

## **TELERILEVAMENTO E GIS PER L'ANALISI TEMATICA, LA CARATTERIZZAZIONE E LA RAPPRESENTAZIONE DI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI NEGLI ARCIPELAGHI DELLA MACARONESIA (ATLANTICO ORIENTALE)**

Luigi PEROTTI (\*), Marco GIARDINO (\*),  
Giulia BERTOLINO (\*), Gianni MORTARA (\*\*)

(\* ) Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, GeoSitLab  
Via Valperga Caluso 35, Torino, luigi.perotti@unito.it

(\*\*) CNR-IRPI, Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica, Torino - Italia

### **Riassunto**

Nell'Atlantico Nord orientale gli arcipelaghi delle Azzorre, Capo Verde, Canarie, Madeira e Isole Selvagge costituiscono la Macaronesia, termine moderno derivato dal greco col significato di "isole fiorite", utilizzato dai geografi antichi per riferirsi alle isole che si trovavano al di là dello Stretto di Gibilterra. Si tratta di una trentina di piccole isole di origine vulcanica la cui complessità del geosistema favorisce la diversità biologica, tanto da creare una provincia botanica a se stante di pari importanza rispetto a quelle continentali.

In questo contesto è stato sviluppato un Sistema Informativo Territoriale completo per la raccolta dei dati telerilevati disponibili ad oggi a media scala e con costi relativamente contenuti o gratuiti (immagini ASTER, LANDSAT e SRTM) che permettono di indagare la complessità dei geosistemi presenti attraverso l'analisi del territorio da remoto sugli aspetti geomorfologici e vulcanici. Attraverso la scelta ragionata dei dati a disposizione sarà possibile procedere ad analisi geomorfometriche sulle forme vulcaniche (caldere), tematiche sullo stato di attività vulcanica recente e passata (riconoscimento colate laviche) e possibile individuazione di elementi precursori dell'attività vulcanica (fenomeni di degassamento, latenza termica).

Attraverso l'utilizzo dei dati tridimensionali derivati (DSM SRTM e Aster DSM) è stato possibile creare modelli digitali del terreno e relativi scenari 3-D. Questi modelli si sono dimostrati utili alle analisi morfometriche ma soprattutto indispensabili al supporto di un'analisi divulgativa sulla conservazione del patrimonio naturale al fine di favorire un turismo sostenibile, oggi sempre più necessario di fronte alla naturale evoluzione delle forme geologiche ed all'incessante intervento antropico.

### **Abstract**

Macaronesia consists of a group of several islands scattered in the North-East Atlantic off the coast of Africa. This region includes the Canary Islands (Spain), Madeira (Portugal), and the Azores (Portugal), which are outermost regions (OR) of the European Union, and Cape Verde. Macaronesia is modern term derived from the greek with the meaning of "islands flowers". The Macaronesian islands are of volcanic origin and are characterized by very steep landscapes. The Teide volcano on the Island of Tenerife in the Canaries culminates at an altitude of 3,718 metres. Macaronesia has a sub-tropical climate. In this context a comprehensive Geographic Information System was developed for the collection of remotely sensed data available today (ASTER images, LANDSAT and SRTM) that allow to investigate the complexity of Macaronesia geosystem through analyses of some geomorphological, geomorphometric and volcanic aspects. Through the use of 3-D data derived (DSM SRTM and Aster DSM) and its 3-D scenarios morphometric analysis have been created also for the support of the conservation of natural heritage in order to promote sustainable tourism.

