

APAT

Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

“Analisi della Frammentazione di origine antropica delle aree naturali e seminaturali a scala nazionale basata su dati di uso del suolo”.

Dott.ssa Eva Del Vico

Tutors

Ing. M. Munafò

Prof.ssa M. Ioannilli



## Abstract

La frammentazione degli ambienti naturali è attualmente considerata una tra le principali minacce di origine antropica alla diversità biologica. Con il termine frammentazione ambientale si indica il processo di origine antropica attraverso il quale un'area naturale subisce una suddivisione in frammenti progressivamente più piccoli ed isolati. Allo scopo di mitigare e contrastare gli effetti di questo processo, sono state recentemente proposte, a livello internazionale, varie strategie di pianificazione territoriale e di conservazione. In tale contesto la sua valutazione assume un'importanza fondamentale, costituendo il primo passo per lo studio e l'attuazione di queste strategie.

Le finalità del presente lavoro, che si inserisce nel contesto della fase di analisi dei dati conseguente alla realizzazione italiana del progetto europeo CORINE Land Cover 2000, sono:

- ❖ applicare l'indice e il metodo proposti dalla EEA in uno studio pilota volto a valutare l'impatto delle attività umane sulla frammentazione delle aree naturali e semi-naturali di potenziale interesse per la conservazione, al territorio italiano;
- ❖ sviluppare una metodologia per la loro applicazione pratica in ambiente GIS;
- ❖ valutare la funzionalità dei dati CLC per questo tipo di analisi a scala nazionale;
- ❖ testare la validità di indice e metodo rispetto al territorio.

Per raggiungere questi obiettivi, metodo e indice proposti nel lavoro di riferimento sono stati applicati al territorio italiano, tramite metodi di analisi spaziale in ambito GIS. Individuando la metodologia tecnica per il calcolo dell'indice a scala nazionale che ha portato alla realizzazione di sei mappe rappresentanti il grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali, strumento di valutazione utile per la lettura del territorio e base per lo sviluppo di ulteriori analisi (rese disponibili all'interno del sistema MAIS).

È stato valutato l'impiego di dati CLC al terzo livello per un'analisi di questo tipo, ritenendoli una valida base di partenza per analisi condotte a scala nazionale.

Riguardo al metodo e all'indice applicati sono stati individuati alcuni aspetti di questi di cui è necessario tenere conto nella fase di impostazione del lavoro e soprattutto nella fase di lettura dei dati ottenuti, come i parametri usati nella determinazione delle aree sensibili indisturbate, l'esistenza di finestre non valutabili con questo indice, l'influenza della dimensione della finestra di analisi e della direzione di analisi sulle valutazioni date dall'indice, e la metodologia di classificazione dei dati che, in base al numero di classi e al metodo scelti, influisce sulla rappresentazione dei dati ottenuti dall'analisi.



# Indice

1. Introduzione.....	1
2. Frammentazione.....	3
3. Metodologia.....	11
3.1 Metodologia di riferimento.....	11
3.2 Dati.....	14
3.3 Metodi.....	16
4. Risultati.....	27
4.1 Risultati preliminari.....	27
4.2 Risultati definitivi.....	31
5. Discussione.....	34
5.1 Definizione delle Aree Sensibili.....	34
5.2 Analisi dell'Indice.....	39
5.3 Classificazione dei dati.....	42
6. Conclusioni.....	54

Letteratura citata

# 1. Introduzione

Il presente lavoro si inserisce nel contesto della fase di analisi dei dati, condotta dall'APAT<sup>1</sup> e più in particolare dal Servizio SINAnet<sup>2</sup> Gestione Dati, conseguente alla realizzazione italiana del progetto europeo CORINE<sup>3</sup> Land Cover 2000.

Questa fase di analisi dei dati CORINE Land Cover segue la traccia indicata dallo studio *“From Land Cover to Landscape diversity in the European Union”* che deriva dal progetto di collaborazione fra tre servizi della Commissione Europea, quali DG Agri<sup>4</sup>, Eurostat<sup>5</sup> e il JRC<sup>6</sup>, e l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA). Studio volto a valutare le potenzialità e i limiti dei dati CLC (CORINE Land Cover) nello sviluppo di alcuni indicatori del Paesaggio. Focalizzando l'attenzione su tre aspetti principali: la frammentazione, la Diversità/Eterogeneità e la composizione e l'organizzazione spaziale del paesaggio.

In particolare il lavoro condotto per questa tesi fa riferimento allo studio *“Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas”* (Steevens e Pinborg, 2005), presentato dalla EEA, volto a valutare l'impatto delle attività umane sulla frammentazione delle aree naturali e semi-naturali di potenziale interesse per la conservazione, attraverso un indice e un metodo proposti in questo studio pilota.

Con il termine Frammentazione ambientale si indica il processo di origine antropica attraverso il quale un'area naturale subisce una suddivisione in frammenti progressivamente più piccoli ed isolati.

La frammentazione degli ambienti naturali è attualmente considerata una tra le principali minacce di origine antropica alla diversità biologica. Allo scopo di mitigare e contrastare, gli effetti di questo processo sono state recentemente proposte, a livello internazionale, varie strategie di pianificazione territoriale e di conservazione. In questo contesto la sua valutazione assume un'importanza fondamentale, costituendo il primo passo per lo studio e l'attuazione di queste strategie.

---

<sup>1</sup> Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici.

<sup>2</sup> Sistema Informativo Nazionale Ambientale.

<sup>3</sup> Coordination of Information on the Environment.

<sup>4</sup> General Directorate of Agriculture.

<sup>5</sup> Statistical Office of the European Communities.

<sup>6</sup> Joint Research Centre.

Le finalità di questo lavoro sono quelle di:

- ❖ applicare l'indice e il metodo proposti dalla EEA al territorio italiano,
- ❖ sviluppare una metodologia per la loro applicazione pratica,
- ❖ valutare la funzionalità dei dati CLC per questo tipo di analisi
- ❖ testare la validità di indice e metodo rispetto al territorio.

Per raggiungere questi obiettivi, metodo e indice proposti nel lavoro di riferimento sono stati applicati al territorio italiano a diverse scale di analisi, tramite metodi di analisi spaziale in ambito GIS. Portando alla realizzazione di diverse mappe rappresentanti il grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali, rese disponibili all'interno del sistema MAIS <sup>7</sup>, contribuendo ad alimentare il sistema con nuovi contenuti informativi.

Inoltre, sono stati analizzati e discussi i parametri per l'identificazione delle aree sensibili, i limiti dell'indice utilizzato, il problema della scala di analisi e della classificazione dei dati ottenuti.

---

<sup>7</sup> Modulo di Accesso alle Informazioni Spaziali ([www.sinanet.apat.it/mais](http://www.sinanet.apat.it/mais)).

## 2. Frammentazione

Con il termine Frammentazione ambientale si indica il processo di origine antropica attraverso il quale un'area naturale subisce una suddivisione in frammenti progressivamente più piccoli ed isolati (Battisti, 2004). All'interno del processo riconosciamo quindi due componenti: la riduzione della quantità totale di un tipo di habitat e la ripartizione dell'habitat restante (Turner M., in Dodson et al., 2000).

Gli effetti della frammentazione sono molteplici agendo essa sia sulle specie e le loro aggregazioni che sul mosaico ambientale (Farina, 2001).

La frammentazione agendo sugli habitat, diminuendo la loro estensione, facendo variare il rapporto fra margine ed interno e aumentando il loro grado di isolamento, aumenta il rischio di estinzione e il degrado genetico delle specie che vi vivono. Come tale costituisce una gravissima minaccia alla diversità biologica.

Il fatto che i frammenti residui di habitat naturali siano isolati (circondati da matrice<sup>1</sup> di origine antropica) e di dimensioni ridotte li rende assimilabili per condizioni ecologiche a delle isole geografiche, permettendo agli ecologi di prendere spunto dalla teoria della biogeografia delle isole (MacArthur e Wilson, 1967) per la valutazione e la gestione delle problematiche connesse alla conservazione degli habitat naturali. La teoria mette in relazione il numero delle specie presenti nelle isole con la dimensione di queste e la loro distanza dalla terraferma: il numero di specie su di un'isola raggiungerà un equilibrio (fra specie che si estinguono e specie che arrivano a colonizzare l'isola) che sarà direttamente proporzionale alle dimensioni dell'isola e inversamente proporzionale alla sua distanza dalla terraferma.

Questa teoria ha avuto grande importanza nel mettere in evidenza gli effetti delle dimensioni e dell'isolamento delle aree naturali sulla loro efficacia nel raggiungere gli obiettivi di conservazione. Ed ha trovato importanti applicazioni nella progettazione e delimitazione di aree naturali da proteggere, pur suscitando molte discussioni sul fatto se sia meglio una singola grande riserva o parecchie piccole distribuite nello spazio in modo che gli organismi possano trasferirsi dall'una all'altra. Da molti differenti studi sono comunque emerse linee guida generali in questo senso, per cui riserve grandi sono preferibili a più riserve piccole che abbracciano la stessa area, le forme circolari (che

---

<sup>1</sup> In Ecologia del paesaggio con il termine matrice si intende la componente del paesaggio caratterizzata dalla maggiore estensione e da un'elevata connettività.



hanno un minore rapporto margine/interno) sono da preferire a quelle allungate a parità di area, sono desiderabili corridoi che connettano le aree isolate (Turner M., in Dodson et al., 2000). Sebbene le relazioni fra area, isolamento e numero di specie siano state riscontrate in molti studi, sono state avanzate alcune critiche all'applicazione della teoria della biogeografia delle isole alla terraferma, che rimane comunque un riferimento utile per comprendere le conseguenze della frammentazione sulla terraferma (Battisti, 2004). Molte sono, infatti, le differenze fra isole ecologiche ed isole geografiche.

La matrice può avere diversi effetti sul patch<sup>2</sup> residuale, non solo di isolamento.

In base al tipo di matrice in cui si trova immerso il patch si possono avere diversi gradi di disturbo (effetto margine) che alterano fattori e processi ecologici dell'area di margine, ad esempio la matrice può funzionare da “sorgente” per specie legate ad ambiti antropizzati (e fra queste anche specie alloctone) che avendo spesso un'ampia nicchia ecologica si adattano bene alle nuove condizioni a scapito delle specie più sensibili, specialiste, legate agli habitat residui.

Inoltre, proprio per il fatto che la matrice può funzionare da sorgente di specie, nelle isole ecologiche la relazione fra il numero di specie e l'area, descritta da MacArthur e Wilson per le isole geografiche, può non essere chiaramente leggibile. In alcuni casi si può attuare un turnover di specie per cui il numero di specie dell'area non varia al diminuire del frammento, ma varia la tipologia delle specie presenti; o con una diminuzione dell'area il numero delle specie presenti potrebbe addirittura aumentare proprio per l'ingresso di specie generaliste provenienti dalla matrice (Saunders et al., 1991). A causa di questa eterogeneità nella composizione di specie nel frammento, la relazione “specie/area” può, quindi, essere evidente solo se applicata al gruppo delle specie originarie (Battisti, 2004).

Un'altra importante differenza fra isole geografiche ed isole ecologiche riguarda la scala temporale a cui avvengono i processi sia di isolamento (ovviamente la frammentazione di un habitat, e quindi l'isolamento dei patches residui, può avvenire in tempi brevissimi al contrario di quanto succede per i processi di tipo geologico e climatico che generalmente sono alla base della formazione delle isole geografiche<sup>3</sup>) che di colonizzazione.

Infine, a livello di singole specie esistono differenze anche nei meccanismi di estinzione tra frammenti terrestri ed isole geografiche. Lo scarso adattamento di molte specie

---

<sup>2</sup> il patch viene definito da FORMAN (1995) come un'area non lineare, relativamente omogenea che differisce dalle aree circostanti.

<sup>3</sup> fanno eccezione le isole vulcaniche e altre tipologie ambientali molto dinamiche (Battisti, 2004).

“continentali” a rapidi cambiamenti nella superficie di habitat idoneo e nel suo grado di isolamento, proprio perchè evolutesi in condizioni diverse da quelle insulari, le rendono più vulnerabili a tali trasformazioni. Per questo motivo è possibile osservare estinzioni locali di specie sensibili in tempi più rapidi nei frammenti terrestri piuttosto che sulle isole propriamente dette (Battisti, 2004).

Le conseguenze della frammentazione possono essere riassunte in:

- scomparsa o riduzione dell'estensione di alcuni habitat (*habitat loss and reduction*) con conseguente aumento di habitat di origine antropica;
- aumento dell'area di margine e quindi dell'effetto margine (*edge effect*) e conseguente riduzione dell'area interna;
- aumento dell'isolamento dei frammenti residui di habitat (*habitat isolation*).

La conversione di habitat continui in frammenti separati generalmente aumenta la lunghezza dei margini, cioè delle aree che sono in diretto contatto con le tipologie ambientali adiacenti e che quindi ne subiscono l'influenza. Con il termine “effetto margine” si intendono una serie di effetti fisico-chimici ed ecologici riscontrabili nelle aree di contatto e nelle aree limitrofe fra tipologie ambientali differenti, per cui in un frammento residuo è possibile osservare un'area interna, dove gli effetti della matrice non intervengono o agiscono in misura minima, e un'area di margine, di transizione con la matrice, caratterizzata da condizioni ecologiche diverse. L'effetto margine induce nei frammenti una trasformazione della struttura vegetazionale, del microclima, della copertura del suolo, che provoca, a sua volta, effetti diretti, indiretti e specie-specifici sulla distribuzione e abbondanza delle specie animali e vegetali (Laurance e Yensen, 1991; Schoenewald-Cox e Buechner, 1992; in Battisti 2004). L'influenza del cambiamento delle condizioni ecologiche nell'area di margine sulle specie animali e vegetali può attuarsi, ad esempio, attraverso il cambiamento del tasso di germinabilità e di sopravvivenza dei semi, l'invasione di specie alloctone, l'aumento del tasso di predazione e della competizione da parte di specie provenienti dalla matrice sulle specie, più sensibili, presenti nei frammenti. L'entità dell'effetto dipende da vari fattori, come la tipologia ambientale del frammento e della matrice nella quale questo è inserito, il tipo e il grado di frammentazione e il tempo intercorso dall'inizio del processo. Frammenti con rapporto perimetro/area elevato (ad esempio frammenti piccoli, o di forma allungata o con perimetro irregolare) avranno una proporzione maggiore di area di margine.

Gli effetti di queste conseguenze della frammentazione possono essere evidenziati a scale diverse.

A livello individuale la frammentazione degli ambienti naturali influenza il comportamento e i movimenti di molte specie. La matrice di origine antropica e le infrastrutture lineari possono agire da barriera, interferendo con la dispersione (processo fondamentale per limitare le conseguenze negative derivanti dall'inincrocio, per il mantenimento del flusso genico fra popolazioni<sup>4</sup> e metapopolazioni<sup>5</sup>, per la ricolonizzazione di aree dove si sia verificata un'estinzione e per la colonizzazione di aree idonee al di fuori della specie) degli individui (l'entità dell'effetto barriera è, ovviamente, specie-specifico: quello che può costituire una barriera per una specie può non esserlo per un'altra). Inoltre la riduzione dell'habitat, conseguente la frammentazione, può comportare un aumento della competizione intraspecifica per lo spazio e le risorse divenute inferiori; mentre a livello interspecifico possono cambiare i rapporti sia di competizione che di predazione.

A livello di popolazione la frammentazione può determinare l'estinzione locale, la riduzione della dimensione o la suddivisione in più parti di una popolazione, per effetto sia della riduzione in superficie degli habitat sia del crescente isolamento. Quando si hanno popolazioni di dimensioni molto ridotte, oltre a subire "colli di bottiglia"<sup>6</sup>, queste diventano molto sensibili sia agli effetti catastrofici che stocastici (ad esempio casuali variazioni del rapporto tra sessi; fluttuazioni nelle popolazioni di parassiti, di prede, di competitori o di predatori; incendi; disturbo umano) che possono così portare la popolazione all'estinzione. Si è visto che il rischio di estinzione, che è comunque specie-specifico, è inversamente proporzionale alle dimensioni delle singole popolazioni e direttamente proporzionale al loro grado di isolamento. Quindi in aree frammentate il rischio aumenta con il diminuire dell'habitat disponibile e con l'aumentare del suo isolamento (Battisti, 2004).

Altri effetti della frammentazione sulle popolazioni sono l'effetto crowding e l'effetto lag. Il primo è legato al grande aumento della densità di individui in frammenti residui che possono assumere il ruolo di rifugio in seguito alla distruzione di altri frammenti. Il sovraffollamento può portare, per via degli alterati equilibri intra- ed interspecifici, ad un

---

<sup>4</sup> Con il termine popolazione si intende un insieme di individui appartenenti alla stessa specie, effettivamente interfecondi, presenti in una determinata area geografica.

<sup>5</sup> Con il termine metapopolazione si intende un insieme di sottopopolazioni spazialmente separate ma funzionanti come una popolazione perchè interconnesse da un flusso di individui.

<sup>6</sup> Si ha l'effetto "Collo di bottiglia" quando una popolazione riducendo di molto la sua dimensione perde gran parte della variabilità genetica e quindi della sua capacità di adattarsi ai cambiamenti dell'ambiente.

rapido decremento della popolazione fino alla sua estinzione. Il secondo consiste nel ritardo con il quale alcune popolazioni possono estinguersi localmente rispetto all'inizio del processo: alcune popolazioni presenti con un ridotto numero di individui, e come tali non vitali, possono sopravvivere a lungo nei frammenti a causa della particolare longevità degli stessi, mostrando una risposta al processo alcune generazioni dopo il suo avvio (Tilman et al., 1994, in Battisti 2004). Questo dimostra come la semplice presenza di determinate specie in paesaggi frammentati può non significare uno stato di conservazione favorevole ed una loro persistenza in tempi lunghi.

Anche al livello di comunità<sup>7</sup> sono osservabili conseguenze della frammentazione degli habitat. E' stato già accennato come, in linea generale, il numero di specie risulti direttamente correlato alla superficie disponibile, oltre che nelle isole propriamente dette, anche in frammenti di habitat terrestri. E anche per quanto riguarda gli altri parametri che descrivono la struttura e la dinamica delle comunità biologiche (ad esempio, l'Equipartizione e la Diversità) può essere messa in evidenza l'influenza del processo di frammentazione (Diamond, 1975; Orians e Soulé, 2001 in Battisti 2004).

Nelle fasi iniziali del processo si può osservare un aumento temporaneo del numero di specie nei frammenti residui a causa della formazione di nuovi habitat legati all'effetto margine; in tali ambienti si possono infatti insediare specie generaliste (euriecie, alcune delle quali definibili *edge species*) provenienti dalla matrice antropizzata limitrofa. Queste possono, quindi, aumentare in numero e in abbondanza nei frammenti residui di habitat e competere per l'uso dello spazio e delle risorse ed esercitare una forte pressione di predazione sulle specie originarie creando marcati squilibri a livello di comunità (Harris e Silva-Lopez, 1992; Bennett, 1999 in Battisti 2004), che possono portare alla progressiva scomparsa di specie sensibili. Quindi, la riduzione del numero delle specie originarie e l'incremento di quelle legate a habitat marginali provoca un processo di sostituzione (*turnover*) di specie nei frammenti residui che può provocare una serie di effetti anche a diversi livelli trofici.

Con la scomparsa delle specie sensibili, infatti, si possono innescare effetti a livello di comunità con estinzioni secondarie di specie ad esse collegate ecologicamente (effetto definito a "cascata"<sup>8</sup>). Inoltre alcune relazioni interspecifiche complesse come il parassitismo, la predazione e il mutualismo possono venire alterate in modo irreversibile.

---

<sup>7</sup> Viene definita comunità un insieme di popolazioni appartenenti a diverse specie che vivono nello stesso ambiente e che sono fra loro interagenti.

<sup>8</sup> I cambiamenti nella presenza o nell'abbondanza di una specie che influenzano un'altra specie ad un altro livello trofico sono state definite "cascate trofiche".

Un esempio di effetto a cascata è quello recentemente osservato a seguito della frammentazione nella foresta amazzonica centrale. In questa area geografica è stato rilevato come alcune specie di insetti stercorari non riescano a superare poche decine di metri deforestati a causa del contrasto microclimatico tra i frammenti residui di foresta, loro habitat originario, e le aree limitrofe. Tali discontinuità agiscono da barriera ai movimenti per questi animali, noti per il loro ruolo ecologico nel distruggere nematodi ed altri parassiti intestinali dispersi dai mammiferi attraverso gli escrementi. Come conseguenza della riduzione e scomparsa locale degli stercorari a seguito dell'isolamento, questi parassiti possono così diffondersi con effetti a cascata che vanno al di là dell'estinzione delle singole specie di insetti (Battisti, 2004; Farina, 2001).

