

# Tecniche di telerilevamento operativo e di GeoSpatial Intelligence per l'individuazione di corridoi ecologici a media scala

Alessia Allegrini (\*), Andrea Fiduccia (\*\*), Michela Gori (\*\*\*),  
Daniela Guglietta (\*\*\*\*), Filippo Pongelli (\*\*\*\*\*)

(\*) CNR - Istituto per l'Inquinamento Atmosferico, Via Salaria Km 29,300 C.P. 10 - 00016 Monterotondo Stazione RM Roma; Tel.: 0690625349; Fax.: 0690672660; [alessia.allegrini@iia.cnr.it](mailto:alessia.allegrini@iia.cnr.it)

(\*\*) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini, 4 00157, Roma; P: +39.06.43588889; [andrea.fiduccia@intergraph.com](mailto:andrea.fiduccia@intergraph.com)

(\*\*\*) APAT, Servizio Carta della Natura, Via Curtatone, 3; 00185 Roma; Tel. (+39) 0650074220; [michela.gori@apat.it](mailto:michela.gori@apat.it)

(\*\*\*\*) CNR - Istituto per l'Inquinamento Atmosferico, Via Salaria Km 29,300 C.P. 10 - 00016 Monterotondo Stazione RM Roma; Tel.: 0690625349; Fax.: 0690672660; [guglietta@iia.cnr.it](mailto:guglietta@iia.cnr.it)

(\*\*\*\*\*) *Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS* Università degli Studi di Roma "La Sapienza", C/O Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma, [filippo.pongelli@intergraph.com](mailto:filippo.pongelli@intergraph.com)

## Riassunto

Il paradigma delle reti ecologiche, nato all'interno della landscape ecology, afferma che è necessario costituire una rete continua di unità ecosistemiche naturali o para-naturali in grado di svolgere i ruoli funzionali necessari ad un sistema complesso quale passo indispensabile per creare quella continuità degli habitat, che è la condizione fondamentale per garantire la permanenza delle specie sul territorio. Questo paradigma teorico è ormai recepito nella prassi pianificatoria italiana (specifiche Misure nei POR delle Regioni Obiettivo 1, elaborati "dedicati" nei Piani Provinciali e Comunali, analisi ad area vasta sia a livello nazionale che regionale, etc). Il problema aperto ed urgente è quello della standardizzazione delle metodologie per rendere comparabili le elaborazioni nella prospettiva di valorizzare i singoli risultati e rendere possibili quadri conoscitivi di sintesi.

Dal punto di vista operativo la tecnica di individuazione delle reti ecologiche trova nei Sistemi GIS (Geographical Information Systems) lo strumento più idoneo e nei dati telerilevati (RS - Remote Sensing) una preziosa fonte di informazioni aggiornate. I modelli di calcolo GIS – oriented per l'individuazione dei reticoli ecologici utilizzano ad oggi come strato informativo "critico" l'Uso del Suolo: ma non esiste per il territorio nazionale la disponibilità di tale strato informativo a tutte le scale di interesse per il calcolo del reticolo ecologico. Dunque, è necessario individuare sorgenti di dati e metodologie operative per la redazione "speditiva" di un Uso del Suolo, o, più propriamente, di una Carta degli Habitat, aggiornato e compatibile con i requisiti di accuratezza posizionale e tematica propri dei calcoli di connettività ecosistemica.

Negli ultimi anni è stata sperimentata con successo una nuova generazione di sensori aviotrasportati – e quindi disponibili on-demand - caratterizzati da elevata risoluzione non solo spaziale, ma anche spettrale: citiamo, quali esempi, l'AVIRIS della NASA-JPL e il MIVIS del CNR – Progetto LARA. Mediante i dati raccolti da tali sensori è possibile ottenere mappature geo-ambientali di elevatissima accuratezza tematica sfruttando tecniche di classificazione basate sull'analisi delle firme spettrali.