## Introduzione

Si tratta di isole emerse dal mare dopo successive eruzioni sottomarine di magmi fondamentalmente basici (basalto), che si sono ripetute dal Miocene all'Attuale, attraverso fratture e zona di debolezza della crosta oceanica. Fanno eccezione Lanzarote e Fuerteventura che essendo più vicine al continente poggiano su crosta di transizione, continentale-oceanica. Gli studi oceanografici dei fondali atlantici delle ultime decadi hanno rivelato che la loro età aumenta mano a mano che ci si allontana (1 o 2 cm all'anno) dalla dorsale. Allo stesso modo, gli assi strutturali principali della geotettonica atlantica condizionano le direzioni e gli allineamenti degli arcipelaghi nei quali si osserva un predominio delle strutture NE-SW e NNW-SSE. Tranne le Azzorre, tutti gli altri arcipelaghi si trovano all'interno della placca tettonica africana, che gli conferisce un minore rischio sismico e una minore attività tettonica; allo stesso tempo, le isole Azzorre possiedono una maggiore attività vulcanica e sismica a causa della loro posizione sul bordo della placca in entrambi i lati della dorsale. La fisionomia che ne risulta è caratterizzata da numerosi coni vulcanici e rocce ignee ma anche da depositi sedimentari e campi di dune eoliche.

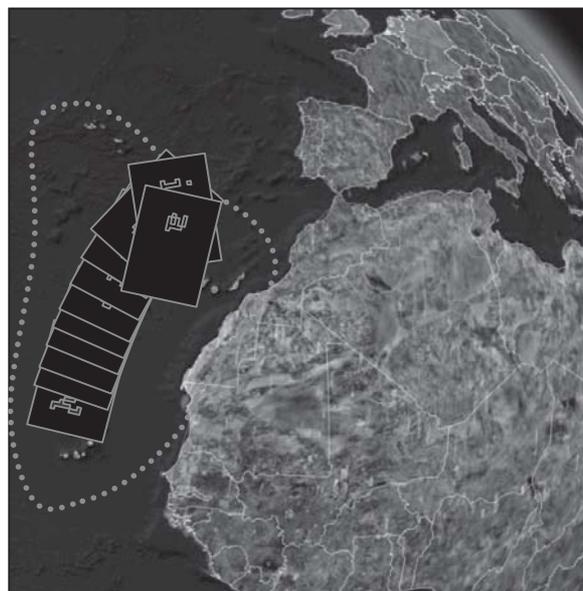


Figura 1. Ubicazione degli arcipelaghi della Macaronesia.

## Obiettivi del lavoro

In generale, le isole oceaniche rappresentano indicatori sensibili degli aspetti dinamici dei sistemi della Terra. Le loro forme (incluso le coste) e le loro coperture rispondono rapidamente a disturbi causati sia da fattori naturali che da fattori antropogenici. Questo programma di ricerca prevede

l'utilizzo di una prospettiva remota da satellite per comprendere l'evoluzione delle caldere delle isole vulcaniche della Macaronesia. Esaminando le caldere, l'uso del suolo e le coperture nonché l'attività vulcanica di tali isole, ci si auspica di caratterizzarne il trend geomorfologico; i confronti avverranno anche analizzando dati storici con mappe ed immagini ad alta risoluzione e dati termali. I Modelli di Elevazione del Terreno (DEM) costituiscono un valido strumento in molti ambiti applicativi e, in particolare, per l'analisi geomorfologica del territorio. La disponibilità di immagini satellitari stereoscopiche a media ed alta risoluzione geometrica consente la generazione di DSM in aree in cui manca un'adeguata copertura



Figura 2. Isole della Macaronesia

cartografica, ma si rivelano indispensabili anche in ambiti naturali differenti. Questo progetto di ricerca è stato suddiviso in più fasi: una prima fase di raccolta dati e costruzione del Sistema Informativo Geografico (GIS); una seconda fase di pre-elaborazione dei dati; una terza fase di test su alcuni dati campione ASTER, su cui verranno effettuate prove di estrazione semi-automatica di DSM utilizzando software commerciali quali AsterDTM (ENVI); si procederà infine sulla base dei dati ottenuti, all'analisi delle immagini multi spettrali ed all'analisi geomorfologica/geomorfometrica dell'intero territorio anche attraverso l'estrazione di dati da modelli stereoscopici o 3-D.

### Raccolta dati disponibili

Per ogni arcipelago della Macaronesia sono state raccolte le immagini satellitari disponibili ad oggi a media scala e con costi relativamente contenuti e/o gratuiti; queste sono state inserite in un *GIS* per la gestione delle successive fasi (tabella 1):

<i>Arcipelago</i>	<i>Landsat 7 ETM+</i>	<i>SRTM</i>	<i>Mosaici Landsat</i>	<i>Aster</i>	<i>Totale immagini per arcipelago</i>
<b>Azzorre</b>	5	4	2	6	<b>17</b>
<b>Canarie</b>	7	8	1	14	<b>30</b>
<b>Capo Verde</b>	7	7	4	9	<b>27</b>
<b>Madeira</b>	1	1	1	2	<b>5</b>
<b>Tot. immagini per tipologia</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>79</b>

Tabella 1. Dati disponibili

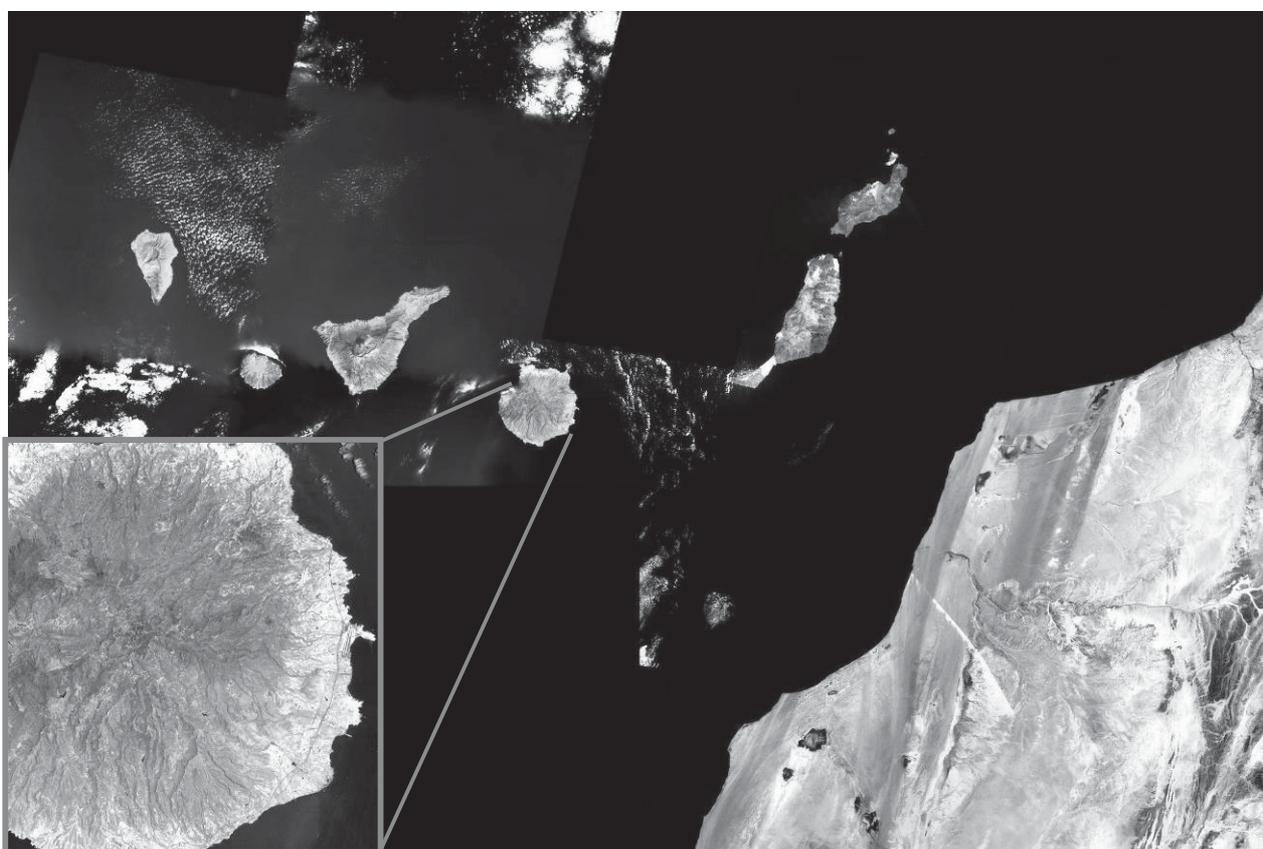


Figura 3. Esempio di Mosaico Landsat delle isole Canarie e particolare dell'immagine ASTER in falsi colori (321).