Un altro esempio è quello riportato da Brokaw (1998, in Battisti 2004), riguardo a studi effettuati in Belize e Venezuela, nei quali ha notato come, in frammenti forestali residui di ridotte dimensioni, la densità di individui appartenenti ad alcune specie arboree risultava inferiore a quella rilevabile in aree non frammentate. Ciò è, probabilmente, da imputare ad un effetto a cascata che interessa comunità sia vegetali sia animali. Infatti, in seguito alla frammentazione, alcune specie animali che mostrano una scarsa attitudine a disperdersi possono essere presenti nei frammenti residui con frequenza inferiore rispetto alle aree non frammentate. Alcune fra queste specie animali comprendono nella loro dieta i frutti e i semi delle specie arboree in questione che, grazie a questo legame trofico, possono essere in tal modo dispersi. La riduzione in abbondanza di alcune specie vegetali può essere, quindi, ecologicamente ricondotta alla riduzione in numero e/o alla scomparsa di alcune specie animali che risentono della frammentazione. In questo caso si ha un *turnover* nelle comunità vegetali che interessa prevalentemente specie a dispersione zoocora (Battisti 2004).

A livello di ecosistema gli effetti della frammentazione interessano sia la componente biotica che quella abiotica (Saunders *et al.*, 1991). In aree frammentate la struttura e il funzionamento degli ecosistemi residui sono influenzati da numerosi fattori di tipo fisico, spaziale, ecologico agenti sia alla scala dei singoli frammenti sia a quella di paesaggio (Forman e Godron, 1986). Ad esempio è stato sottolineato (vedi Saunders *et al.* 1991) come la rimozione della vegetazione originaria può provocare una modifica nella capacità di intercettare l'acqua piovana oltre che nel tasso di evapotraspirazione, influenzando così l'umidità del suolo nei frammenti residui.

Inoltre, i marcati cambiamenti che gli ecosistemi subiscono come conseguenza della frammentazione possono poi riflettersi sui processi ecologici e sulla funzionalità dell'intero mosaico di paesaggio.

Gli effetti a scala di paesaggio comprendono l'alterazione delle dinamiche individuali, caratteristiche delle singole specie, come le modalità con le quali gli individui si muovono nel mosaico di paesaggio, che sono in gran parte funzione delle caratteristiche individuali (es., sesso, età, dimensioni corporee), di popolazione (es., densità) e intrinseche delle diverse specie, ma anche di fattori ambientali estrinseci, legati alla configurazione spaziale e alle caratteristiche dei frammenti residui e della matrice.

Le caratteristiche dei frammenti residui che più possono influire sulla componente biotica e su quella abiotica dei frammenti stessi sono: l'area dei frammenti, la loro forma, il grado di isolamento, la "qualità" ambientale e la collocazione spaziale nel mosaico paesistico.

Gli effetti dei parametri area e isolamento sulla componente biotica sono stati, in parte, già accennati in precedenza. Frammenti ecosistemici di grandi dimensioni offrono una maggiore diversità di habitat, una maggior disponibilità di risorse e possono supportare popolazioni numericamente più grandi rispetto a frammenti di dimensione inferiore. A livello di comunità si è già accennato al fatto che il numero di specie totali e, in particolare, il numero di quelle sensibili, originarie delle tipologie ambientali frammentate, risultano, il più delle volte, strettamente e significativamente correlate alla superficie del frammento (Saunders *et al.*, 1991).

La forma dei frammenti è un altro fattore che può influire sulle dinamiche biologiche favorendo o sfavorendo quelle specie che risentono in misura differente dell'effetto margine (Saunders *et al.*, 1991). La forma è, infatti, esprimibile come un rapporto tra perimetro ed area dei frammenti, che sarà più elevato in frammenti di piccole dimensioni o di forma allungata e/o sottile che presentano una superficie proporzionalmente maggiore di margine.

La "qualità" ambientale può influire riducendo l'idoneità ecologica nei frammenti residui di habitat per determinate specie. Incendi e ceduzione in aree forestali, stress ecologici dovuti a abbassamento della falda freatica o a oscillazioni repentine del livello delle acque in aree umide sono alcuni dei disturbi antropogenici che possono assumere un carattere "catastrofico" in ecosistemi residui presenti in paesaggi frammentati (Saunders *et al.*, 1991).

Inoltre la posizione di un frammento nel mosaico ed il suo grado di isolamento rispetto sia ad altri frammenti che ad aree non frammentate può influenzare alcuni processi determinanti come la dispersione.

Anche la matrice, trasformata dalle attività umane, può influenzare in maniera significativa la fauna, la vegetazione e le condizioni ecologiche interne ai frammenti, in funzione della sua tipologia, delle caratteristiche morfologiche, strutturali ed ecologiche.

In sintesi, la matrice può:

- determinare il tipo e l'intensità dell'effetto margine nei frammenti residui;
- fungere da area “sorgente” (*source*) per specie generaliste, potenzialmente invasive per i frammenti;
- fungere, viceversa, da area “gorgo” (*sink*) per quelle specie più stenoecie, legate agli habitat originari ancora presenti nei frammenti residui (come, ad esempio, le specie definite “interne”; sensibili all'effetto margine e legate a condizioni ecologiche rinvenibili prevalentemente solo nella porzione più interna ai frammenti);
- agire da barriera parziale o totale alle dinamiche dispersive di alcune specie (l'effetto barriera è strettamente specie-specifico, quindi, differenti tipologie di matrice presenteranno una permeabilità differente a differenti specie) influenzando i movimenti individuali e tutti quei processi che avvengono tra frammenti. E' stato osservato come i movimenti degli individui attraverso la matrice possano ridursi o cessare del tutto quando la fisionomia e la struttura della vegetazione che la caratterizzano si differenzia nettamente da quella dei frammenti residui (Davies *et al.*, 2001, in Battisti, 2004).

### 3. Metodologia

La metodologia utilizzata fa riferimento a quella impiegata dallo studio pilota eseguito per l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), volto a valutare la frammentazione delle aree naturali e semi-naturali dovuta alle attività umane (Steenmans & Pinborg, 2005).

Sulla base di quanto indicato da Steenmans & Pinborg (l.c.) è stata fatta un'analisi preliminare, con lo scopo di mettere a punto una metodologia per l'applicazione pratica e di individuare le misure più adatte per la griglia di analisi, e una seconda analisi dove vengono applicati i suggerimenti per affinare la valutazione della frammentazione.

#### 3.1 Metodologia di riferimento

Il presente lavoro si basa su uno studio condotto all'interno di un progetto di collaborazione fra tre servizi della Commissione Europea, quali DG Agri, Eurostat e il Joint Research Center, e l'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), volto a valutare le potenzialità e i limiti dei dati CLC nello sviluppo di alcuni indicatori del Paesaggio. Focalizzando l'attenzione su tre aspetti principali: la frammentazione, la Diversità/Eterogeneità e la composizione e l'organizzazione spaziale del paesaggio.

Fra i diversi lavori condotti all'interno del progetto si fa riferimento allo studio presentato dalla EEA, e realizzato da Steenmans e Pinborg, volto a valutare l'impatto delle attività umane sulla frammentazione delle Aree naturali e semi-naturali.

Si tratta di uno studio pilota che si pone come obiettivo quello di testare un indice e un metodo, qui proposti, per valutare la frammentazione di aree naturali e semi-naturali di potenziale interesse per la conservazione, partendo da dati di copertura del suolo.

I dati utilizzati sono quelli del Corine Land Cover (convertiti ad una risoluzione di 250 metri x 250 metri) e delle infrastrutture viarie e ferroviarie di Eurostat/GISCO.



Secondo la metodologia proposta ad ogni classe di copertura del suolo viene assegnato un attributo che esprime il ruolo di questa rispetto alla frammentazione delle aree naturali e semi-naturali: vengono così definite delle aree che esercitano una pressione sulle aree adiacenti (P), contribuendo alla frammentazione, delle aree sensibili (S) che subiscono questa pressione e delle aree che possono essere considerate neutre (N) rispetto a queste (Fig.1).

Major land cover type		Aggregation of CORINE Land Cover classes (short description and CLC code) :	value (°)
1	Artificial territories	Urban fabric (1.1) + Industrial and commercial units (1.2) + Mines and dump sites(1.3)	P
2	Vegetated areas, strongly artificial	Artificial non-agricultural vegetated areas (1.4) + Arable land (2.1) + Permanent crops (2.2) + Annual crops associated with permanent crops (2.4.1)	P
3	Vegetated areas, less artificial	Pastures (2.3) + Complex cultivation patterns (2.4.2) + Land occupied by agriculture, with significant presence of natural vegetation (2.4.3) + Agro-forestry areas (2.4.4)	N
4	Forests	Forests (3.1)	S
5	Non-wooded semi-natural areas	Shrub and/or herbaceous vegetation associations (3.2) + Open space with little or no vegetation (3.3)	S
6	Wetlands	Inland and Coastal wetlands (4.1 + 4.2)	S
7	Water surfaces	Inland waters (5.1) + Coastal lagoons (5.2.1) + Estuaries (5.2.2)	N
-	(not considered)	Sea and ocean (5.2.3)	-

**Figura 1.** Tabella di riclassificazione delle classi CORINE Land Cover da Steenmans e Pinborg (l.c.)

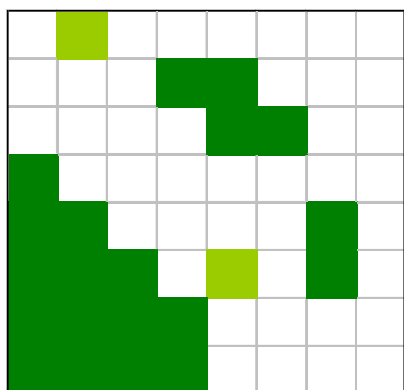
Attorno alle aree valutate “esercitanti pressione” (P) e alle infrastrutture legate ai trasporti viene considerata un’area di 500 metri che distingue le aree “sensibili alla pressione” in aree disturbate, che ricadono nel range di 500 metri attorno alle aree “P”, e aree indisturbate.

Per valutare la frammentazione delle aree sensibili indisturbate vengono utilizzate delle griglie regolari: per ogni maglia della griglia è calcolato un Indice di Frammentazione che considera il numero di regioni sensibili indisturbate, l’area (espressa come numero di celle 250 metri x 250 metri) totale delle regioni sensibili indisturbate e l’area delle regioni sensibili indisturbate connesse all’interno della finestra di analisi.

La formula utilizzata è la seguente:

$$\frac{CC}{\frac{CT/R}{16} \times \frac{CT}{16}}$$

Un esempio dell’applicazione dell’indice si ha in figura 2.



$CC = n^{\circ}$  di celle S connesse  
 $CT = n^{\circ}$  di celle S totali  
 $R = n^{\circ}$  di regioni

$CC = 18 \quad CT = 20 \quad R = 5$   
 $CT/R = 20/5 = 4$   
 $4/16 = 0,25$   
 $CT/16 = 1,25$   
 $18/0,25 \times 1,25 = 57,6$   
 $IF = 57,6$

$IF < 0,01$	frammentazione	MINIMA
$0,01 < IF < 0,1$	frammentazione	SCARSA
$0,1 < IF < 1$	frammentazione	
$1 < IF < 10$	frammentazione	MEDIA
$10 < IF < 100$	frammentazione	
$IF > 100$	frammentazione	CONSISTENTE

**Figura 2.** Esempio di applicazione dell'Indice di Frammentazione ad una finestra di analisi e classi di frammentazione (Steenmans e Pinborg, l.c.)

L'analisi è stata condotta prima con una griglia di finestre di analisi di 25 Km x 25 Km, valutata dagli Autori troppo grossolana per una stima significativa della frammentazione, quindi è stata ripetuta con griglie di analisi costituite da finestre 1 km x 1 km, 5 Km x 5 Km, 10 Km x 10 Km su di un'area di test di circa 200 Km . Quindi vengono comparati i risultati ottenuti alle diverse scale di analisi e viene commentata la distribuzione delle aree più o meno frammentate nei paesi europei dotati di dati CLC per i quali è stato condotto lo studio.

Nell'ultima parte del lavoro vengono dati dei suggerimenti per affinare la stima della frammentazione, quali l'applicazione di un buffer di dimensione variabile attorno alle aree che esercitano pressione sulle aree sensibili, in base alla classe di copertura del suolo, il riconoscimento e l'enfatizzazione delle aree naturali con valore di "stepping stones", e la distinzione dei diversi tipi di infrastrutture viarie e ferroviarie.

## 3.2 Dati

I dati utilizzati nel presente lavoro sono i dati di copertura del suolo del CORINE Land Cover 2000 nazionale; per le strade è stato utilizzato il grafo stradale della base dati Tele Atlas e per i dati riguardanti le ferrovie si è fatto uso della base dati Eurostat/GISCO (Geographic Information System of the European Commission), entrambi in formato vettoriale e per l'intero territorio nazionale.

Il CORINE Land Cover 2000 costituisce la realizzazione italiana del progetto europeo omonimo, curata dall'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT) con il supporto tecnico-scientifico di diverse Università italiane. Questo progetto fa parte del programma europeo CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) volto a dotare l'Unione Europea, gli Stati associati e i paesi limitrofi dell'area mediterranea e balcanica, di informazioni territoriali omogenee sullo stato dell'ambiente, monitorando alcuni fra i più importanti parametri ambientali. Fanno, infatti, parte del Programma CORINE, oltre al Land Cover, i progetti: CORINE Biotopes che ha il compito di monitorare l'attuazione delle Convenzioni Internazionali e delle Direttive Europee in materia di conservazione della natura, CORINE Air che si occupa delle emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera e CORINE Erosion che ha come scopo la definizione del rischio d'erosione dei suoli nell'area mediterranea.

Il Progetto Land Cover ha lo scopo di fornire informazioni sulla copertura del suolo e su i suoi cambiamenti nel tempo. La prima versione è stata creata negli anni 90 e ha prodotto il CORINE Land Cover 90. Dalla fotointerpretazione delle Immagini Landsat 5 TM (IMAGE 90) si è proceduto alla attribuzione della copertura del territorio italiano ad una delle 44 classi che costituiscono la legenda. Questa è organizzata in una struttura gerarchica costituita da 3 livelli di approfondimento crescente che permette la gestione dei dati a diversi gradi di dettaglio: 5 classi che rappresentano le grandi categorie di uso del suolo per il primo livello (superfici artificiali, superfici agricole, territori boscati e aree semi-naturali, zone umide e corpi idrici), 15 classi per il secondo e 44 per il terzo per un dettaglio sempre maggiore. Successivamente è stato avviato il progetto I & CLC 2000 con lo scopo di aggiornare i dati Land Cover 90 su immagini satellitari LANDSAT 7 ETM+ relative al 98-2000 (Land Cover 2000), di fare un'analisi dei cambiamenti 90-2000 (CLC Change) e di avere immagini satellitari ortorectificate e mosaicate del territorio europeo (IMAGE 2000). Il CLC 2000 ha un sistema nomenclaturale identico a quello del CLC 90 e a livello italiano ha prodotto il CLC 2000 3°livello tematico, CLC 90 3°livello

tematico (revisionato e reso confrontabile con il 2000), il CLC change 3° livello tematico e il CLC 2000 4° livello tematico (approfondimento tematico per gli ambienti naturali e semi-naturali e per le aree agricole non irrigue). Tutti i prodotti CLC sono stati realizzati ad una scala 1:100.000. L'unità minima cartografata è pari a 25 ettari per le cartografie al terzo livello tematico, a 20 ettari per il quarto livello tematico e a 5 ettari per il CLC Change. In accordo con le indicazioni emergenti a livello europeo, il CLC2000 è stato prodotto utilizzando il sistema di riferimento geografico WGS84 e come sistema di proiezione è stato utilizzato l'UTM, sul fuso 32 Nord (APAT, 2005).

Della banca dati Tele Atlas è stato utilizzato il grafo stradale relativo all'intero territorio nazionale. Questo è costituito da nodi e archi cui sono associati molteplici attributi, fra cui quelli propri della strada, come il nome, la sigla e la categoria, e quelli relativi al traffico, fra cui il verso di percorrenza, le categorie di veicoli autorizzate ad accedervi e la possibilità di invertire il senso di marcia.

Nella prima analisi le strade sono state considerate come tutte uguali, quindi non è stato necessario avvalersi degli attributi relativi ad ogni tratto del grafo stradale; nella seconda fase di analisi, invece, gli archi sono stati suddivisi in base alla loro categoria, riportata in tabella nel campo "CODICE\_CAT":

10 – Autostrade.

20 – Strade di rilievo internazionale che non possono essere considerate autostrade.

30 – Strade utilizzate per spostamenti da una regione ad un'altra (interregionali).

40 – Strade importanti per muoversi all'interno di una regione.

51 – Strade utilizzate per andare da un insediamento ad un altro o dentro un grande centro per spostarsi da una parte ad un'altra.

52 – Strade locali di maggiore importanza.

Gli altri attributi del grafo sono stati tralasciati.

Il grafo stradale Tele Atlas acquisito utilizza il sistema di riferimento geografico WGS84 e il sistema di proiezione UTM, sul fuso 32 Nord.

La rete ferroviaria Eurostat/GISCO è costituita da un data set in cui all'insieme di archi e nodi georiferiti, che rappresentano le infrastrutture ferroviarie, sono associate tutte le informazioni essenziali a questi pertinenti. Per ogni segmento ferroviario sono, infatti, riportati diversi attributi relativi al tipo di ferrovia (linee dirette e linee secondarie, presenza di un binario singolo o di binario doppio, linea elettrificata o non elettrificata), all'uso del segmento (distinzione fra le linee ferroviarie destinate al trasporto di sole merci, di sole persone o al trasporto misto di persone e merci) alla sua localizzazione

amministrativa e alle sue caratteristiche tecniche. La scala del data set è 1:1.000.000. Il sistema di riferimento utilizzato da GISCO è un sistema di riferimento geografico, definisce quindi le coordinate in gradi, primi e secondi di latitudine e longitudine, che si basa sul datum ETRS89 (European Terrestrial Reference System) realizzazione europea del WGS84 (World Geodetic System). Della rete ferroviaria Eurostat/GISCO è stata utilizzata la porzione relativa al territorio italiano.

### 3.3 Metodi

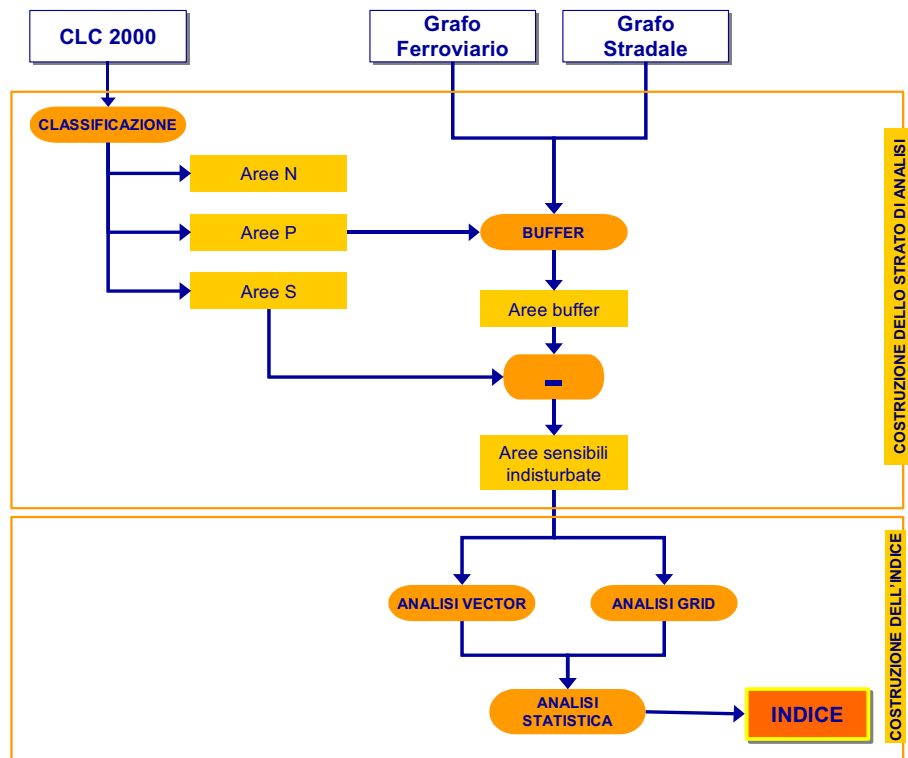
I dati sono stati elaborati con i softwares ArcGis 9.0 e ArcView 3.1.

Il Processo di elaborazioni, che ha portato al calcolo dell'Indice di Frammentazione per ogni maglia della griglia di analisi e alla realizzazione delle mappe che permettono di visualizzare lo stato di frammentazione del territorio, può essere distinto in più fasi: la preparazione dello strato di analisi, la preparazione delle griglie di analisi, il calcolo dell'indice e la rappresentazione cartografica delle diverse classi di frammentazione nell'area di studio.

