



Università degli studi di Roma “*La Sapienza*”



“L'impiego dei dati di uso del suolo del progetto *Corine Land Cover* per analisi ambientali e per la valutazione delle strutture del paesaggio a scala nazionale.”

Candidata:

dott.ssa Roberta Mercuri

Tutor Interno

prof.ssa M. Ioannilli

Tutor Esterno

ing. Michele Munafò (APAT)

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	CONTESTO DI RIFERIMENTO	4
1.2	INDICATORI AMBIENTALI A LIVELLO COMUNITARIO	4
1.3	INDICATORI AMBIENTALI PER APAT	4
1.4	DATI DI INPUT.	5
2	FINALITÀ DELLO STUDIO	8
3	METODOLOGIA	9
3.1	INDICATORI AMBIENTALI	11
3.2	FLUSSI DI ELABORAZIONE	13
3.3	ELABORAZIONI SU BASE DATI VETTORIALE (SCHEMA 1.)	16
3.3.1	<i>OPERAZIONI PRELIMINARI.</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>ELABORAZIONI IN AMBIENTE GIS.</i>	<i>16</i>
3.3.3	<i>ELABORAZIONI MATEMATICHE.</i>	<i>19</i>
3.4	ELABORAZIONI SU BASE DATI RASTER E FINASTRA MOBILE (SCHEMA 2.)	22
3.4.1	<i>ELABORAZIONI IN AMBIENTE GIS.</i>	<i>22</i>
3.4.2	<i>ELABORAZIONI MATEMATICHE.</i>	<i>24</i>
3.5	MAPPE DEGLI INDICATORI.	28
4	RISULTATI	30
4.1	VECTOR	29
4.1.1	<i>ED (EDGE DENSITY)</i>	<i>30</i>
4.1.2	<i>SDHI (SHANNON'S DIVERSITY INDEX)</i>	<i>33</i>
4.2	RASTER	35
4.2.1	<i>ED (EDGE DENSITY)</i>	<i>36</i>
4.2.2	<i>SDHI (SHANNON'S DIVERSITÀ INDEX)</i>	<i>39</i>
4.3	FINESTRA MOBILE	41
4.3.1	<i>ED (EDGE DENSITY)</i>	<i>42</i>
4.3.2	<i>SDHI (SHANNON'S DIVERSITÀ INDEX)</i>	<i>47</i>

5	DISCUSSIONE	53
5.1	CONFRONTO TRA VECTOR E RASTER.	53
5.2	CONFRONTO FRA DUE APPROCCI NELLA SCELTA DELLE UNITÀ SPAZIALI DI RIFERIMENTO: REGIONI VS FINESTRA MOBILE.	56
6	CONCLUSIONI	56
7	DEFINIZIONI, ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	58
8	BIBLIOGRAFIA	59

1 INTRODUZIONE

1.1 Contesto di riferimento

Il presente lavoro è il risultato di uno stage effettuato in APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici) presso il dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale, e si inquadra nel progetto Image and CORINE Land Cover 2000 (I&CLC2000) per il quale APAT è National Authority per l'Italia.

Il progetto è un'iniziativa congiunta dell'Agenzia Europea dell'Ambiente e della Commissione Europea che ha interessato 26 paesi e ha previsto l'aggiornamento del database CORINE Land Cover con una rappresentazione all'anno 2000.

L'iniziativa è stata cofinanziata dai paesi partecipanti e dalla Commissione Europea. Per ogni paese è stata identificata una National Authority che ha provveduto alla realizzazione del progetto e alla diffusione dei prodotti. (www.clc2000.sinanet.apat.it [1]).

1.2 Indicatori ambientali a livello Comunitario

Il Consiglio Europeo a Cardiff nel 1998 sollecitò lo sviluppo di strategie per l'integrazione ambientale e lo sviluppo sostenibile tra i diversi paesi comunitari, e invitò fra gli altri il Consiglio dell'agricoltura a dar vita a tale processo nell'ottica di produrre delle informazioni che fossero omogenee e confrontabili a livello europeo.

Fu inoltre richiesto alla Commissione Europea di redigere un rapporto sugli indicatori ambientali ed in particolare su quelli agro – ambientali.

La Commissione ha recentemente riconfermato il suo interesse per lo sviluppo di indicatori agro-ambientali ritenendoli particolarmente importanti per migliorare la trasparenza e la sicurezza nelle procedure di monitoraggio, controllo e valutazione, poiché tali indicatori possono fornire un'accurata fotografia delle relazioni tra le attività umane e l'ambiente, risultando particolarmente utili nel caso di relazioni estremamente complesse come quelle tra l'agricoltura e l'uomo (www.europa.eu.int [1]).

Per l'*Organization for Economic, Cooperation and Development* (OECD) un indicatore è un parametro, o un valore derivato da parametri, che fornisce informazioni sullo stato di un fenomeno, un ambito o un'area, con un significato che va oltre ciò che è direttamente associato al valore misurato od osservato (OECD 1997).

Un indicatore è una descrizione precisa ed oggettivamente verificabile dell'andamento di un fenomeno con un significato che va oltre ciò che è direttamente associato al valore e ne costituisce interpretazione.

Un indicatore è costruito sulla base di un insieme di parametri (indici), ovvero di proprietà misurabili o osservabili, o indicatori aggregati da cui si ottengono gli indicatori.

Un indicatore traduce quindi dati e statistiche in un'informazione che può essere facilmente compresa da scienziati, politici, amministratori e cittadini. Gli indicatori ambientali sono uno strumento sintetico di informazioni che permette di rappresentare lo stato dell'ambiente e le principali cause di pressione sullo stesso; essi consentono, quindi, di rappresentare la realtà nel suo evolversi, di pianificare politiche ambientali e programmi di intervento, di allocare risorse, di definire priorità o di valutare se gli interventi correttivi eventualmente eseguiti abbiano prodotto effetti positivi. Attraverso gli indicatori è possibile diffondere informazioni di immediata comprensibilità, finalizzate ad operare un maggiore coinvolgimento e responsabilizzazione degli operatori e dei cittadini verso le problematiche ambientali (Munafò. M.; 2005).

L'utilizzo degli indicatori come strumento di supporto delle politiche e di rappresentazione sintetica è ormai oggetto di elaborazioni e decisioni importanti assunte da organismi internazionali ed europei:

“È necessario sviluppare indicatori di sviluppo sostenibile per fornire solide basi ai processi decisionali a tutti i livelli e per contribuire a promuovere capacità di autoregolazione in senso sostenibile dei sistemi economici e ambientali” (United Nations Rio de Janeiro; 1992).

1.3 Indicatori ambientali per APAT

La struttura del paesaggio è legata agli elementi del paesaggio stesso, che possono essere descritti e catalogati sotto differenti aspetti: come biotipi, habitat o aggregazione degli stessi o classi di copertura del suolo. Ogni copertura del suolo è il risultato dell'interazione dell'uomo sulla natura nel tempo e nei diversi periodi storici. Nello studio del paesaggio possiamo andare ad indagarne la composizione come numero di patches (ricchezza) e relativa abbondanza di ogni classe, o la configurazione spaziale come posizione e disposizione spaziale di ogni patches all'interno di una classe o del paesaggio (McGarigal et al.; 1994).

Il mosaico spaziale degli elementi determina la fisionomia del paesaggio e la percezione che ne ha l'uomo, così come il tipo di elementi, il numero e la loro distribuzione spaziale influenzano le funzioni ecologiche (Turner, 1989; Turner et al., 1991).

APAT in veste di National Authority per l'Italia ha deciso di applicare al territorio italiano alcuni degli indicatori sviluppati sulla base del lavoro svolto fra l'OECD, dal Consiglio Generale dell'Agricoltura, Eurostat, EEA e JRC.

Nella scelta delle metodologie da utilizzare APAT ha fatto riferimento ad alcuni tra i lavori considerati più rappresentativi a livello europeo dagli inventori del Corine Land Cover, lavori che focalizzano l'attenzione su tre aspetti fondamentali (www.europa.eu.int [1]):

- Frammentazione;
- Diversità/eterogeneità;
- Organizzazione e composizione spaziale.

Gli indicatori applicati al territorio italiano sono:

- *Edge Density(ED) or Perimeter/Area (PAR)*;
- *Shannon's Diversity Index (SDHI)*.

1.4 Dati di input.

Lo studio effettuato prevede l'analisi dei dati di copertura del suolo del Corine Land Cover del 1990 e del 2000.

Dal 1985 al 1990 la Commissione Europea sviluppò il Programma CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) con il fine di creare un sistema di informazioni omogenee sullo stato dell'ambiente europeo (CORINE system).

Il Programma CORINE prevede la raccolta di dati geografici di base (coste, industrie, limiti amministrativi nazionali ecc.) e l'analisi dei principali parametri ambientali quali emissioni in atmosfera (Corinair), copertura ed uso del suolo (CORINE Land Cover), la definizione e l'estensione degli ambienti naturali (CORINE Biotopes) e la mappatura dei rischi di erosione del suolo (CORINE Erosion) (www.clc2000.sinanet.apat.it [2]).

Il CORINE Land Cover (CLC) è un database geografico di dati riguardati copertura ed uso del suolo dei paesi aderenti al progetto (attualmente 31 Paesi compresi alcuni del nord africa).

La prima versione del CLC fu prodotta negli anni 90' e successivamente aggiornata attraverso la realizzazione del progetto I&CL2000, lanciato per l'aggiornamento dei dati dalla Commissione Europea e dall'AEA.

Il progetto prevede la realizzazione di una cartografia della copertura del suolo alla scala 1:100.000 con una legenda di 44 classi organizzate gerarchicamente in 3 livelli (Tabella. 1), 5 classi per il primo livello, 15 per il secondo e 44 per il terzo.

L'elaborazione del CLC si basa sulla foto interpretazione da immagini satellitari a cui si aggiungono foto aeree, carte topografiche e vegetazionali, statistiche e leggi locali che hanno permesso una maggiore accuratezza nell'assegnazione delle parti territoriali alle varie classi.

Il database è stato realizzato sia in formato vettoriale che raster, ed il grid è stato fatto in due diverse risoluzioni: celle da 100 m e celle da 250m .

Alle coperture Corine land Cover è stata riconosciuta a livello europeo la funzione di strumenti di base per la definizione di politiche territoriali da parte di differenti servizi della Commissione Europea quali DG - Ambiente (DG Environment), DG Agricoltura (DG Agriculture), DG - Politiche Regionali (DG - Regional policy), oltre all'AEA e ai Centri Tematici Europei (European Topic Centres – ETCs) (www.europa.eu.int [2]).

Level 1	Level 2	Level 3
1. Artificial surfaces	1.1 Urban fabric	1.1.1 Continuous urban fabric
		1.1.2 Discontinuous urban fabric
	1.2 Industrial, commercial and transport units	1.2.1 Industrial or commercial units
		1.2.2 Road and rail networks and associated land
		1.2.3 Port areas
		1.2.4 Airports
	1.3 Mine, dump and construction sites	1.3.1 Mineral extraction sites
		1.3.2 Dump sites
		1.3.3 Construction sites
	1.4 Artificial non-agricultural vegetated areas	1.4.1 Green urban areas
		1.4.2 Sport and leisure facilities
	2. Agricultural areas	2.1 Arable land
2.1.2 Permanently irrigated land		
2.1.3 Rice fields		
2.2 Permanent crops		2.2.1 Vineyards
		2.2.2 Fruit trees and berry plantations
		2.2.3 Olive groves
2.3 Pastures		2.3.1 Pastures
2.4 Heterogeneous agricultural areas		2.4.1 Annual crops associated with permanent crops
		2.4.2 Complex cultivation patterns
		2.4.3 Land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation
		2.4.4 Agro-forestry areas
3. Forests and semi-natural areas		3.1 Forests
	3.1.2 Coniferous forest	
	3.1.3 Mixed forest	
	3.2 Shrub and/or herbaceous vegetation associations	3.2.1 Natural grassland
		3.2.2 Moors and heathland
		3.2.3 Sclerophyllous vegetation
		3.2.4 Transitional woodland scrub
	3.3 Open spaces with little or no vegetation	3.3.1 Beaches, dunes, sand plains
		3.3.2 Bare rock
		3.3.3 Sparsely vegetated areas
		3.3.4 Burnt areas
		3.3.5 Glaciers and perpetual snow
4. Wetlands	4.1 Inland wetlands	4.1.1 Inland marshes
		4.1.2 Peat bogs
	4.2 Coastal wetlands	4.2.1 Salt marshes
		4.2.2 Salines
		4.2.3 Intertidal flats
5. Water bodies	5.1 Continental waters	5.1.1 Water courses
		5.1.2 Water bodies
	5.2 Marine waters	5.2.1 Coastal lagoons
		5.2.2 Estuaries
		5.2.3 Sea and ocean

Tabella 1 – Nomenclatura del Corine Land Cover

2 FINALITÀ DELLO STUDIO

Uno scopo del presente lavoro è applicare al territorio italiano due indicatori ambientali, utilizzando come strato informativo di base il Corine Land Cover del 1990 e del 2000 al fine di evidenziare, dove presenti, eventuali cambiamenti e trasformazioni del paesaggio.

Lo studio sviluppato assume, dal punto di vista metodologico, le formulazioni che di tali indicatori vengono fornite da APAT, concentrandosi in particolare sulla sperimentazione di diverse metodi tecnici di calcolo degli indicatori ambientali.

Dal punto di vista degli indicatori, la sperimentazione dei diversi metodi ha lo scopo di verificare e misurare la differenza derivabile dalla implementazione dei metodi stessi ed eventualmente di mettere in evidenza eventuali incongruenze direttamente incidenti sulla significatività degli indicatori ambientali.

A questo scopo si è proceduto operando su dati vettoriali, utilizzando come unità di riferimento spaziale le regioni italiane, ricalcolando quindi poi gli stessi indicatori su dati raster.

Le due misurazioni sono state quindi confrontate: dapprima sono state usate delle unità di riferimento spaziale predeterminate come le regioni italiane, poi gli indicatori sono stati calcolati riferendosi ad una finestra mobile a maglia quadrata di 10 km di lato, che permette di rilevare le variazioni locali del territorio e i valori ottenuti sono stati messi a confronto per rilevare eventuali significative differenze.

3 METODOLOGIA

Nella realizzazione dell'elaborato è stato fatto riferimento alle procedure indicate nel lavoro europeo “*From land cover to landscape diversity in the European Union*” (www.europa.eu.int, [3]), pubblicazione che raccoglie i lavori ritenuti più rappresentativi dagli inventori del Corine Land Cover e rappresenta il risultato della collaborazione tra tre servizi della Commissione Europea – DG AGRI, EUROSTAT, Joint Research Centre – e l’EEA (*European Environment Agency*).

Lo studio effettuato prevede l’analisi dei dati di copertura del suolo presenti nel Corine Land Cover del 1990 e del 2000.

Le elaborazioni sono state effettuate con strumenti GIS (Arc Gis 9), mentre per il calcolo degli indicatori si è ricorso ad analisi matematiche realizzate attraverso delle *Query* con il programma *Microsoft Access*.

Le operazioni sono state eseguite riferendosi alla griglia del CLC a 100 metri, ed è stata effettuata una riclassificazione delle 44 classi a 9 (tab. 2), al fine di compensare il peso delle classi eterogenee (es. classe 2.4 della tab. 1).

code	CLC (level 2)	code	Aggregation
1.1	Urban fabric	1	Artificial surfaces
1.2	Industrial, commercial and transport units		
1.3	Mine, dump and construction sites		
1.4	Artificial, non-agricultural vegetated areas		
2.1	Arable land	2	Arable land
2.2	Permanent crops	3	Permanent crops
2.3	Pastures	4	Pastures
2.4	Heterogeneous agricultural areas	5	Heterogeneous agricultural areas
3.1	Forests	6	Forests
3.3	Open spaces with little or no vegetation	7	Mineral surfaces
3.2	Shrub and/or herbaceous vegetation associations	8	Natural vegetation
4.1	Inland wetlands		
4.2	Coastal wetlands		
5.1	Continental waters	9	Water bodies
5.2	Marine waters		

Tab.2 – Riclassificazione del CLC a 9 classi.

Le analisi sono state condotte utilizzando due diverse metodologie:

1. elaborazioni su dati di tipo vettoriale;
2. elaborazioni su dati di tipo raster.

Il calcolo degli indicatori ambientali è stato effettuato utilizzando diverse unità spaziali di riferimento.

La scelta di adeguate unità, infatti, ha una sostanziale influenza sul risultato perché determina largamente l'interpretabilità e la significatività degli indicatori (Eiden. G. et . al., 2000).

Con lo scopo di valutare come diverse unità di analisi condizionino i risultati dello studio sono stati adottati due diversi approcci:

1. analisi condotta in riferimento a unità spaziali predeterminate (limiti amministrativi delle regioni italiane);
2. analisi a finestra mobile.

Nella scelta della grandezza della finestra da utilizzare bisogna tenere presente che a dimensioni maggiori corrispondono dei risultati più generalizzati mentre diminuendo la superficie aumenta la probabilità di ottenere un'informazione regionale più specifica e dettagliata (Eiden. G. et . al., 2000). Nel nostro caso è stata scelta una finestra quadrata di 10 Km di lato, dimensione che ci permette di dare una sguardo accurato alle eventuali diversità e particolarità territoriali presenti.

3.1 Indicatori Ambientali

Sono stati calcolati i seguenti indicatori ambientali:

- *Edge Density(ED) or Perimeter/Area (PAR)*;
- *Shannon's Diversity Index (SDHI)*.

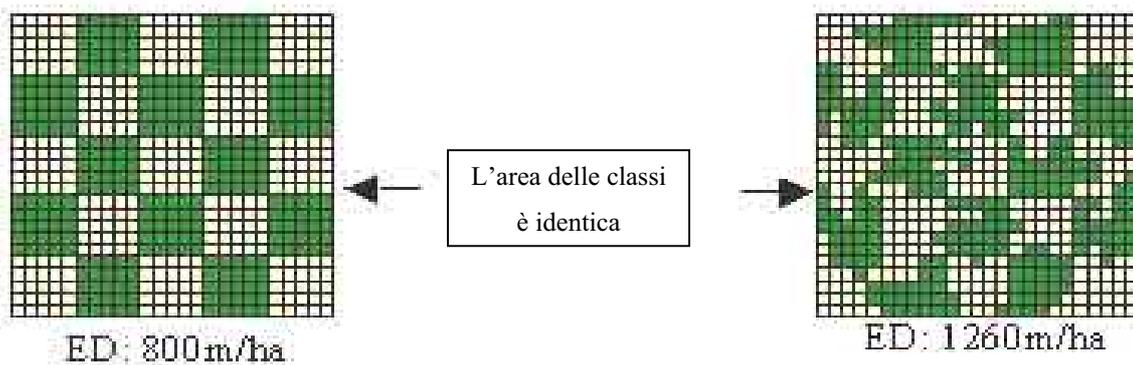
Edge Density(ED) or Perimeter/Area (PAR):

Si riferisce alla lunghezza del bordo tra due differenti classi (m) in una determinata area (nel nostro caso calcolato come perimetro della patches) diviso l'area totale dell'unità di riferimento (ha).

$$ED = \frac{E}{A}$$

E = lunghezza delle margini (m).

A = area totale (ha).



L'indicatore fornisce una stima della complessità della forma delle patches, ed è una misura della eterogeneità spaziale, dipende dalla dimensione delle unità mappate, più queste sono piccole maggiore è il valore, che ben riflette la frammentazione del paesaggio (Eiden. G.et all.; 2000).