### Gestione dei dati

L'intero set di dati raccolti è stato inserito in ambiente *GIS* (Arcgis 9.2) in cui sono stati anche plottati tutti i limiti delle immagini disponibili. Per ciascun poligono (quindi immagine disponibile) sono stati inoltre associati i dati relativi alla tipologia del dato, all'arcipelago di appartenenza, all'isola, la data di acquisizione dell'immagine e, quando possibile, i dati relativi alla nuvolosità. La creazione di un *GIS* risulta indispensabile per la gestione organizzativa dei dati, soprattutto in riferimento ad analisi su un ambito così vario di isole distribuite su un'area atlantica vasta (figura 4).

L'analisi delle immagini satellitari in ogni caso non sarà conducibile interamente nell'ambito GIS (nato per la gestione dei dati vettoriali) ma verrà fatta attraverso l'utilizzo di software specifici.

Successivamente i risultati delle elaborazioni verranno importati all'interno dell'ambiente ArcGis.

### Elaborazione Dati

I dati raccolti sia sotto forma di metadato informativo sia di dato raster completo, necessitano comunque di una serie di preelaborazioni di base per predisporli alla successiva fase di analisi. Si tratta in primo luogo di preelaborazioni di tipo geometrico necessarie per correggere l'acquisizione satellitare dagli errori dovuti al rilievo e per l'inserimento in un contesto cartografico. Nel caso specifico non sono disponibili cartografie di base a scale sufficienti (almeno 1:25.000), si è quindi scelto di utilizzare come base cartografica di riferimento, le immagini Landsat acquisite in versione Orthoready. Le immagini Aster sono state quindi ortorettificate mediante l'acquisizione di Punti di Controllo (GCPs) acquisiti sulle stesse

immagini Landsat che garantiscono un'accuratezza di posizionamento inferiore a 2 pixel e con le quote raccolte dai DSM SRTM che garantiscono una sufficiente accuratezza verticale per l'ortorettifica. Per ciascuna immagine sono stati acquisiti circa 10 punti planaltimetrici e sono state prodotte le ortofoto tramite il modello implementato all'interno del software ENVI 4.3. Le preelaborazioni radiometriche comprendono una fase di calibrazione del sensore necessaria a passare a valori di riflettanza per ogni pixel dell'immagine ed una fase di eliminazione del disturbo atmosferico; infine si procede alla calibrazione topografica ove l'orografia sia particolarmente accidentata. A titolo di esempio, sulle immagini acquistate (Aster L1B) sono state eseguite le operazioni di calibrazione radiometrica ed atmosferica con il modulo FLAASH (disponibile in ENVI) che si basa sui modelli atmosferici di MODTRAN. L'immagine risultante è un dato in valori di riflettanza pronto per essere elaborato attraverso le tecniche del telerilevamento.

