RGB. In alto un ingrandimento del sito delle Cave di pomice (A), a basso il "Reservoir" (B) (si ringrazia la NASA per la fornitura del dato ASTER).

3. Conclusioni

La campagna di misure presso l'isola di Lipari ha offerto la possibilità di acquisire un ragguardevole numero di spettri di riflettanza delle litologie affioranti che verranno utilizzati nelle attività di calibrazione del sensore iperspettrale da aereo per il progetto ASI-AGI. Al contempo l'unicità delle firme spettrali permetterà la mappatura della estensione delle litologie in affioramento.

La contemporanea acquisizione dei dati in situ e da piattaforma aerea permetterà una più precisa validazione di questi ultimi. Particolarmente utile è stato il volo del 27 giugno durante il quale sono state acquisite sei strisciate con diversi tempi di integrazione. Questo tipo di acquisizione offre la possibilità di valutare quale è il tempo di integrazione più idoneo al rilievo tipico delle zone insulari.

I dati permetteranno inoltre l'ampliamento di un database già esistente di dati spettrali, acquisiti mediante l'uso dello spettrometro Fieldspec ASD. Questo database può essere considerato non solo un ottimo strumento di gestione per dati utili alla calibrazione e la validazioni di misure acquisite da satellite o da aereo, ma anche per l'analisi dei comportamenti spettrali di target di diversa natura fisica.

L'elaborazione del dato ASTER confrontato con i dati aerei e in situ rappresenta il prossimo passo per l'analisi dei dati acquisiti nella campagna oggetto di questo rapporto.

Ringraziamenti

Un ringraziamento va a Fausto De Nicola, operatore del sensore da aereo e ad Annibale Guariglia per la collaborazione delle acquisizioni da aereo.

Un ringraziamento particolarmente sentito va a Massimo Musacchio e all'ISPRA nella persona di Andrea Taramelli per i loro preziosi suggerimenti.

Bibliografia

- http://www.asi.it/it/attivita/osservazione_terra/prisma
<http://193.204.162.114/italia/sicilia/eolie/lipari/text.html>
Analytical Spectral Devices, Inc. (2002). *FieldSpec Pro User's Guide*. 03/13/2002.
Baldridge A.M., Hook S.J., Grove C. I. and Rivera G. (2009). *The ASTER spectral library version 2.0*. Remote Sensing of Environment, 113, 711-715.
Barry P.S., Jarecke P., Pearlman J., Jupp D.L.B., Lovell J., Campbell S. (2002). *Radiometric Calibration Validation of the Hyperion Instrument using Ground Truth at a Site in Lake Frome*. Proc. SPIE, 4480: 242-246.
Bogliolo M.P., Teggi S., Buongiorno M.F., Pugnaghi S., Corradini S. (2004). *Inspecting MIVIS capability to retrieve chemical-mineralogical information: evaluation and analysis of VNIR-SWIR data acquired on a volcanic area*. Int. J. Remote Sensing, 18: 3769-3797.
Buongiorno M.F., Merucci L., Doumaz F., Salvi S., Bogliolo M.P., Pugnaghi S., Teggi S., Corradini S., Lombroso L., Sterni A., Caltabiano T. and Carrere (1999). *MVRRS Campaign: MIVIS mission on Sicilian volcanoes and ground measurements*. Quaderni di Geofisica, n. 7, Istituto Nazionale di Geofisica.
Clark R.N., Roush T.L. (1984). *Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications*. J. Geophys. Res., 89: 6329-6340.
Casacchia R., Mazzarini F., Spinetti C., Colini L., Neri M., Behncke B., Buongiorno M.F., DeSantis V., Grignetti A., Salvatori R. (2006). *Riflettanza di superfici vulcaniche: la campagna 2003 sul Monte Etna*. Rivista Italiana di TELERILEVAMENTO - 2006, 36: 55-67.
Colini L., Spinetti C., Lombardo V., Buongiorno M. F., Diliberto I. S., Pecoraino G., Brusca L., Guida R., Cafaro P., Liardo S., Mancini M., D'Andrea S., Bellella F. (2012). *La campagna di telerilevamento alle isole Eolie: validazione dei dati acquisiti da un sensore aereo multispettrale*. Rapporti Tecnici INGV, n. 241, ISSN: 2039-7941.
Salvatori R., Mei A., Salzano R. (2009). *Caratterizzazione spettrale di superficie asfaltate e realizzazione di una libreria di firme spettrali*. Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA - Bari 1-4 dicembre 2009.
Spinetti C., Mazzarini F., Casacchia R., Colini L., Neri M., Behncke B., Salvatori R., Buongiorno M.F., Pareschi M T (2009). *Spectral properties of volcanic materials from hyperspectral field and satellite data compared with LIDAR data at Mt Etna*. International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation, vol. 11, p. 142-155, ISSN: 1569-8432.
Yamaguchi Y., Kahle A.B., Tsu H., Kawakami T., Pniel M. (1998). *Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 36, pp. 1062-1071.

APPENDICE A

Nella Tabella 7 sono riportate le 22 linee di volo effettuate durante la campagna di misura, le quote di volo, la risoluzione a terra, il sidelap e il footprint per i due canali VNIR e SWIR.

Linea di volo	Quota di volo AMSL (m)	Risoluzione a terra (SWIR) (m)	Risoluzione a terra (VNIR) (m)	X_Start	Y_Start	X_End	Y_End
1	1444	2,76	1,87	495706	4244513	489486	4263049
2	1456	2,79	1,88	496101	4244646	489882	4263182
3	1546	2,94	1,99	496481	4244773	490261	4263309
4	1582	2,97	2,01	496868	4244903	490649	4263439
5	1701	3,12	2,11	497241	4245028	491022	4263564
6	1741	3,15	2,13	497605	4245150	491386	4263687
7	1754	3,11	2,10	497969	4245272	491750	4263809
8	1766	3,07	2,08	498333	4245394	492114	4263931
9	1802	3,06	2,07	498697	4245516	492478	4264053
10	1826	3,10	2,09	499061	4245639	492842	4264175
11	1810	3,13	2,11	499425	4245761	493206	4264297
12	1828	3,20	2,16	499789	4245883	493570	4264419
13	1772	3,15	2,13	500153	4246005	493934	4264542
14	1714	3,12	2,11	500517	4246127	494298	4264664
15	1768	3,29	2,23	500881	4246249	494662	4264786
16	1688	3,17	2,14	501245	4246371	495026	4264908
17	1610	3,04	2,05	501609	4246494	495390	4265030
18	1567	2,99	2,02	501973	4246616	495754	4265152
19	1540	2,94	1,99	502351	4246742	496132	4265279
20	1445	2,76	1,87	502749	4246876	496530	4265412
21	1532	2,68	1,81	494851	4246780	502128	4249286
22	1828	3,10	2,09	491383	4256317	497580	4264145

Tabella 7.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia