

Le immagini satellitari ad alta risoluzione e la classificazione delle comunità vegetali per la creazione della carta della Vegetazione dell'isola di Socotra (Yemen)

di L. Malatesta, F. Attorre, M. De Sanctis, M. Vitale, A. Altobelli

L'arcipelago di Socotra (Yemen), ospita una elevata diversità biologica, con caratteristiche uniche tali da renderlo un territorio rilevante per la conservazione della biodiversità a livello globale: l'alto livello di endemismo, soprattutto per le specie vegetali, lo colloca tra le isole più importanti del mondo.

L'arcipelago ospita 837 specie di piante e, tra queste, 308 (pari al 37%) sono endemiche; a livelli tassonomici più elevati, sono presenti 15 generi e 1 sottofamiglia non riscontrabili in qualsiasi altro luogo del mondo (Miller e Morris 2004).

Negli ultimi venti anni, purtroppo, lo sviluppo economico, l'abbandono delle pratiche agricole di tipo tradizionale, la crescita del settore turistico, la costruzione della rete stradale, l'aumento della popolazione e gli effetti dei cambiamenti climatici, hanno rappresentato e rappresentano una minaccia alla diversità biologica, generando una seria pressione sulle dinamiche degli ecosistemi e mettendo a rischio alcuni habitat importanti, come l'area protetta di Homhil, e la rige-

nerazione di molte specie di piante, come la *Dracaena cinnabari* e la *Boswellia spp.*

Ciononostante, Socotra rappresenta un patrimonio unico di biodiversità, che ha però bisogno di essere protetto attraverso uno sforzo coordinato tra tutte le ONG, i donatori internazionali e gli esperti che lavorano per la conservazione e lo sviluppo dell'isola.

In questa prospettiva, il presente studio ha avuto lo scopo di colmare una lacuna di conoscenze e di dati attraverso la creazione di una mappa ad alta risoluzione della vegetazione che rappresenta uno strumento utile ed affidabile per i futuri progetti di conservazione e di sviluppo.



Adenium obesum.



Dracaena cinnabari.



Euphorbia arbuscula.



Boswellia elongata.

Area di studio

Socotra è la più grande delle quattro isole che formano l'arcipelago omonimo, fa parte della Repubblica dello Yemen e si trova nella parte nord-occidentale dell'Oceano Indiano. L'isola ha un'estensione di 3.650 km², ed è caratterizzata da una notevole varietà ambientale e geomorfologica. Tre sono i principali sistemi ambientali: la pianura costiera, gli altipiani calcarei ed il massiccio granitico centrale dell'Haggeher. L'andamento climatico è caratterizzato dai monsoni d'estate e d'inverno, e tra queste due stagioni si verificano, in autunno e in primavera, periodi di transizione; questi cambiamenti periodici determinano una piovosità media annuale di 216 mm.

La temperatura diminuisce con l'altitudine, e la media è superiore a 27° C.

Le piante xeromorfe dominano l'isola, favorite dalle condizioni climatiche aride che limitano la vegetazione arborea ai dirupi, alle scarpate e alle montagne più alte. Le cime esposte degli altipiani calcarei sono generalmente dominate da cespugli o erbe basse, con vegetazione rigogliosa



Isola di Socotra (Yemen), immagine RapidEye colori reali 26-27 dicembre 2010

confinata ai pendii e alle vallate. La pianura costiera è principalmente semidesertica, con arbusti sparsi o in generale scarsa copertura vegetale.

Materiali e metodi

Una mappa della copertura del suolo dell'isola di Socotra è stata realizzata da Kral e Pavlis (2006) combinando le indagini sul campo con i dati satellitari Landsat / ETM.

Il presente studio è invece focalizzato sulla produzione di una carta delle comunità vegetali a più alta risoluzione.