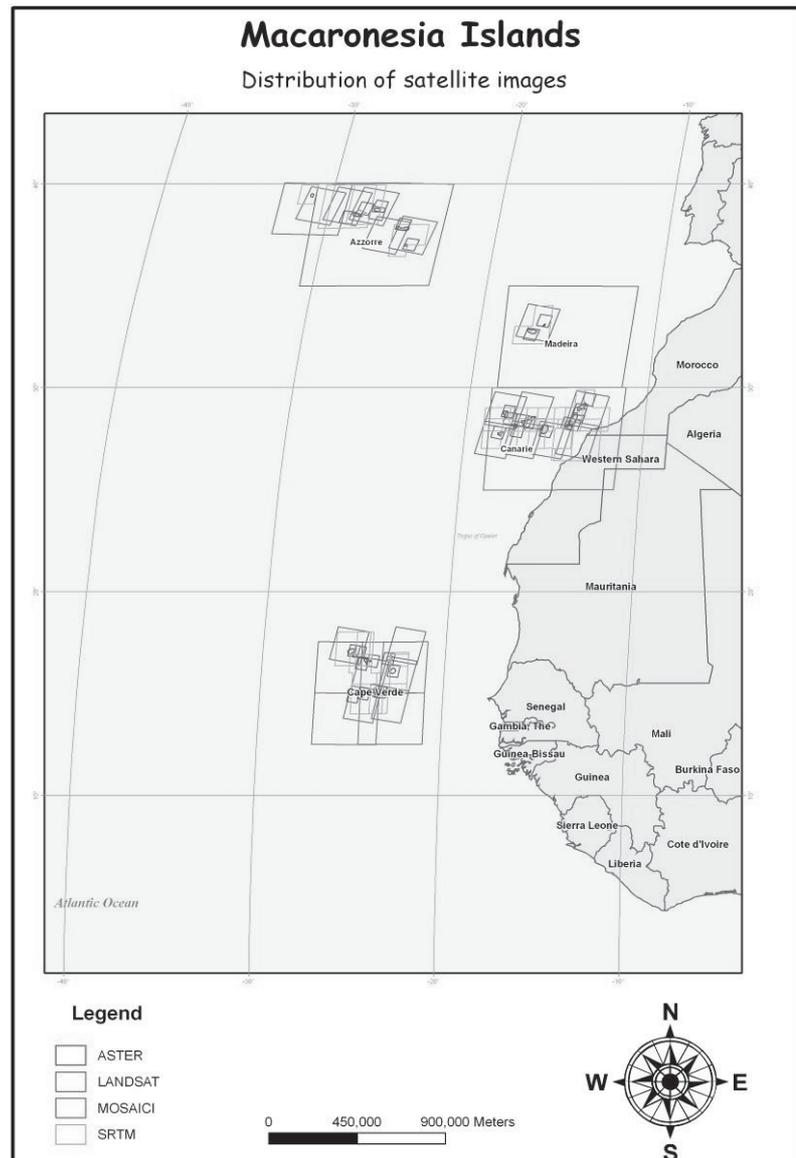


Figura 4. Esempio di Mappa ricavata dal progetto GIS.

### Modelli digitali della Superficie (DSM)

Per questo progetto è stato previsto l'acquisto di immagini ASTER (le uniche a pagamento) per la possibilità di estrarre un DSM in modo semi-automatico da confrontarsi con il dato gratuito prodotto dalla missione Shuttle SRTM. Di fatto, per esigenze cartografiche a scale medio piccole, il

DSM SRTM risulterebbe sufficiente. In questo contesto geomorfologico è stato previsto di confrontare i due dati al fine di ottenere un DSM il più possibile fedele al contesto. I fattori che permettono di ottenere un buon DSM, sono il tipo di rilievo (meglio collinare che accidentato con

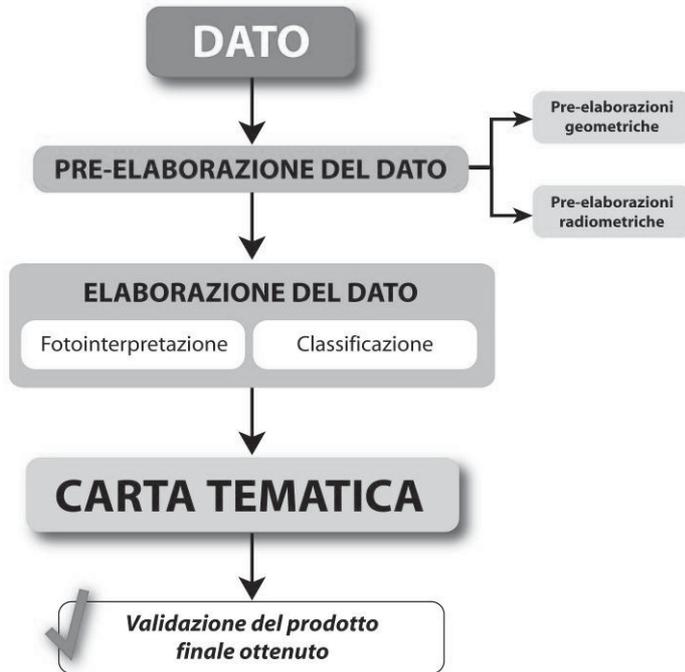


Figura 5. Diagramma delle fasi di lavoro

SRTM soprattutto in morfologie variabili e con salti di pendenza frequenti in cui SRTM ha dimostrato una tendenza ad appiattire la morfologia. Dai test effettuati e dalla bibliografia esistente i modelli numerici ricavati risultano, dal punto di vista metrico, adatti ad analisi morfometriche e geomorfologiche a scala variabile tra il 100.000 ed il 50.000. La qualità complessiva del DSM Aster è risultata molto soddisfacente per l'estrazione di informazioni sulle forme mesoscopiche e macroscopiche del territorio (caldere) tenendo presente che la risoluzione spaziale ottenuta è dell'ordine dei 15m.

### Analisi dati e Conclusioni

L'analisi dei dati è avvenuta su un set di dati appartenenti alle isole di Fogo e di Boa Vista nell'arcipelago di Capo Verde. Dal punto di vista geomorfometrico, a partire dal dato ASTER DSM sono state prodotte una serie di cartografie di base da utilizzare per le caratterizzazioni geomorfologiche delle isole dell'arcipelago. In particolare per la restituzione di forme quali le caldere si è dimostrata molto utile la visualizzazione anaglifica sui modelli stereoscopici creati durante la procedura di elaborazione del DSM stesso. Dal punto di vista spettrale le analisi sono state condotte sia dal punto di vista qualitativo (fotointerpretazione) che quantitativo (classificazioni). Le prime risultano utili per lo studio morfometrico delle forme. Le altre per la caratterizzazione delle coperture (es: distinzione delle fasi vulcaniche).

Lo scopo del lavoro, in futuro, sarà di analizzare le forme e le coperture vulcaniche di ciascun arcipelago per poter correlare il tipo di forma geomorfometrica al tipo di vulcanismo attivo o quiescente in modo da definire i rapporti esistenti nell'origine vulcanica di tutta la Macaronesia. Per fare ciò oltre all'analisi qualitativa dei parametri geomorfometrici sarà indispensabile uno studio spettrale per l'individuazione di analogie (o meno) nella composizione delle rocce vulcaniche.

Attualmente sono in fase di creazione su alcune aree test alcuni modelli 3-D interattivi, costruiti a partire dai dati satellitari da utilizzare a scopo divulgativo e come esempio per la protezione e conservazione dei beni geomorfologici naturali che caratterizzano la Macaronesia.

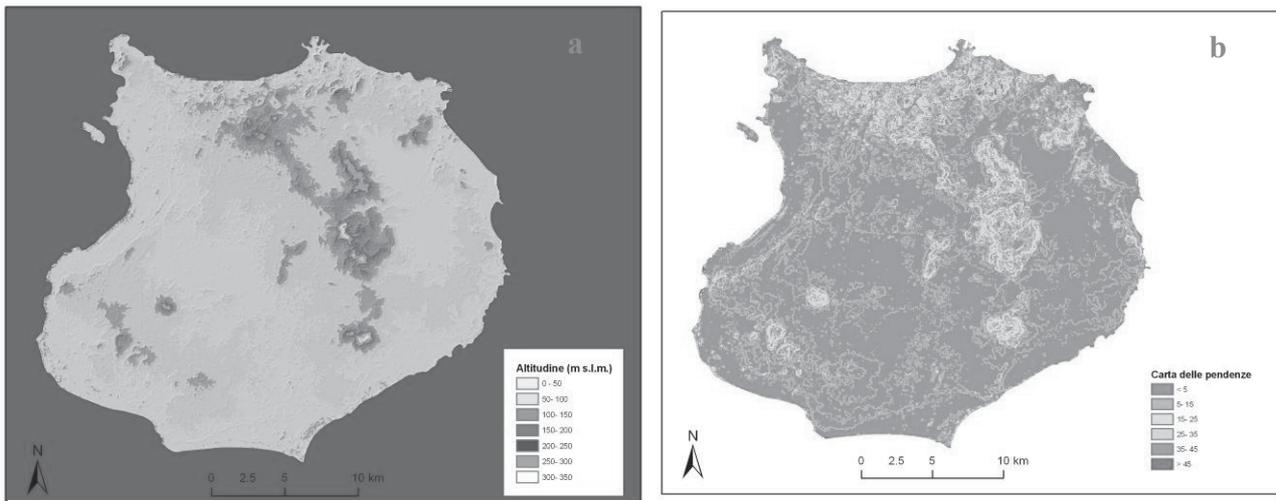


Figura 6. Isola di Boa Vista: Esempio di elaborazioni geomorfometriche a partire dal dato Aster DSM - carta altimetrica (a), carta delle pendenze (b). E' possibile notare le caratteristiche forme circolari delle caldere vulcaniche.

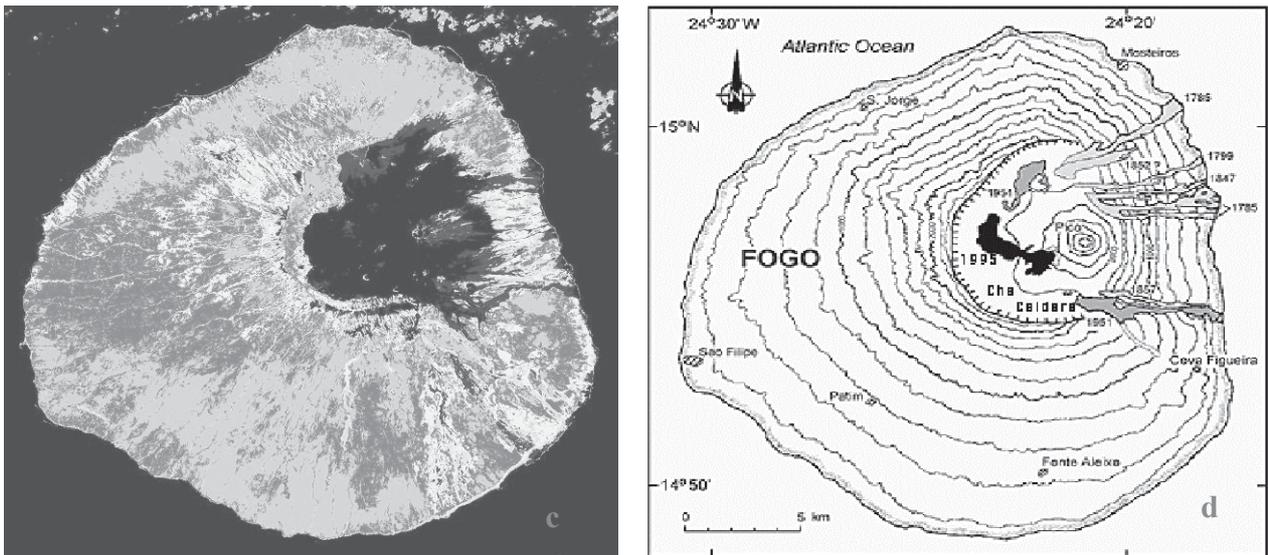


Figura 7. Isola di Fogo: Esempio di classificazione automatica (c) – in evidenza i vari flussi lavici. Mappa dei flussi lavici (d) – da notare la buona corrispondenza nel settore orientale, sede di attività vulcanica attiva recente.

### Riferimenti Bibliografici

- Biancotti A., (2001), "MACARONESIA Uomo, ambiente, spazio e territorio nelle isole dell'Atlantico orientale"
- Boccardo P., Bellone T., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F., Perotti L. (2004), "Valutazione di DSM derivati da immagini satellitari stereoscopiche mediante software commerciali", VIII Conferenza Nazionale ASITA, pp. 4 -6, Roma, Dicembre 2004.
- Kamp U., Bolch T., Olsnholler J., (2003), "DEM generation from ASTER Satellite data for geomorphometric analysis of Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivia", ASPRS Annual Conference Proceedings
- Molinaro E., Ferrero E., Mortasa G., (2004) "Il ruolo del Museo Civico Craveri di Bra nella conoscenza e tutela del patrimonio ambientale di Capo Verde", associazione naturalistica piemontese, Rivista Piemontese di Storia Naturale, Volume XXV.
- <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:80/esdi/index.jsp>