Nel paper viene presentata una proposta di metodologia standard per l'individuazione del reticolo ecologico basata:

- 1) sulla realizzazione di una cartografia degli Habitat a partire da dati iperspettrali MIVIS da parte del CNR - Istituto per l'Inquinamento Atmosferico;
- 2) sull'uso del modello di calcolo per la connettività ecosistemica del *Progetto H.E.L.I.O.S.-GIS* dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" (Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Luciano Fonti);

3) sulla supervisione scientifica dell'APAT – Servizio Carta della Natura per gli aspetti naturalistici di calibrazione del modello.

Il modello è stato applicato ad un'area di interesse paesaggistico nel nord della Calabria.

### **Abstract**

The ecological networking paradigm, which is part of landscape ecology, states that a necessary condition, to ensure presence of all species on the territory, is the creation and maintenance of a network of well connected natural and semi-natural elements.

Within the framework of Italian planning procedures the ecological network paradigm is now playing an important role. It has a high-priority on POR planning, it is included in all procedures at both district and city level and is going to be adopted for large scale analysis at national and regional level.

The standing and urgent issue regarding this methodology is the standardization of procedures in order to have compatible outputs so that, having merged local results, a broader, normalized view becomes available.

From an operational point of view, ecological networks can be identified and addressed using by GIS Systems, while Remote Sensing offers a wide scope of updated and reliable sources of information. Land use information is a key factor for every proposed model addressing the identification of ecological networks; unfortunately at country level such information is not available with a suitable scale of resolution. For this reason, it is necessary to use any available GIS data source to produce a quick version of land use dataset, ensuring thematic and positional accuracy required to precisely extract ecological corridors.

Recently, a new generation of airborne sensors have been successfully tested. Sensors such as AVIRIS by NASA-JPL or MIVIS by CNR (LARA Project) are available on demand, assuring high spectral and spatial resolution. Using data retrieved by airborne sensor it is possible to have accurate, detailed thematic maps created from the originating image using spectral classification methodologies. This document is proposing a standard methodology for the localization of ecological network based on:

- 1) a habitat thematic map developed by the Environmental Pollution Department from CNR (CNR IIA) using MIVIS data;
- 2) a GIS model for the localization of ecological network endorsed by HELIOS Project - University of Rome La Sapienza Coordinated by Prof. Luciano Fonti;
- 3) supervision from APAT Italian Environmental Protection Agency– Map of Natural Environment Department - for the fine tuning of the model.

This model has been applied in north Calabria on an area considered very interesting from a landscape and naturalistic point of view.

### **Introduzione**

La sopravvivenza di una specie è determinata dalla disponibilità di habitat idonei, di risorsa trofica e nella maggioranza dei casi dalla capacità di muoversi attraverso il paesaggio. Gli animali, infatti, hanno necessità di compiere spostamenti sia giornalieri, per la ricerca di cibo e riparo, che periodici per riprodursi ed evitare condizioni ambientali sfavorevoli (migrazioni) e per il *dispersal* – la dispersione degli individui giovani in cerca di nuovi territori- (Hansson et al., 1992; Bennett, 1998; Van Opstal, 1999).

La vagilità di una specie e la conseguente capacità di colonizzare nuove aree diventa più importante nel caso in cui sopravvengano dei cambiamenti nel proprio habitat. Tra i mutamenti indotti dall'uomo, la frammentazione degli ambienti naturali è sicuramente tra i più drammatici ed è attualmente considerata tra le principali minacce alla diversità biologica (Wilcove et al., 1986; Wilson 1993; Dobson et al., 1999; Henle et al., 2004). La distruzione e la trasformazione degli ambienti naturali, la loro riduzione in superficie e l'aumento dell'isolamento, tutte componenti del processo di frammentazione, influenzano infatti la struttura e la dinamica di determinate

popolazioni e specie animali e vegetali sensibili, fino ad alterare i parametri di comunità, le funzioni ecosistemiche ed i processi ecologici (Battisti, 2004). E' stato inoltre dimostrato come, a livello di specie, tale processo costituisca una delle cause dell'elevato tasso d'estinzione a scala globale (Soulé e Orians, 2001). Per contrastare gli effetti di questo processo è quindi fondamentale tutelare la connettività del paesaggio, la cui espressione fisica è rappresentata dalle reti ecologiche (Jongman et al, 2004). Conseguentemente, la risposta del mondo conservazionista e delle autorità è stata un cambiamento di strategia: dalla conservazione delle "isole" naturali, sempre più isolate, alla tutela ed al ripristino dei corridoi di dispersione e delle *stepping stones* (letteralmente: pietre di guado- frammenti residui di habitat), che fungono da collegamento tra le aree naturali *core* (i nodi della rete) facilitando la conduttività biologica del paesaggio (Farhig and Merriam, 1985; Arts et al., 1995).

Le reti ecologiche si configurano attualmente tra gli strumenti di conservazione maggiormente condivisi e numerosissimi sono gli studi ad oggi condotti e finalizzati alla loro individuazione sul territorio supportati da GIS. Nel caso delle reti *specie-specifiche* (per una panoramica sulle diverse letture del concetto di rete ecologica vedi APAT, 2003; Battisti, 2004), nelle quali è necessario stabilire delle relazioni di tipo specie-habitat, queste indagini, incontrano spesso delle difficoltà poiché si basano sull'elaborazione di cartografia di base che nella maggior parte dei casi è stata prodotta per altri scopi o in scale non adatte a studi ambientali a scala locale.

Lo scopo di questo progetto è appunto quello di testare le potenzialità delle immagini telerilevate MIVIS per creare una cartografia di base appositamente elaborata per potervi successivamente applicare un modello di individuazione della rete ecologica.

### **Aspetti naturalistici della metodologia**

Nell'area di studio prescelta, comprendente il versante calabro del Massiccio del Pollino e il suo prolungamento verso la costa tirrenica, verranno evidenziati con maggiore dettaglio gli ambienti a vegetazione erbacea, naturali e semi-naturali (prati- pascoli), al fine di sviluppare una rete ecologica finalizzata alla salvaguardia di questi habitat. Questo approccio costituisce un'innovazione nella metodologia generale (vedi ad es. Fiduccia et al. 2006). I cosiddetti spazi aperti fanno parte infatti, più di altri, degli ambiti di esercizio delle attività rurali, agricoltura e pascolo ed essi sono stati visti più come supporto al lavoro dell'uomo che luoghi di conservazione della natura. Per lungo tempo questi spazi sono stati e sono ancora oggetto tanto degli appetiti dell'espansione urbana quanto di uno sfruttamento intensivo non ecologicamente sostenibile da parte di attività agricole (Verboom et al. 2001) che ha portato negli ultimi 40 anni al dimezzamento della superficie adibita a pascolo e alla riduzione di oltre il 15% dell'ambiente agricolo estensivo (Falcucci, et al., 2007) con il conseguente drammatico declino delle specie animali di ambiente aperto (Birdlife International, 2004). A questo proposito la metodologia proposta prevede la selezione di specie target che siano indicatrici di un buono stato di questo tipo di habitat e per le quali siano disponibili dati quali: distanza media di dispersal, estensione dell'home range, e sensibilità a disturbi indotti da determinate tipologie di infrastrutture o usi del suolo (es. strade, agricoltura intensiva).

### **Il telerilevamento iperspettrale**

Per creare una cartografia di base sulla quale applicare un modello di individuazione del reticolo ecologico sono state utilizzate immagini telerilevate MIVIS.

Lo scanner iperspettrale aviotrasporto Daedalus AA5000 MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) è uno strumento modulare costituito da 4 spettrometri che riprendono simultaneamente le radiazioni provenienti dalla superficie terrestre nel Visibile (20 bande tra 0,43-0,83  $\mu\text{m}$ ), nell'Infrarosso Vicino (8 bande tra 1,15-1,55  $\mu\text{m}$ ), nell'Infrarosso Medio (64 bande tra 2,0-2,5  $\mu\text{m}$ ) e nell'Infrarosso Termico (10 bande tra 8,2-2,7  $\mu\text{m}$ ) per un totale di 102 bande. La piattaforma aerea sulla quale è installato il sensore iperspettrale MIVIS è un Casa 212/200 di proprietà della Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma.