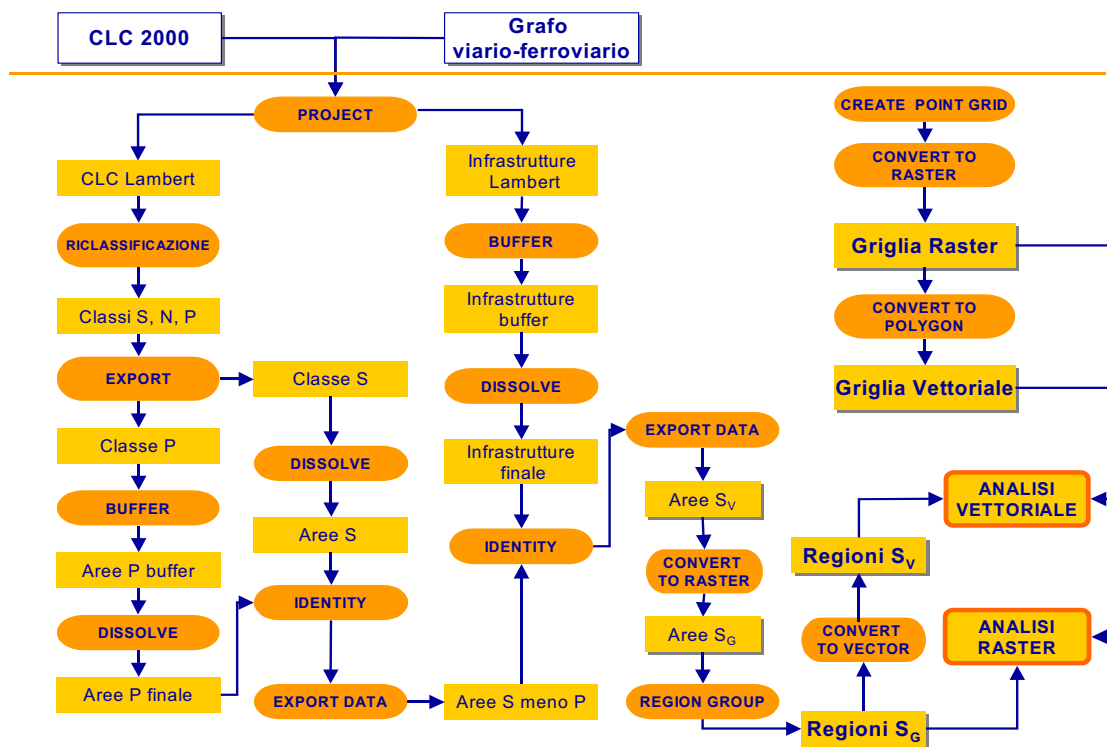
L'intero processo è stato inizialmente eseguito impiegando i parametri indicati nel lavoro di Steenmans & Pinborg (l.c.), ottenendo dei risultati preliminari, quindi è stato ripetuto, sempre seguendo i suggerimenti degli Autori prima citati, utilizzando parametri differenziati, volti a diversificare il contributo delle varie tipologie infrastrutturali e delle varie coperture del suolo alla frammentazione ottenendo un'analisi più accurata che ha portato ai risultati finali.

A scopo unicamente metodologico, il procedimento basato sull'uso di dati in formato vettoriale è stato affiancato da un procedimento alternativo basato sull'utilizzo di dati in formato raster.

La preparazione dello strato di analisi è iniziata con la riproiezione (*Arctoolbox, Data Management Tools, Projections and Transformations, Feature, Project*) del CORINE Land Cover 2000 in formato vettoriale da WGS84 UTM 32 Nord a ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area L52 M10, che essendo una proiezione equivalente, mantiene costante il rapporto fra le aree rappresentate e le corrispondenti aree reali. Presupposto fondamentale per l'applicazione dell'Indice che si basa sulla valutazione delle aree.



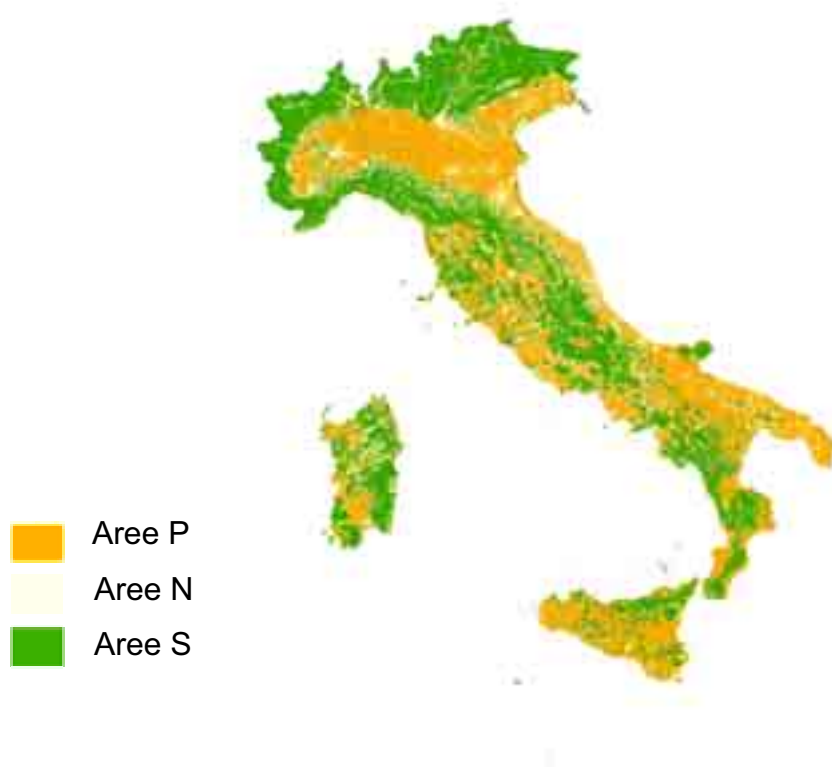
**Figura 3.** Sintesi delle fasi principali del processo di elaborazione.



**Figura 4.** Elaborazioni che costituiscono le fasi di costruzione dello strato di analisi e di costruzione delle griglie di analisi.

Il CLC Lambert viene quindi riclassificato tramite operazioni di tabella (*Find & Replace*) secondo lo schema proposto da Steenmans & Pinborg (l.c.) in aree sensibili “S”(aree naturali e semi-naturali soggette a frammentazione), aree che esercitano pressione sulle aree adiacenti contribuendo alla frammentazione “P” e aree neutre “N”( Fig.5):

- aree P: superfici artificiali (classi 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4 della legenda CLC), seminativi (2.1), colture permanenti (2.2), colture temporanee associate a colture permanenti (2.4.1);
- aree S: territori boscati e superfici semi-naturali (3.1, 3.2, 3.3) e zone umide (4.1, 4.2)
- aree N: prati stabili (2.3), sistemi colturali e particellari complessi (2.4.2), aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti (2.4.3), aree agroforestali (2.4.4) e corpi idrici (5.1, 5.2).

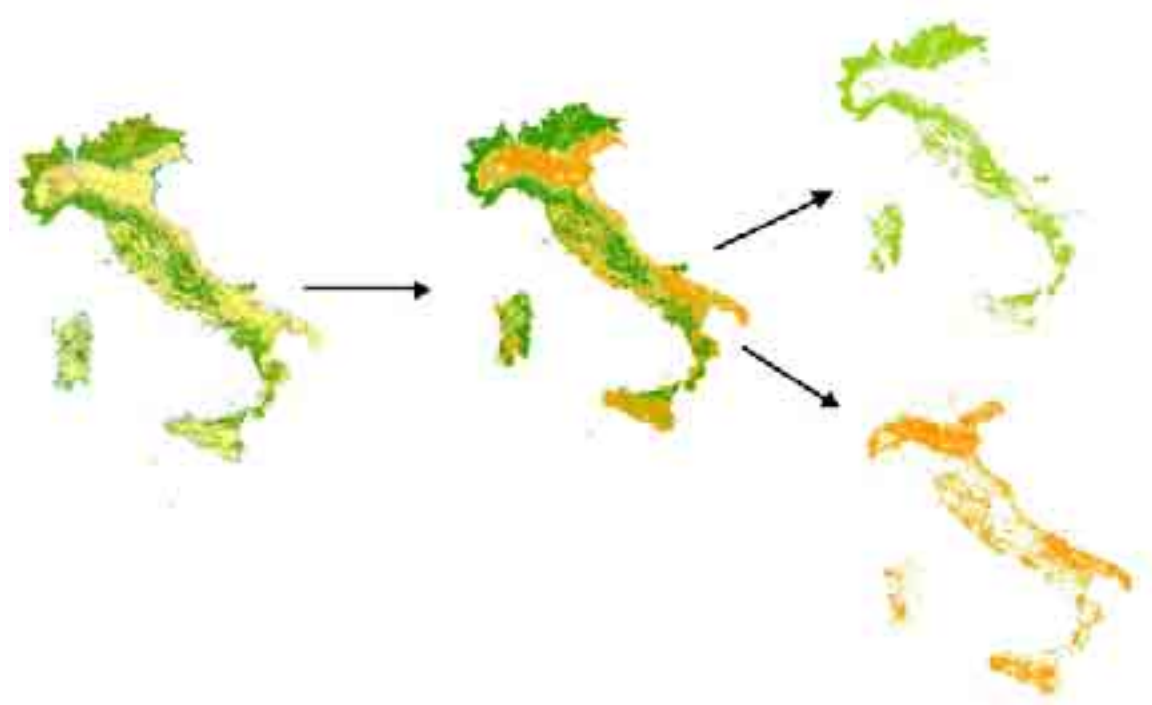


**Figura 5.** Coperture del suolo riclassificate in aree sensibili “S”, aree che contribuiscono alla frammentazione “P” e aree neutre “N”.

Esportando le aree riclassificate come “P” (*Select by attributes, export data*) viene realizzato uno strato costituito solo dai poligoni che contribuiscono alla frammentazione. A questi viene applicato un buffer (*Arctoolbox, Analysis tools, Proximity, Buffer*) (di 500

metri nella prima fase di analisi; di ampiezza diversificata in base alla tipologia di copertura del suolo nella seconda fase di analisi), la cui ampiezza si propone di quantificare il disturbo da esse provocato sulle aree sensibili adiacenti. Quindi per ottenere un unico poligono, gestibile più facilmente, viene effettuato un *Dissolve* (con ArcView 3.1 *GeoProcessing Wizard, Dissolve*) sul campo della riclassificazione.

Dal CLC riclassificato vengono esportati (*Select by attributes, export data*) i poligoni delle aree S e viene eseguito un *Dissolve* (ArcView 3.1, *GeoProcessing Wizard, Dissolve*) sul campo della riclassificazione anche per questi. Si ottiene un unico poligono che rappresenta tutte le aree definite sensibili del territorio italiano.



**Figura 6.**Costruzione dello strato di analisi: riclassificazione ed esportazione delle aree P ed S.

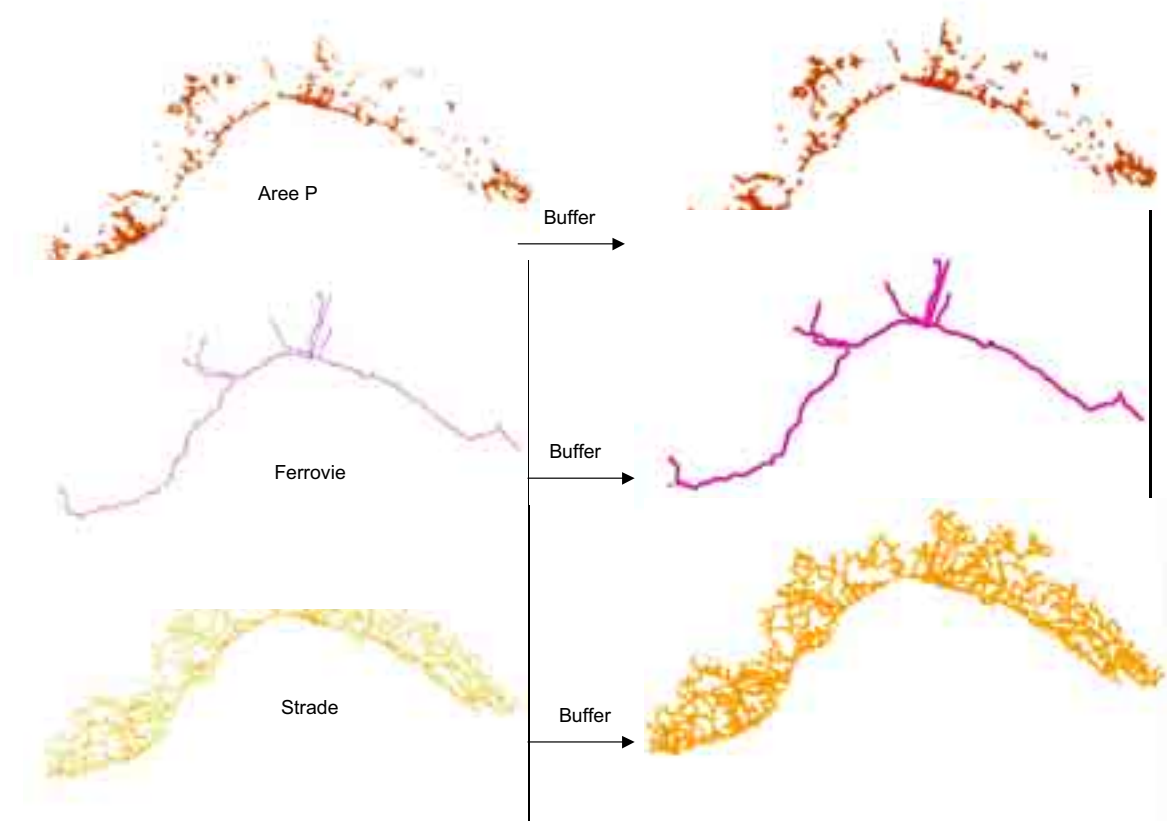
Lo strato con la classe S è quindi utilizzato come strato di input in un'operazione di *Identity* (*Arctoolbox, Analysis tools, Overlay*) con lo strato rappresentante le aree P a cui è stato applicato il buffer utilizzato come "identity features". Si ottiene così un output costituito da due classi di poligoni: le aree S e le aree S interessate dalla sovrapposizione con il buffer delle aree P. Tramite la selezione delle aree S non interessate dal buffer e la loro esportazione (*Select by attributes, export data*) si ottiene uno strato costituito dalle aree S a cui è stato sottratto il buffer delle aree P.

Per quanto riguarda le infrastrutture viarie, il grafo di Tele Atlas è stato, anch'esso, come primo passaggio, riproiettato (*Project*) in ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area L52



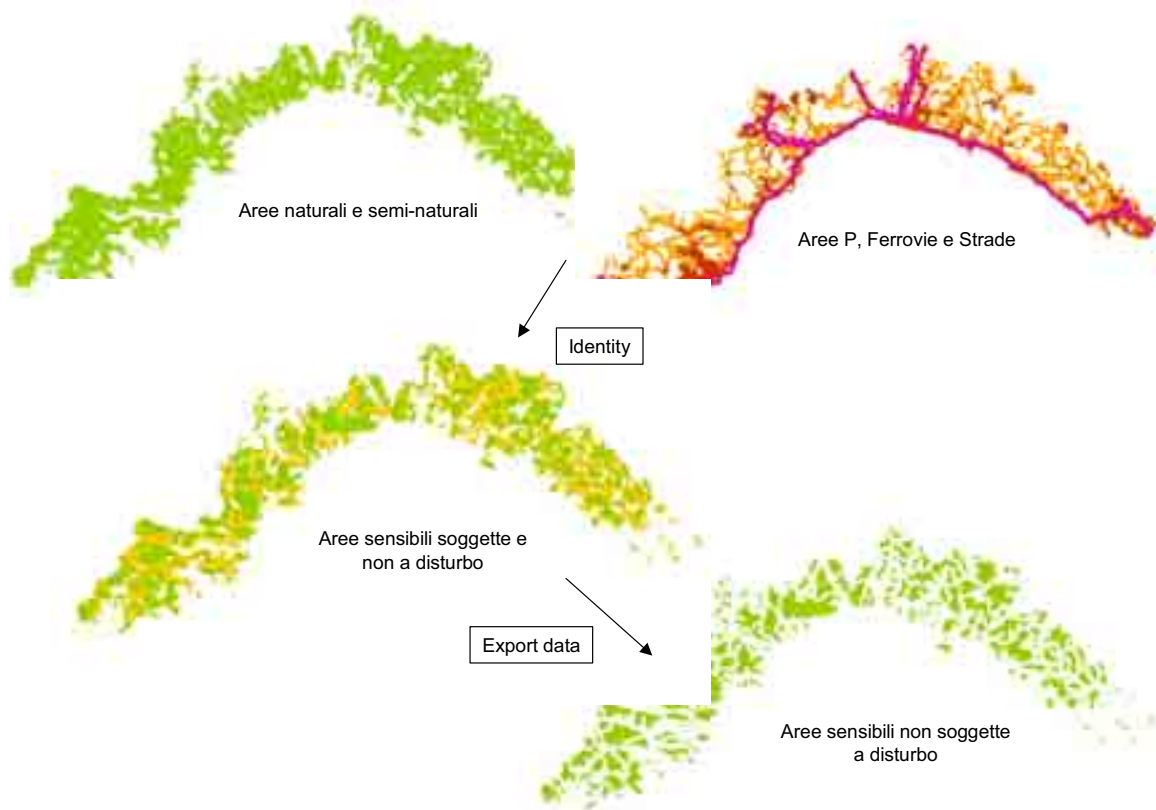
M10, in modo da avere tutti i dati nello stesso sistema di riferimento. All'intero grafo è stato quindi applicato il buffer (anche in questo caso di 500 metri nella prima fase di analisi e di dimensione variabile nella fase di analisi più accurata) ed è stato eseguito un *Dissolve* (con ArcView 3.1 *GeoProcessing Wizard*)

Lo stesso procedimento è stato applicato al grafo ferroviario EuroStat/GISCO.



**Figura 7.** Esempio dei buffers applicati alle aree antropizzate classificate come aree P e alle infrastrutture viario-ferroviarie della Liguria.

Gli strati così ottenuti sono stati utilizzati come identity feature nell'operazione di *Identity* con lo strato costituito dalle aree S a cui è stato sottratto il buffer delle aree P (input feature), ottenendo un altro output in cui si distinguono la sovrapposizione delle strade alle aree S e le aree S rimanenti, esportando queste ultime (*Select, export data*) si ottiene lo strato con le aree S indisturbate di cui verrà valutata la frammentazione.



**Figura 8.** Costruzione dello strato di analisi: operazioni di identity fra le aree naturali e semi-naturali e le aree e le infrastrutture che contribuiscono alla loro frammentazione e individuazione delle aree sensibili non soggette a disturbo.

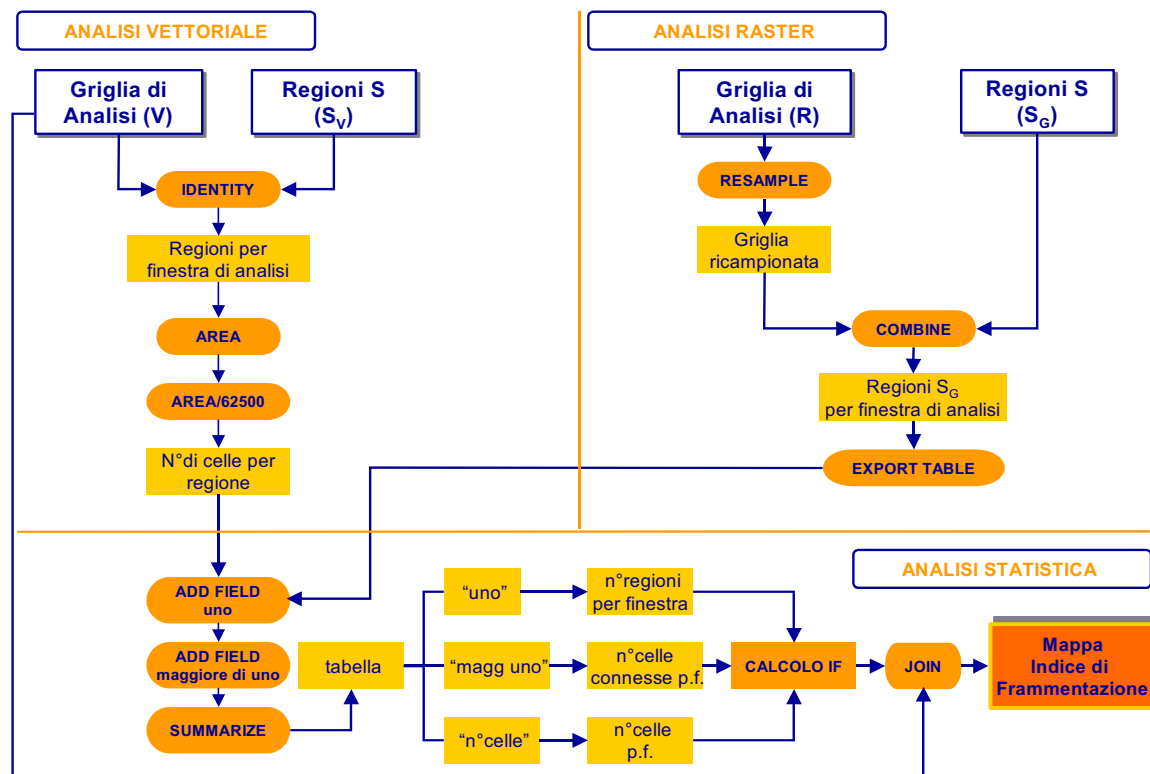
Per valutare la frammentazione delle aree naturali e semi-naturali tramite l'Indice<sup>1</sup> proposto da in Steenmans & Pinborg (l.c.) è necessario calcolare, all'interno di ogni finestra della griglia, il numero totale di celle sensibili, il numero di celle sensibili connesse e il numero di regioni di celle sensibili.