A tal fine, le indagini sulla vegetazione sono state effettuate secondo il metodo fitosociologico di Braun - Blanquet (1964) e classificate in varie tipologie a seconda della composizione specifica e del grado di copertura. I dati telerilevati sono stati scelti per fornire una più ampia gamma di bande spettrali e una risoluzione più elevata. Il satellite RapidEye™, a 5 bande spettrali e 5 metri di risoluzione, si adatta perfettamente allo scopo finale di associare la precisione e l'affidabilità dell'indagine diretta con le potenzialità di ampia ripresa e sintesi del telerilevamento, allo scopo di produrre una descrizione dettagliata, ovvero una mappa accurata della vegetazione di tutta l'isola.

I dati satellitari

I dati satellitari utilizzati per il presente studio sono costituiti da due set di immagini RapidEye™, acquisite nei periodi intorno al 19 febbraio ed al 27 Dicembre 2010. Le due date sono state scelte in modo da tenere in considerazione la variabilità climatica stagionale legata all'effetto dei monsoni sul grado di copertura e sulla composizione delle specie vegetali dell'isola.

Il sistema satellitare tedesco RapidEye™ è costituito da una costellazione di 5 satelliti artificiali eliosincroni, che acquisiscono immagini alla risoluzione di 5 metri, in cinque bande spettrali (Blue: 440-510 nm, Green: 520-590 nm, Red: 630-685 nm, Red Edge: 690-730 nm, e NIR: 760-850 nm.).

I dati satellitari multispettrali di RapidEye™ possono essere di grande aiuto per il monitoraggio ambientale, discriminando le diverse tipologie di vegetazione, segnalando repentinamente lo stato di salute delle piante (con l'individuazione di eventuali variazioni di azoto, acqua e clorofilla) e permettendo così una rapida lettura e analisi delle risorse vegetali del territorio. Inoltre, da questi dati telerilevati è possibile ottenere indici di vegetazione come ad esempio l'NDVI (indice di vegetazione normalizzato, in inglese Normalized



Isola di Socotra (Yemen), immagine RapidEye infrarosso 26-27 dicembre 2010

Difference Vegetation Index), che consiste nel rapporto tra la differenza e la somma delle energie luminose misurate in due diverse bande dello spettro. Le due bande utilizzate sono l'infrarosso vicino (NIR) e il rosso (R) e la semplice formula usata è $NDVI = (NIR - R) / (R + NIR)$. L'indice sfrutta l'elevato assorbimento nel rosso e l'elevata riflessione nell'infrarosso per discriminare la vegetazione dagli altri tipi di copertura del suolo (suolo nudo, urbano, acqua, neve e nubi).

I 5 satelliti, avendo lo stesso tipo di equipaggiamento di sensori, e viaggiando uno dietro l'altro nella stessa orbita, permettono un tempo di rivisitazione molto breve e l'acquisizione d'immagini di grandi superfici su base giornaliera: la costellazione può infatti acquisire fino a 4 milioni di km² al giorno. Le immagini RapidEye si prestano dunque ad essere utilizzate in tutti i campi applicativi che richiedono un monitoraggio aggiornato e frequente, grazie alla loro capacità di garantire informazioni multiple sulla medesima area con brevi intervalli temporali.

I dati satellitari della costellazione RapidEye™ sono stati forniti, georeferenziati, ortorettificati e corretti radiometricamente dalla società Ipsat di Roma, Partner Distributor di RapidEye™. La Ipsat è da anni impegnata a interagire con la comunità degli utenti GIS e del Telerilevamento fornendo alta professionalità su tutti gli aspetti legati all'utilizzo di tali tecnologie e proponendo soluzioni ad alto valore aggiunto a supporto dei propri clienti.

Ulteriori dati spaziali

Carte tematiche digitali contenenti informazioni sull'altitudine, la pendenza, il clima e la geologia sono state utilizzate come fonte di dati aggiuntivi per il presente studio. La cartografia climatica (precipitazioni annue, temperatura media annuale) è stata ottenuta interpolando fra loro i risultati provenienti da una rete di 10 stazioni meteorologiche presenti sull'isola, attraverso il metodo di regressione *universal kriging*, definendo una funzione avente come covariate il DEM, la pendenza, l'esposizione e la distanza dalla costa (Attorre et al. 2007b). La carta geologica dell'isola è stata digitalizzata partendo dai dati di Beydoun e Bichan (1970), e distingue quattro formazioni principali: rocce vulcaniche, rocce calcaree, sedimenti alluvionali e depositi sabbiosi.