Per realizzare una mappa tematica è necessario effettuare una classificazione del territorio in superfici corrispondenti alle categorie scelte nella legenda della mappa tematica stessa. Per questo scopo nel corso degli anni sono state sviluppate diverse procedure che utilizzano particolari algoritmi.

Tramite l'operazione di classificazione si individuano nell'immagine digitale le classi di superfici esistenti al suolo. I pixel di un'immagine vengono assegnati ad un numero finito di classi in base alle loro caratteristiche spettrali. I gruppi o cluster di vettori pixel rappresentano le classi di informazione: vegetazione, suolo, acqua, urbano, o come nel nostro studio sono gli habitat presi dalla legenda Corine Biotopes.

In generale ciascuna classe di informazione è composta da numerose classi spettrali.

Per utilizzare nel modo migliore le informazioni contenute nelle immagini MIVIS il metodo di classificazione applicato è la Spectral Angle Mapper (SAM).

Questa tecnica di classificazione "supervised" (supervisionata dall'operatore) si basa sulla conoscenza di alcune aree campione rappresentative di alcune classi di superficie (training site).

La SAM è un algoritmo che permette di calcolare rapidamente la somiglianza spettrale fra lo spettro di un'immagine e uno spettro di riferimento che può essere sia spettro di "laboratorio" o di "campo" sia uno spettro estratto dall'immagine. L'algoritmo consente di esprimere l'analogia tra due spettri in base alla mutua distanza angolare (espressa in radianti tra 0 e  $\pi/2$ ) calcolata nello spazio a N dimensioni delle bande. La tecnica SAM offre il vantaggio, rispetto ad altri metodi di classificazione multispettrale, di fornire un criterio di similarità tra due spettri indipendentemente dai valori assoluti dei singoli pixels. Il risultato finale della procedura è costituito da un numero di immagini, definite Rules Images (RI), pari al numero delle classi spettrali selezionate.

Nelle RI i toni scuri individuano pixel caratterizzati da uno spettro simile a quello di riferimento, mentre i toni chiari identificano pixel che presentano uno spettro dissimile. L'informazione contenuta nelle singole RI viene poi condensata in un'unica immagine tematica, che permette di descrivere con colori diversi le classi di unità superficiali prescelte.

Per la creazione della mappa tematica degli habitat presenti nell'area di studio comprendente il versante calabro del Massiccio del Pollino e il suo prolungamento verso la costa tirrenica, sono stati effettuati campionamenti a terra per il riconoscimento e il censimento dei diversi biotopi presenti sul territorio studiato. Le aree campionate sono state riportate sulle immagini MIVIS acquisite durante la campagna di sorvoli effettuata il 21 Luglio 2005 alle ore 11:00 a un'altitudine di 2500 m.a.s.l. (5 m/pixel di risoluzione a terra). Di ogni area-campione (habitat) è stata costruita la regione di interesse (ROI) e sono state salvate le firme spettrali, sia come file ASCII che Spectral Library, successivamente utilizzate come input per la classificazione assistita Spectral Angle Mapper (SAM).

La classificazione realizzata mediante questa tecnica rappresenta la mappa tematica degli habitat presenti nella nostra area di studio e le diverse classi (habitat) sono descritte con colori diversi.

### **La "componente" GIS e le tecnologie duali**

La metodologia generale, in termini di tecniche GIS, per l'individuazione del Reticolo Ecologico Potenziale a partire da una cartografia di uso del suolo/ habitat è stata già dettagliatamente descritta in Fiduccia et al., 2006.

Una importante osservazione è relativa all'evoluzione delle tecnologie GIS per le analisi ambientali. Esaminiamo le caratteristiche tecniche della piattaforma GIS di cui abbiamo bisogno per le analisi di frammentazione/connettività ecosistemica:

- 1) un ambiente di base che offra funzionalità per l'integrazione di datasets eterogenei per formato, schema semantico e sistema di proiezione cartografico e funzionalità per analisi caratterizzate dal frequente aggiornamento dei "pesi" in modelli di overlay topologico; inoltre alcuni layers (pianistica vigente, catasto, etc.) hanno valore legale e quindi ogni "trasformazione" dal formato originale è da ritenersi "critica" per potenziali perdite di contenuto informativo;
- 2) un ambiente di analisi spaziale raster;

- 3) un ambiente per le analisi di telerilevamento;
- 4) moduli di calcolo specifici spesso disponibili come applicativi o codice open source.

Queste sono proprio le funzionalità offerte dagli ambienti GIS integrati messi a punto nel contesto del nuovo paradigma dell'informazione geografica militare definito "Geospatial Intelligence" (GEOINT). Secondo la definizione della National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) dobbiamo intendere per Geospatial Intelligence "la valorizzazione e l'analisi di informazione cartografica, geodetica e di immagini per descrivere, valutare e rappresentare visivamente oggetti e attività georeferenziate". È la fusione di tutte queste sorgenti di dati che consente di avere una rappresentazione ricca, accurata e affidabile di quegli oggetti e di quelle attività. L'obiettivo finale è di generare una rappresentazione il più accurata e fedele possibile della realtà geografica: la Common Operational Picture (COP).

Ci troviamo, allora, di fronte ad un evidente esempio del campo di applicazione della "tecnologia duale": le analisi ambientali di frammentazione/connettività ecosistemica e la GEOINT condividono gli stessi requisiti tecnologici. E, infatti, la suite Intergraph Image Scout, evoluta nell'ambito di un progetto dell'NGA di Geospatial Intelligence Exploitation, è costituita da:

- un ambiente "base" GIS ad elevata interoperabilità, GeoMedia, che consente l'accesso ai dati geospaziali direttamente e senza conversioni di formato sia da file system locale o distribuito che come web services e che offre funzioni di analisi secondo un approccio basato su piping delle query (alfanumeriche, spaziali, topologiche), cioè su flussi di lavoro dinamici salvati a livello di workflow e, quindi, riutilizzabili rapidamente in base all'aggiornamento dei dati di base;
- una prima serie di funzionalità di Image Analysis quali gli enhancement visivi di base e le sintesi a falsi colori già nell'ambiente base (GeoMedia Image);
- un ambiente di image exploitation avanzato (GeoMedia Image Light Table Plus su tecnologia Paragon Imaging) collegato bidirezionalmente al motore GIS che consente funzionalità di mosaico virtuale (senza ricampionamento fisico), enhancement visivo, pan sharpening e analisi a falsi colori on-the-fly nonché connessione a streaming da sensori real-time;
- un classificatore a reti neurali completamente integrato nell'ambiente GIS di base (VLS Feature Analyst);
- completo interfacciamento con il software di telerilevamento ENVI della ITT;
- una tecnologia GIS di base orientata all'integrazione di componenti esterne (moduli o codice) perché sviluppata su un "motore" costituito da componenti customizzabili.

### **Primi risultati e prospettive di ricerca**

Le problematiche rimaste aperte nella metodologia generale per l'individuazione del Reticolo Ecologico Potenziale più critiche dal punto di vista disciplinare dei GIS, sono quelle relative alla omogeneizzazione di datasets eterogenei per sistema di coordinate e per scala. Questa, ribadiamo, è una necessità dovuta dall'assenza di una cartografia di base idonea alle analisi di frammentazione/connettività ecosistemica.

La presente sperimentazione è, dunque, il primo passo di un adeguamento della metodologia che muove dalla constatazione che la cartografia "di base" è una componente "interna" del modello e che bisogna definirne il protocollo di realizzazione a partire dalle sorgenti di dati maggiormente aggiornate/aggiornabili. Tali sorgenti di dati, ponendo momentaneamente da parte progetti specifici di cartografia ambientale (Carta della Natura) – non sempre idonei per scala – o di cartografia di base (DBT Modello Intesa GIS), sono le immagini da telerilevamento aereo o satellitare ad alta risoluzione spaziale e spettrale. In questo senso la definizione della Carta degli Habitat e del protocollo operativo per ottenerla a partire da dati MIVIS, sensore iperspettrale aviotrasportato, è un primo risultato applicativo di grande interesse.

Il secondo nodo "focus" è inquadrare le analisi di connettività ecosistemica in un approccio analitico finalizzato al Piano Territoriale. In questo senso la Valutazione Ambientale Strategica

appare il paradigma di riferimento che sarà oggetto di una futura specifica fase del programma di ricerca.