Per poter identificare le regioni di celle sensibili indisturbate lo strato delle aree S viene convertito in formato raster (*Arctoolbox, Conversion tools, Feature to Raster*), con un passo di 250 metri, e sull'output viene eseguita un'operazione di *Region group* (*Arctoolbox, Spatial Analyst tools, Generalization*) che in base alla connessione delle celle (valutata cella per cella impostando come parametro di connessione valida solo quella tramite almeno un lato delle celle, per cui una singola cella risulta essere connessa solo con le quattro celle che si trovano sopra, sotto, a destra e a sinistra di questa) crea un record per ogni regione (gruppo di celle connesse).

A questo punto dell'analisi sono stati individuati e seguiti due metodi alternativi: un metodo basato sull'utilizzo del formato vettoriale, che è stato usato per ottenere sia i

<sup>1</sup>  $IF = \frac{n^{\circ} \text{celle S connesse}}{[(n^{\circ} \text{celle S totale} / n^{\circ} \text{regioni}) / n^{\circ} \text{celle per Km}^2]} \times \frac{n^{\circ} \text{celle S totale}}{n^{\circ} \text{celle per Km}^2}$

primi risultati sia i risultati finali, e un metodo basato sull'uso del formato raster, utilizzato solo a scopo metodologico.



**Figura 9.** Elaborazioni che costituiscono la fase di analisi.

Per proseguire l'analisi utilizzando il formato vettoriale, l'output del Region group viene nuovamente convertito in vettoriale (*Spatial analyst, Convert raster to features*) scegliendo "Polygon" per l'"Output geometry type" e non spuntando la casella "Generalize lines", in modo che venga mantenuta la forma delle celle del raster. Otteniamo così un output vettoriale che in tabella ha un record per ogni regione di celle.

Per la preparazione delle griglie di analisi tramite *ET GeoWizard (Point, Create point grid)* vengono create più griglie di punti a passo differente: 5 Km, 10 Km, 20 Km e 25 Km. Le griglie di punti vengono convertite in formato raster, ottenendo le griglie per l'analisi raster; quindi, queste sono convertite da raster in poligoni (*Arctoolbox, Conversion tools, from Raster to Polygon*) ottenendo le griglie per l'analisi vettoriale.

La fase di calcolo dell'Indice di Frammentazione per ogni maglia della griglia di analisi procede eseguendo una *Identity*, usando come input lo strato vettoriale in cui ogni regione di celle è identificata da un record e come "identity features" una delle griglie di analisi in

formato vettoriale. L'output dell'identity permette di individuare quali regioni di celle ricadono all'interno di ogni maglia della griglia.

A questo punto si è posto il problema di considerare, o meno, regioni separate due parti della stessa regione che risultano essere disgiunte solo se considerate all'interno di una singola maglia, ma che in realtà costituiscono un insieme di celle connesse. Considerando che si vuole valutare la frammentazione delle aree sensibili e che in un caso del genere, che un'area indivisa possa essere valutata come frammentata o meno, è fortemente dipendente della misura della maglia della griglia o dal suo posizionamento nello spazio, si è scelto di considerare indivise le aree che apparirebbero separate in più parti all'interno della stessa cella. Dal punto di vista metodologico una scelta diversa avrebbe comportato l'applicazione della funzione *Multipart to Single Part* (*Arctoolbox, Data Management Tools, Features*) per avere la suddivisione in più entità di una stessa regione.

Sull'output dell'identity vengono calcolate le aree per ogni record, cioè per ogni regione o parte di regione che ricada all'interno di ogni finestra di analisi (*Arctoolbox, Spatial Statistics tools, Utilities, Calculate areas*). Tramite la tabella viene aggiunto un campo in cui, per mezzo del *Field calculator*, l'area calcolata viene divisa per 62.500, misura che equivale ai metri quadrati che costituiscono una cella di 250 m x 250 m. In questo modo nel campo "n° celle" avremo il numero di celle che costituiscono la parte di regione identificata dal record. Sempre tramite la tabella sono aggiunti altri due campi: nel primo ("uno") ad ogni record si dà il valore di uno, nel secondo ("magg uno"), sempre tramite il *Field Calculator* si copia il valore del campo "n° celle" e nei record dove questo ha valore 1, ad 1 si sostituisce il valore 0 (*Find and Replace*). Viene, quindi, applicata un'operazione di *Summarize* sul campo che identifica le maglie della griglia, con funzione di somma per i campi "n° celle", "uno" e "magg uno". La tabella risultante ha un record per ogni maglia della griglia in cui ci siano delle aree sensibili e riporta i campi:

SUM\_n° celle: numero totale di celle sensibili presenti nella finestra di analisi corrispondente

SUM\_uno: numero di regioni presenti nella finestra corrispondente

SUM\_magg uno: numero di celle sensibili connesse presenti nella finestra corrispondente.

Aree Sensibili e Griglia di analisi

Identity

Operazioni di tabella

Regioni per Finestra di analisi

Indice di Frammentazione

Summarize e operazioni di tabella

Per avere la rappresentazione dei valori dell'IF è stato fatto un *Join* fra la tabella di calcolo e la griglia di analisi tramite i campi che identificano in modo univoco le maglie della griglia. La rappresentazione della griglia è stata quindi tematizzata (*Layer properties, Symbology, Show quantities*) sui valori del campo "IF", scegliendo una classificazione in 7 classi, i cui valori di "break" sono stati definiti applicando il metodo di classificazione per quantili.

Lo strato di analisi è costituito da l'output del *Region group* che ha una risoluzione di 250 m x 250 m ed un solo tipo di celle; per individuare all'interno di quale maglia della griglia ricadano le varie regioni di celle si deve applicare un'operazione di *Combine* fra lo

strato di analisi e la griglia. Per poter eseguire questa operazione la griglia di analisi deve essere ricampionata (*Arctoolbox, Data managment tools, Raster, Resample*) a 250 m x 250 m, in modo tale che la griglia e lo strato di analisi abbiano la stessa risoluzione; quindi è possibile eseguire il *Combine*.

Lo strato risultante avrà un campo che identifica la regione, un campo che identifica la cella della griglia, un campo “value” che identifica in modo univoco la regione o la parte di regione che ricade in una data maglia della griglia e un campo “count” che conta il numero di celle che costituiscono la parte di regione identificata dal “value”.

La tabella viene esportata (*Export table*) e ad essa vengono aggiunti, come per l’analisi eseguita con il formato vettoriale, i campi “uno” e “magg uno”, mentre il campo “n°cell” è sostituito dal campo “count” già presente.

Viene eseguita un’operazione di *Summarize* sul campo che identifica la maglia della griglia, impostando l’operazione di somma per i campi “count”, “uno” e “magg uno”, che nella tabella di output daranno, rispettivamente, il totale di celle sensibili, il numero di regioni e il numero di celle sensibili connesse all’interno della maglia. Avendo tutti i parametri necessari, tramite il *Field Calculator*, si può calcolare l’Indice di Frammentazione. Si procede quindi con l’esecuzione del *Join* fra la tabella e la griglia di analisi, e la tematizzazione di quest’ultima.

Con lo scopo di dare una rappresentazione della frammentazione delle aree naturali e semi-naturali più accurata, seguendo la stessa procedura e basandosi su i suggerimenti di Steenmans & Pinborg (l.c.) sono stati differenziati i parametri utilizzati nella costruzione dello strato di analisi.

La riclassificazione del CLC 2000 è stata eseguita individuando 5 classi. Le classi di copertura del suolo riferite alle aree sensibili e neutre sono rimaste invariate, mentre le classi che contribuiscono alla frammentazione delle aree naturali, sono state distinte in tre gruppi:

- P1: Aree estrattive (1.3.1), Discariche (1.3.2)
- P2: Zone urbanizzate di tipo residenziale (1.1), Zone industriali, commerciali e infrastrutturali (1.2), Cantieri (1.3.1), Zone verdi artificiali non agricole.
- P3: Seminativi (2.1), Colture permanenti (2.2), Colture temporanee associate a colture permanenti (2.4.1).

L’effetto delle diverse classi di copertura del suolo sulla frammentazione è stato differenziato applicando dei buffer di diversa dimensione: attorno alle aree P1, ritenute quelle a maggiore “contrasto” con le aree definite sensibili, è stato effettuato un buffer di

500 metri; attorno alle aree P2 un buffer di 400 metri e attorno alle aree P3 di un buffer di 200 metri.

Anche l'effetto delle infrastrutture viarie è stato differenziato applicando dei buffer di misura diversa. Le strade sono state distinte in quattro categorie in base agli attributi del campo CODICE\_CAT della base dati Tele Atlas:

- 1: Autostrade (10).
- 2: Strade di rilievo internazionale che non possono essere considerate autostrade (20) e strade utilizzate per spostamenti da una regione ad un'altra (interregionali) (30).
- 3: Strade importanti per muoversi all'interno di una regione (40).
- 4: Strade utilizzate per andare da un insediamento ad un altro o dentro un grande centro per spostarsi da una parte ad un'altra (51) e strade locali di maggiore importanza (52).

Alle strade che rientrano nella prima categoria è stato applicato un buffer di 250 metri, a quelle appartenenti alla seconda un buffer di 200 metri, alle strade regionali (terza categoria) di 150 metri e alle strade minori un buffer di 100 metri.

Alle infrastrutture ferroviarie, che sono state distinte in linee a binario doppio, alle quali è stato applicato un buffer di 250 metri, e linee a binario singolo cui è stato applicato un buffer di 200 metri.

Applicando questi nuovi parametri è stato generato un nuovo strato di analisi, basato su una più accurata valutazione delle aree delle quali valutare la frammentazione. Seguendo lo stesso procedimento utilizzato per ottenere i risultati preliminari sopra esposto è stata svolta l'analisi vettoriale scegliendo di utilizzare finestre di analisi di 5 Km x 5 Km, 10 Km x 10 Km e 20 Km x 20 Km.

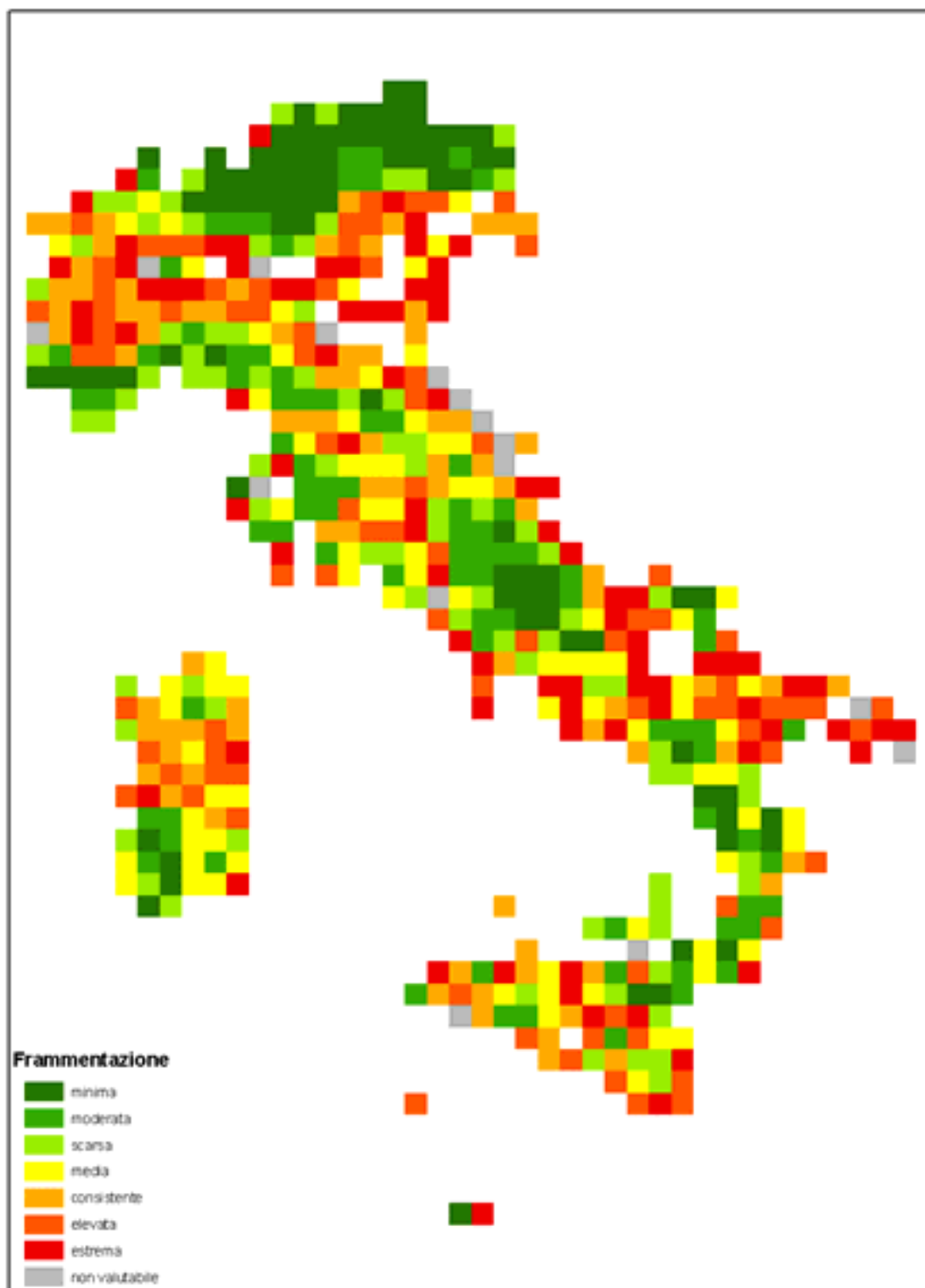
## 4. Risultati

### 4.1 Risultati preliminari

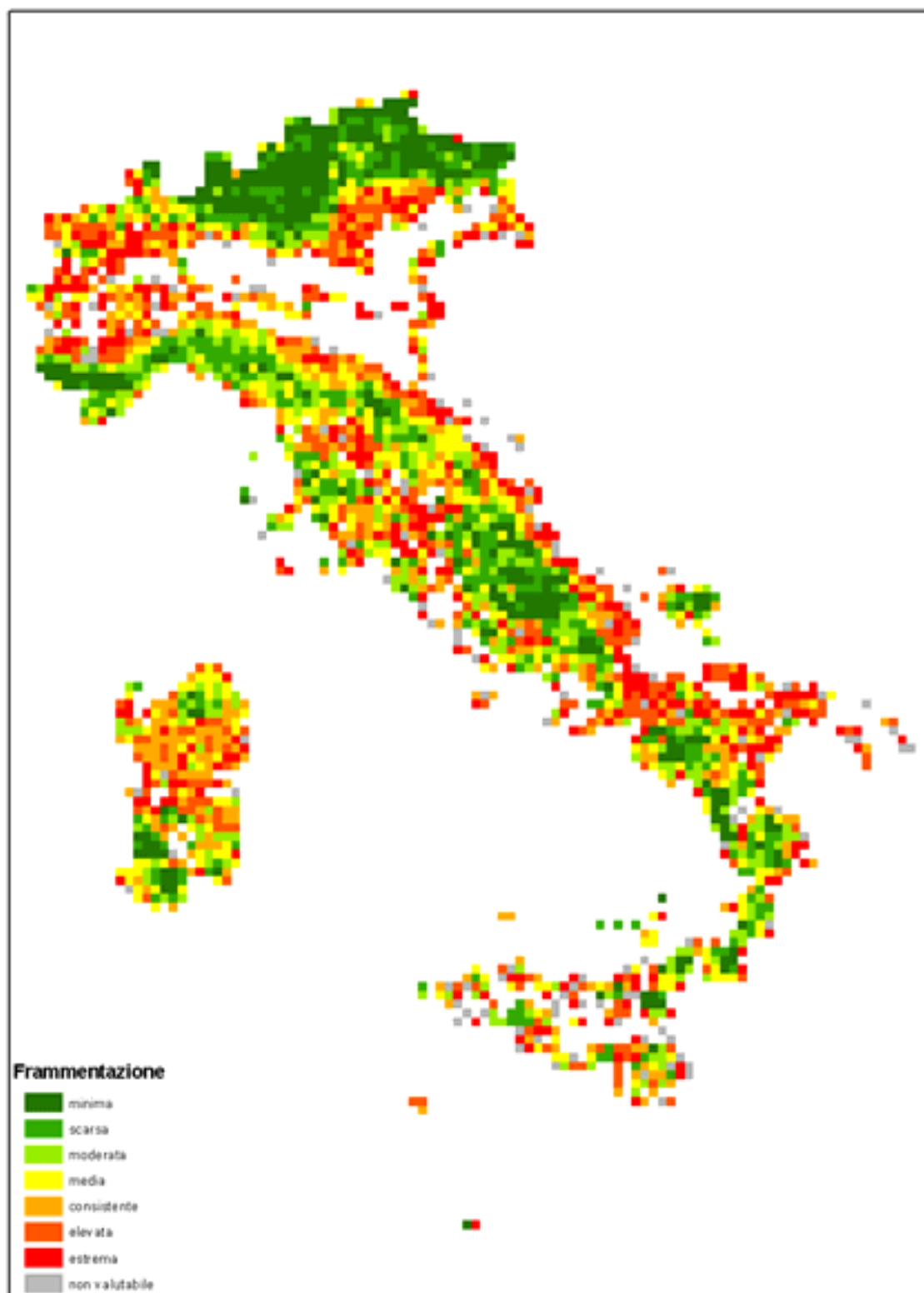
La prima fase di studio è stata condotta utilizzando per la costruzione dello strato di analisi i parametri indicati da Steenmans e Pinborg, che non differenziano l'influenza delle diverse tipologie di infrastrutture e di coperture del suolo, con lo scopo principale di individuare la metodologia pratica e le applicazioni tecniche necessarie a seguire la metodica di riferimento.

È stata condotta a scale differenti, utilizzando finestre di analisi di 5 Km x 5 Km, 10 Km x 10 Km, 25 Km x 25 Km, e ha portato alla realizzazione di tre mappe del grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali del territorio italiano.