Classificazione della vegetazione: indagini di campo ed analisi dei dati

Il database delle tipologie di vegetazione è derivato da un precedente lavoro di De Sanctis et al. (2011). La ricerca in campo è stata condotta tra il 2007 e il 2009, con un totale di 318 rilievi (comprendenti 417 taxa di piante vascolari) eseguiti secondo i metodi descritti da Westhoff e van der Maarel (1978) e Braun-Blanquet (1964). La superficie coperta da ciascun rilievo è stata di volta in volta selezionata ricercando l'omogeneità delle caratteristiche fisiche, della struttura della vegetazione e della dominanza specifica. La scala di Braun-Blanquet (1964) è stata utilizzata per registrare la copertura e l'abbondanza di tutte le specie vegetali osservate. L'analisi statistica multivariata ha permesso l'identificazione di otto tipi di boschi, sette di arbusti, sei di comunità erbacee e sette di vegetazione alofila. Il set di punti di riferimento (training set) previsto per la procedura di classificazione è stato ottenuto dai punti georeferenziati relativi alle indagini di classificazione sul campo. Attorno a ciascun punto è stato creato un buffer di 10 m al fine di generare le aree d'interesse. Questa distanza è stata scelta per rappresentare l'estensione media della superficie coperta da ogni indagine sul campo. Le classi di vegetazione originali sono state modificate durante il processo di generazione della carta in modo da tener conto della sovrapposizione delle firme spettrali.

Classificazione delle immagini satellitari e produzione della carta della vegetazione

La classificazione tramite immagini satellitari è una procedura in più fasi che consiste nell'estrarre le statistiche delle risposte spettrali delle classi definite (la cosiddetta "firma spettrale") e nell'utilizzare questi dati per assegnare ogni pixel della mappa ad una specifica classe sulla base di elaborazioni statistiche (e, in alcuni casi, spaziali). Tutte le fasi della procedura di classificazione sono state effettuate utilizzando il software Geographic Resources Analysis Support System (GRASS), GIS distribuito gratuitamente e con codice sorgente pubblico (OSGeo 2011).

Nel presente lavoro, due approcci alternativi sono stati testati, ognuno basato su una diversa metodologia di estrazione delle firme spettrali e di classificazione dell'immagine.

Il primo metodo (*Massima verosimiglianza*) effettua una classificazione che opera sul singolo pixel dell'immagine satellitare indipendentemente dagli altri. La firma spettrale è calcolata partendo dal presupposto che i valori di riflettanza di ogni classe abbiano una distribuzione normale ed estrae una firma univoca per ognuna delle tipologie.