Shannon's Diversity Index (SHDI):

L'indice di Shannon è calcolato come una sommatoria di tutte le classi presenti in proporzione all'area che ricoprono (P_i), moltiplicato per il logaritmo naturale della stessa espressione (P_i)

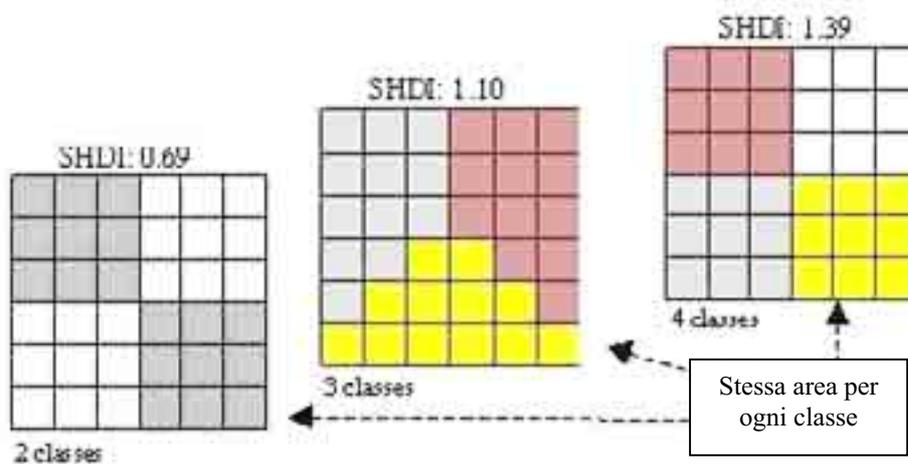
$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$$

m = numero di ogni tipo di patch

P_i = proporzione di area ricoperta da ogni patch (classe di copertura) i

L'indice fornisce una misura della diversità del paesaggio basandosi su due proprietà:

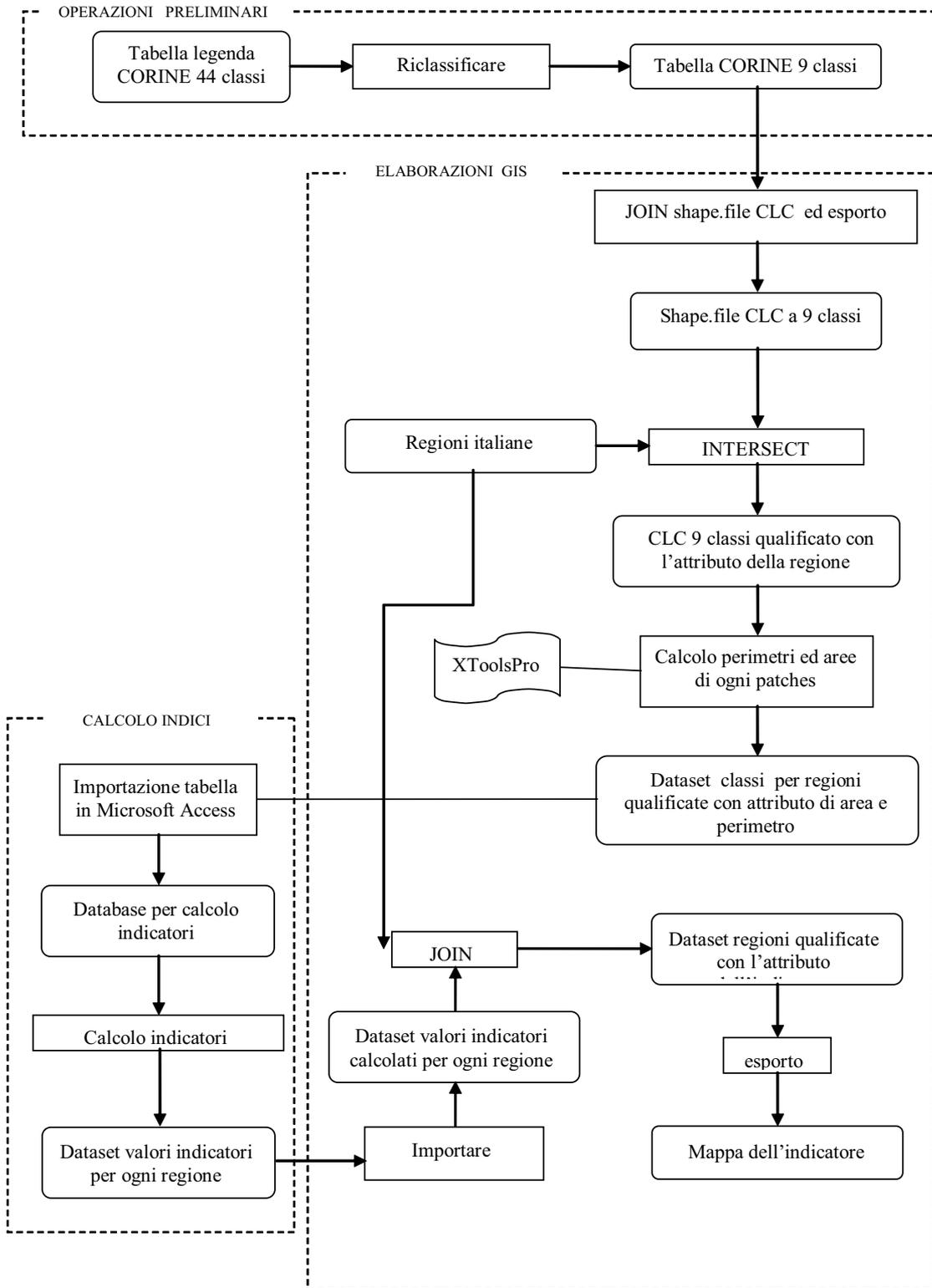
- ricchezza ossia numero di tipi di copertura del suolo (*componente compositiva*);
- uniformità ossia area di distribuzione delle classi (*componente strutturale*).



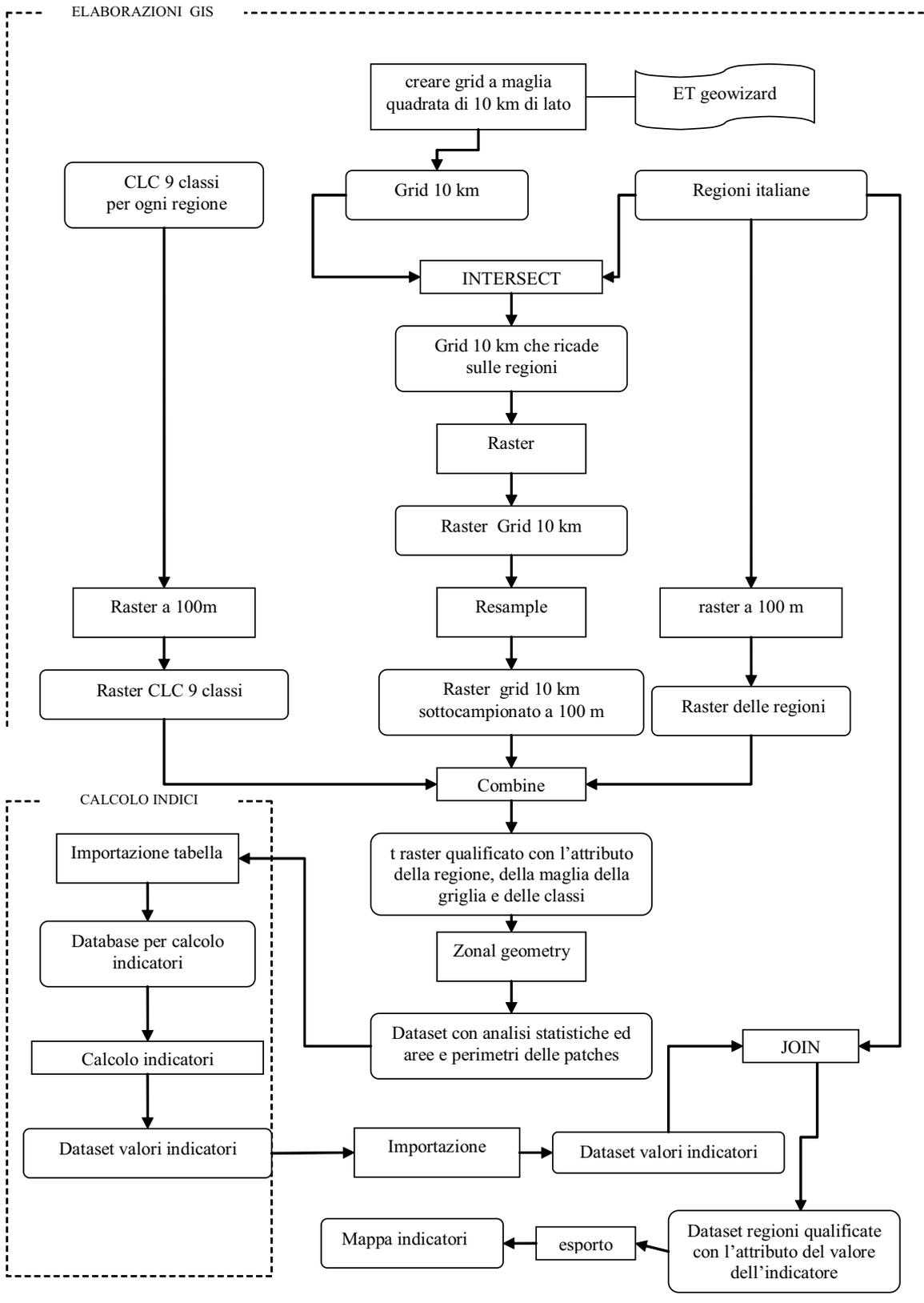
L'indice aumenta con il numero delle classi presenti e quando la proporzione di aree ricoperte dai diversi tipi di patches diventa più uniforme (Eiden. G. et al.; 2000).

3.2 Flussi di elaborazione

Gli indicatori sono stati prima calcolati operando su dati vettoriali, poi su dati raster. L'analisi è stata effettuata sia per il 1990 che per il 2000.



Schema 1: Analisi in riferimento ai limiti regionali



Schema 2: Analisi su finestra mobile

3. INTERSECT (intersezione) tra il CLC a 9 classi e lo shape.file delle regioni italiane (Fig. 3.2) ottenendo così un dataset vettoriale recante l'informazione sia della classe di copertura del suolo che della regione di appartenenza di ogni classe.

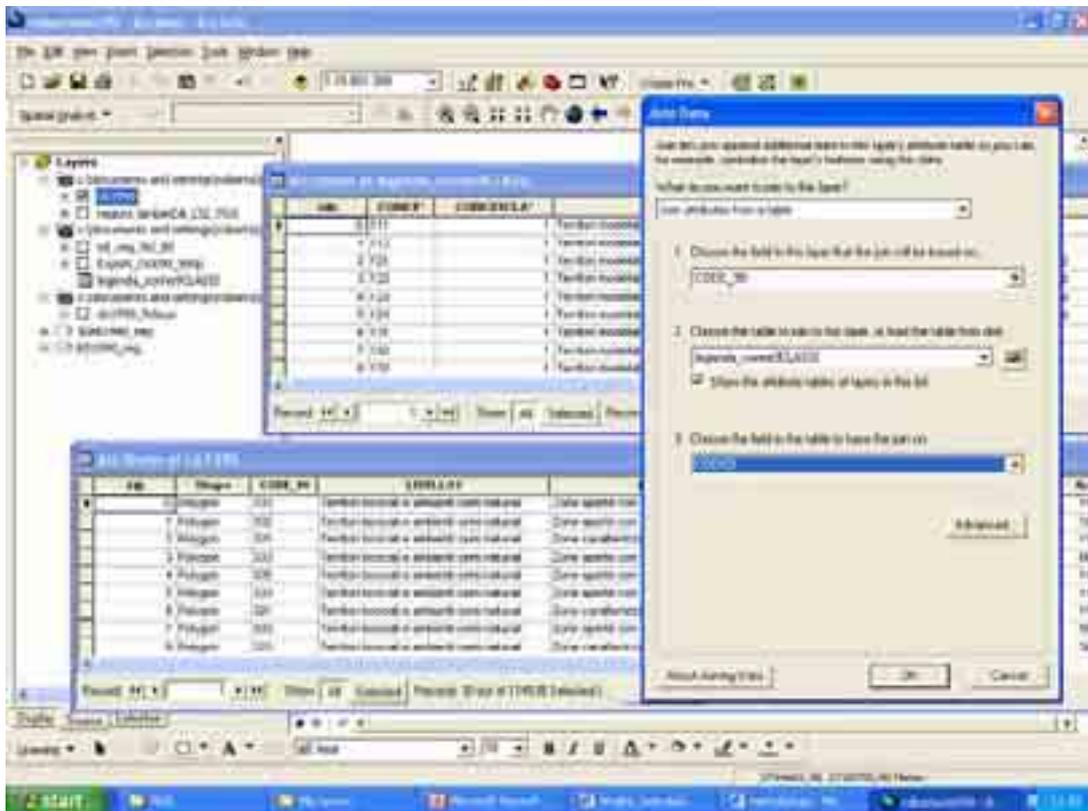


Fig. 3.1 – JOIN tra CLC a 44 classi e la tabella del CLC riclassificata a 9 classi.

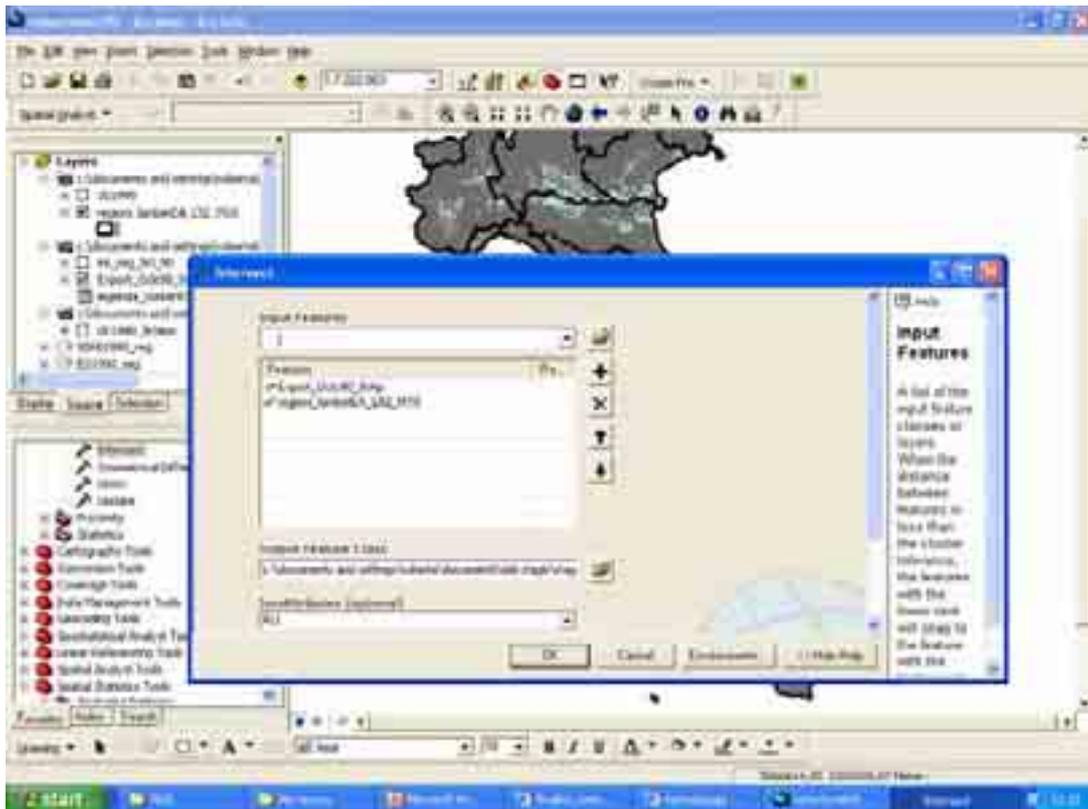


Fig. 3.2 – INTERSECT – operazione di intersezione tra lo shape del CLC a 9 classi e le regioni italiane.

- Calcolare i perimetri e le aree di ogni patch (Fig. 3.3):
 1. è stata utilizzata un'estensione di Arc Gis , XToolsPro che ha permesso di calcolare le aree ed i perimetri di ogni patch, come attributi della tabella dello shape.file precedentemente ottenuto.

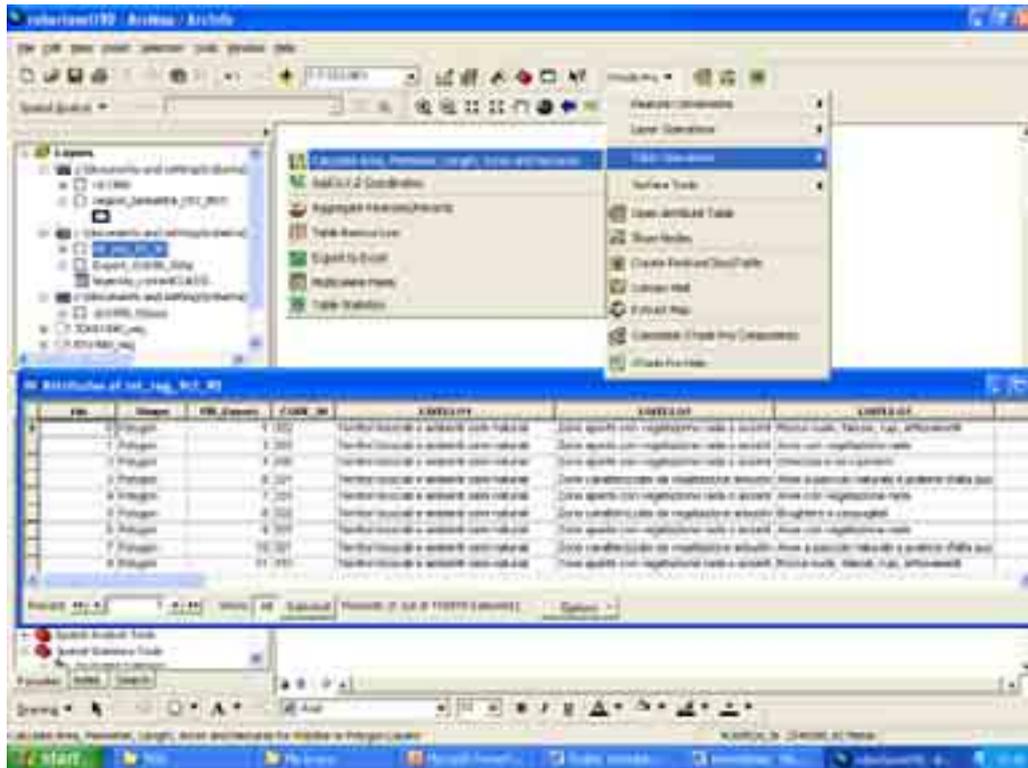


Fig. 3.3 - Calcolo dei perimetri ed aree delle patches, attraverso l'estensione XTools Pro.

3.3.3 Elaborazioni matematiche.

Il calcolo degli indicatori ambientali è stato fatto attraverso della *Query* in un database di Microsoft Access.

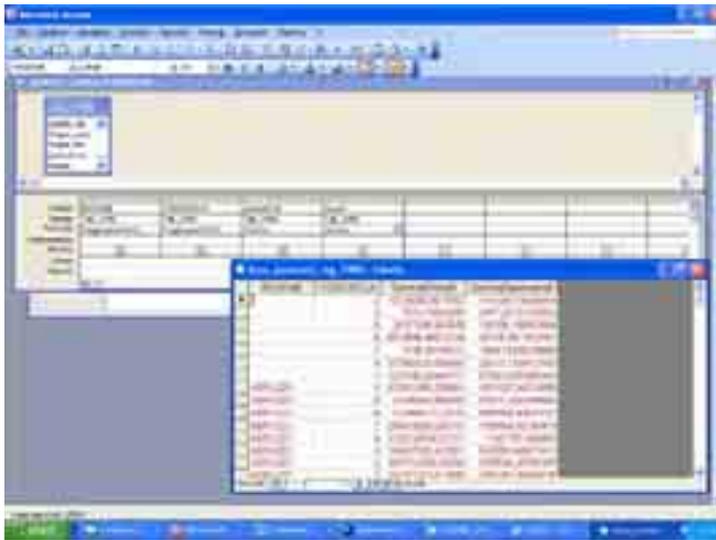
- Per prima cosa è stata importata la tabella attributi dello shape.file ottenuto in precedenza, recante l'informazione del CLC a 9 classi qualificate con l'attributo della regione di appartenenza e del perimetro e dell'area.

Partendo da questa tabella riassuntiva sono state eseguite una serie di *Query* (Fig. 3.4, Fig. 3.5) fino all'ottenimento del valore degli indicatori per tutte le regioni.

Edge Density (ED): per calcolare questo indice è necessario sommare i perimetri di tutte le patches presenti in ogni area di riferimento (in questo caso regione) e dividere per l'area (ha) dell'unità di riferimento (in questo caso regione).