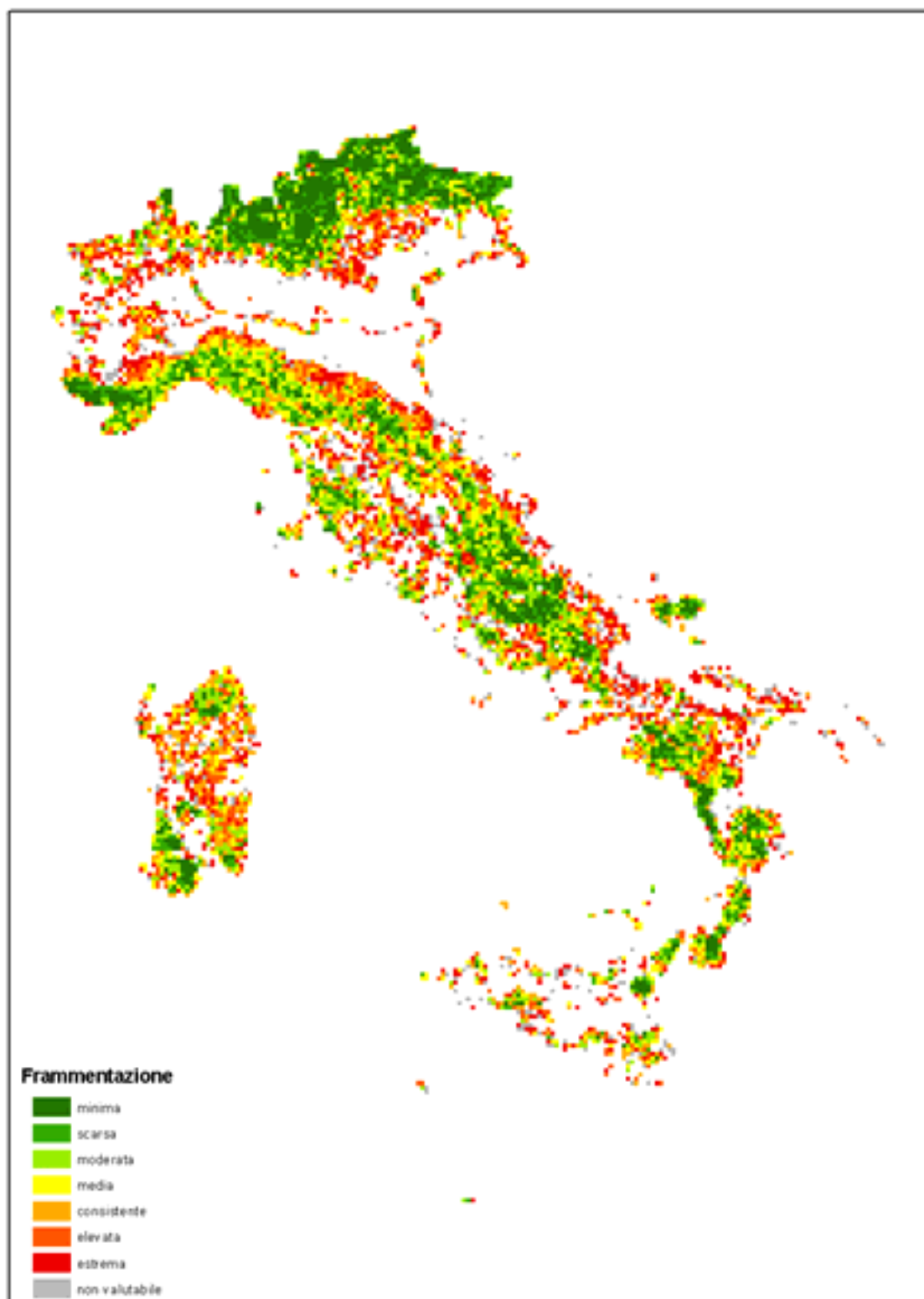




**Figura 11.** Mappa del grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 25 Km x 25 Km dall'analisi preliminare.



**Figura 11.** Mappa del grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 10 Km x 10 Km dall'analisi preliminare.

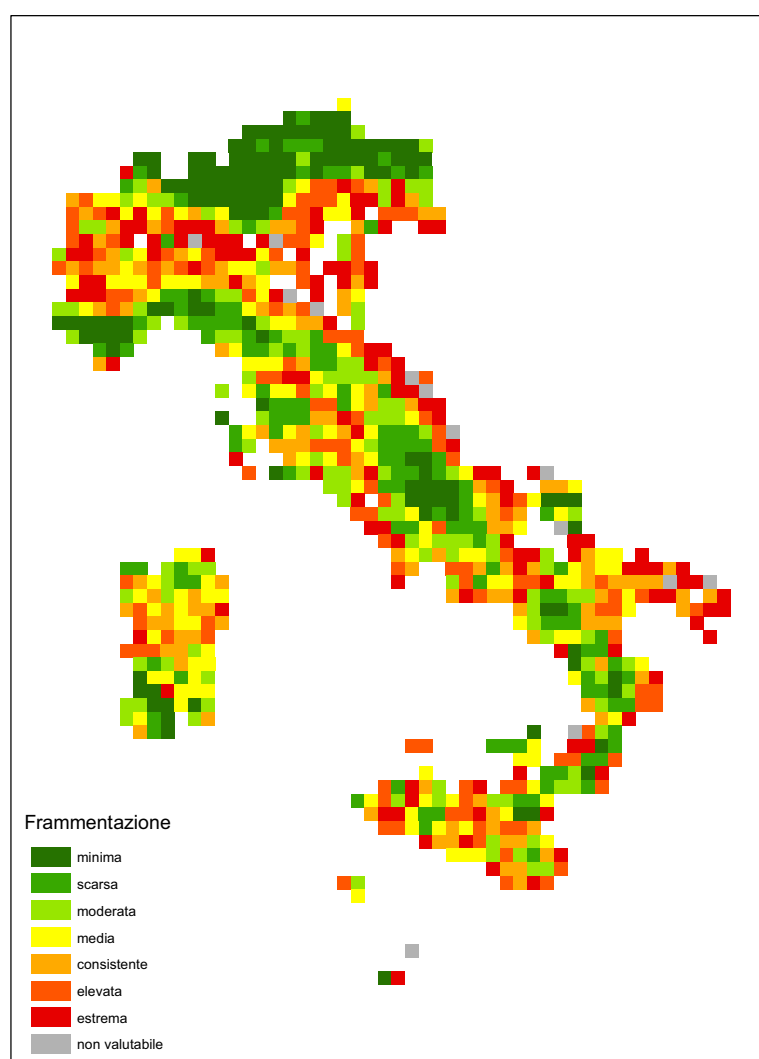


**Figura 12.** Mappa del grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 5 Km x 5 Km dall'analisi preliminare.

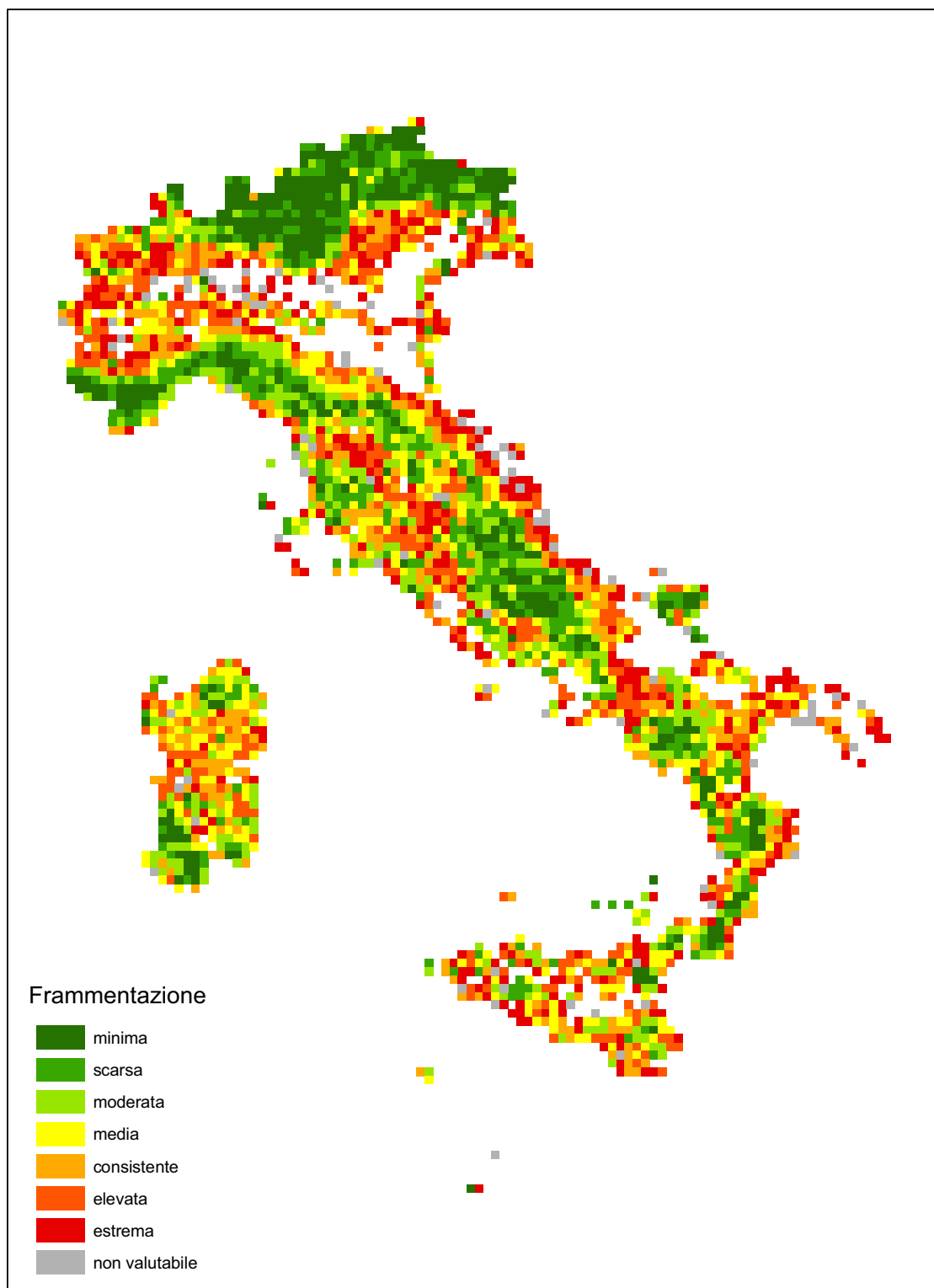
## 4.2 Risultati definitivi

La seconda fase di studio è stata condotta su uno strato di analisi in cui gli effetti delle infrastrutture e delle aree antropizzate sulle aree sensibili sono stati differenziati in base alle caratteristiche di queste, rendendo l'analisi più rispondente allo stato delle aree naturali e semi-naturali. Sono state utilizzate finestre di analisi di 5 Km x 5 Km, 10 Km x 10 Km e 20 Km x 20 Km, che hanno portato alla realizzazione di 3 mappe del grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali del territorio italiano.

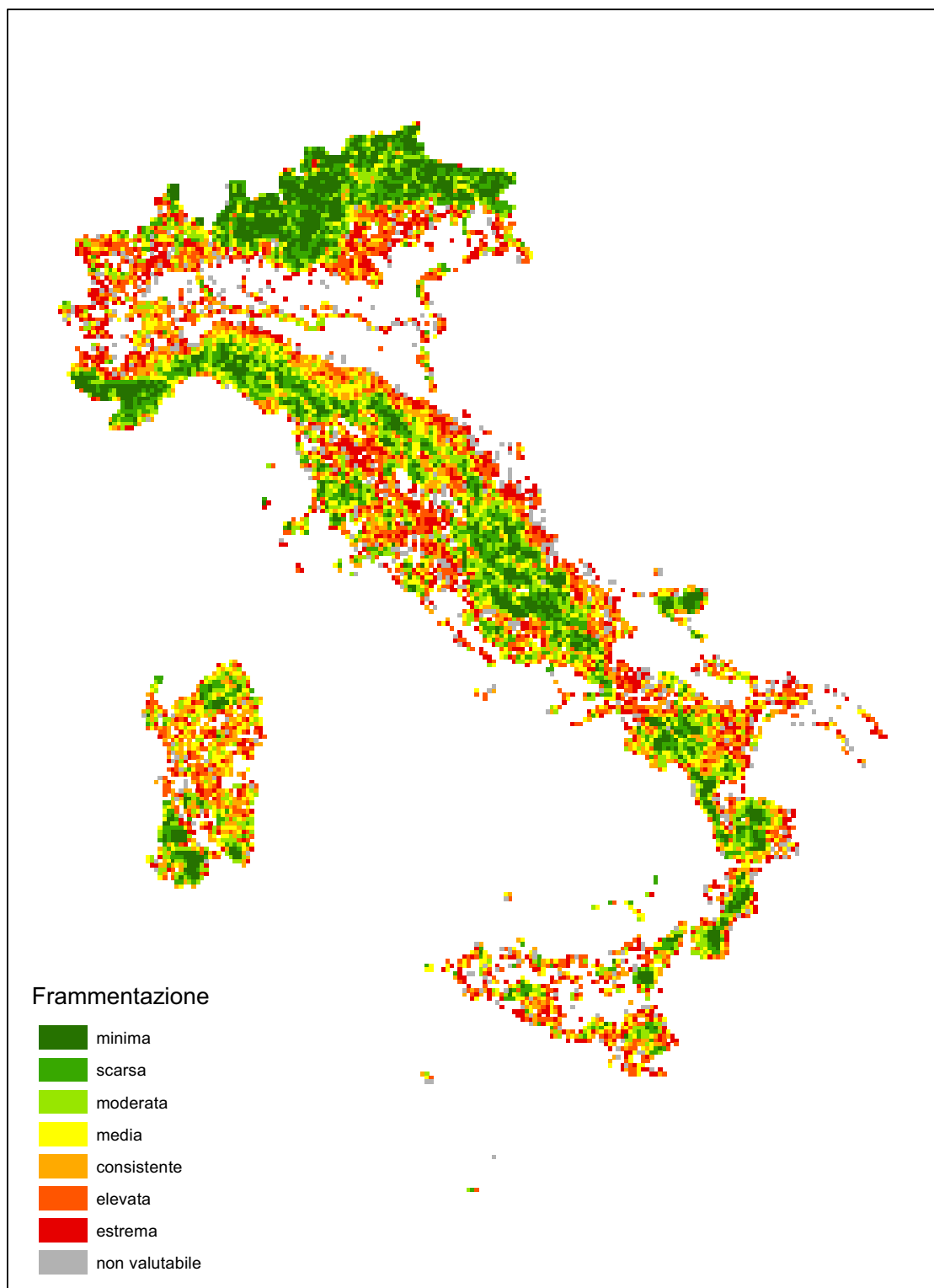
Come giudicato dagli Autori di riferimento nel loro lavoro, la mappa ottenuta tramite finestre di analisi di 20 Km x 20 Km risulta essere troppo grezza, mentre le altre sembrano rappresentare meglio la condizione del territorio. Quale di queste si adatti meglio a rappresentare la frammentazione delle aree naturali dipende dalla scala e dalla tipologia delle valutazioni che si devono effettuare, quindi dalle specifiche finalità.



**Figura 13.** Mappa del grado di Frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 20 Km x 20 Km.



**Figura14.** Mappa del grado di Frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 10 Km x 10 Km.



**Figura 15.** Mappa del grado di Frammentazione delle aree naturali e semi-naturali ottenuta con finestre di analisi di 5 Km x 5 Km.

## 5. Discussione

### 5.1 Determinazione delle aree sensibili indisturbate

Uno dei primi problemi affrontati per la creazione dello strato di analisi è stato quello di individuare e delimitare le aree naturali e seminaturali, definite sensibili nel lavoro di Steenmans e Pinborg (l.c).

Una prima individuazione è stata effettuata sulla base della classificazione CORINE Land Cover. Sono state considerate sensibili tutte le aree classificate come 3.1 (zone boscate), 3.2 (zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea), 3.3 (zone aperte con vegetazione rada o assente), 4.1 (zone umide interne) e 4.2 (zone umide marittime).

Meno immediata è stata la delimitazione delle aree di cui valutare la frammentazione, cioè delle aree sensibili indisturbate. Questa ha, infatti, comportato la considerazione e la quantificazione dell'effetto delle infrastrutture viario-ferroviarie e delle aree antropizzate sulle aree naturali e semi-naturali.

L'effetto è essenzialmente costituito dal ruolo di barriera, svolto soprattutto dalle infrastrutture legate ai trasporti, ma anche dalla matrice antropizzata, e dall'effetto margine legato ad entrambe.

L'entità dell'effetto è stata valutata in base alle diverse tipologie di infrastrutture e di coperture del suolo ed è stata quantificata attraverso la variazione dell'ampiezza del buffer associato ad esse.

Le aree di cui è stata valutata la frammentazione sono, quindi, le aree individuate dalle classi CORINE prima citate, al netto delle parti influenzate dall'effetto margine.

Nelle aree di margine dei frammenti residui possono essere osservati profondi cambiamenti della componente abiotica che inevitabilmente ricadono, con imprevedibili effetti a cascata, anche su quella biotica. Tra gli effetti fisici legati a condizioni di margine si possono elencare l'alterazione dei flussi di radiazione solare, di intensità del vento e del ciclo dell'acqua.

L'aumento della radiazione solare lungo i margini, dovuta alla rimozione della vegetazione naturale, comporta un aumento della temperatura dell'aria e una maggiore escursione termica giornaliera. Questo può avere effetto sul ciclo di molti nutrienti,

quindi sulla ricchezza e abbondanza di microrganismi e invertebrati, sulla decomposizione della lettiera e anche sui meccanismi di competizione, predazione e parassitismo, innescando effetti a cascata sui consumatori primari e secondari.

La maggiore esposizione al vento può provocare un danneggiamento fisico della vegetazione e una modificazione del tasso di evapotraspirazione. E' stato rilevato, inoltre, l'aumento del rischio di caduta di alberi vicino al margine di aree recentemente frammentate, proprio a causa della maggiore esposizione al vento.

Oltre agli aspetti intra- ed interspecifici, a cui si è in parte accennato, un'altra serie di disturbi collegati alle aree di margine antropogenico riguarda quelli direttamente o indirettamente collegati alla più rilevante presenza umana dovuta all'aumento di accessibilità delle aree residuali.

Quanto sia ampia l'area di margine dipende dalla capacità di penetrazione del disturbo e dal tipo e dalla struttura della vegetazione del frammento (Chen, 1991 in Bogaert 2000).

Molti studi riportano stime di profondità dei margini, ottenute basandosi su osservazioni di tipo diverso, per differenti tipologie di frammenti residuali. La maggior parte di questi lavori attribuisce alle aree di margine in esame un'ampiezza compresa entro i 100 metri, mentre alcuni rilevano un'ampiezza che arriva ai 500 metri.

In uno studio, relativo ai boschi residui della pianura padana (AA VV, 2001 in Battisti 2004), è stato osservato come l'effetto margine si estenda sulla struttura forestale mediamente per 30 metri verso l'interno, facendo sì che frammenti con superficie inferiore ai 5-10 ettari possono essere assimilati, sotto il profilo microclimatico ed ecologico, a "sistemi lineari" più che a formazioni forestali. Debinski e Holt (2000, in Battisti, 2004) in una loro ricerca, riportano come l'effetto margine possa penetrare per una profondità di oltre 300 metri verso l'interno nei frammenti residui di foresta tropicale amazzonica. Kluza et al. (2000, in Battisti, 2004) osservano che in frammenti forestali suburbani le attività umane possono causare una riduzione o addirittura una scomparsa di specie animali e vegetali legate al substrato erbaceo e/o arbustivo principalmente entro i primi 80 metri dal margine. Bolger *et al.* (1997, in Battisti 2004) hanno osservato, in Nord America, una riduzione dell'abbondanza di alcune specie sensibili alla frammentazione e all'effetto margine entro 200-500 metri di distanza dal margine. Nelle foreste svedesi di Abete rosso (*Picea abies*) è stato rilevato un effetto margine sui licheni fino a 25-50 metri verso l'interno. Riguardo ad alcuni studi relativi ad aspetti ecologici e di conservazione degli Anfibi, Scozzianti (2001, in Battisti 2004) cita, risultati ottenuti da diversi Autori che hanno osservato cambiamenti significativi in vari parametri fisici



(temperatura, intensità di luce, grado di umidità della lettiera, tasso di evaporazione) e differenze a livello strutturale della vegetazione, fino a una distanza di 50 metri dal limite forestale. Altri Autori assumono un valore estremamente generico ed indicativo di 100 metri come distanza entro la quale possono agire fattori esterni provenienti dalla matrice. In questo studio gli effetti delle aree antropizzate sulle aree naturali e semi-naturali sono stati espressi attraverso l'applicazione di un buffer, la cui ampiezza prova a quantificare l'entità del disturbo. Facendo riferimento ai dati presenti in letteratura si è ipotizzato una penetrazione del disturbo di 200 metri per le coperture del suolo di tipo agricolo (classi 2.1, 2.2 e 2.4.1 della legenda CORINE Land Cover), di 400 metri per le zone urbanizzate di tipo residenziale, industriale, commerciale, infrastrutturale (1.1 e 1.2), per i cantieri (1.3.3) e per le zone verdi artificiali non agricole (1.4), e di 500 metri per le aree estrattive (1.3.1) e le discariche (1.3.2).

Le infrastrutture legate ai trasporti e le aree antropizzate (elementi lineari o a carattere diffuso) possono avere una scarsa o nulla idoneità ecologica, e impedire la dispersione delle varie specie e agendo così da barriera parziale o totale. Il concetto di barriera è, in ogni caso, relativo per ciascuna specie: una stessa infrastruttura o una determinata categoria di uso/copertura del suolo possono agire da barriera per una specie e da via di dispersione per un'altra. Ad esempio, le strade e le opere lineari costituiscono una barriera parziale o totale alla dispersione di alcune specie animali e, al tempo stesso, corridoio per alcune specie generaliste, nonché per l'ingresso, negli ambienti naturali, di fonti di disturbo sonoro, luminoso e chimico (Spellerberg, 1998 in Battisti 2004).

Fra le diverse opere umane realizzate sul territorio, le infrastrutture stradali lineari sono quelle che influenzano maggiormente l'integrità delle aree naturali, sia per la loro diffusione capillare sul territorio sia per i molteplici effetti. La dispersione e, nel complesso, tutti i movimenti individuali, così come altri processi ecologici, possono essere ostacolati dalla componente fisica dell'infrastruttura, da fattori "meccanici" legati alla sua funzionalità (es., tipologia ed intensità del traffico veicolare) e dall'inquinamento acustico, luminoso, chimico ad essa connesso.

Battisti (l.c.) riassume i molti effetti ecologici delle strade, citati in diversi studi:

- distruzione e alterazione dell'ambiente fisico, sia limitatamente alla sede stradale sia nelle aree limitrofe; cambiamento di densità, delle temperature e del contenuto in acqua del suolo; inquinamento da gas atmosferici, da sali antineve, da dilavamento dell'asfalto; erosione, sedimentazione e accumulo di rifiuti e metalli pesanti; modifiche nei processi

idrologici e geomorfologici per sbancamenti, movimenti di terra, deviazioni di corsi d'acqua.

- aumento del tasso di mortalità in specie sensibili nelle fasi di costruzione e a causa della collisione con autoveicoli (Per molte specie di vertebrati gli investimenti lungo le infrastrutture stradali rientrano tra le prime cause di mortalità indotta dall'uomo (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)).

- alterazione di altri fattori demografici e genetici a livello di popolazione, oltre che comportamentali e fisiologici a livello individuale (cambiamento nella dimensione dello *home range* in specie territoriali, nei *pattern* di presenza/assenza e di dispersione, nella struttura sociale e nel successo riproduttivo, nello stato fisiologico dei singoli individui, ecc.).

- alterazione del dinamismo della metapopolazione a scala regionale.

- effetti a livello di comunità con una riduzione della Ricchezza specifica e cambiamenti nella composizione qualitativa nelle aree limitrofe.

- diffusione di specie aliene e invasive con conseguente impatto sulle popolazioni di specie autoctone (predazione, competizione, ecc.).

- aumento del disturbo antropico (facilità di accesso ad aree naturali e conseguente incremento della loro fruizione a scopo ricreativo, ittico-venatorio, agro-silvo-pastorale, ecc.).

Gli effetti evidenziati possono estendersi sugli ecosistemi limitrofi alle strade per distanze notevoli. Si può parlare, infatti, di una *road effect zone*, limitrofa alla sede stradale (Forman, 2000) che può estendersi considerevolmente oltre i 100 metri.

Scoccianti (2001, in Battisti, 2004) cita Autori che hanno evidenziato, studiando l'effetto margine dovuto a infrastrutture viarie su alcuni ecosistemi forestali in Nord America, una riduzione nell'abbondanza e nella ricchezza specifica dei macroinvertebrati presenti nel suolo e una riduzione dell'altezza della lettiera fino ad una distanza di 100 metri dalla strada. In Olanda, il rumore provocato dal traffico veicolare lungo le strade sembra responsabile della riduzione di densità di individui osservata in alcune specie di uccelli nei loro habitat frammentati. Gli effetti di tale disturbo sono stati rilevati fino a una distanza di 250 metri dalle strade e fino a circa 3,5 km dalle autostrade (McGregor *et al.*, 2000, in Battisti, 2004).

Sulla base di queste valutazioni abbiamo ipotizzato una *road effect zone*, rappresentata dal buffer applicato al grafo di tele Atlas, la cui ampiezza varia con il variare della tipologia stradale, andando da un minimo di 100 metri per lato per le strade locali di

maggior importanza (categorie 51 e 52) ai 250 metri per lato delle Autostrade (categoria 10).

Le linee ferroviarie sono infrastrutture geometricamente analoghe alle strade e alle autostrade (barriere infrastrutturali complesse, costituite da elementi lineari paralleli praticamente invalicabili per molte specie) ma il loro effetto risulta differente sul piano del tipo e della periodicit  del disturbo meccanico e acustico. L’impatto di queste opere   marcato soprattutto in relazione alle fasi di realizzazione dell’opera e alle trasformazioni ambientali indotte dalla ferrovia e, soprattutto, dalle strutture annesse (linee elettriche, argini e massicciate, rilevati, scavi in trincea, ecc.) (Battisti, 2004).

Anche per le linee ferroviarie   stata considerata una zona di effetto sulle aree sensibili limitrofe. E’ stata ipotizzata un’area di influenza di 250 metri per lato per le linee a binario doppio e di 200 metri per lato per le linee a binario singolo.

Anche le canalizzazioni artificiali (es., canali di bonifica, di drenaggio e di irrigazione in aree pianiziarie) possono costituire una barriera ai movimenti di specie poco vagili; ed ancora le strutture artificiali di ridotte dimensioni (reti, manufatti, piccoli canali e scoline, ecc) possono interferire sui movimenti locali della fauna selvatica di piccole dimensioni. Queste tipologie di barriere non sono per  state prese in considerazione nelle nostre valutazioni per la piccola scala a cui queste fanno riferimento.

Valori proposti nella metodologia di riferimento

<b>Aree P :</b> 500 metri	<b>Strade :</b> 500 metri	<b>Ferrovie :</b> 500 metri
---------------------------	---------------------------	-----------------------------

Valori sperimentati nel presente lavoro

<b>Aree P</b>	<b>Strade</b>	<b>Ferrovie</b>
classi 1.3.1 e 1.3.2 : 500 m	Cat. 10 : 250 m	binario doppio : 250 m
classi 1.1, 1.2, 1.3.3 e 1.4 : 400 m	Cat. 20 e 30 : 200 m	binario singolo : 200 m
	Cat. 40 : 150 m	
classi 2.1, 2.2 e 2.4.1 : 200 m	Cat. 51 e 52 : 100 m	

## 5.2 Analisi dell'Indice di Frammentazione

L'indice di Frammentazione proposto nello studio pilota di Steenmans e Pinborg (l.c.) prende in considerazione due parametri del mosaico costituito dalle aree naturali e seminaturali:

- il numero di celle sensibili (indisturbate) connesse nella finestra di analisi (CC)
- il numero medio di celle che costituiscono le regioni sensibili (indisturbate) nella finestra di analisi.

Quest'ultimo espresso dal rapporto fra il numero totale di celle sensibili (CT) e il numero di regioni di celle sensibili nella finestra di analisi (R).

Quindi riporta il tutto al numero di celle che costituiscono un Chilometro quadrato, che nel nostro caso sono 16, essendo di 250 m x 250 m la misura delle celle che costituiscono lo strato di analisi (misura adatta a rappresentare i dati CLC al terzo livello tematico (misura dell'unità minima cartografata: 25 ettari), in accordo con quanto affermato da Bogaert (2005), per il quale la dimensione della grana dello strato di analisi deve essere da 2 a 5 volte più piccola dei fenomeni spaziali osservati).

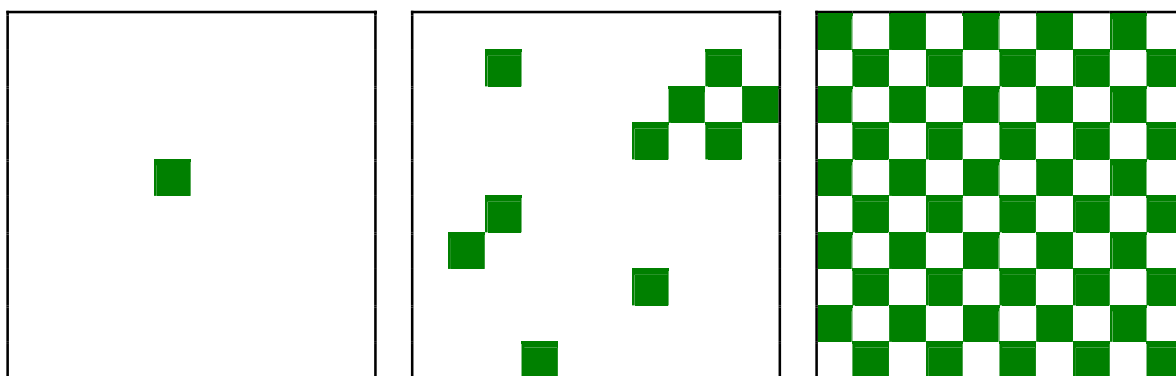
$$\frac{CC}{\frac{CT}{R} \times \frac{CT}{16}}$$

Dall'osservazione dell'Indice appaiono evidenti almeno due caratteristiche di questo che vanno tenute in considerazione per la sua applicazione:

- l'Indice non può essere applicato a tutte le situazioni
- I suoi valori sono dipendenti dalle dimensioni della finestra di analisi.

Riguardo al primo punto, è evidente che con il numero di celle connesse al numeratore dell'Indice, questo sarà uguale a zero ogni volta che all'interno della finestra di analisi non ci saranno celle connesse (CC = 0).

Questo fatto ha due conseguenze che limitano l'applicabilità dell'indice: attribuisce automaticamente le finestre di analisi che non hanno celle connesse alla classe di frammentazione minima e assegna lo stesso valore di frammentazione (cioè 0), a situazioni molto diverse. Nei tre esempi seguenti l'Indice di Frammentazione sarebbe sempre uguale a zero pur rappresentando situazioni molto diverse.

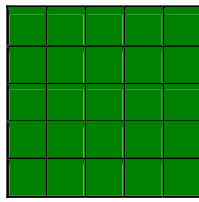


**Figura 17.** Esempio di situazioni molto diverse, ma tutte con nessuna cella connessa, a cui l'indice attribuisce lo stesso valore di frammentazione.

Di conseguenza nella rappresentazione cartografica dei valori assunti dall'Indice, le finestre che risultavano avere un  $IF = 0$ , perchè non vi erano al loro interno celle connesse, sono state classificate “non valutabili”.

Riguardo al secondo punto, anche in questo caso risulta chiaro, che basandosi l'Indice sul numero totale di celle sensibili e sul numero di celle sensibili connesse, parametri che sono dipendenti dall'estensione della finestra di analisi, risulti anch'esso dipendente dalla misura della finestra di analisi utilizzata. Questo è evidente soprattutto se consideriamo il valore minimo che l'Indice può assumere.

Ponendo che il valore minimo che l'indice può assumere si ha in assenza di frammentazione (come affermato da Li e Wu (2004) in un lavoro che pone in evidenza i limiti dell'utilizzo delle metriche del paesaggio, è importante che al minimo e al massimo valore dell'indice corrispondano delle condizioni con un chiaro significato ecologico) cioè in situazioni in cui tutte le celle della finestra di analisi siano sensibili (si avrebbe assenza di frammentazione anche se tutte le celle non fossero sensibili ma l'indice si propone di valutare la frammentazione delle aree sensibili) e connesse, la misura minima che si può avere sarà dipendente dall'ampiezza della finestra di analisi considerata (Fig. 18).



$$IF = CC / [(CT/R)/16] \times CT/16$$

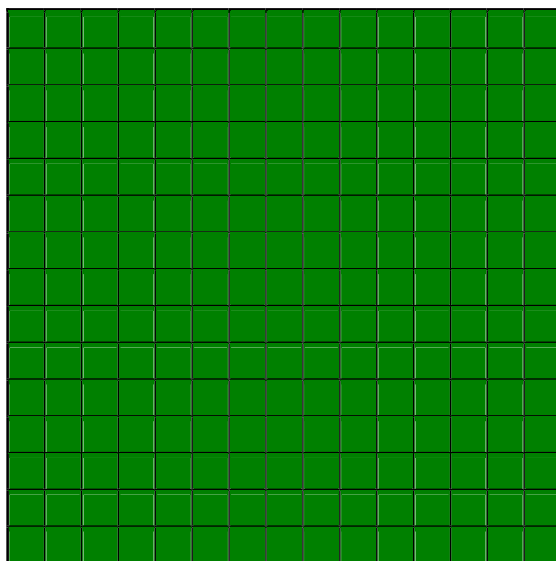
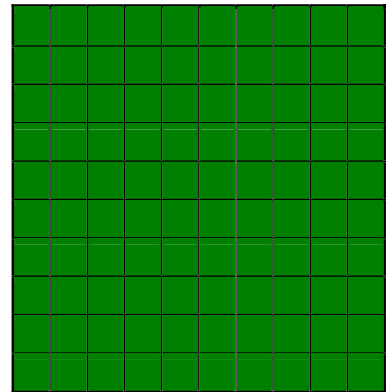
$$IF = 25 / [(25/1)/16] \times 25/16$$

$$IF = 10,24$$

$$IF = CC / [(CT/R)/16] \times CT/16$$

$$IF = 100 / [(100/1)/16] \times 100/16$$

$$IF = 2,56$$



$$IF = CC / [(CT/R)/16] \times CT/16$$

$$IF = 225 / [(225/1)/16] \times 225/16$$

$$IF = 1,14$$

**Figura 18.** Valori minimi che l'indice assume a diverse scale di analisi corrispondenti all'assenza di frammentazione.

Nell'applicazione dell'Indice svolta per questo lavoro, che ha previsto finestre di analisi di 25 Km<sup>2</sup> (5 Km x 5 Km), 100 Km<sup>2</sup> (10 Km x 10 Km), 400 Km<sup>2</sup> (20 Km x 20 Km) e 625 Km<sup>2</sup> (25 Km x 25 Km), i valori minimi possibili dell'IF sono:

$$IF \text{ minimo per } 25 \text{ Km}^2 = 0,64$$

$$IF \text{ minimo per } 100 \text{ Km}^2 = 0,16$$

$$IF \text{ minimo per } 400 \text{ Km}^2 = 0,04$$

$$IF \text{ minimo per } 625 \text{ Km}^2 = 0,0256$$

Si osserva, quindi, che i risultati ottenuti utilizzando finestre di analisi di dimensioni diverse non sono comparabili e si pone il problema se sia corretto mantenere gli stessi intervalli di frammentazione per analisi condotte a scale diverse.

## 5.3 Classificazione dei dati

Il fatto che il valore minimo fosse diverso alle diverse scale di analisi adottate ha portato a riconsiderare la classificazione dei valori dell'Indice riportata nello studio di Steenmans e Pinborg (l.c.), che individuava 6 classi suddivise nel modo seguente:

- IF < 0,01 frammentazione minima
- 0,01 < IF < 0,1 frammentazione scarsa
- 0,1 < IF < 1 frammentazione media
- 1 < IF < 10 frammentazione consistente
- 10 < IF < 100 frammentazione elevata
- IF > 100 frammentazione estrema

La prima osservazione fatta è che le classi di frammentazione minima (IF < 0,01) e di frammentazione scarsa (0,01 < IF < 0,1), con le misure delle finestre di analisi adottate in questo studio, non sono raggiungibili nella maggior parte delle analisi effettuate.

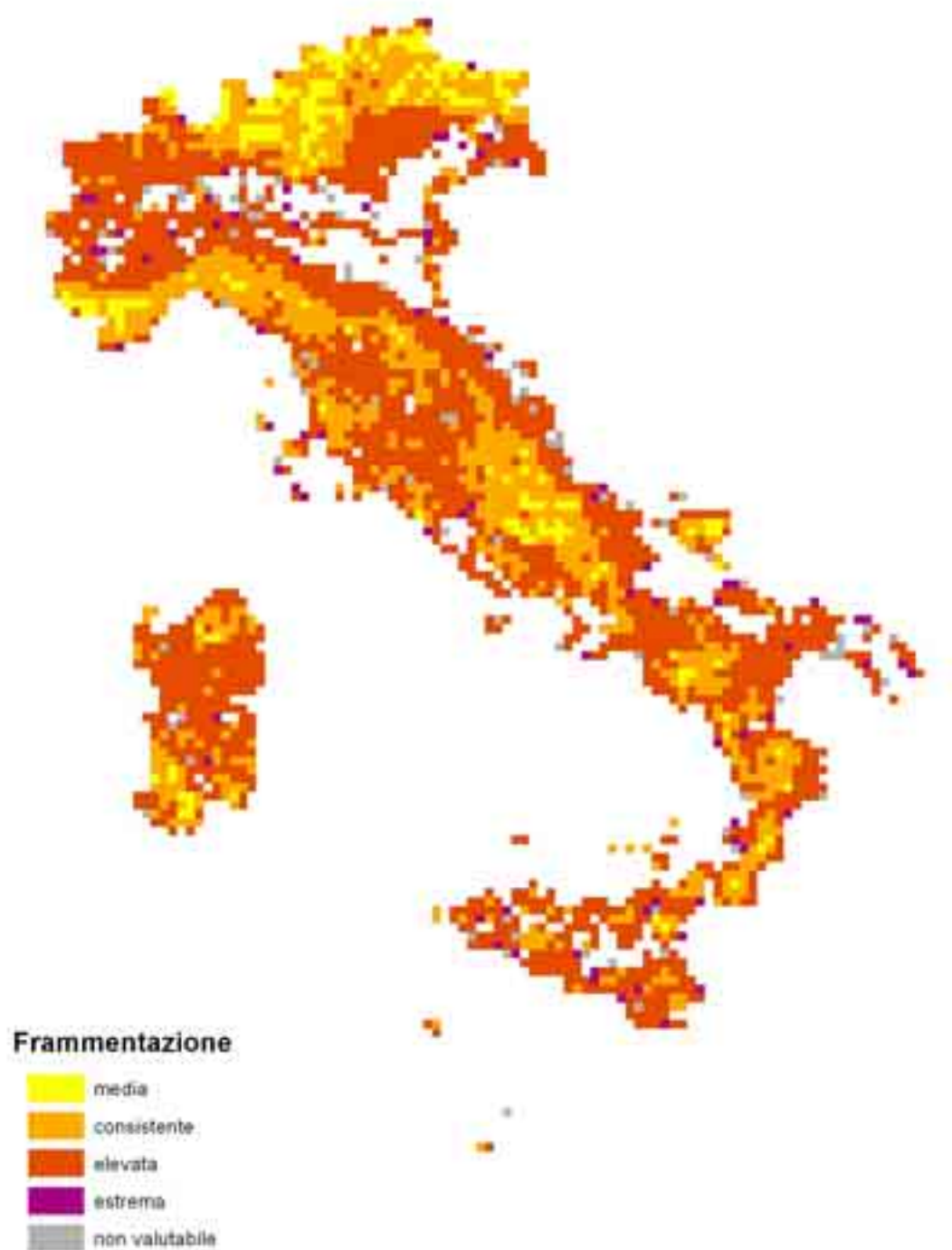
Il valore di 0,01 può essere raggiunto solo con finestre di analisi di 40 Km x 40 Km nelle quali le celle siano tutte sensibili e tutte connesse<sup>1</sup>. Quindi, alle scale di analisi utilizzate per questo studio, non è possibile avere finestre di analisi la cui frammentazione sia valutata come minima, facendo riferimento alla scala presentata nello studio guida. Valori dell'Indice che ricadano nella seconda classe (0,01 < IF < 0,1 frammentazione scarsa), invece, sono possibili solo con finestre di analisi di 20 Km x 20 km e di 25 Km x 25 Km.

Partendo da queste valutazioni e dall'osservazione dell'applicazione delle classi di frammentazione prima citate al territorio italiano (Fig.19), si è posta la questione se questa classificazione fosse adatta a rappresentare la frammentazione del territorio alle scale di analisi adottate.

Considerando i risultati dell'analisi condotta per finestre di 10Km x 10Km (nel lavoro guida l'analisi condotta su finestre di 25Km x 25Km viene giudicata, dagli Autori, troppo grossolana, quindi vengono condotte successive analisi con finestre 10Km x 10Km, 5Km x 5Km e 1Km x 1Km) si osserva che la maggior parte del territorio presenta un'elevata

---

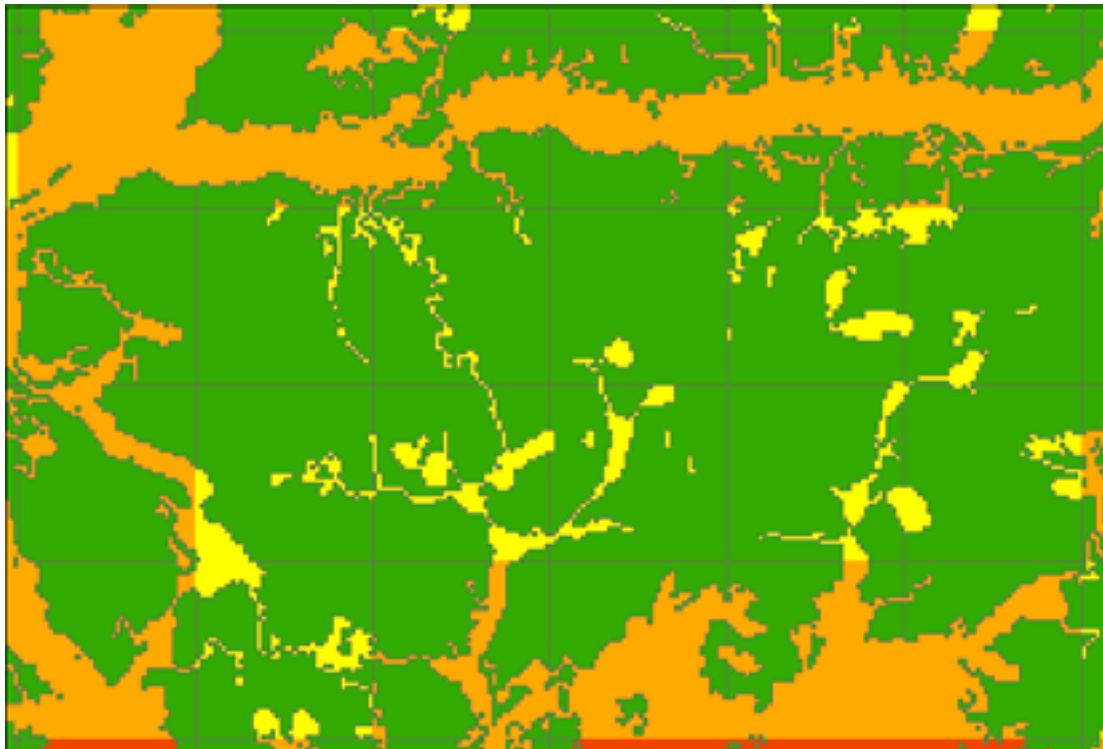
<sup>1</sup> Ponendo  $CC = CT$  e che le celle costituiscano un'unica regione (minima frammentazione), si avrà:  
 $CC/[(CT/1)/16] \times CT/16 = 0,01$   
 $CT = 16^2/0,01 = 25600$   
 $25600/16$  celle in un  $km^2 = 1600$   $km^2$  e  $40$   $km \times 40$   $Km = 1600$   $Km^2$



**Figura 19.** Mappa dell'indice di frammentazione ottenuta applicando le classi di frammentazione citate in Steemans e Pinborg (l.c.).



frammentazione delle aree naturali e semi-naturali, le aree delle Alpi e dell'Appennino appaiono essere consistentemente frammentate e solo il 6,86% del territorio risulta mediamente frammentato, mentre le classi di frammentazione minima e scarsa non possono essere presenti (il valore minimo dell'IF a questa scala di analisi è di 0,16). Mettendo a confronto le classi di frammentazione associate alle finestre e la distribuzione spaziale delle aree sensibili all'interno di queste, si nota come la classificazione usata non rifletta la reale situazione delle aree considerate sensibili. Vediamo, infatti, nella Figura 20 come finestre che ricadano quasi totalmente su aree sensibili connesse siano considerate come aree mediamente frammentate.