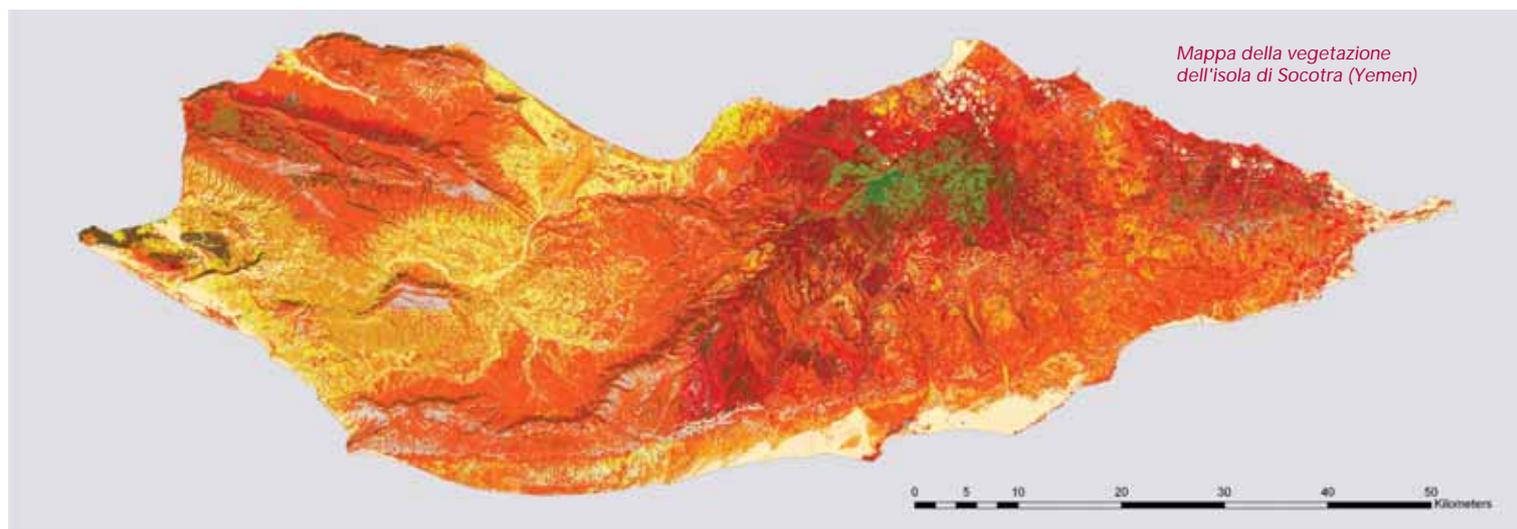
Il secondo (*Massimo sequenziale A Posteriori*) consta di un processo spaziale basato su un approccio multi-scala che assegna i pixel ad una delle classi definite in considerazione delle celle limitrofe. Il calcolo della firma spettrale adatta ogni distribuzione ad una *Gaussian Mixture* (GM) che comprende un numero variabile di sottoclassi, tenendo così conto della possibile variabilità interna di ogni classe.

L'accuratezza della classificazione è stata valutata attraverso il confronto con una serie di aree (test set) selezionate tra quelle usate per le indagini di classificazione della vegetazione ed altre osservazioni sul campo eseguite tra febbraio e dicembre 2010. La valutazione si basa sulla sovrapposizione delle aree di test alla mappa classificata.

Quest'operazione è stata effettuata in GRASS attraverso il modulo *r.kappa*, una variante dello strumento di estrazione statistica (*r.stats*), che utilizza la funzionalità di confronto per generare una "matrice di confusione". In questo modo è stato possibile valutare l'accuratezza percentuale della carta in generale e di ogni singola classe.

Post classificazione

In seguito al processo di classificazione, la precisione finale della carta è stata incrementata attraverso l'applicazione di alcuni filtri basati sulle caratteristiche ecologiche delle tipologie di vegetazione, in modo da ridurre il numero di pixel classificati erroneamente nei casi in cui le classi corrispondenti siano facilmente distinguibili su base ecologica. Queste situazioni sono state identificate osservando la matrice di confusione. Nella maggior parte dei casi, infatti, quando due classi mostrano una fisionomia simile e/o una simile produzione di biomassa, le loro firme spettrali risulteranno quasi coincidenti, e quella che ottiene la firma più ampia "sottrae" un elevato numero di pixel all'altra. Se esiste un valore di soglia di una qualsiasi variabile ambientale che separa esattamente le due classi, una mappa raster che rappresenta il parametro selezionato può essere utilizzata per correggere questo errore attraverso l'applicazione di un filtro post-classificazione. L'operazione consiste nell'assegnare i pixel della prima classe, oltre la soglia definita, alla seconda. Per applicare i filtri è stato utilizzato il modulo *r.mapcalc*, in ambiente GRASS. Il parametro selezionato è stata l'altitudine (riferendosi ad un raster DEM con risoluzione 30 m), la cui influenza è determinante sulla distribuzione delle comunità vegetali dell'isola.