## **Bibliografia**

- APAT, INU (2003), *Gestione delle aree di collegamento ecologico-funzionale. Indirizzi e modalità operative per l'adeguamento degli strumenti di pianificazione del territorio in funzione della costruzione di reti ecologiche a scala locale*, Manuali e linee guida Vol. 26, pp.104
- Arts, G.H.P., Van Buuren, M., Jongman, R.H.G., Nowicki, P., Wascher, D., Hoek, I.H.S., (1995), *Editorial. Landschap* 12 (3), 5–9 (Special issue on ecological networks).
- Battisti C., (2004), *Frammentazione ambientale, connettività, reti ecologiche. Un contributo teorico e metodologico con particolare riferimento alla fauna selvatica*, Provincia di Roma, Assessorato alle politiche agricole, ambientali e Protezione civile. Pp. 248.
- Bianchi R., Cavalli R.M., Fiumi L., Marino C.M., Pignatti S., (1996) “Airborne imaging spectrometry: a new approach to environmental problems”, *Proceeding of the XVIII ISPRS Congress*, Vienna 9-19 July 1996, vol.I, pp.128-132.
- Bianchi R., Marino M., Pignatti S., (1994) *Airborne Hyperspectral remote sensing in Italy*, Europto, Rome 27-29 September 1994, SPIE V 2318, pp.29-37.
- BirdLife International, (2004), *Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status*, Cambridge, UK: BirdLife International, Conservation Series No. 12. pp. 374.
- Dobson a., Ralls K., Foster M., Soulè M.E. Simberloff D. Doak D., Estes J.A., Mills L.S. Mattson Falcucci A., Maiorano L. e Boitani L., (2007), “Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation”, *Landscape Ecology*, 22(4): 617-631.
- Farhig, L., Merriam, G., (1985), “Habitat patch connectivity and population survival”, *Ecology* 66, 1762–1768.
- Fiduccia A., Fonti L., Leone H. (2006), “Un’applicazione di Intergraph Geomedia for Ecological Networks all’individuazione del Reticolo Ecologico Regionale. Il caso di studio della Regione Basilicata”, *Atti della X Conferenza Nazionale ASITA*, Bolzano.
- Henle K. Davies K.F., Kleyer M., Margules C., Settele J., (2004), “Predictions of species sensitivity to fragmentation”, *Biodiversity and Conservation*, 13: 207-251.
- National Geospatial-Intelligence Agency (2006) *Geospatial Intelligence Standard – Enabling a Common Vision*.
- National Geospatial-Intelligence Agency (2006) *National System for Geospatial Intelligence. Geospatial Intelligence (GEOINT) Basic Doctrine*, Publication 1-0.
- Jongman, R.H.G., Kulvik, M., Kristiansen, I. (2004), “European ecological networks and greenways”, *Landscape and Urban Planning*, 68 (2): 305-319.
- Palagiano C., Fonti L., Fiduccia A., Fiucci L., Caldiraro L. (2004), “Tecniche Gis-RS integrate per la valutazione dei fenomeni di frammentazione ecosistemica”. *Atti della VIII Conferenza Nazionale ASITA*, Roma.
- Soulè M.E., Orians G.H., (2001), “Conservation biology research: its challenges and contexts”, in: Soulè M.E., Orians G.H. (eds), *Conservation Biology. Research priorities for the next decade*, Society for Conservation Biology, Island Press: 271-285.
- Verboom, J., R. Foppen, P. Chardon, P. Opdam, and P. Luttikhuisen, (2001), “Introducing the key patch approach for habitat networks with persistent populations: an example for marshland birds”, *Biological Conservation* 100: 89-101.
- Wilcove D.S., Mc Lennan C.H., Dobson A.P., (1986), “Habitat fragmentation in the temperate zone”, in: Soulè M.E., (ed.). *Conservation Biology*, Sinauer Associates Inc., Sunderland, Massachusetts: 237-256.
- Wilson E.O., (1993), *La diversità della vita*, Rizzoli, Milano, 472 pp.