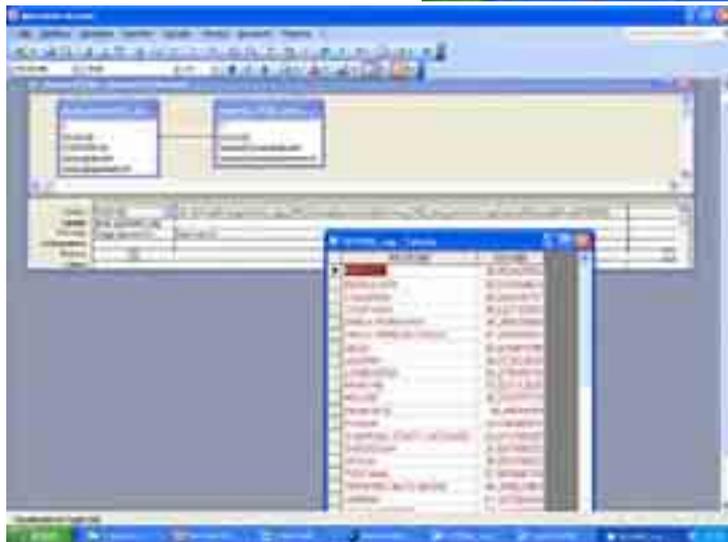
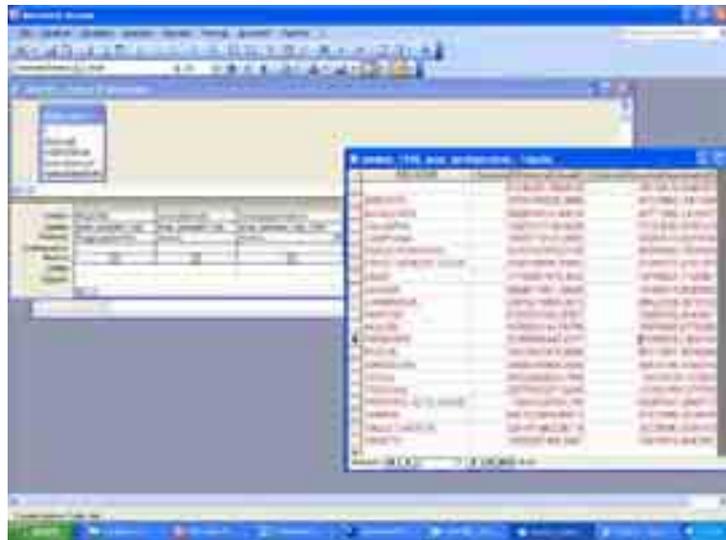
Shannon's Diversity Index (SDHI): per calcolare questo indice è necessario effettuare la sommatoria (per tutte le 9 classi) del rapporto tra l'area occupata da ogni classe rispetto all'area di riferimento (in questo caso regione) moltiplicato per il logaritmo naturale dello stesso rapporto.

Query eseguite per il calcolo di ED



1. Partendo dalla tabella complessiva ne è stata creata un'altra contenente le regioni, le classi e la somma dei perimetri e delle aree delle patches

2. È stata creata una tabella contenente i perimetri e le aree delle regioni, calcolati come somma di quelli delle patches.

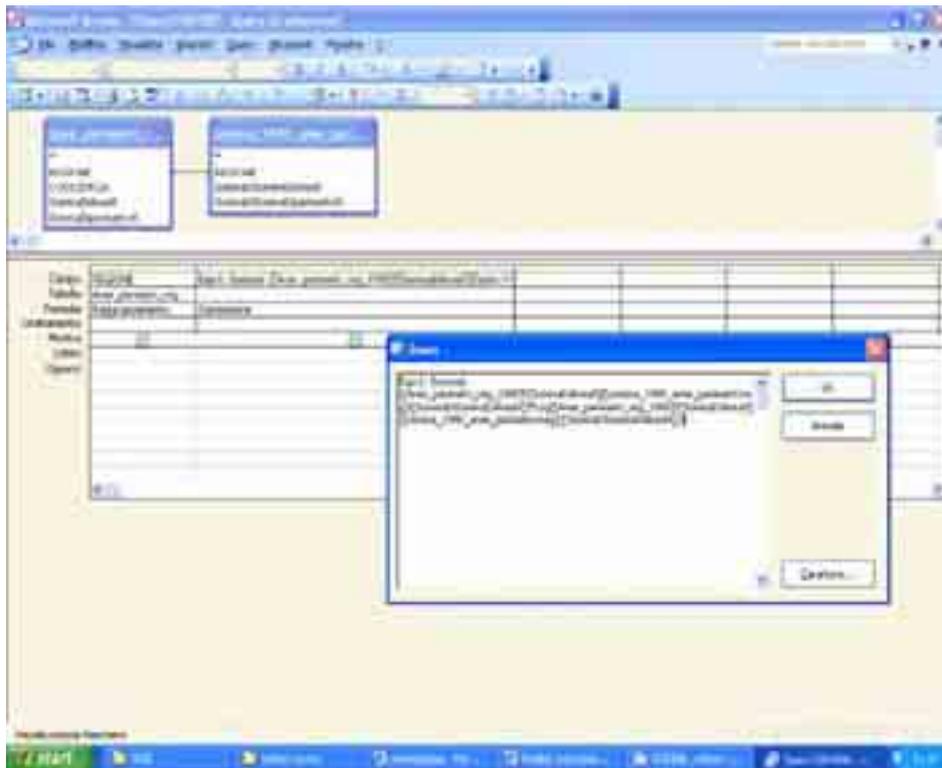


3. Sono state collegate le due tabelle create in precedenza per ottenerne un'altra contenente le regioni ed i valori di ED, che sono stati calcolati con un'espressione data dalla sommatoria del rapporto della somma dei perimetri di ogni patches rispetto all'area della regione di appartenenza.

calcolo di ED

Fig. 3.4 – Query eseguite per il

Query eseguite per il calcolo di SDHI



Le tabelle create al punto 1 e 2 della Fig. 3.4 sono state collegate per crearne un'altra contenete le regioni ed i valori di SDHI calcolati con un'espressione data da la sommatoria del rapporto dell'area di ogni classe rispetto all'area totale per il logaritmo della stessa espressione.

Fig. 3.5 – Query eseguite per il calcolo di SDHI

L'area di ogni regione è stata calcolata come somma delle aree delle patches che ricadono all'interno di ognuna.

Elaborazioni in ambiente GIS.

- Mappe degli indicatori ambientali.

Innanzitutto si sono importate in ambiente GIS le tabelle con i valori degli indicatori per ogni regione ed è stato fatto il JOIN con le regioni per avere un dataset con le regioni qualificate con l'attributo del valore dell'indicatore, dal quale sono state ottenute le mappe.

3.4 Elaborazioni su base dati raster e finestra mobile (schema 2.)

3.4.1 Elaborazioni in ambiente GIS.

- Per prima cosa è stata creata una grid a maglia quadrata di 10 km di lato utilizzando un'estensione di Arc Gis, *ET GeoWizards* (Fig. 3.6).

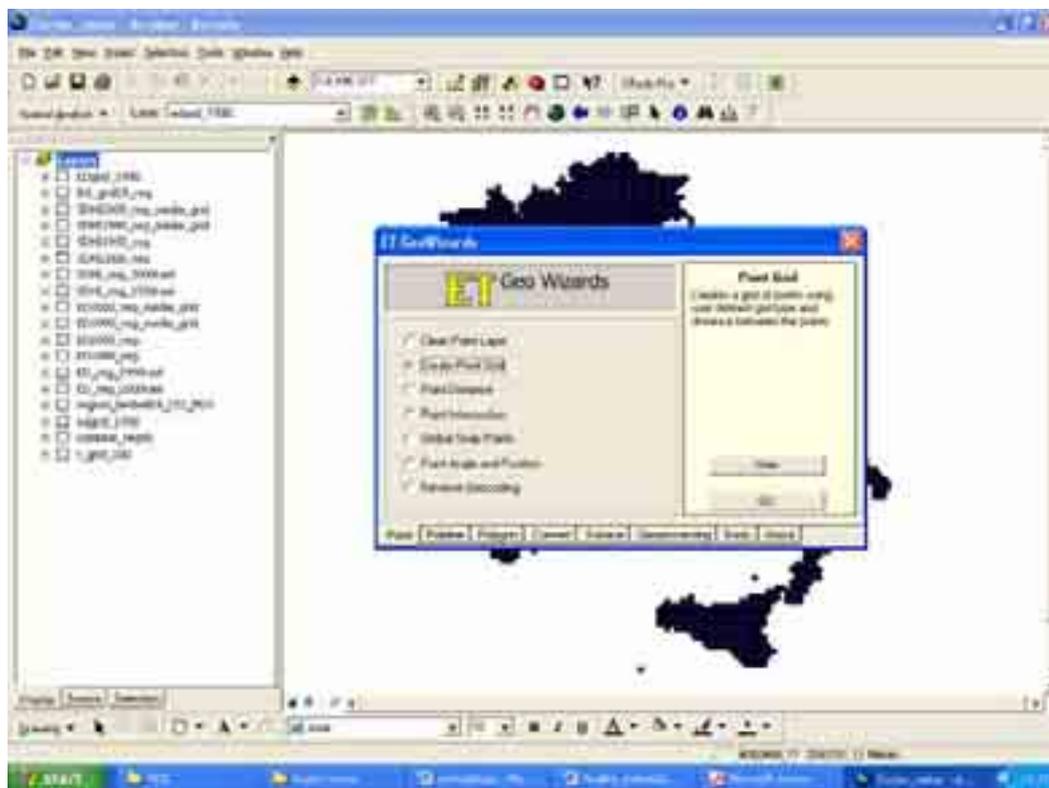


Fig. 3.6 – Estensione di Arc Gis utilizzata per creare la grid.

- Nuovo TOOLBOX:

Per effettuare tutte le operazioni in ambiente Gis è stato creato un modello in ArcTool, contenente un diagramma dove sono riportati tutti i dati in input, le operazioni da effettuare su di essi e gli output derivanti da tali operazioni. Facendo girare il modello vengono eseguite in automatico tutte le operazioni specificate e creati gli output indicati, inoltre cambiando gli input e gli output lo stesso modello può essere riutilizzando, velocizzando così i tempi di esecuzione (Fig. 3.7) .

Le operazioni effettuate nel modello sono:

1. creazione del raster a 100m del CLC a 9 classi qualificato con l'attributo della regione;
2. creazione del raster a 100 m delle regioni italiane;

3. INTERSECT (intersezione) tra lo shape.file delle regioni italiane e la griglia a 10 km, per avere la griglia solo sull'Italia;
4. creazione del raster a 10 Km della grid;
5. RESAMPLE (sottocampionamento) del raster della grid di 10 Km a 100m per renderla confrontabile con gli altri due raster;
6. COMBINE (combinazione) dei tre raster per avere un dataset contenente l'informazione relativa alle patches del CLC qualificate con l'attributo della maglia di appartenenza all'interno della grid e della regione;
7. calcolo dell'area e del perimetro delle patches, utilizzando un tool dello *Spatial Analyst*, lo ZONAL GEOMETRY.

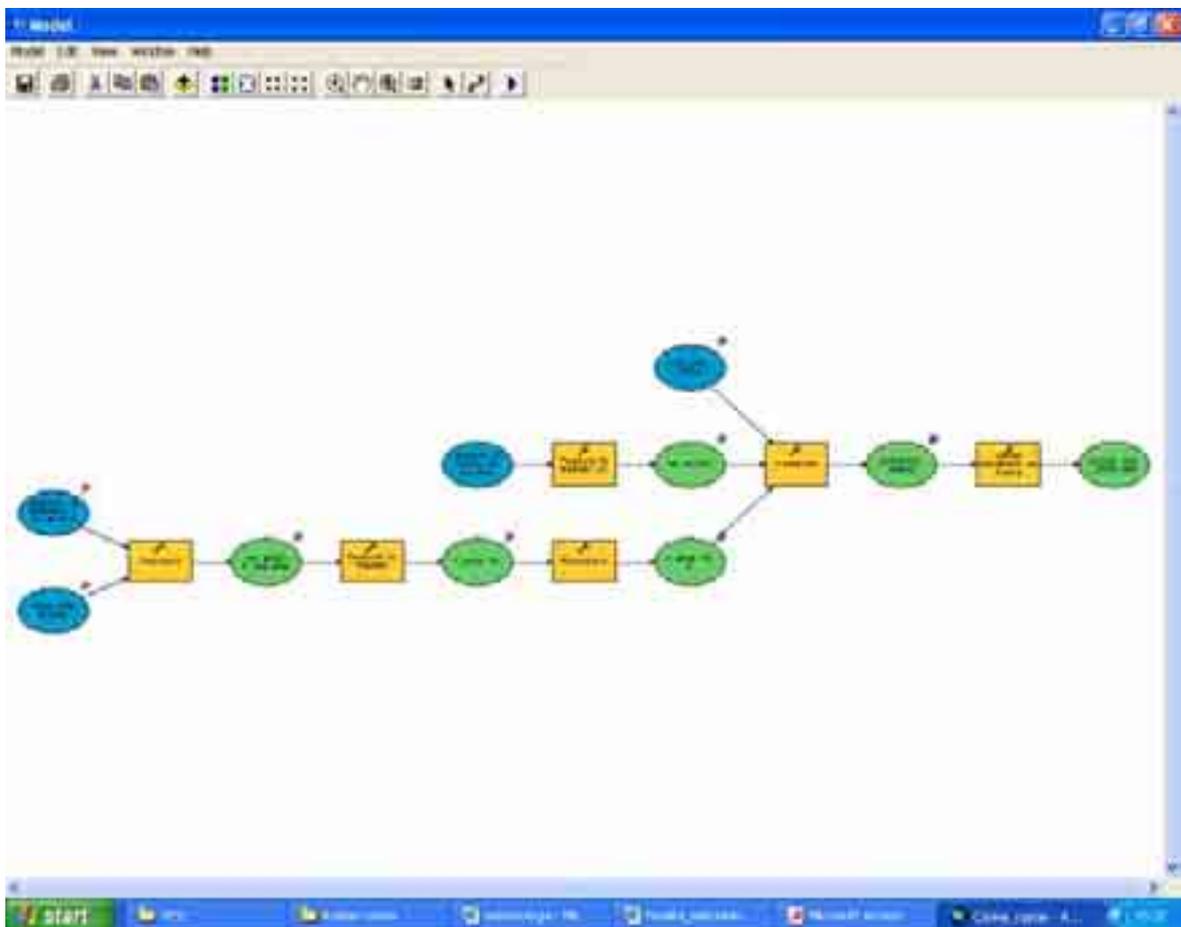


Fig. 3.7 – Modello creato con Arc Tool

3.4.2 Elaborazioni matematiche.

Il calcolo degli indicatori ambientali è stato fatto attraverso delle *Query* in un database di Microsoft Access.

Per prima cosa è stata importata la tabella dati derivante dall'operazione di ZONAL GEOMETRY effettuata in ambiente Gis.

Partendo da essa sono state effettuate una serie di *Query* per ottenere:

1. i valori degli indicatori ambientali su base raster per regione (in questo caso le *Query* e sono del tutto simili a quelle eseguite in precedenza con i dati ricavati dalle elaborazioni vettoriali (Fig. 3.4 ,3.5);
2. i valori degli indicatori ambientali per ogni maglia della griglia (finestra mobile);
3. gli indici sintetici per regione dati dalla media dei valori di tutte le maglie della grid che ricadono in ogni regione.

Edge Density (ED): per calcolare questo indice è necessario sommare i perimetri di tutte le patches presenti in ogni area di riferimento (regione) e dividere per l'area in ettari dell'unità di riferimento (regione) (Fig. 3.8).

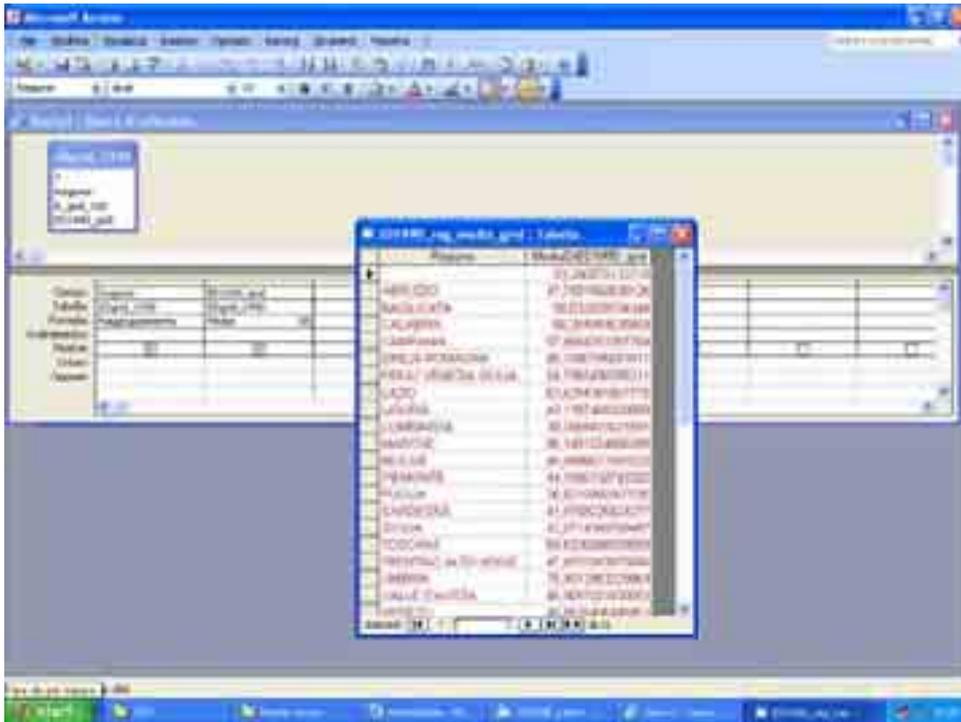


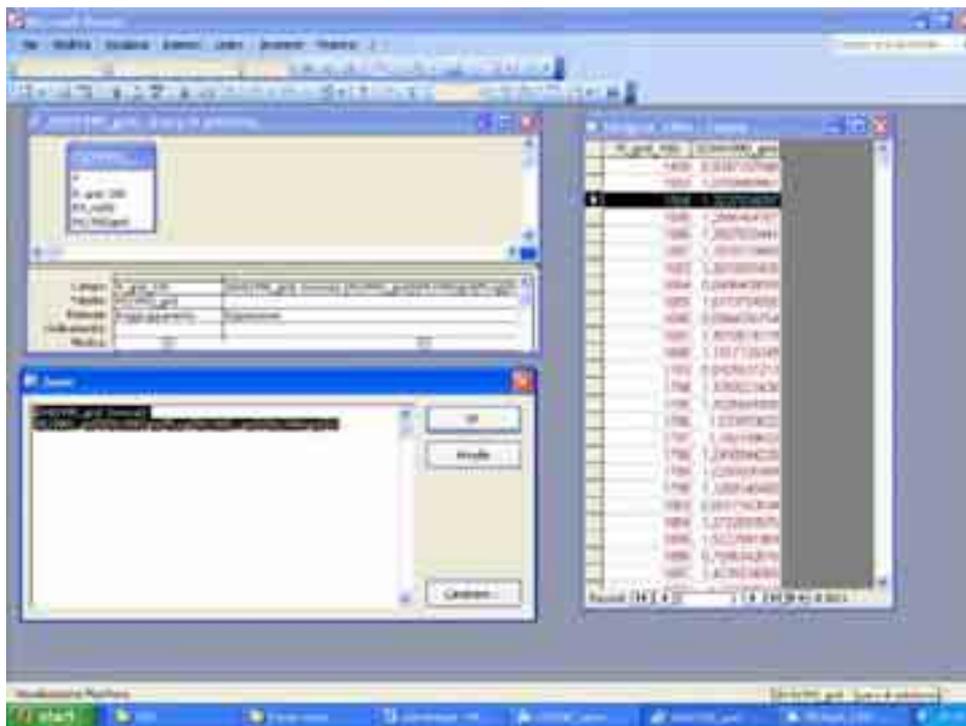
Fig. 3.8 – Query effettuate per il calcolo di ED con la finestra mobile.

3. Utilizzando la tabella creata al punto 2. se ne è ottenuta un'altra con le regioni e gli indici sintetici per regione.

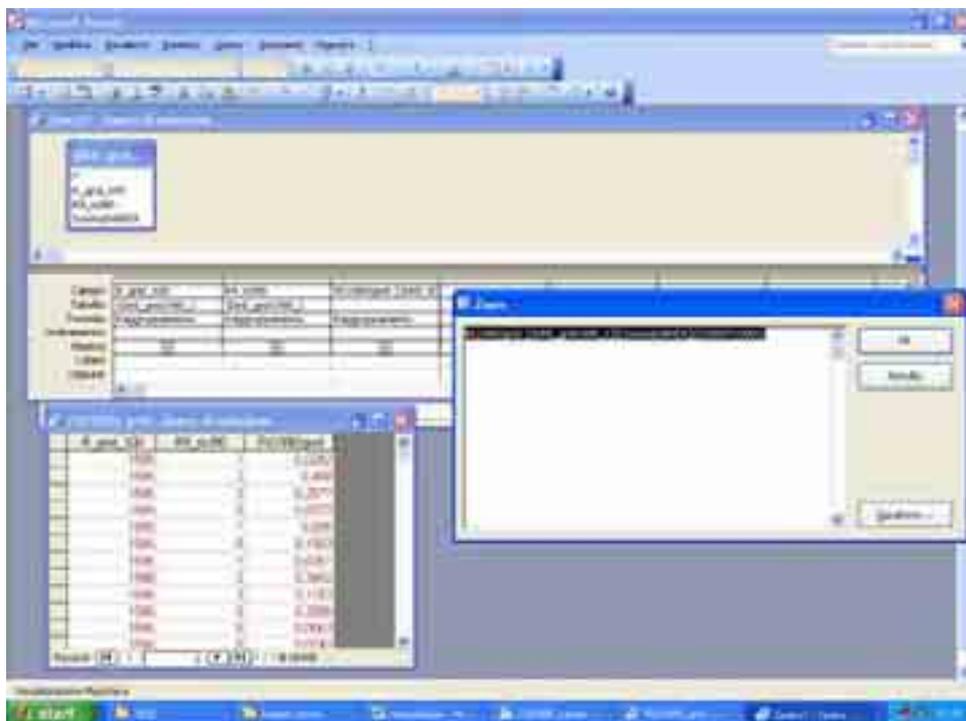
Shannon's Diversity Index (SDHI)

Per calcolare questo indice è necessario effettuare la sommatoria per le 9 classi del rapporto tra l'area occupata da ogni classe rispetto all'area di riferimento (regione) moltiplicato per il logaritmo naturale dello stesso rapporto (Fig. 3.9).

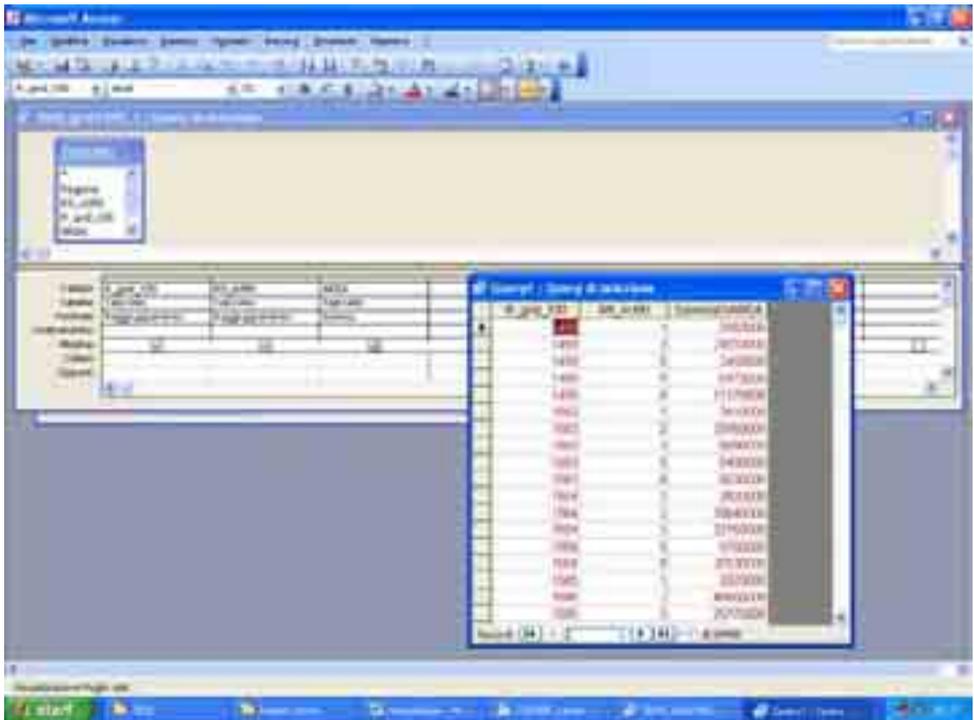
Query eseguite per il calcolo di SDHI



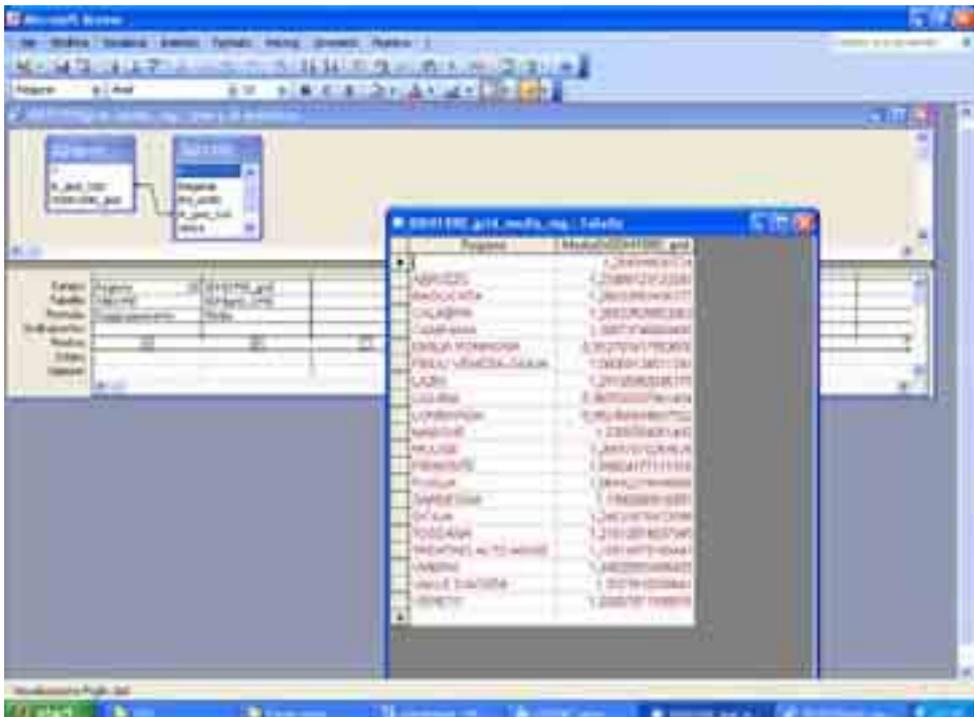
1. È stata creata una tabella con le patches, il codice della maglia della grid in cui ricade e l'area;



2. si è utilizzata la tabella ricavata al punto 1 per calcolare la percentuale di superficie ricoperta da ogni classe;



3. i valori ottenuti al punto 2 sono stati utilizzati per calcolare l'SDHI delle maglie della grid;



4. i valori ottenuti al punto 3 sono stati utilizzati per calcolare l'indice sintetico per regione

Fig. 3.9 – Query eseguite per il calcolo di SDHI con la finestra mobile

L'area di ogni regione è stata calcolata come somma delle aree delle patches che ricadono all'interno di ognuna.

3.5 Mappe degli indicatori.

Innanzitutto si sono importate in ambiente GIS le tabelle con i valori degli indicatori ed è stato fatto il JOIN con le regioni per avere un dataset contenente le regioni qualificate con l'attributo dell'indicatore, dal quale sono state ottenute le mappe.

4 RISULTATI

I risultati del lavoro svolto hanno portato alla realizzazione di mappe degli indicatori relative sia all'anno 1990 che al 2000.

Le mappe sono state ottenute utilizzando le diverse metodologie di elaborazione adottate e permettono di evidenziare in modo immediato la situazione territoriale e confrontare così i diversi approcci di calcolo degli indicatori..

4.1 Vector

Di seguito vengono riportate le mappe derivanti dal calcolo degli indicatori mediante dati vettoriali, e i grafici che mettono a confronto i valori degli indicatori per il 1990 e per il 2000.

4.1.1 ED (Edge Density)

I valori di Edge Density risultano molto simili in entrambi gli anni, raggiungendo il minimo in Puglia e il massimo nelle Marche.

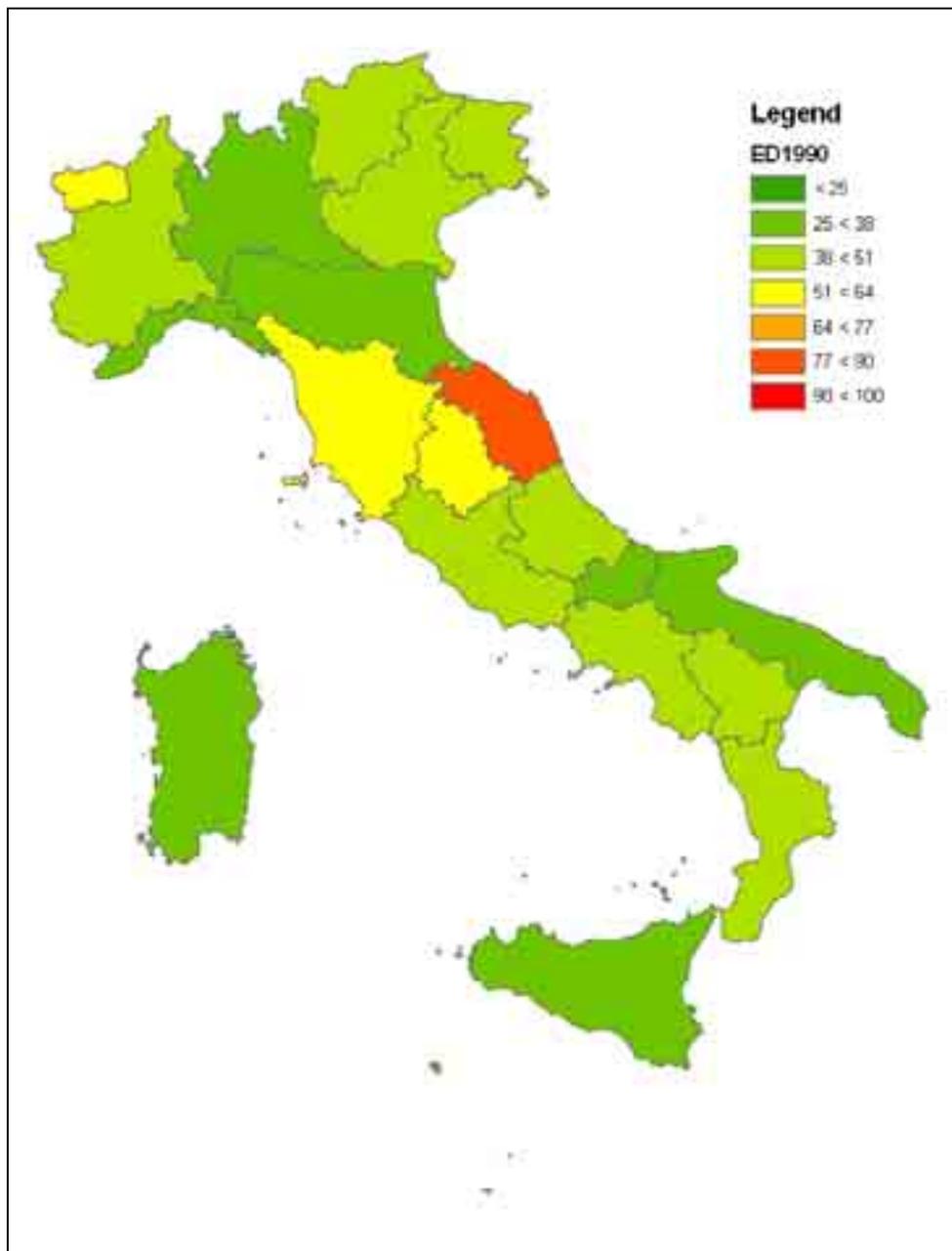


Fig.4.1 – Mappa relativa ai valori di Edge Density del 1990 per ogni regione italiana.

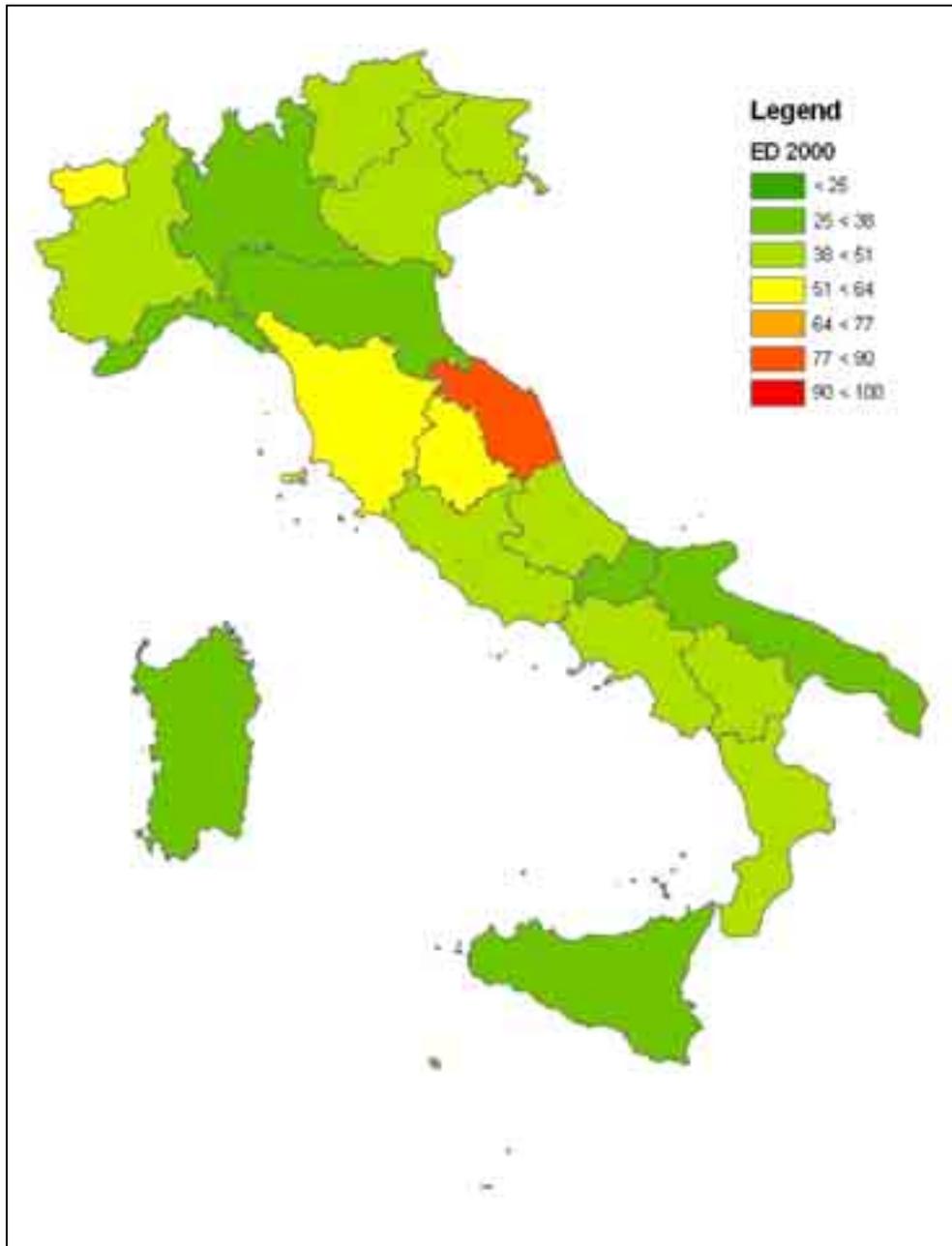


Fig. 4.2 - Mappa relativa ai valori di Edge Density del 2000 per ogni regione italiana.

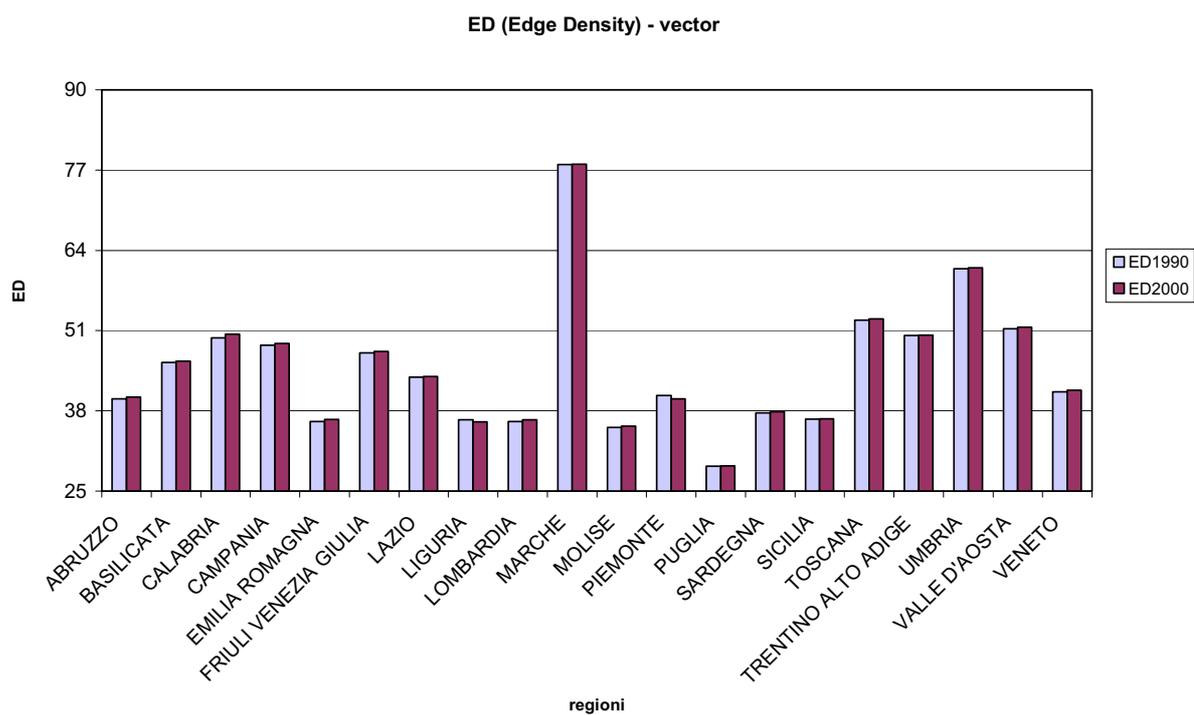


Fig. 4.3 – Grafico dei valori di ED relativi ai due anni.

4.1.2 SDHI (Shannon's Diversity Index)

Anche i valori dell'indice di Shannon risultano simili per entrambi gli anni, raggiungendo il minimo in Liguria ed il massimo in Piemonte.

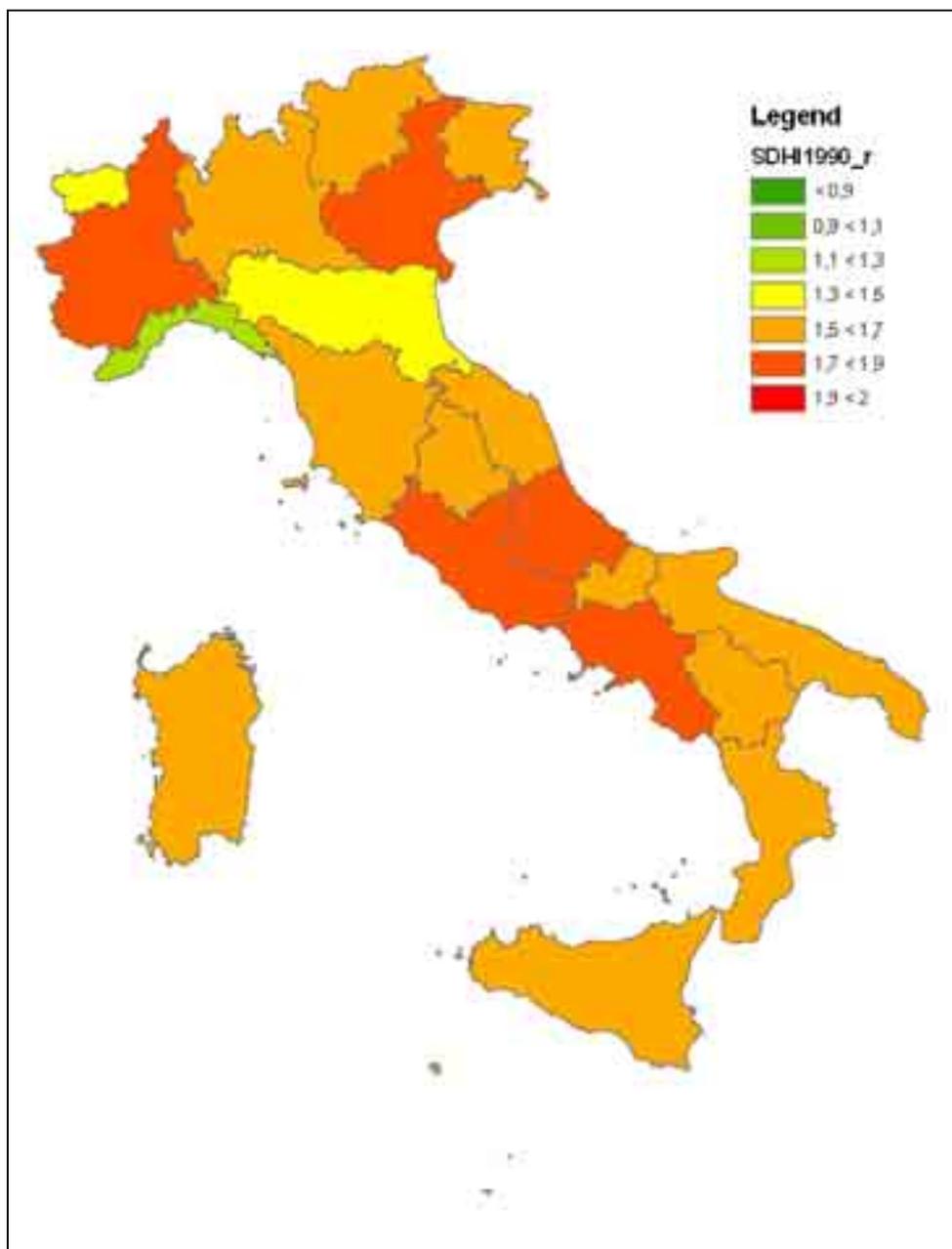


Fig. 4.4 – Mappa relativa ai valori dell'Indice di Shannon del 1990 per ogni regione italiana.