Mapa della vegetazione dell'isola di Socotra (Yemen)

Legend

Vegetation map of Socotra island

Vegetation classes

Arid alluvial basal plain (0 - 200 m)

- Halophyte dune vegetation (*Acacia edgewoodii* and others)
- Mangroves (*Avicennia marina*)
- *Pulicaria stephanocarpa* dwarf shrubland
- *Tephrosia apollinea* grassland
- *Justicia rigida* dwarf shrubland
- *Indigofera pseudotinctorata* dwarf shrubland
- *Dactyloctenium aegyptium* grassland
- *Croton socotranus* shrubland

Arid transition zone (200 - 400 m)

- *Jatropha unicostata* - *Adenium steuum* shrubland
- *Commiphora ornifolia* - *Sterculia africana* woodland

Arid limestone hills and plateaus (400 - 1000 m)

- *Croton socotranus* prostrate shrubland
- *Heteropogon contortus* grassland
- *Panicum atrosanguineum* grassland
- *Boswellia pedunculata* shrubland
- *Croton sarcocarpus* shrubland
- *Boswellia ameero* woodland
- *Boswellia elongata* woodland
- *Dracaena simalbari* woodland

Semi - arid granitic Hagghier mountains (1000 - 1400 m)

- *Trichodesma scottii* - *Cephaloxylon socotranus* shrubland
- *Coelocarpum haggierensis* - *Hypericum scopulorum* shrubland
- *Leucas haggierensis* - *Pittosporum viridiflorum* woodland

Other classes (generated with ad - hoc training points)

- *Phoenix dactylifera* (palm plantations)
- Bare sand and dunes
- Asphalt roads and airport
- Rocks, bare or with very sparse dwarf shrubs
- Settlements and tracks, roads
- Sand with very sparse halophyte vegetation
- Inland water

Risultati e discussione

L'applicazione di due diversi metodi di classificazione ha portato alla produzione di due versioni della carta della vegetazione, entrambe caratterizzate da una notevole dominanza di arbusteti a *Croton socotranus*, soprattutto nella parte occidentale, che ospita una diversità più bassa e che appare meno eterogenea, essendo dominata da vegetazione rada. Anche le ricche e variegata comunità montane sono rappresentate chiaramente nelle due carte. Tuttavia, la classificazione di *Massima verosimiglianza*, a causa dell'assegnazione indipendente di singole celle, appare più frammentata, con un elevato numero di pixel isolati, mentre la metodologia *Massimo sequenziale A Posteriori* si è dimostrata capace di produrre una rappresentazione continua e omogenea della comunità vegetali, con elevato dettaglio e notevole precisione nella mappatura dell'intricato mosaico di boschi, arbusteti e radure erbacee delle montagne dell'Haggeher. Questa maggiore accuratezza, sia per le singole classi che in totale, fa sì che la mappa prodotta applicando quest'ultima metodologia possa essere considerata la versione finale della carta della vegetazione dell'isola di Socotra.

Comunità vegetali cartografate

La carta della vegetazione ottenuta comprende 28 classi, tra cui sono comprese le comunità vegetali individuate da De Sanctis et al. (2011) e diversi tipi di copertura del suolo creati *ad hoc*. Una descrizione sintetica delle tipologie viene fornita di seguito.

Foreste

Mangr: mangrovie. Dominate da *Avicennia marina*.

Boschi

ComSt: Bosco di *Commiphora ornifolia* e *Sterculia africana*.

BoswE: Bosco di *Boswellia elongata*.

DracC: Bosco di *Dracaena cinnabari*.

BoswA: Bosco di *Boswellia ameero*.

Leupi: Bosco di *Leucas haggierensis* e *Pittosporum viridiflorum*.

Cespuglieti e garighe

PulSt: Gariga a *Pulicaria stephanocarpa*.

JusRi: Gariga a *Justicia rigida*.

CrSoc: Cespuglieto a *Croton socotranus*.

JatAd: Cespuglieto a *Jatropha unicostata* e *Adenium obesum*.