**Figura 20.** Particolare della mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta applicando le classi di frammentazione riportate nel lavoro di riferimento.

Si è, quindi, deciso di non mantenere le classi di frammentazione proposte, ritenendole non adatte alle scale di analisi adottate in questo studio. Conseguentemente si sono posti i problemi:

- utilizzare un'unica classificazione per tutte le scale di analisi o adottare una classificazione per ogni scala di analisi;
- che criteri seguire per costruire una nuova classificazione della frammentazione

Entrambe le problematiche non sono banali. In questa sede, quindi, vengono solo proposte delle soluzioni iniziali, rimandando a successivi approfondimenti soluzioni definitive.

Data l'influenza della scala di analisi si è deciso di applicare lo stesso metodo di classificazione alle diverse scale ma di dare intervalli diversi alle classi, proporzionali ai valori ottenibili alle diverse scale di analisi.

Per quanto riguarda la classificazione dei dati sono stati valutati i metodi usati più comunemente.

Classificare i dati vuol dire raggruppare oggetti simili in classi e assegnare lo stesso simbolo ad ogni membro della classe. Questo permette di mostrare con immediatezza la distribuzione dei dati.

I due fattori principali di uno schema di classificazione dei dati sono il numero di classi in cui questi devono essere organizzati e il metodo con cui vengono determinate le classi. Entrambi i fattori definiscono in quale classe ricadranno i dati, influenzando in modo significativo sull'aspetto della mappa che ne rappresenta la distribuzione.

Il numero di classi dipende dall'obiettivo dell'analisi. Le regole con le quali il dato è assegnato ad una classe possono rifarsi a schemi di classificazione standard o possono essere create appositamente per soddisfare un criterio specifico (ad esempio sulla base di valori significativi per l'analisi che si sta conducendo). I metodi standard con cui i dati possono essere assegnati alle diverse classi sono:

metodo delle classi di uguale ampiezza

metodo dei quantili

metodo dei natural breaks

metodo della deviazione standard

Il metodo delle classi di uguale ampiezza suddivide la distribuzione della variabile in intervalli di uguale ampiezza in base al numero di classi che si vuole utilizzare. Questo metodo in genere si usa per classificare delle distribuzioni omogenee di variabili. Una variante di questo metodo consiste nel definire non il numero di classi ma l'ampiezza dell'intervallo (*defined interval*).

Con il metodo dei *natural break* le classi vengono definite sulla base dei naturali raggruppamenti insiti nella distribuzione dei dati. I limiti delle classi vengono posti dove

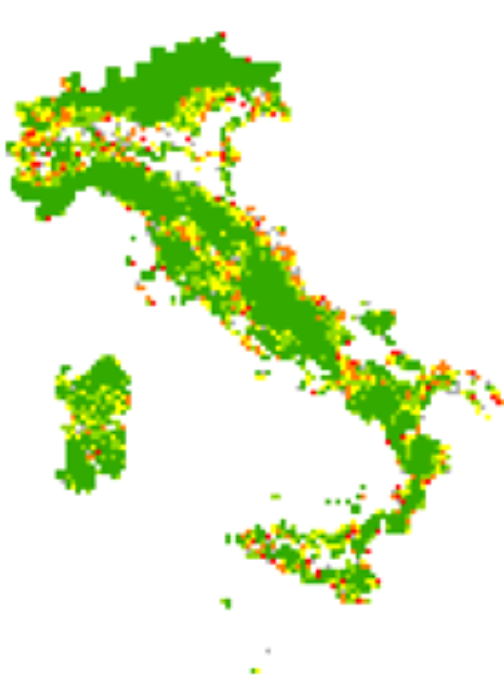
vi siano salti relativamente grandi nella distribuzione dei dati in modo che all'interno della classe si abbiano valori il più simili possibile.

Il metodo dei Quantili (detto anche della equinumerosità delle osservazioni) crea delle classi di ampiezza variabile tali da contenere lo stesso numero di oggetti; per cui creerà classi di ampiezza minore in corrispondenza dei valori più rappresentati e classi di ampiezza maggiore dove i valori sono meno rappresentati. Questo metodo permette di evidenziare le differenze presenti nell'ambito dei valori che sono più rappresentati.

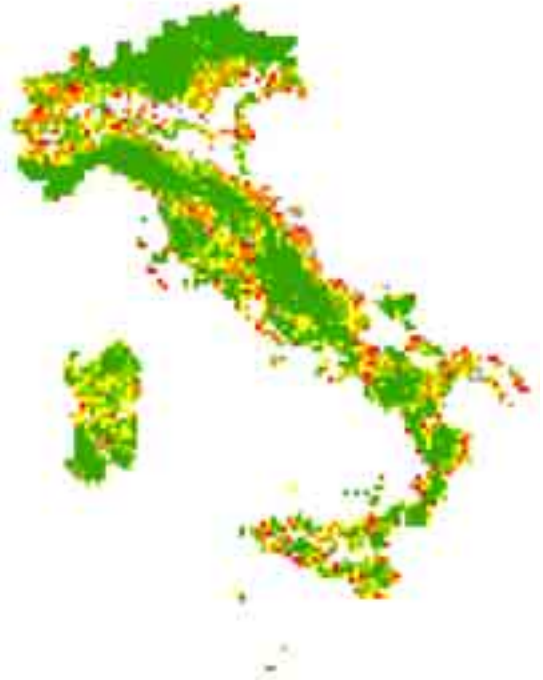
Il metodo della deviazione standard crea le classi facendo la media della distribuzione, sottraendo e aggiungendo multipli della deviazione standard. Questo metodo presuppone che la distribuzione dei valori sia uniformemente distribuita.

La scelta del metodo di classificazione dei dati è stata effettuata valutando l'andamento della distribuzione dei valori dell'indice e come l'applicazione dei diversi metodi di classificazione si prestasse a rappresentare la variabilità delle situazioni presenti.

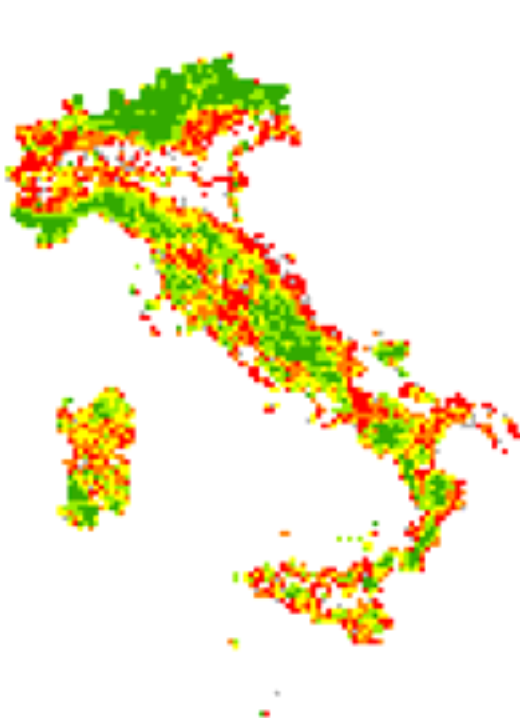
Applicando i diversi metodi di classificazione ai dati, ottenuti dall'analisi effettuata su finestre di 10 Km x 10 Km, è stato osservato come il metodo utilizzato influisse sulla rappresentazione dei valori di frammentazione (fig. 21) e si è cercato di valutare quale di questi metodi fosse il più adatto a rappresentare le diverse situazioni presenti sul territorio sovrapponendo alla scala di colori che rappresenta le classi di frammentazione le aree sensibili di cui è stata stimata la frammentazione.



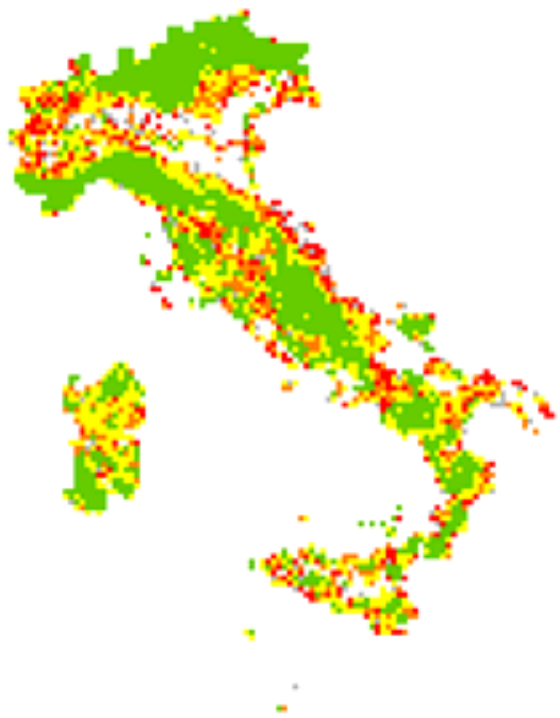
Metodo degli intervalli uguali (5 classi)



Metodo dei natural breaks (5 classi)



Metodo dei quantili (5 classi)

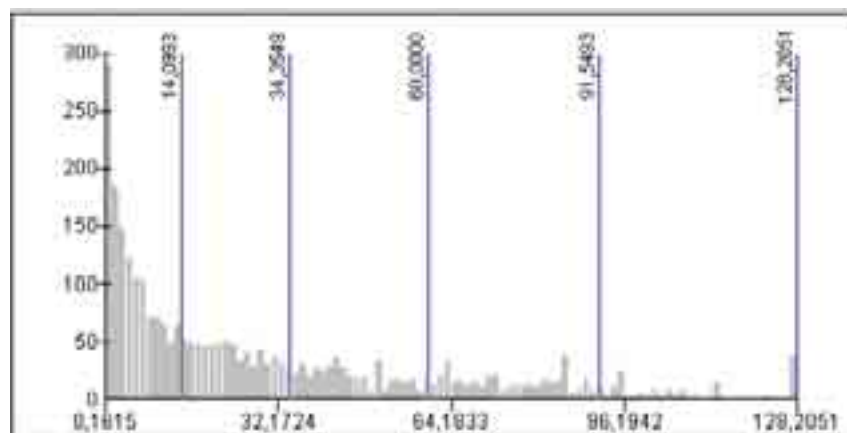


Metodo della deviazione standard (4 classi)

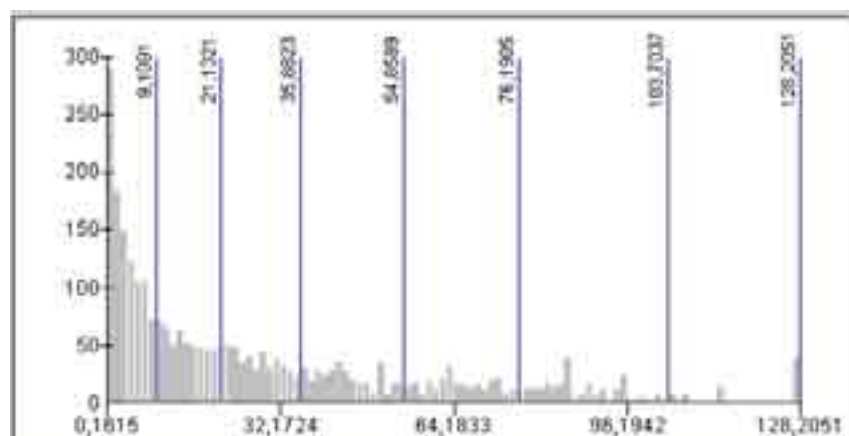
**Figura 21.** Applicazione di diversi metodi di classificazione ai valori dell'Indice di frammentazione ottenuto dall'analisi condotta con finestre di 10 Km x 10 Km.

Il **metodo delle classi di uguale ampiezza**, data la forte disomogeneità della nostra distribuzione, non sembra essere il criterio più adatto per classificare i dati ottenuti.

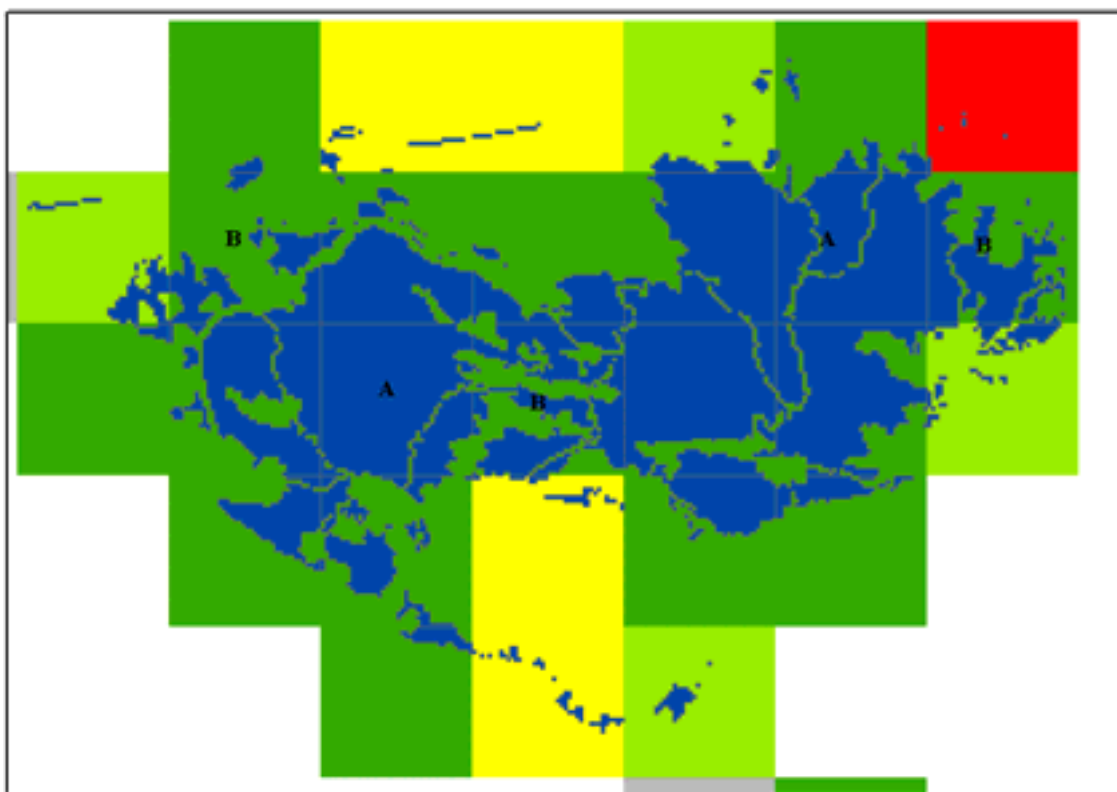
Il **metodo dei *natural break***, per via del criterio che utilizza nella definizione delle classi, sarebbe forse il più adatto per la rappresentazione del variare dei fenomeni. Osservando, però, il diagramma della distribuzione (Figure 22 e 23) dei dati e un particolare, relativo all'area del Gargano, della mappa risultante (Figure 24 e 25), si nota che la prima classe (sia utilizzando 5, che 7 classi) è molto ampia e raggruppa situazioni molto diverse.



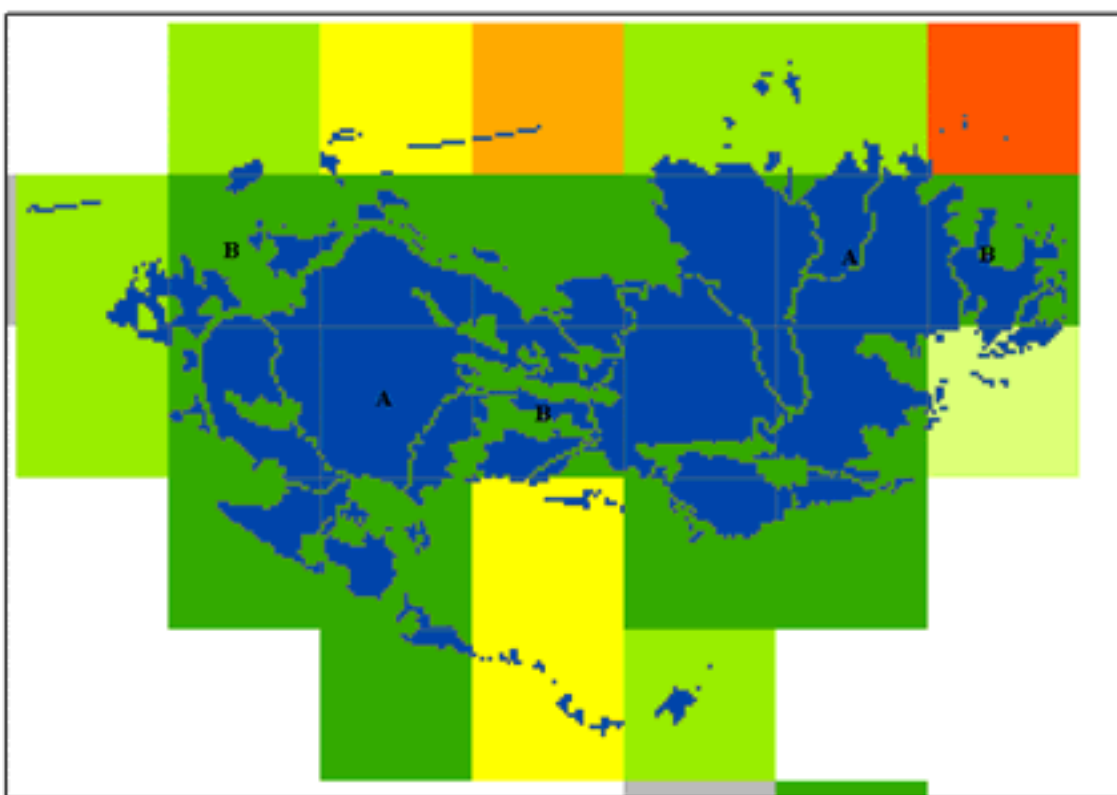
**Figura 22.** Classificazione con metodo Natural breaks a 5 classi



**Figura 23.** Classificazione con metodo Natural breaks a 7 classi



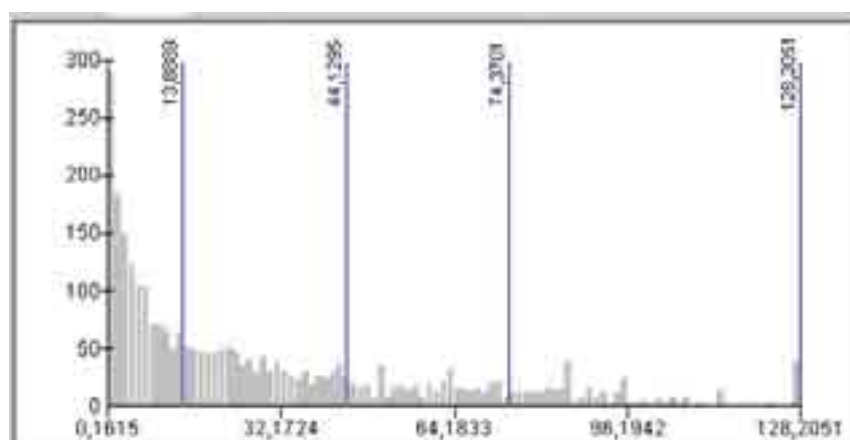
**Figura 24.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo dei Natural breaks a 5 classi.



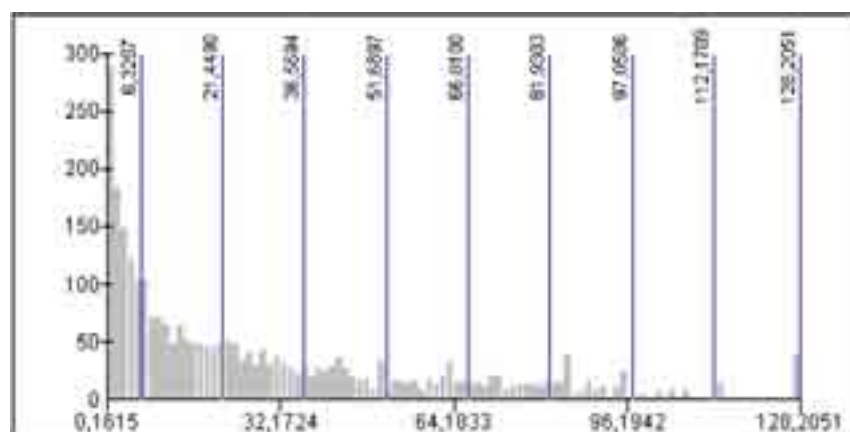
**Figura 25.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo dei Natural breaks a 7 classi.