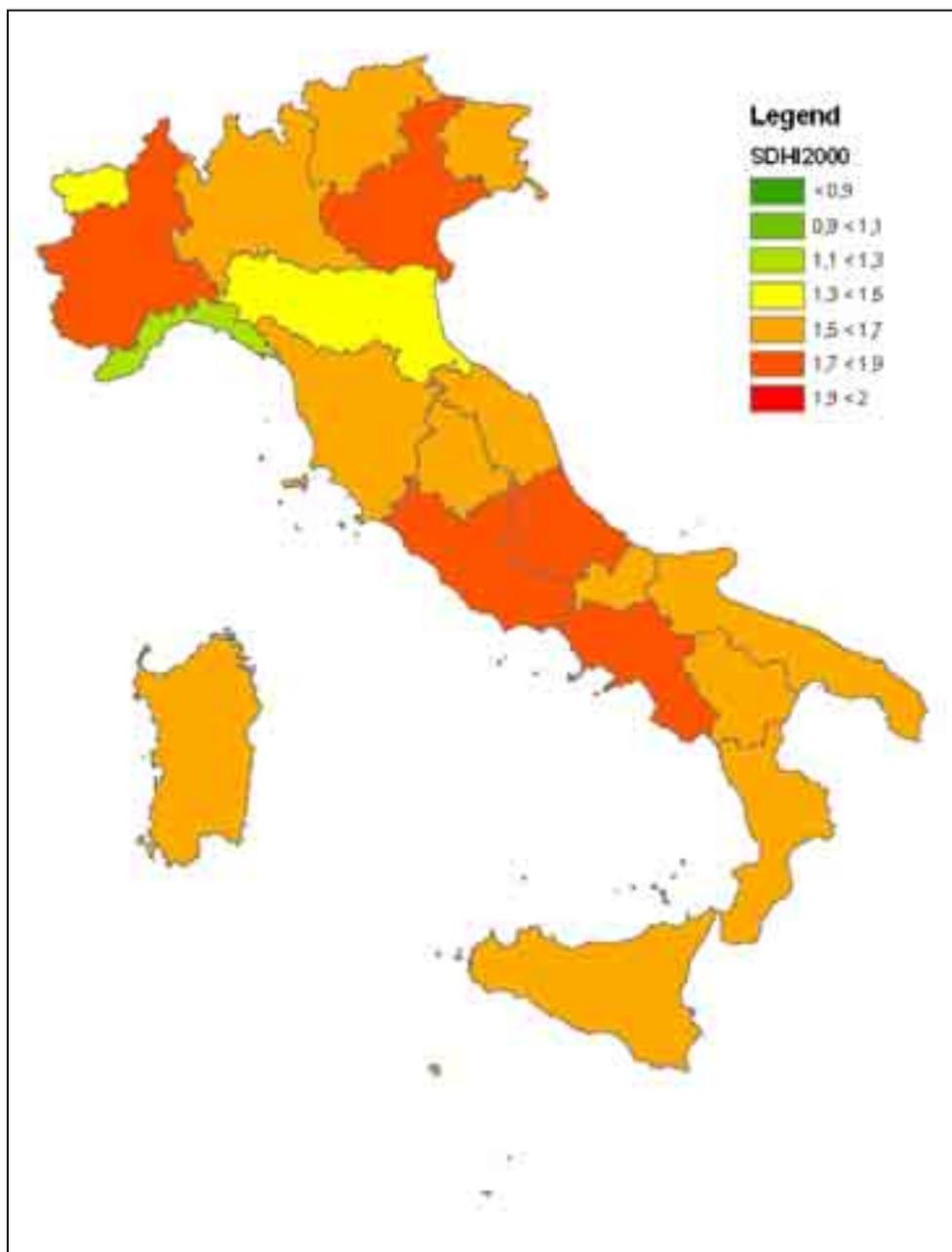


Fig. 4.5 – Mappa relativa ai valori dell'Indice di Shannon del 2000 per ogni regione italiana.

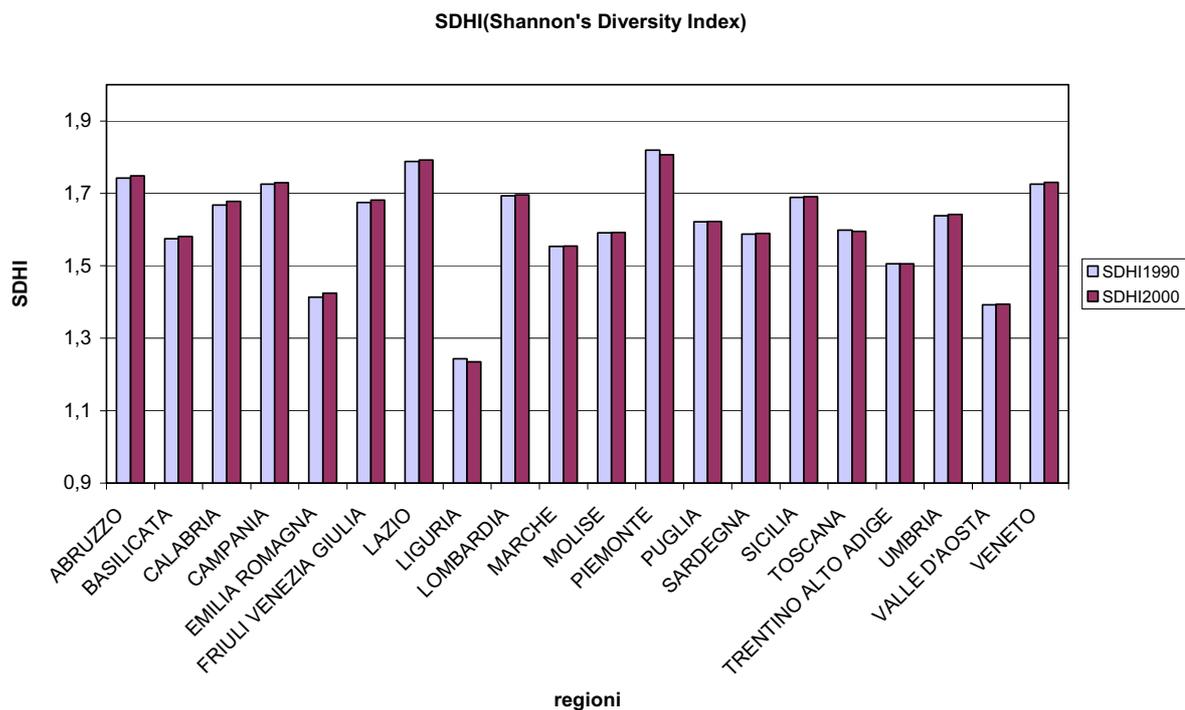


Fig. 4.6 – Grafico dei valori relativi ai due anni presi in considerazione

4.2 Raster

Di seguito vengono riportate le mappe derivanti dal calcolo degli indicatori mediante elaborazioni raster sia per il 1990 che per il 2000, e i grafici che mettono a confronto i valori dei due anni.

4.2.1 ED (Edge Density)

I valori di Edge Density sono molto simili in entrambi gli anni, raggiungono il valore massimo nelle Marche ed il minimo in Puglia.

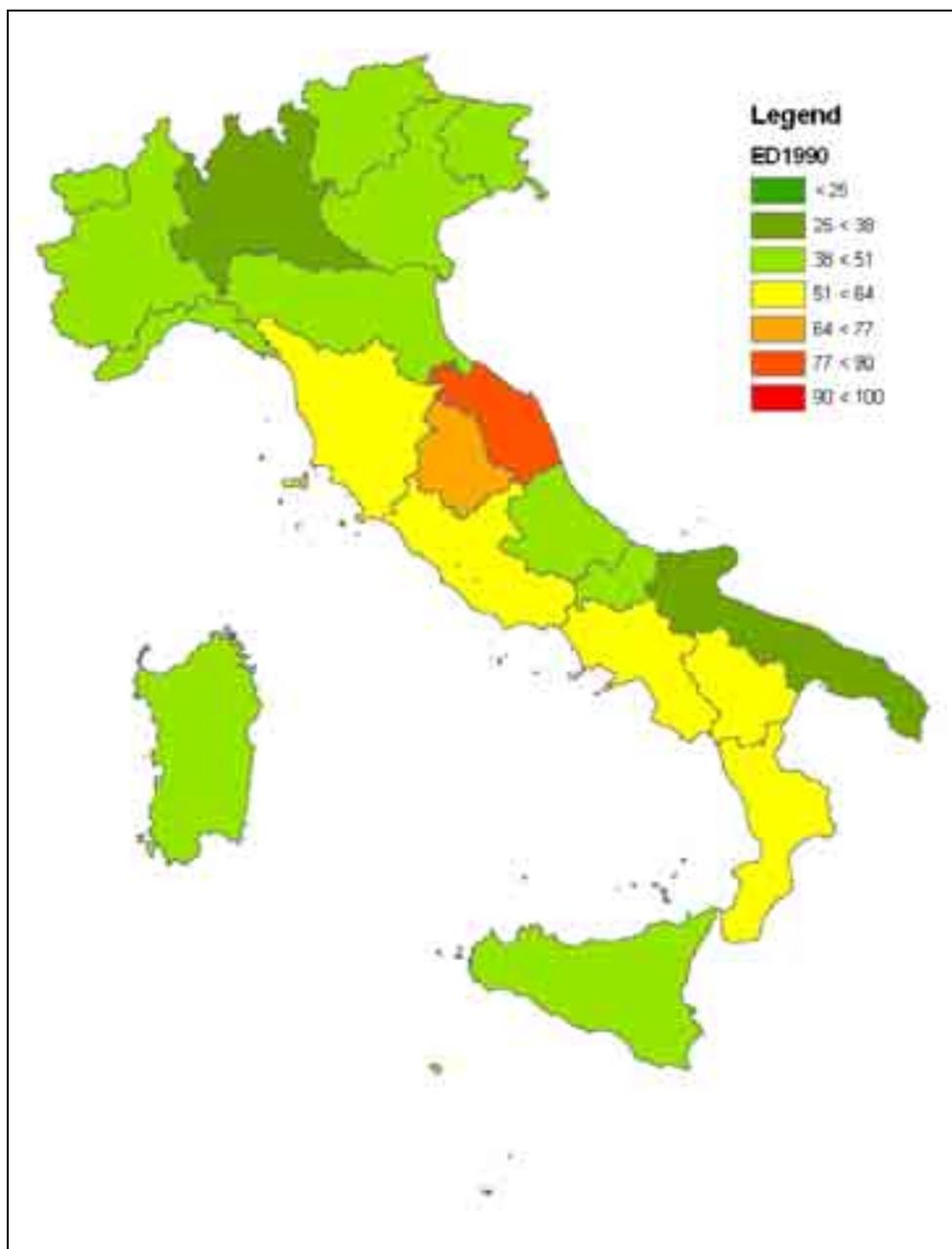


Fig.4.7 – Mappa relativa ai valori di Edge Density del 1990 per ogni regione italiana

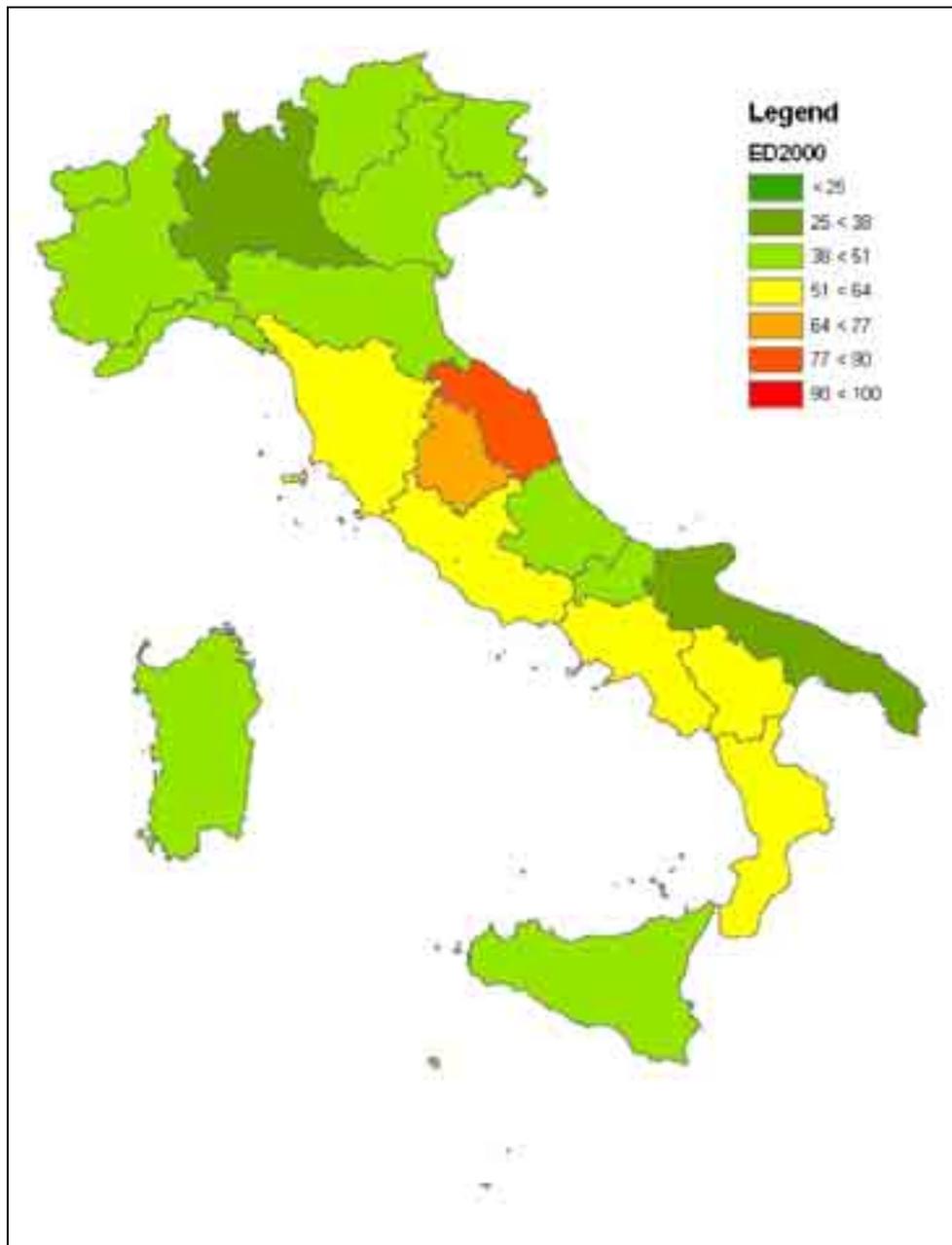


Fig.4.8 – Mappa relativa ai valori di Edge Density del 2000 per ogni regione italiana.

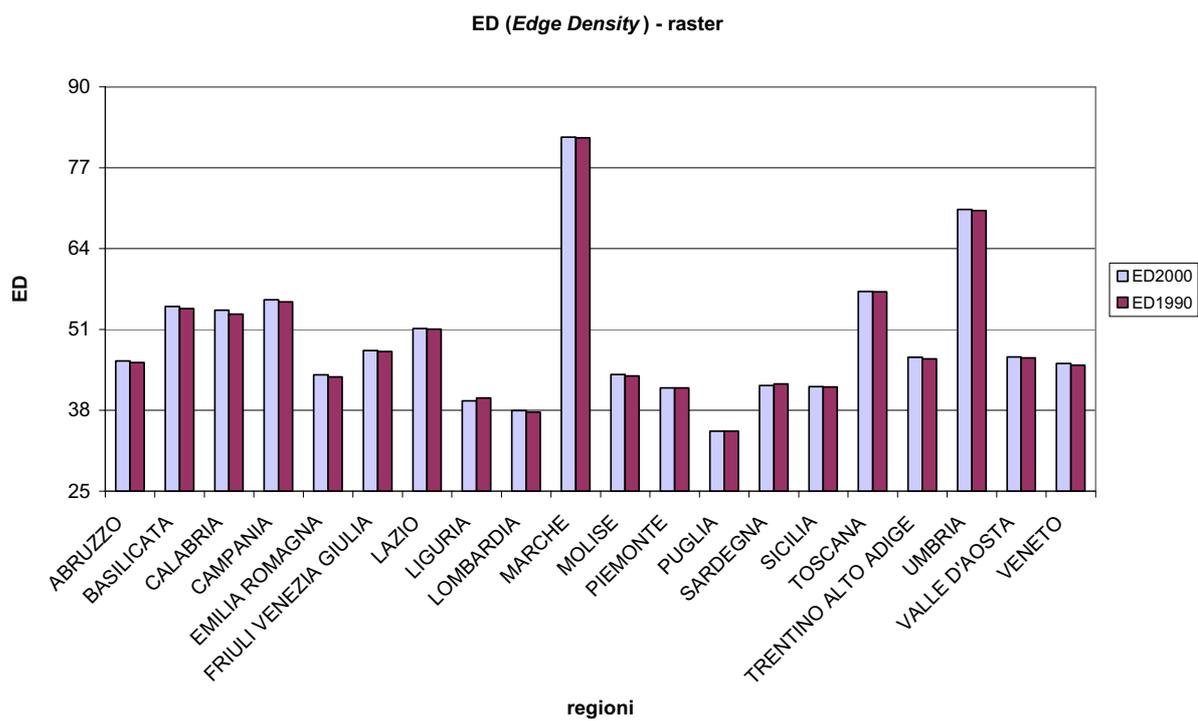


Fig. 4.9 – Grafico dei valori relativi ai due anni presi in considerazione

4.2.2 SDHI (Shannon's Diversità Index)

Anche i valori dell'indice di Shannon sono molto simili in tutti e due gli anni, il massimo si registra in Piemonte ed il minimo in Liguria.