Buxan: Cespuglieto a *Buxanthus pedicellatus*.

CrSar: Cespuglieto a *Croton sarcocarpus*.

Crprs: Gariga a *Croton socotranus* (forma prostrata).

TrCep: Cespuglieto a *Trichodesma scottii* e *Cephaloxylon socotranus*.

CoeHy: Cespuglieto a *Coelocarpum haggierensis* e *Hypericum scopulorum*.

Praterie

TephA: Prateria a *Tephrosia Apollinea*.

IndPs: Prateria ad *Indigofera pseudotinctorata*.

DacRo: Prateria a *Dactyloctenium robecchii*.

PanAt: Prateria a *Panicum atrosanguineum*.

HeCon: Prateria a *Heteropogon contortus*.

Vegetazione alofila

halveg: vegetazione alofila.

sndvg: Sabbia con vegetazione alofila sparsa e rada.

Altri (creato *ad hoc*)

PhDac: *Phoenix dactylifera* (piantagioni).

rocce: Roccia, nuda o con arbusti nani molto radi.

dune: Sabbia nuda e dune.

water: acque interne.

settl: insediamenti, sterrati, nuvole.

strade: strade asfaltate ed aeroporto.

Conclusioni

Il presente studio ha prodotto una carta ad alta risoluzione della vegetazione dell'isola di Socotra (Yemen), combinando la classificazione delle comunità vegetali con l'analisi da telerilevamento. La fonte dei dati satellitari è stata rappresentata da due serie multitemporali di immagini della costellazione satellitare RapidEye™, con risoluzione (dimensione dei pixel) 5 m e 5 bande spettrali. Più di 370 rilievi di vegetazione, eseguiti secondo il metodo fitosociologico e utilizzati per identificare le principali comunità vegetali, sono stati impiegati per ottenere le aree di riferimento e di confronto. Per produrre la carta della vegetazione, le firme spettrali sono state ottenute attraverso un modello basato su classi a firma multipla (Gaussian Mixture). Il metodo di classificazione *Massimo sequenziale A Posteriori* è stato applicato per tener conto della eterogeneità nella copertura di alcune classi e nel mosaico delle tipologie di vegetazione. Il *Massimo sequenziale A Posteriori* ha dimostrato di essere molto più efficace nel rappresentare l'estrema variabilità del paesaggio di Socotra, ottenendo una precisione maggiore del 21,3% rispetto al metodo di *Massima verosimiglianza*, e si rivela particolarmente adatto allo scopo di cartografare un mosaico di vegetazione così eterogeneo, evitando allo stesso tempo una frammentazione eccessiva della mappa, e riducendo dunque la perdita di informazione e gli errori di classificazione. La precisione raggiunta è superiore all'87%, un risultato decisamente soddisfacente alla luce del numero elevato di classi considerate, dell'eterogeneità delle loro coperture e della complessità del paesaggio dell'isola. La classificazione di *Massima verosimiglianza* ha generato invece una mappa eccessivamente irregolare, meno precisa nella individuazione e distinzione delle formazioni contigue e commiste, ed in generale meno accurata di oltre il 20%. Questi risultati suggeriscono che, anche se più difficile da applicare, il metodo di segmentazione sequenziale si adatta meglio ai paesaggi complessi rispetto all'approccio puramente statistico di massima verosimiglianza. La mappa ottenuta rappresenta una base di conoscenze preziosa per la pianificazione delle future iniziative di conservazione volte a proteggere il patrimonio unico di biodiversità dell'isola di Socotra.

Parole chiave

MAPPA VEGETAZIONE, TELERILEVAMENTO, CARTOGRAFIA TEMATICA

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Progetto di Cooperazione Italiana "Cudarat", promosso dal Ministero degli Affari Esteri italiano e dal governo yemenita. I nostri più sentiti ringraziamenti vanno al Project Manager Andrea Mao ed a tutto lo staff tecnico e istituzionale che ha reso il progetto, e quindi questo studio, possibile. Una menzione particolare va ai membri dell'Unità di Botanica, Ahmed Adeeb, Ahmed Issa, Fahmi Abdulla e Abdulwhab Saad, la cui assistenza durante il lavoro sul campo ha rappresentato un aiuto prezioso ed insostituibile.