E' possibile osservare, infatti, come le finestre dove la frammentazione è minima (A), ricadano nella stessa classe di finestre in cui la frammentazione è evidentemente molto diversa (B) in entrambi i casi.

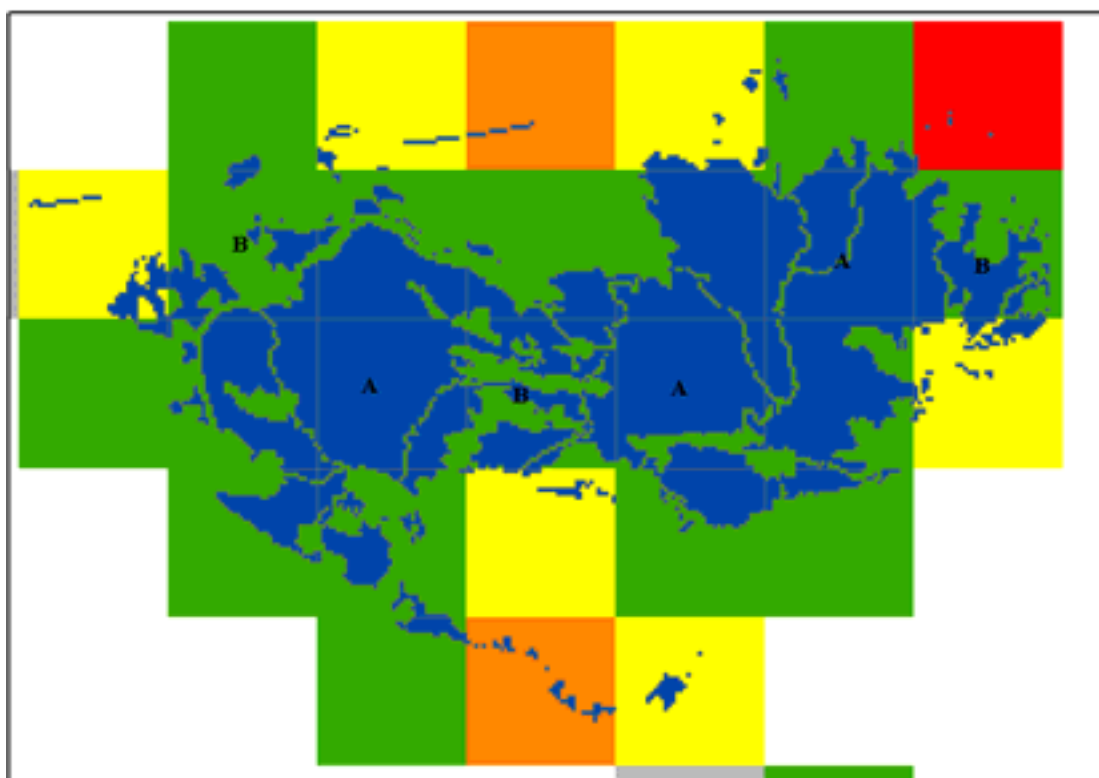
Anche il **metodo della deviazione standard**, presupponendo che i valori siano uniformemente distribuiti, non sembra adattarsi bene a rappresentare i valori dell'Indice di Frammentazione. L'osservazione delle distribuzioni e delle mappe, anche in questo caso non differenzia situazioni notevolmente diverse considerando l deviazione standard come misura per l'intervallo; considerando  $\frac{1}{2}$  di deviazione standard le classi diventano molte e la mappa diviene poco leggibile, pur non differenziando i vari casi.



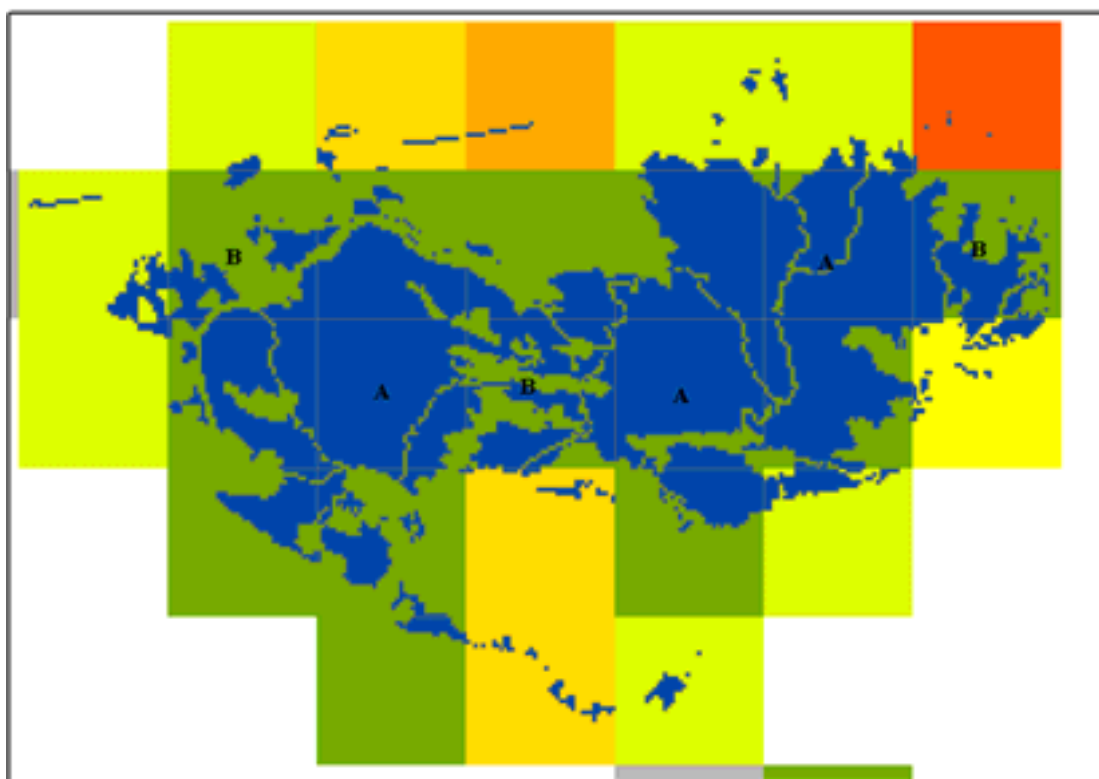
**Figura 26.** Classificazione ottenuta con il metodo della deviazione standard, utilizzando come intervallo per la creazione delle classi 1 deviazione standard.



**Figura 27.** Classificazione ottenuta con il metodo della deviazione standard, utilizzando come intervallo per la creazione delle classi  $\frac{1}{2}$  di deviazione standard.



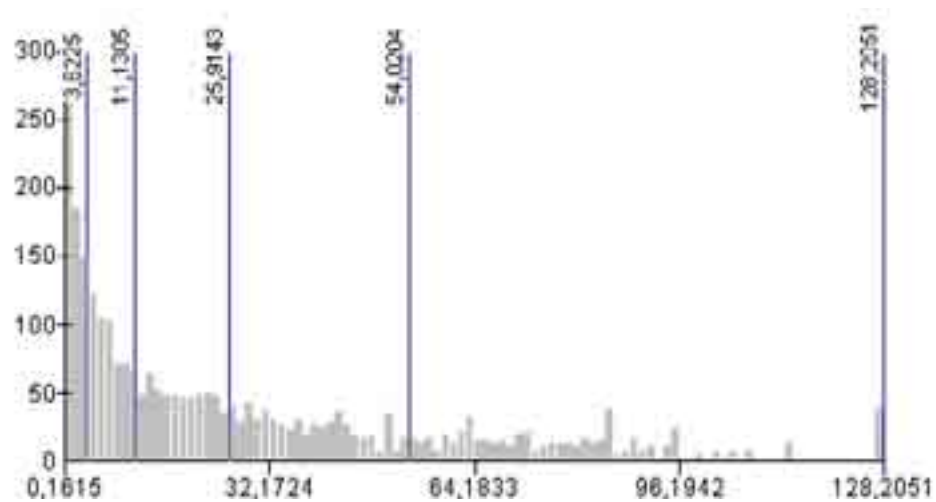
**Figura 28.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo della deviazione standard con la misura dell'intervallo basata su 1 deviazione standard.



**Figura 29.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo della deviazione standard con la misura dell'intervallo basata su 1/2 di deviazione standard.

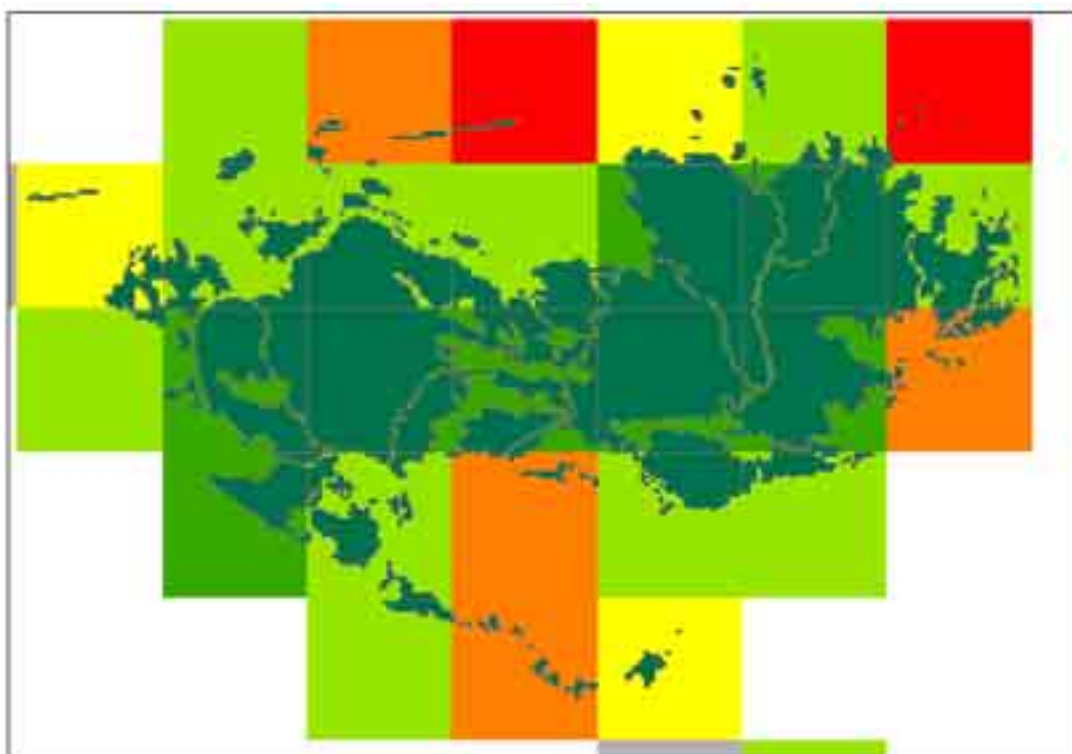


La classificazione effettuata con il **metodo dei quantili**, permettendo di evidenziare le differenze presenti nell'ambito dei valori che sono più rappresentati, che nel nostro caso corrispondono alle finestre più ricche di aree naturali e semi-naturali, sembra adattarsi meglio a rappresentare il diverso grado di frammentazione delle aree sensibili.



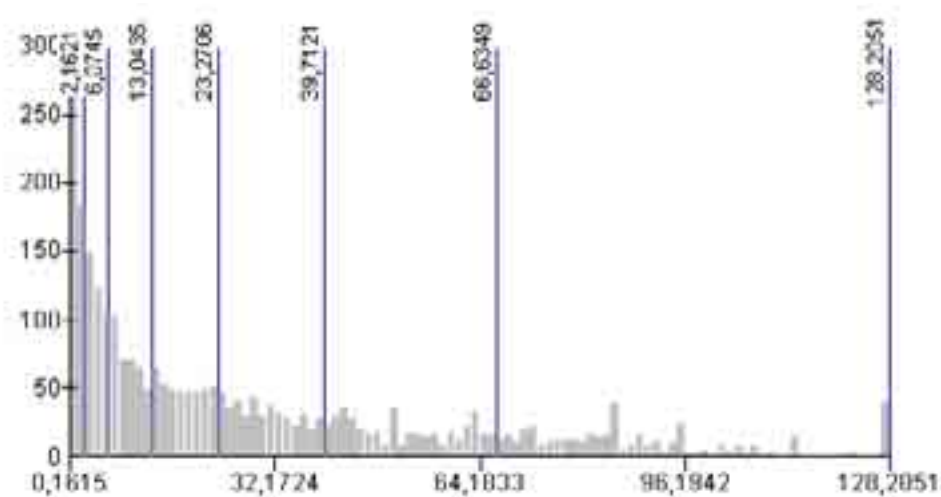
**Figura 30.** Classificazione ottenuta con il metodo dei quantili a 5 classi.

Nella mappa in figura 31 si osserva come le aree diversamente frammentate, che con le metodologie di classificazione esaminate precedentemente ricadevano tutte all'interno della stessa classe di frammentazione, ricadano, almeno in parte, in classi differenti. Permettendo di distinguere le finestre dove è presente una consistente porzione di aree sensibili in scarsamente e moderatamente frammentate.



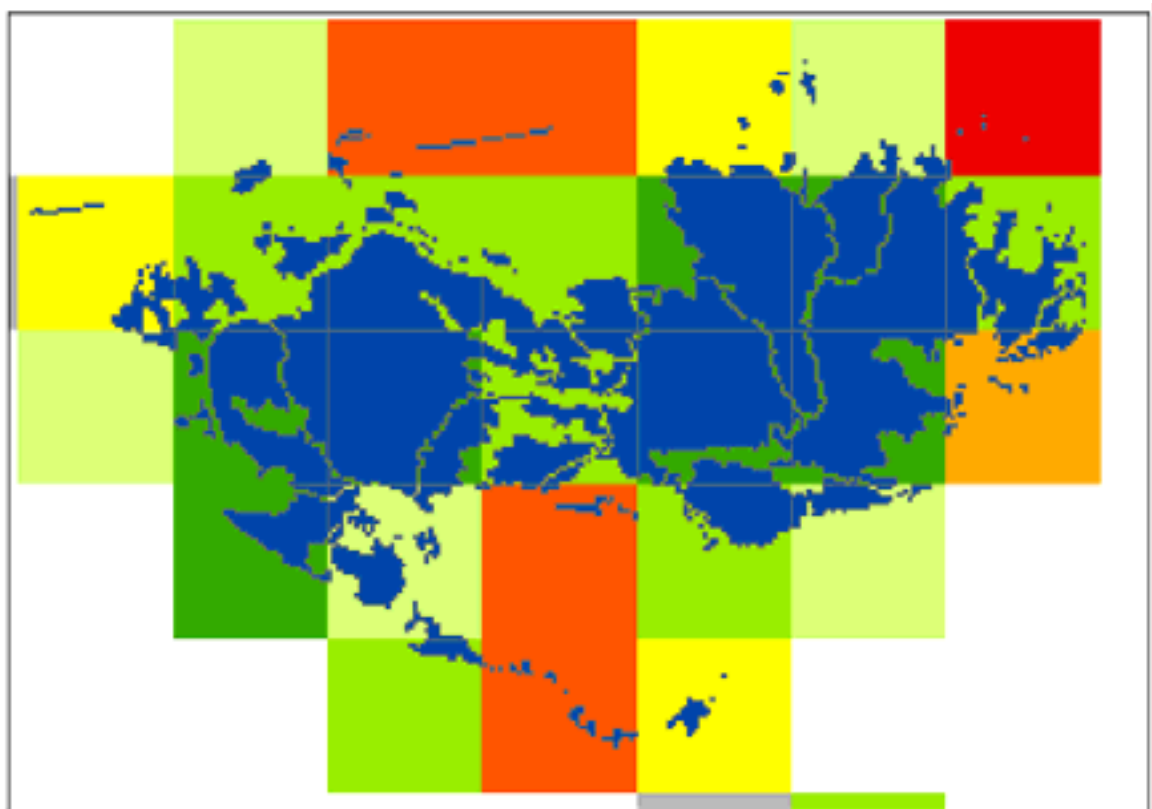
**Figura 31.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo dei quantili, a 5 classi.

Applicando il metodo di classificazione dei quantili e ponendo di individuare 7 classi, si ottiene una ancora maggiore suddivisione in classi diverse delle zone più ricche di aree sensibili.



**Figura 32.** Classificazione ottenuta con il metodo dei quantili con 7 classi.

Ottenendo una descrizione della frammentazione delle aree naturali e semi-naturali più aderente alla varietà di condizioni presenti nel territorio.



**Figura 33.** Mappa dell'Indice di Frammentazione ottenuta con il metodo dei quantili a 7 classi.

## 6. Conclusioni

Con questo lavoro il metodo e l'indice proposti nello studio pilota, che costituisce il contributo della EEA al progetto *“From Land Cover to Landscape diversity in the European Union”* volto a valutare le potenzialità e i limiti dei dati CLC nello sviluppo di vari indicatori del Paesaggio, fra cui la frammentazione, sono stati applicati al territorio italiano tramite metodi di analisi spaziale in ambito GIS e sono state commentate le problematiche affrontate durante l'esecuzione dell'analisi.

Data la metodologia generale di riferimento, è stata individuata la metodologia tecnica per il calcolo dell'Indice a scala nazionale.

Sono state realizzate sei mappe rappresentanti il grado di frammentazione delle aree naturali e semi-naturali del territorio italiano, a diverse scale di analisi, realizzando uno strumento di valutazione utile per la lettura del territorio e una base per lo sviluppo di ulteriori analisi.

È stato valutato l'impiego di dati CLC al terzo livello per un'analisi di questo tipo, ritenendoli una valida base di partenza per analisi condotte a scala nazionale.

Riguardo al metodo e all'Indice applicati sono stati individuati alcuni aspetti di questi di cui è necessario tenere conto nella fase di impostazione del lavoro e soprattutto nella fase di lettura dei dati ottenuti. Quali:

- \* i parametri usati nella determinazione delle aree sensibili indisturbate, aspetto che potrebbe essere oggetto di ulteriori approfondimenti con il fine di realizzare analisi sempre più rispondenti allo stato reale delle aree naturali e semi-naturali del territorio;
- \* l'esistenza di finestre non valutabili;
- \* l'influenza della dimensione della finestra di analisi sulle valutazioni date dall'indice;
- \* l'influenza della direzione di analisi, fattore che per i limiti imposti a questo lavoro non è stato ulteriormente indagato ma che influisce sui risultati delle analisi condotte con questo metodo;

- \* la metodologia di classificazione dei dati che, in base al numero di classi e al metodo scelti, ha una forte influenza, sulla rappresentazione de dati ottenuti dall'analisi.

Le mappe prodotte in questo lavoro sono state inserite nel Modulo di Accesso alle Informazioni Spaziali SINAnet rendendole disponibili agli utenti del sistema, che è stato così alimentato con nuovi contenuti informativi.

Infine, vengono indicati come punti di una possibile ulteriore indagine i parametri per individuare le aree sensibili indisturbate e le problematiche relative alla scala di analisi e ad un metodo di classificazione dei dati più adatti a specifiche finalità e alle caratteristiche del territorio.

## Letteratura citata

- APAT (Agenzia Protezione Ambiente e per i Servizi Tecnici), 2005 – “*La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000.*”, Rapporti 61, 86 pp.
- 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, 246 pp.
- BOGAERT J., 2005 – “*Metriche del paesaggio: definizioni e utilizzo*”. *Estimo e Territorio* 9: 8-14.
- BOGAERT J., SALVADOR - VAN EYSENRODE D., VAN HECKE P., IMPENS I, 2000 – “*Geometrical consideration for evaluation of reserve design*”. *Web Ecology* 2: 65-70.
- DODSON S., ALLEN T. , CARPENTER S., IVES A., JEANNE R., KITCHELL J., LANGSTON, TURNER M. G., 2000 - *Ecologia*. Zanichelli, Bologna 440 pp.
- FARINA A., 2001 – “*Ecologia del Paesaggio. Principi, metodi e applicazioni*”. UTET, Torino, 673 pp.
- FORMAN R.T.T., 1995 – “*Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*”. Cambridge University Press. United Kingdom.
- FORMAN R.T.T., 2000 – “*Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States*”. *Conserv. Biol.*, 14: 31-35.
- FORMAN R.T.T., GODRON M., 1986 – *Landscape Ecology*. John Wiley, New York.
- LI H., WU J., 2004 – “*Use and misuse of landscape indices*”. *Landscape ecology* 19: 389-399.
- MACARTHUR R. H. E WILSON E.O., 1967 – “ *The theory of island biogeography*”. Princeton Univ. Press, Princeton.
- SAUNDERS D.A., HOBBS R.J., MARGULES C.R., 1991 – “*Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review*”. *Conserv. Biol.*, 5: 18-32.
- STEENMANS C., PINBORG U.,- “*Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas*”. <http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/index.htm>, 12-2005.

WU J., SHEN W. SUN W., TUELLER P. T., 2002 – “ *Empirical pattern of the effects of changing scale on the landscape metrics*”. Landscape Ecology 17: 761-782.