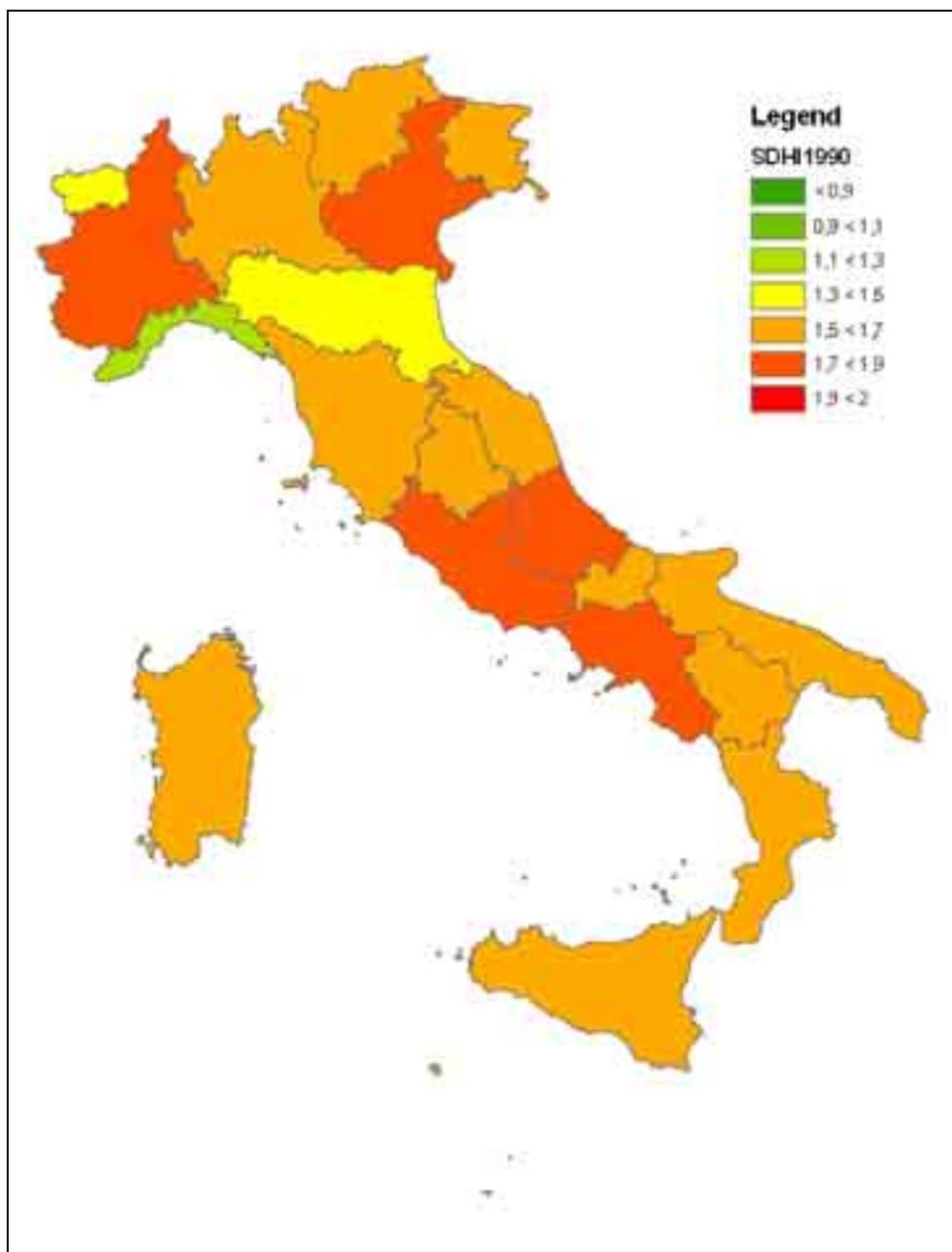


Fig. 4.10 – Mappa relativa ai valori dell'Indice di Shannon del 1990 per ogni regione italiana.

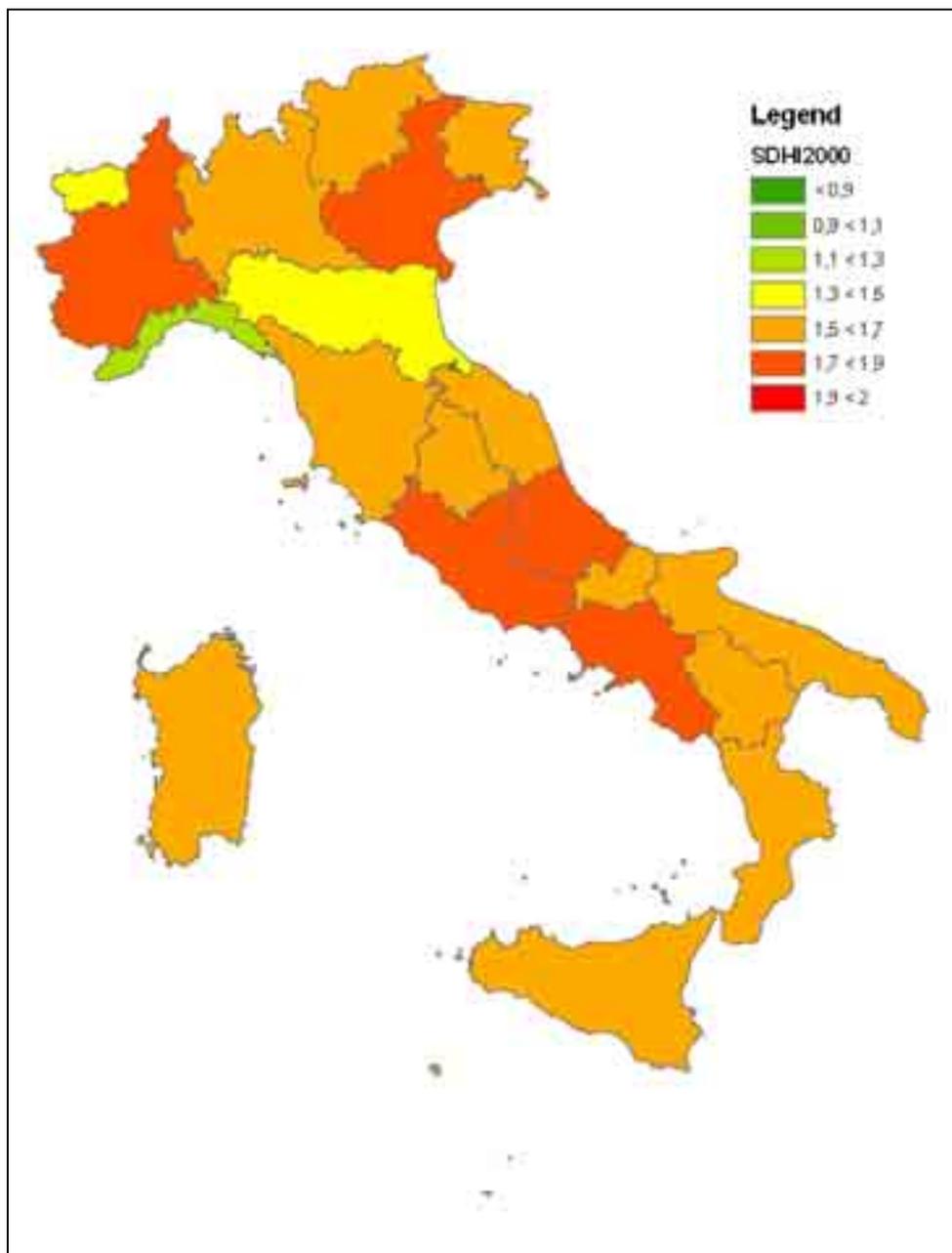


Fig. 4.11 – Mappa relativa ai valori dell'Indice di Shannon del 2000 per ogni regione italiana.

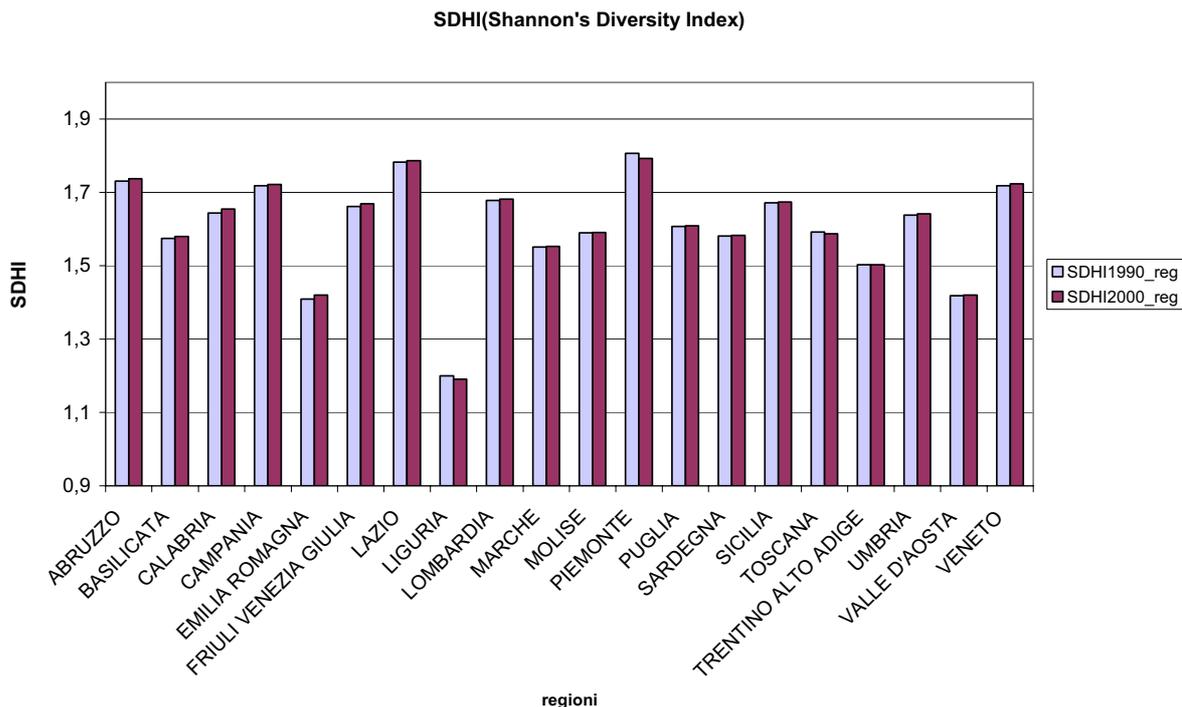


Fig. 4.12 – Grafico dei valori relativi ai due anni presi in considerazione

4.3 Finestra mobile

Di seguito vengono riportati i risultati derivanti dal calcolo degli indicatori ambientali mediante l'uso della finestra mobile che ci fornisce l'andamento degli indicatori sul territorio italiano, utilizzando come unità fisica di riferimento delle celle quadrate di 10 km di lato.

I valori di ogni cella sono stati poi utilizzati per ottenere degli indici sintetici per regione, che vengono di seguito rappresentati. Per ogni regione il valore dell'indicatore deriva dalla media dei valori registrati in tutte le maglie che ricadono nella regione stessa.

4.3.1 ED (Edge Density)

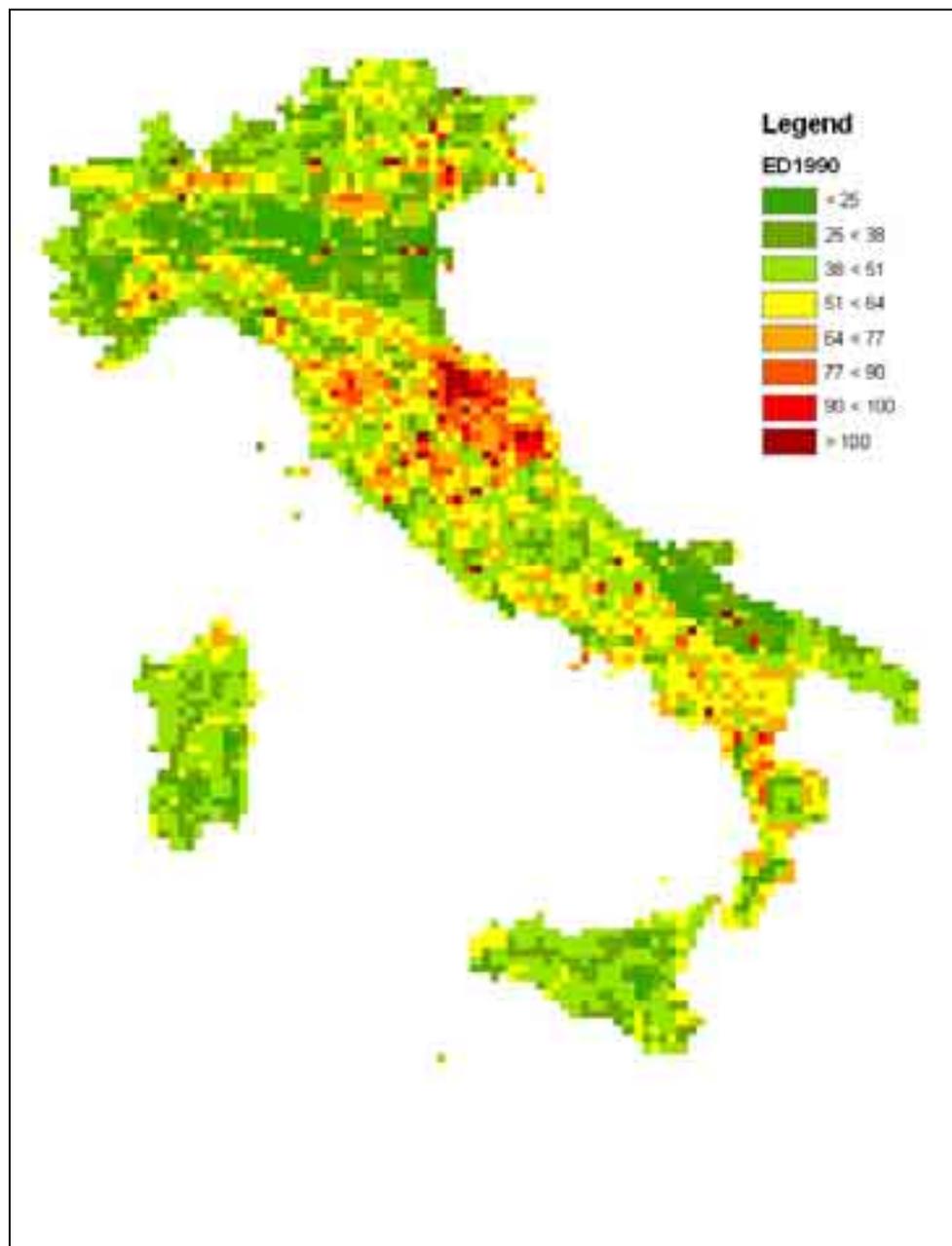


Fig. 4.13 – ED 1990 calcolata con la finestra mobile.

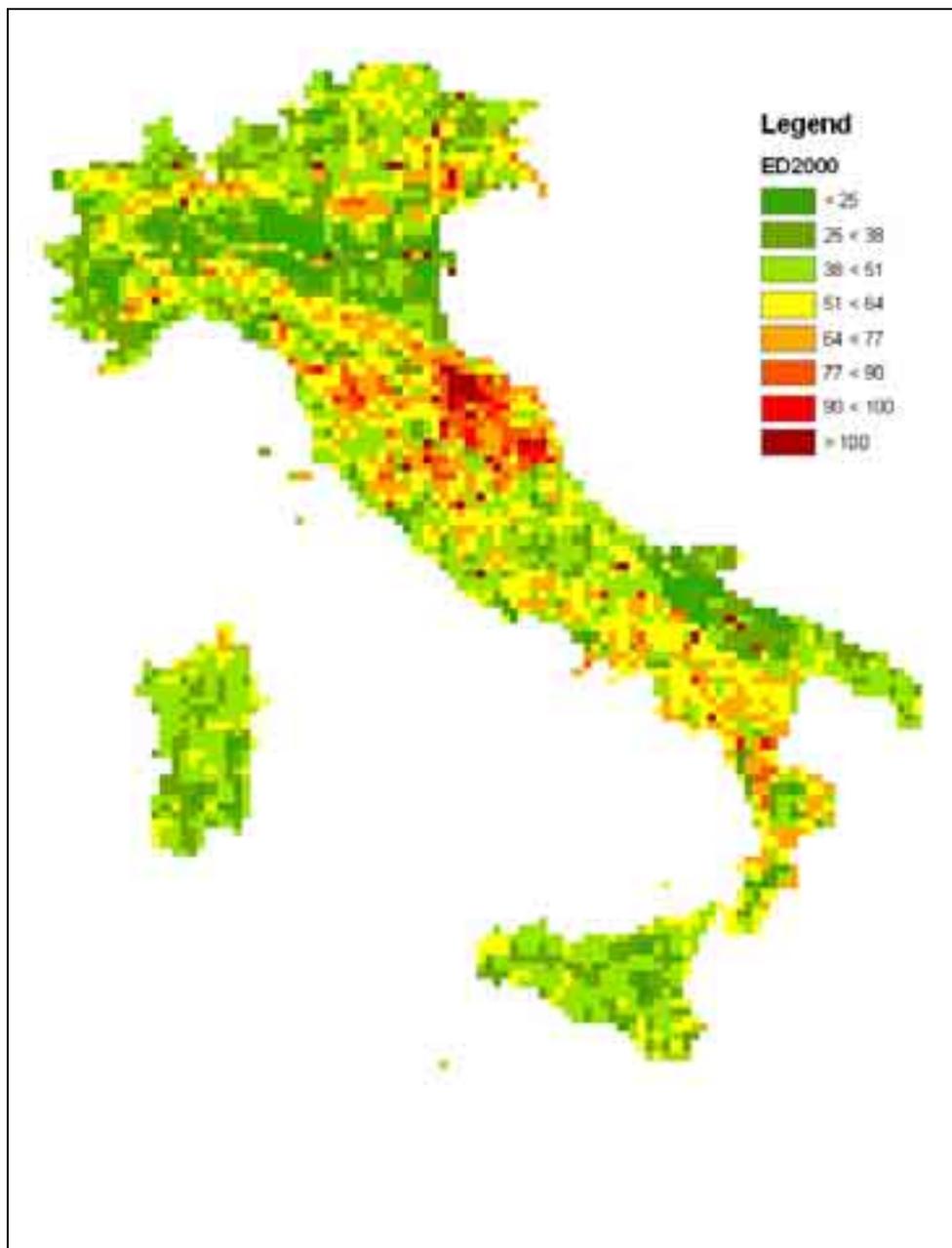


Fig. 4.14 – ED 2000 calcolata con la finestra mobile

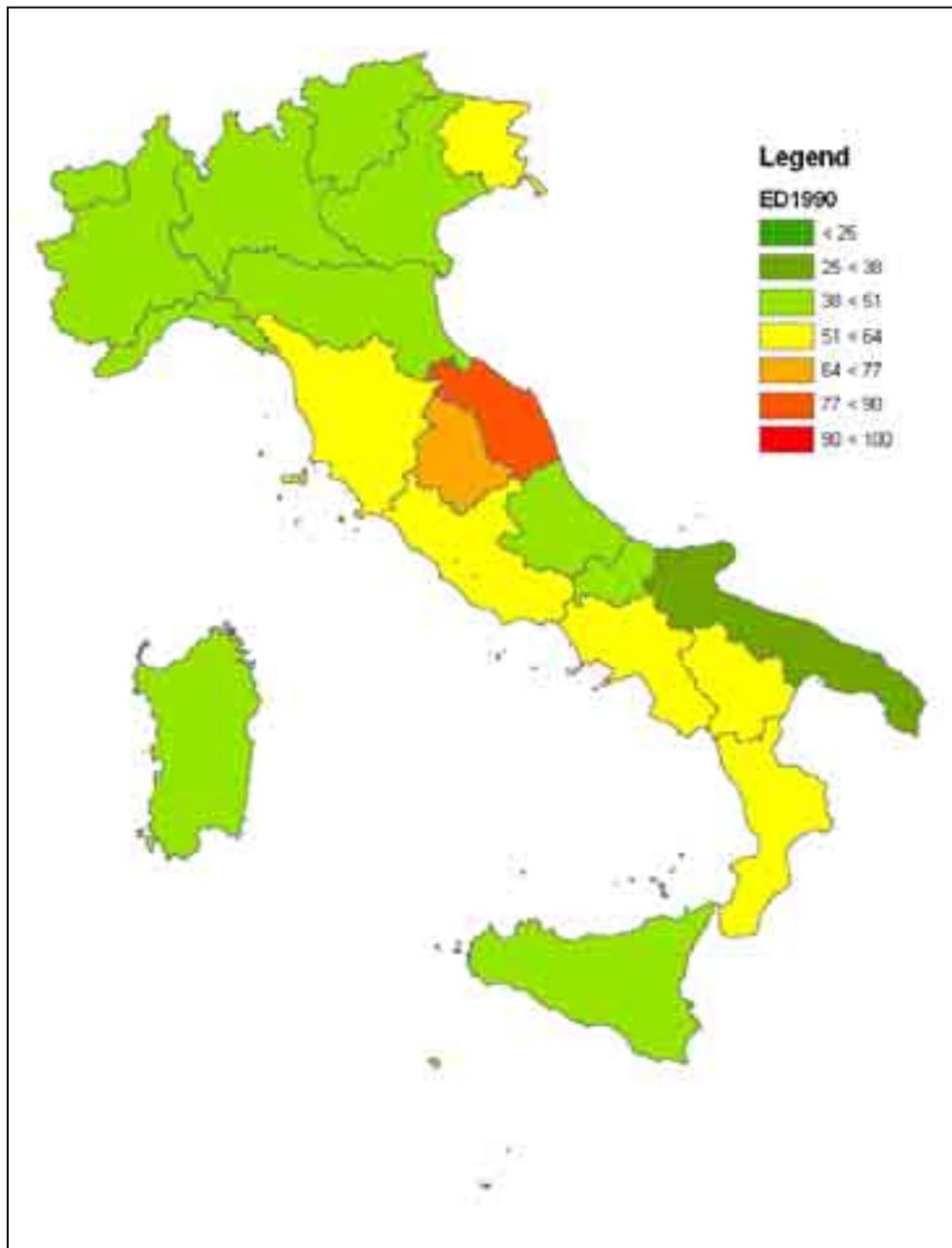


Fig. 4.15 – Mappa relativa ai valori di Edge Density del 1990 per ogni regione italiana, calcolati come media dei valori delle maglie della finestra mobile che ricadono in ogni regione.