Abstract

Vegetation map by satellite imagery in Socotra (Yemen)

The present study has produced a high resolution vegetation map of Socotra Island (Yemen) by combining vegetation classification with remote sensing analysis. The satellite data source was represented by two multi-temporal sets of RapidEye™ satellite images with a pixel resolution of 5 m and 5 spectral bands. More than 370 vegetation surveys, carried out with the phytosociological method and used to identify the main vegetation types, were used to obtain the training and evaluation sets. To produce the vegetation map, spectral signatures of the vegetation classes were obtained through a Gaussian mixture distribution model. A Sequential Maximum "a Posteriori" classification method was applied to take into account the heterogeneities in the signatures of some classes and the spatial pattern of the vegetation types. Post-classification sorting was performed to adjust the classification through various rule-based operations. A total of 28 classes were mapped with an accuracy greater than 80%. The resulting map and data will represent a fundamental tool for the elaboration of conservation strategies and the sustainable use of natural resources.

Autori

LUCA MALATESTA, FABIO ATTORRE,
MICHELE DE SANCTIS, MARCELLO VITALE
DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA AMBIENTALE, LA SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

ALFREDO ALTABELLI
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

Open Data



In Europa si parla del virus dell'open data ormai da qualche tempo, visto che il contagio si è esteso in tutto il mondo. Il Commissario EU Kroes ha pubblicato a Novembre 2011 nuove misure per stimolare il riuso del settore pubblico. Da questo momento in poi i portali web stanno riempiendosi di collegamenti a dati pubblici aperti spesso riferendo anche di dati geografici aperti. Recentemente in Olanda il Ministero delle Infrastrutture e dell'Ambiente ha annunciato che entro il 1° gennaio 2015 saranno resi pubblici tutti i dati di competenza del Ministero. In Italia è stato aperto il sito dati.gov.it ove le amministrazioni possono rendere pubblici i loro dati e molte organizzazioni stanno sposando la causa proponendo vere e proprie professioni di fede da seguire come ad esempio la spaghettiopendata.org o la neonata opengeodata.it associazione senza scopo di lucro. Ma il problema della legislazione sulla privacy del cittadino sta portando seri ostacoli in tutta Europa alla diffusione di dati sensibili. Inoltre il problema delle licenze d'uso dei dati sta diventando un serio argomento che vede la Creative Commons Public Domains Mark, la Public Domain Dedication CCO o la Open Government License, come esempi di come una trasparenza legale possa realizzarsi all'interno delle Pubbliche Amministrazioni. L'Open Geospatial Consortium ha pubblicato una suite di condizioni d'uso che potranno configurarsi come primo passo per l'armonizzazione delle licenze d'uso. Non solo, un gruppo di lavoro del GSDI (Global Spatial Data Infrastructure, www.gsdi.org) sta lavorando per un quadro che possa armonizzare le attuali licenze di uso dei dati geografici.

Renzo Carlucci



RACCOGLI



CONDIVIDI



TRASMETTI



Come misuri il successo?



Non importa quali sfide stai affrontando. Non importa quali opportunità ti attendono. Trimble è impegnata nell'aiutarti a trovare e garantire il sentiero del tuo successo.

Se la tua idea di successo significa meno ore sul campo o trovare nuove opportunità di mercato, la risposta si trova nelle soluzioni complete di rilevamento delle quali ti puoi fidare.

Ottieni il massimo ogni globo e in ogni sfida. Le soluzioni totali ti danno la libertà di Raccogliere, Condividere e Trasmettere con flussi di lavoro più adatti al tuo business.

Stai ancora cercando il prossimo grande successo? Non cercare oltre: www.trimble.com/success

SUCCESSO: LO TROVI QUI