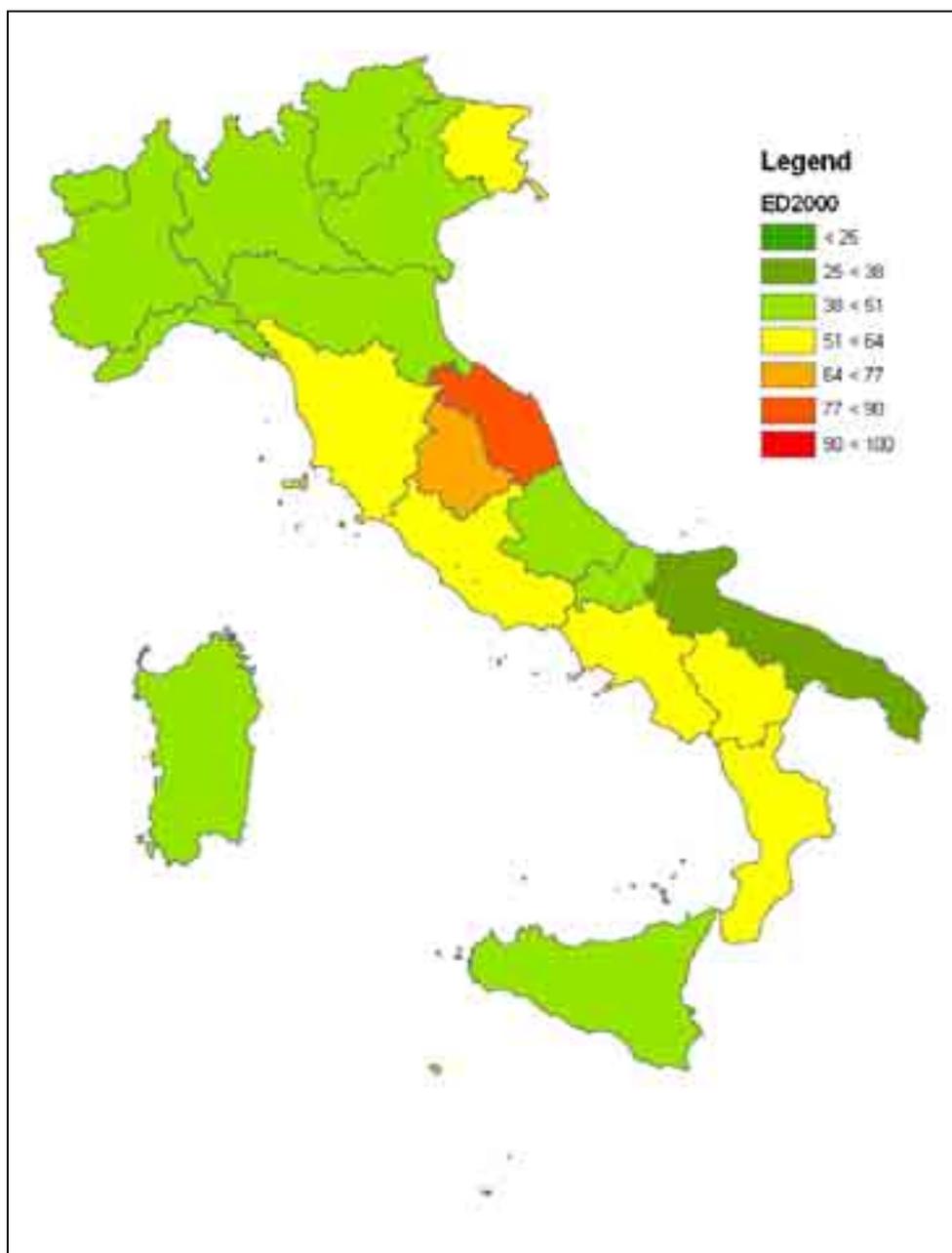


Fig. 4.16 – Mappa relativa ai valori di Edge Density del 2000 per ogni regione italiana, calcolati come media dei valori delle maglie della finestra mobile che ricadono in ogni regione.

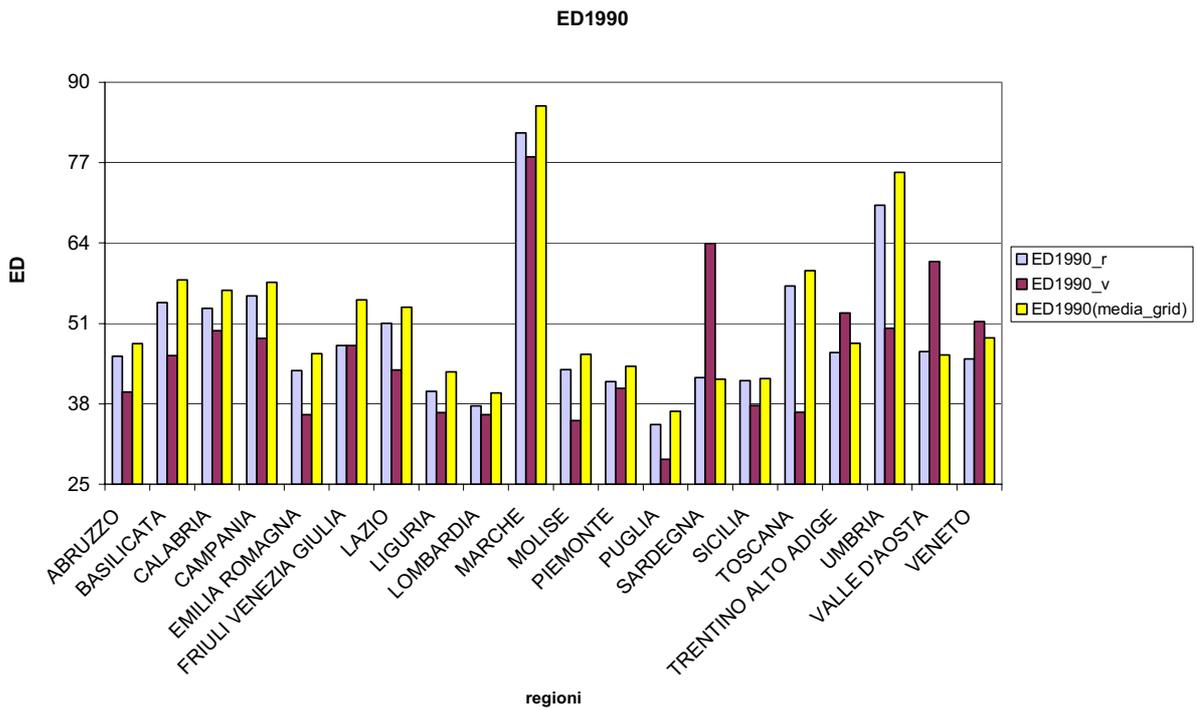


Fig. 4.17 - Confronto dei valori di ED del 1990 calcolati seguendo i tre diversi approcci (vector vs raster vs finestra mobile)

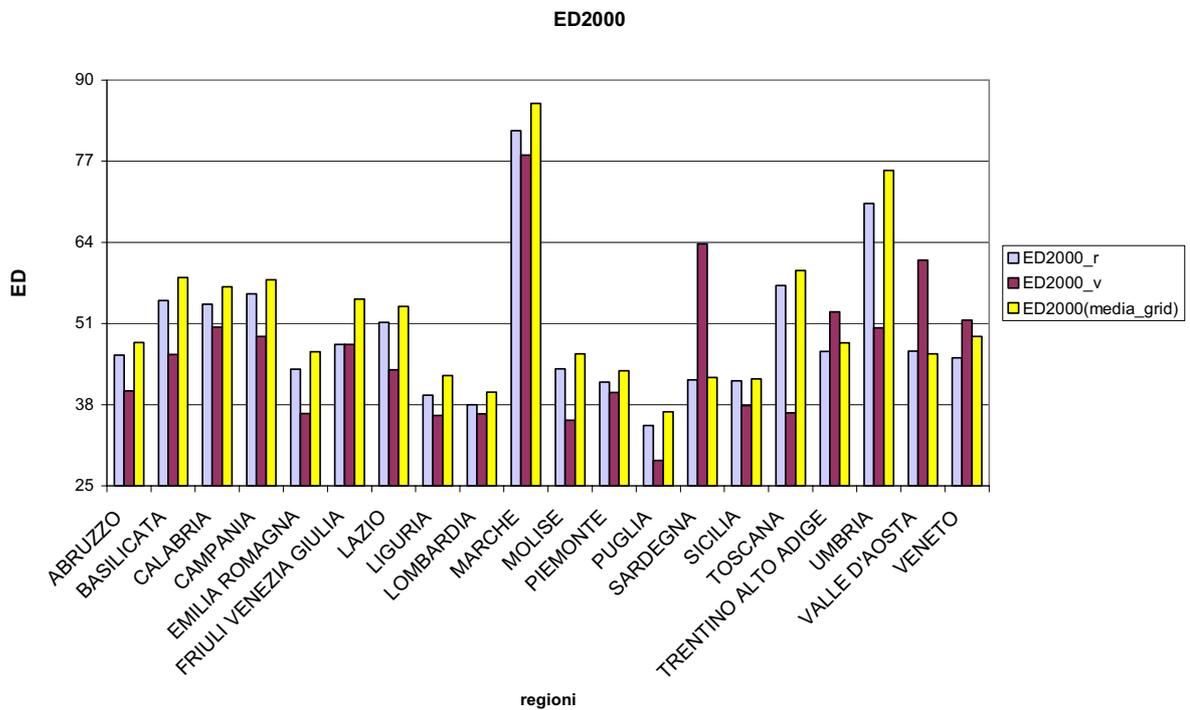


Fig. 4.18 - Confronto dei valori di ED del 2000 calcolati seguendo i tre diversi approcci (vector vs raster vs finestra mobile)

4.3.2 SDHI (Shannon's Diversità Index)

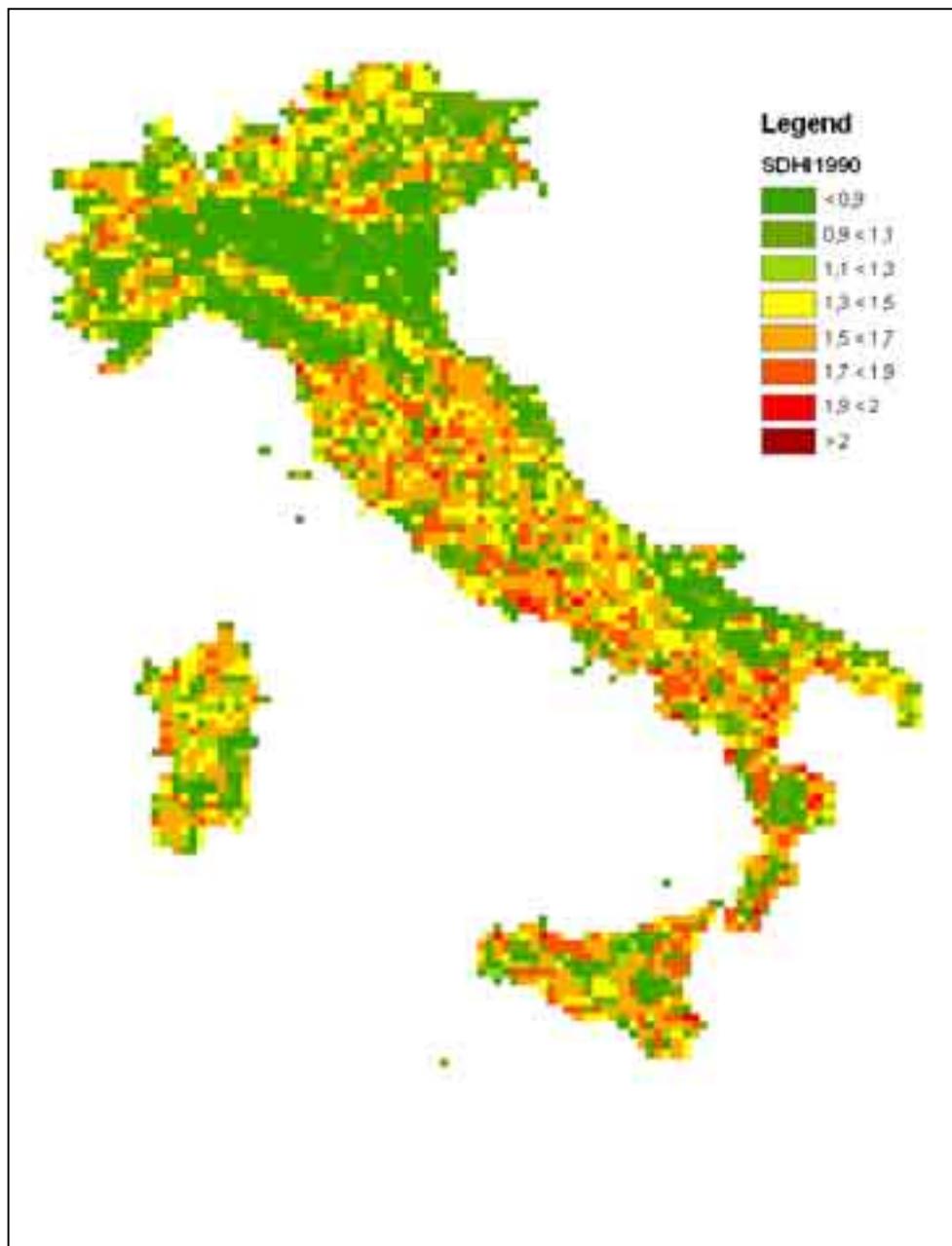


Fig.4.19 – SDHI 1990 calcolato con la finestra mobile

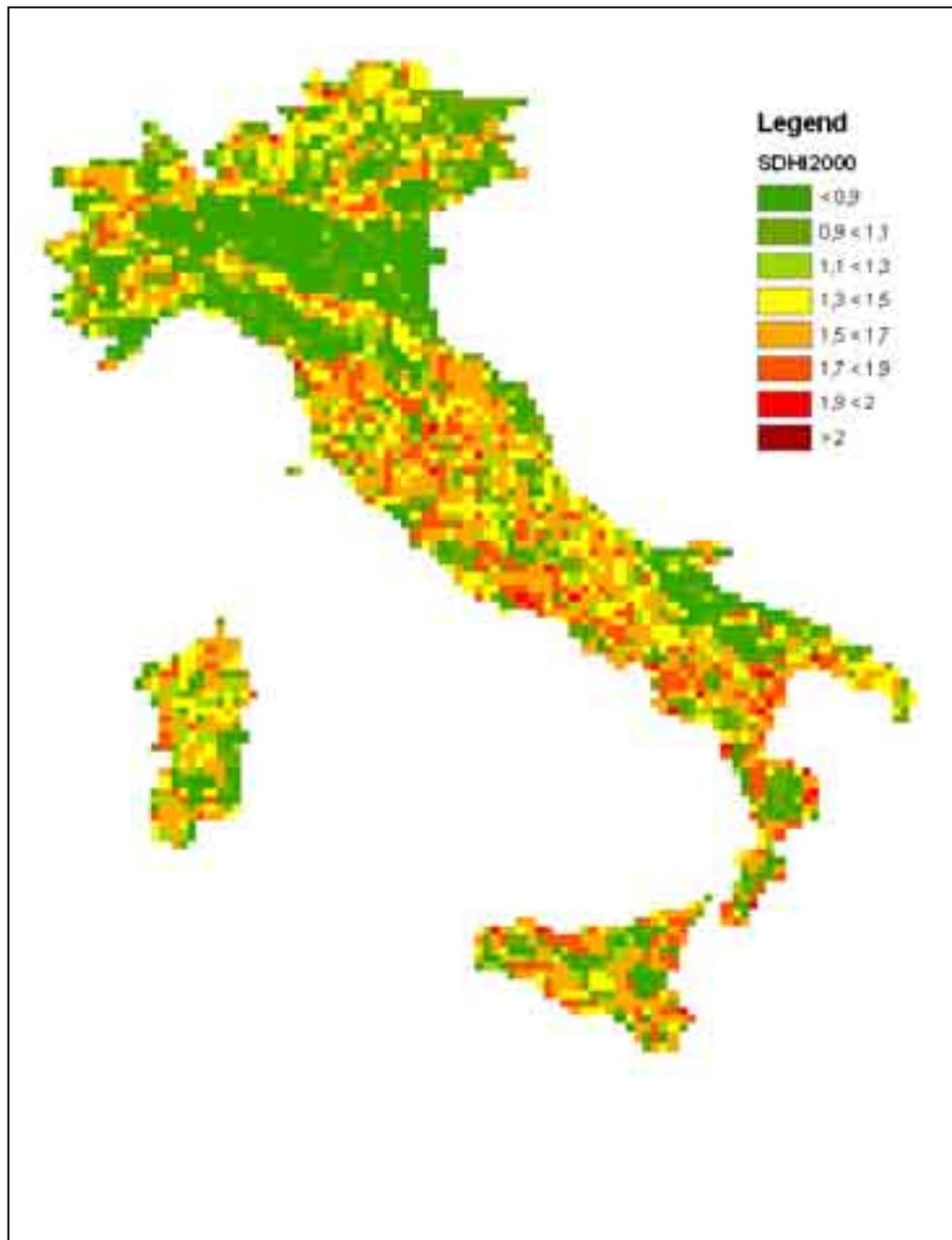


Fig. 4.20 – SDHI 2000 calcolato con la finestra mobile

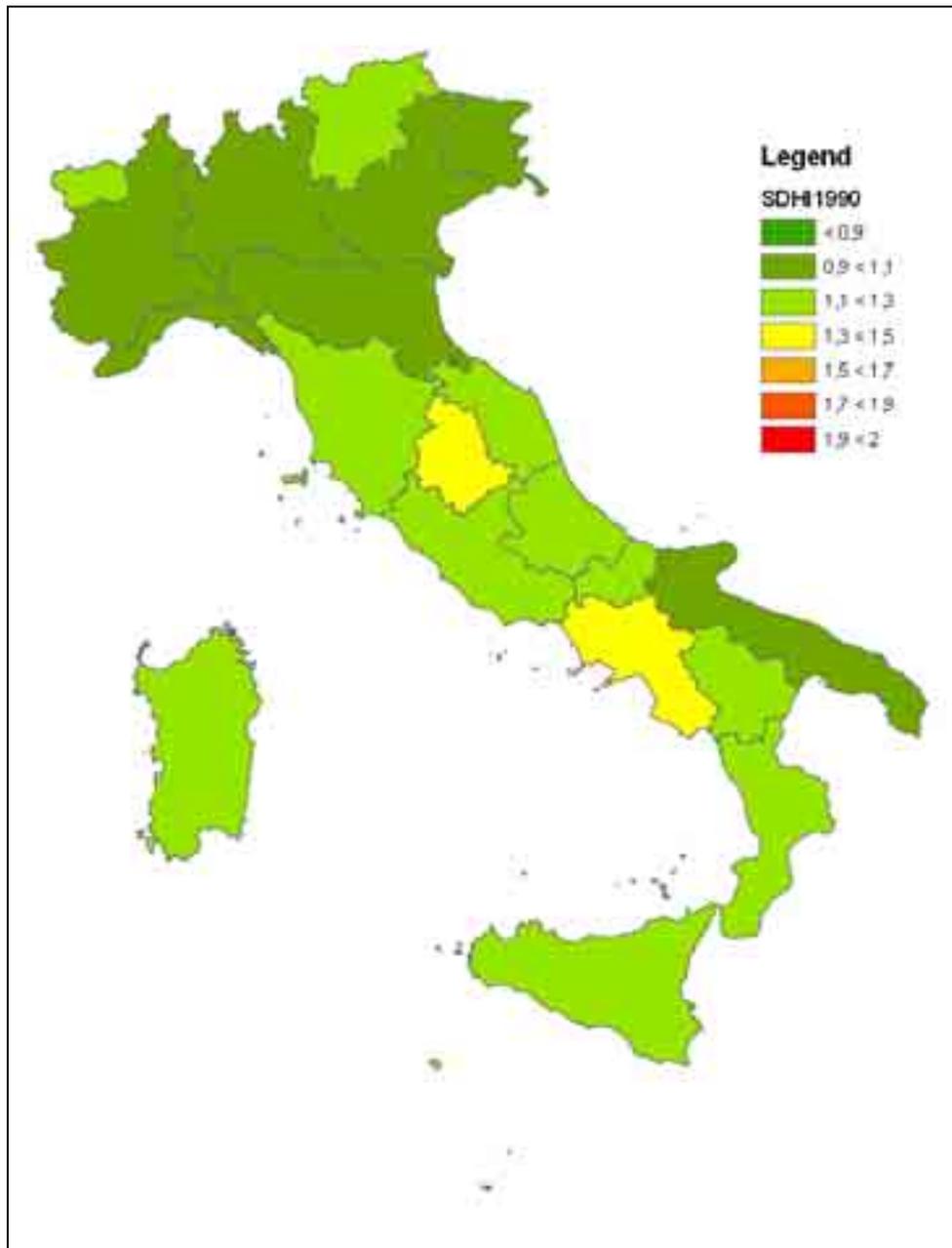


Fig. 4.21 – Mappa relativa ai valori dell'indice di shannon del 1990 per ogni regione italiana, calcolati come media dei valori delle maglie della finestra mobile che ricadono in ogni regione.

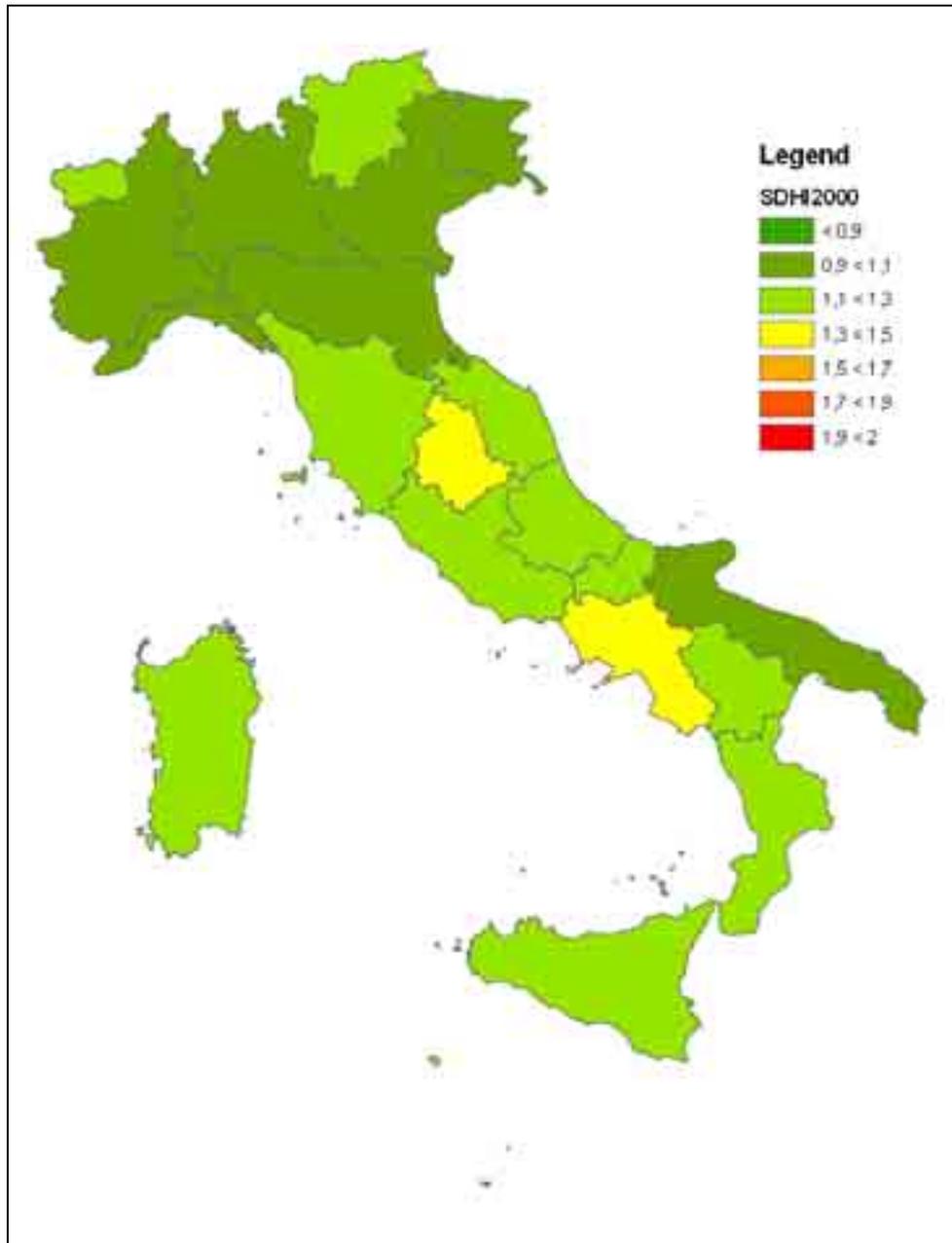


Fig. 4.22 – Mappa relativa ai valori dell'indice di Shannon del 2000 per ogni regione italiana, calcolati come media dei valori delle maglie della finestra mobile che ricadono in ogni regione.

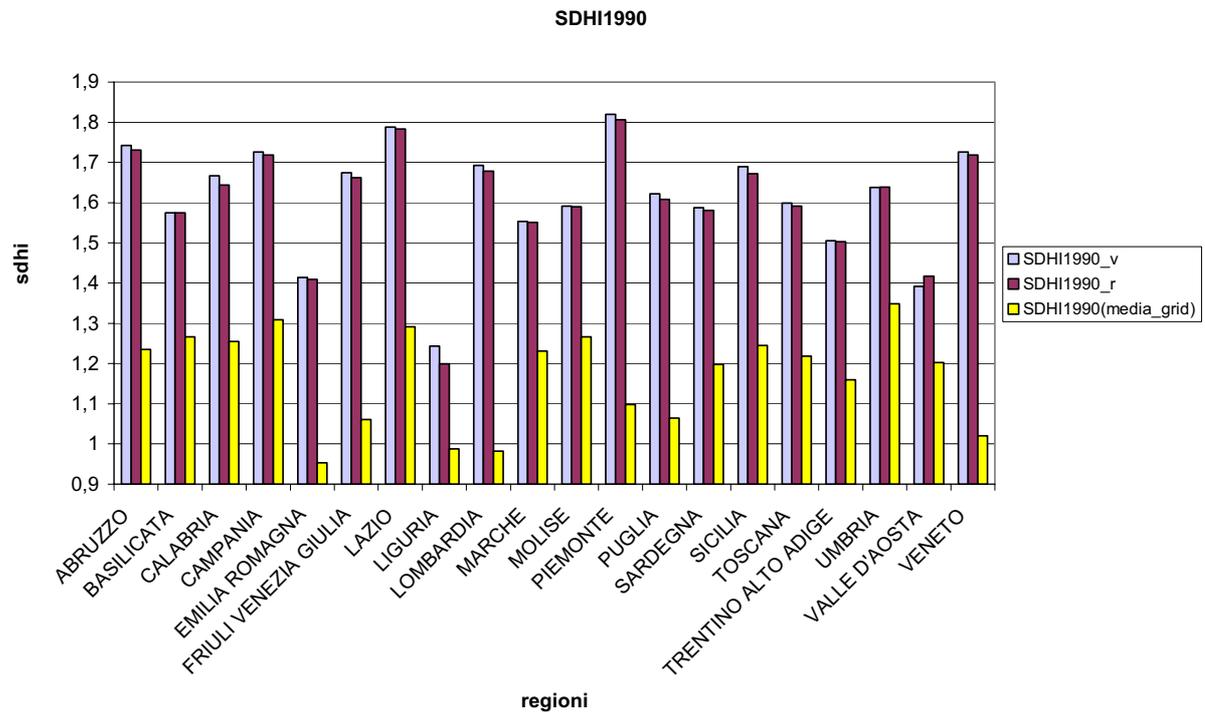


Fig. 4.23 - Confronto dei valori dell'indice di Shannon del 1990 calcolati seguendo i tre diversi approcci (vector vs raster vs finestra mobile)

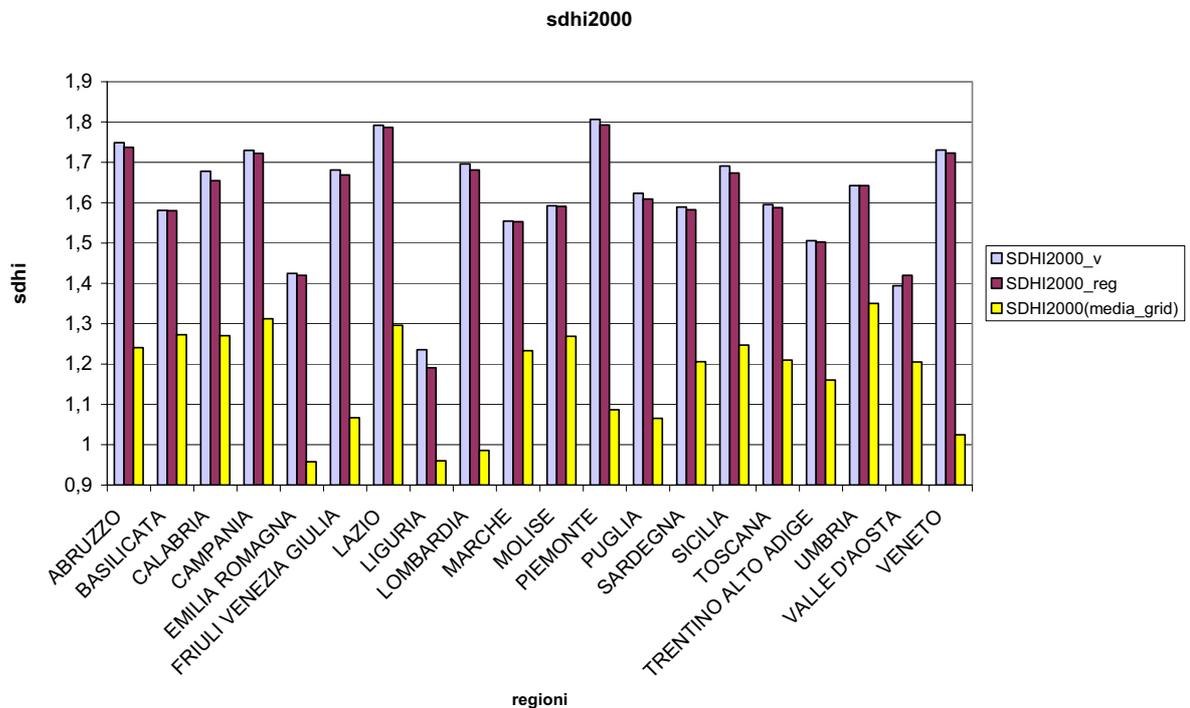


Fig. 4.24 - Confronto dei valori dell'indice di Shannon del 2000 calcolati seguendo i tre diversi approcci (vector vs raster vs finestra mobile)

5. DISCUSSIONE

I risultati ottenuti per il 1990 e per il 2000 mostrano che l'uso del suolo del territorio italiano si è modificato poco nel corso di questo decennio, infatti i valori degli indicatori calcolati utilizzando sia la metodologia vector che quella raster sono simili per entrambi gli anni come è evidente dai grafici presenti nel paragrafo precedente (*Paragrafo 4.1, 4.2, Fig.4.3, 4.6, 4.9 e 4.12*).

L'Edge Density ci fornisce una stima dell'eterogeneità del paesaggio che è proporzionale alla quantità dei margini presenti in una determinata area (McGarigal et al.; 1994) ; questo risulta piuttosto omogeneo in Puglia, in cui è stato registrato il valore più basso, mentre il valore più elevato corrisponde alle Marche che risulta quindi avere un territorio piuttosto eterogeneo come destinazione d'uso del suolo (*Paragrafo 4.1, 4.2, Fig.4.1, 4.2, 4.7 e 4.8*).

L'indice di Shannon ci fornisce un'informazione non solo riguardante la ricchezza del territorio intesa come numero di classi ma anche la composizione del territorio stesso come area ricoperta da ogni classe. Questo raggiunge il valore più basso in Liguria che presenta anche un valore di ED piuttosto basso, il che fa pensare ad un territorio abbastanza omogeneo. I valori più elevati sono stati rilevati in Piemonte e nel Lazio (*Paragrafo 4.1, 4.2, Fig.4.4, 4.5, 4.10 e 4.11*).

5.1 Confronto tra vector e raster.

I valori di Edge Density calcolati con le due metodologie sono in prevalenza diversi, infatti la conversione di una struttura vettoriale (in questo caso le patches) in grid comporta la perdita dell'identità spaziale della stessa (perdita della forma) che diventa un insieme di celle, in particolare viene perduta l'informazione relativa al margine, che è fondamentale nel calcolo di questo indicatore ambientale (ED) (Ioannilli. M.& Schiavoni. U.M.A., 2002).

I valori di Edge Density calcolati con la metodologia raster tendono in generale ad essere più elevati (*Fig 5.1, Fig. 5.2*), questo perché durante la conversione dal vettoriale al raster i margini delle patches diventano più frastagliati e ciò comporta un aumento del perimetro delle patches con un conseguente incremento dei valori di ED all'interno delle stesse aree di riferimento.

Solamente in pochi casi tra cui la Sardegna e la Valle D'Aosta l'Edge Density calcolata con la metodologia raster assume valori inferiori rispetto al vettoriale, ciò potrebbe attribuirsi ad una generalizzazione delle classi durante la conversioni del vettoriale al raster. Infatti soprattutto in presenza di patches con una superficie poco estesa la conversione comporta una perdita dell'informazione relativa al perimetro con un conseguente abbassamento dei valori di ED per le stesse aree di riferimento.

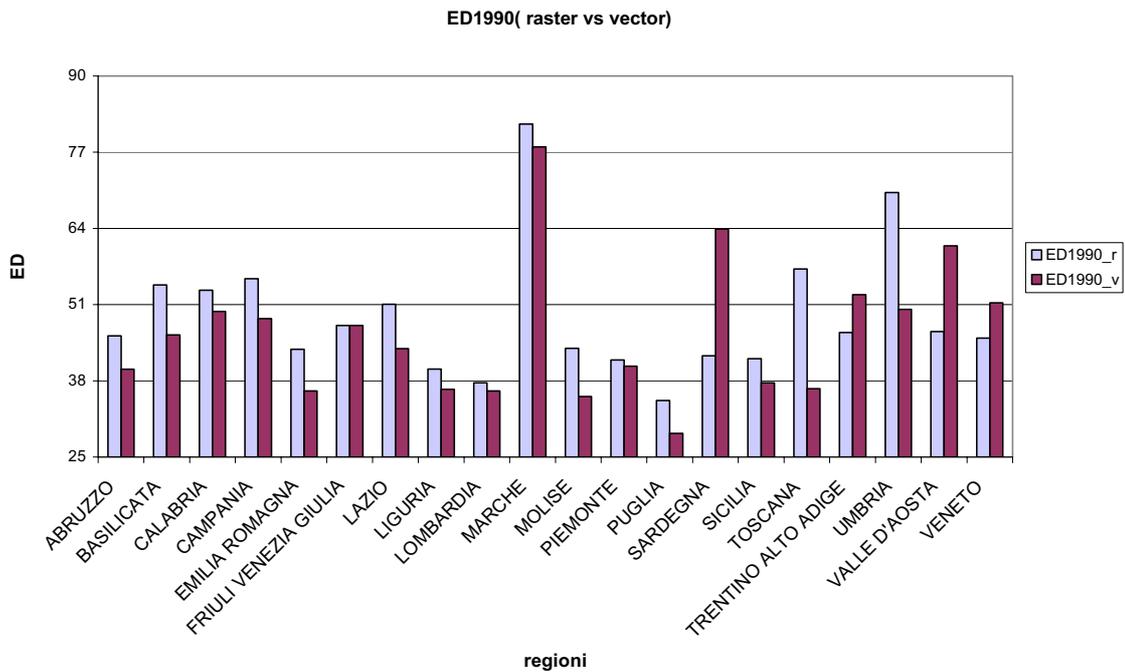


Fig.5.1 – Confronto dei valori di ED del 1990 calcolati con le due metodologie.

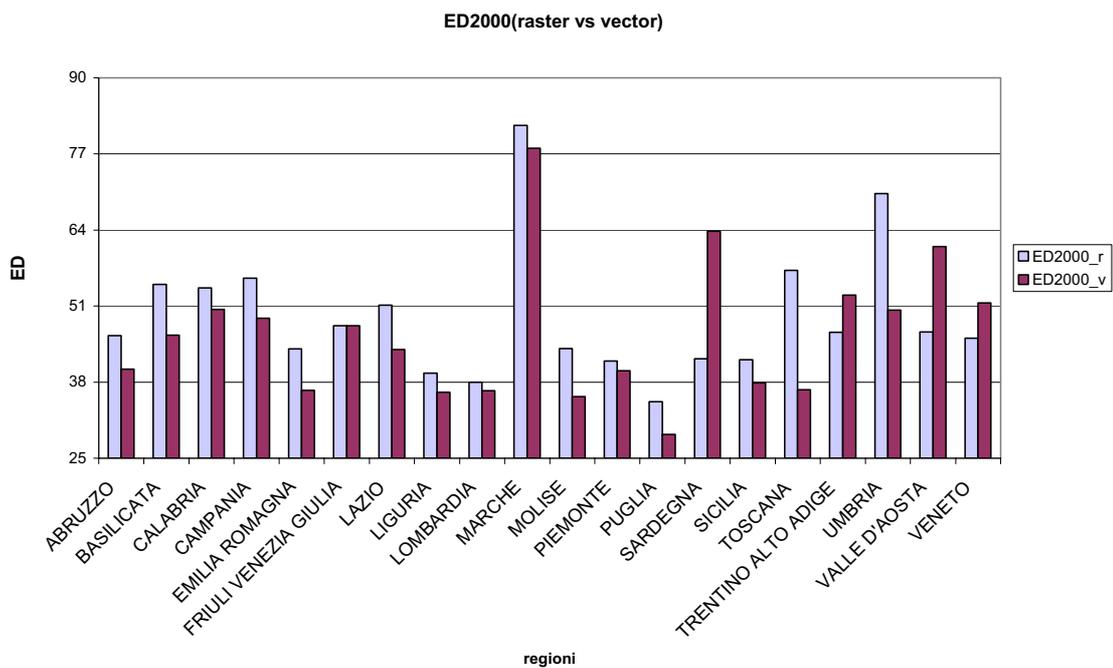


Fig.5.2 – Confronto dei valori di ED del 2000 calcolati con le due metodologie.

L'indice di Shannon al contrario dell'Edge Density assume valori molto simili sia utilizzando i raster che il vettoriale (*Fig. 5.3, Fig. 5.4*).

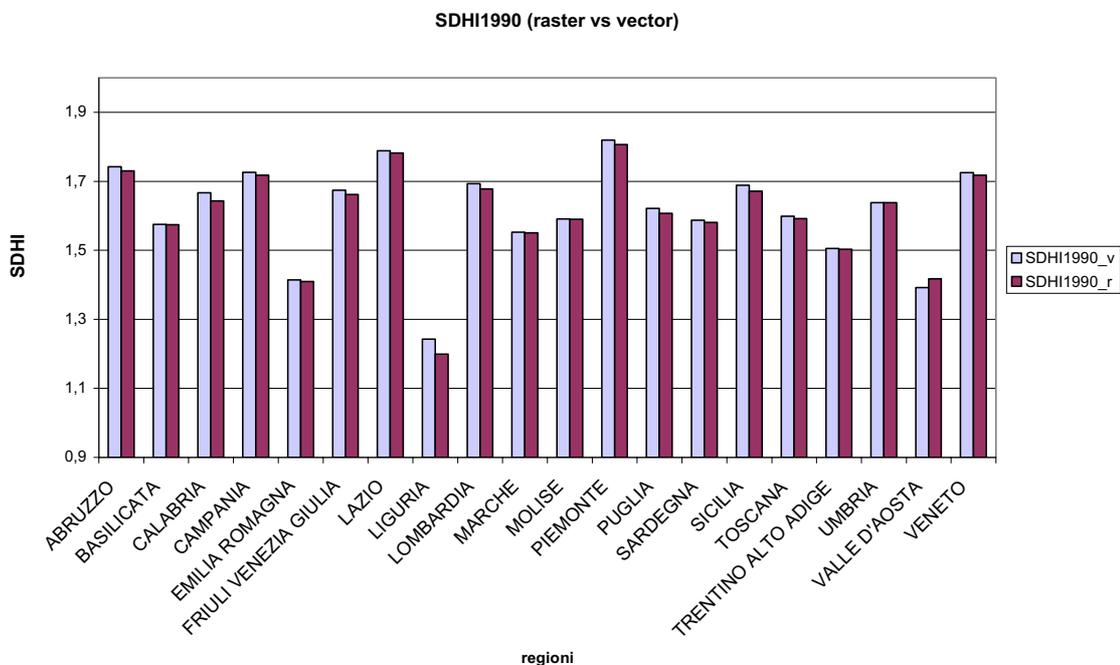


Fig. 5.3 – Confronto dei valori di SDHI del 1990 calcolati con le due metodologie.

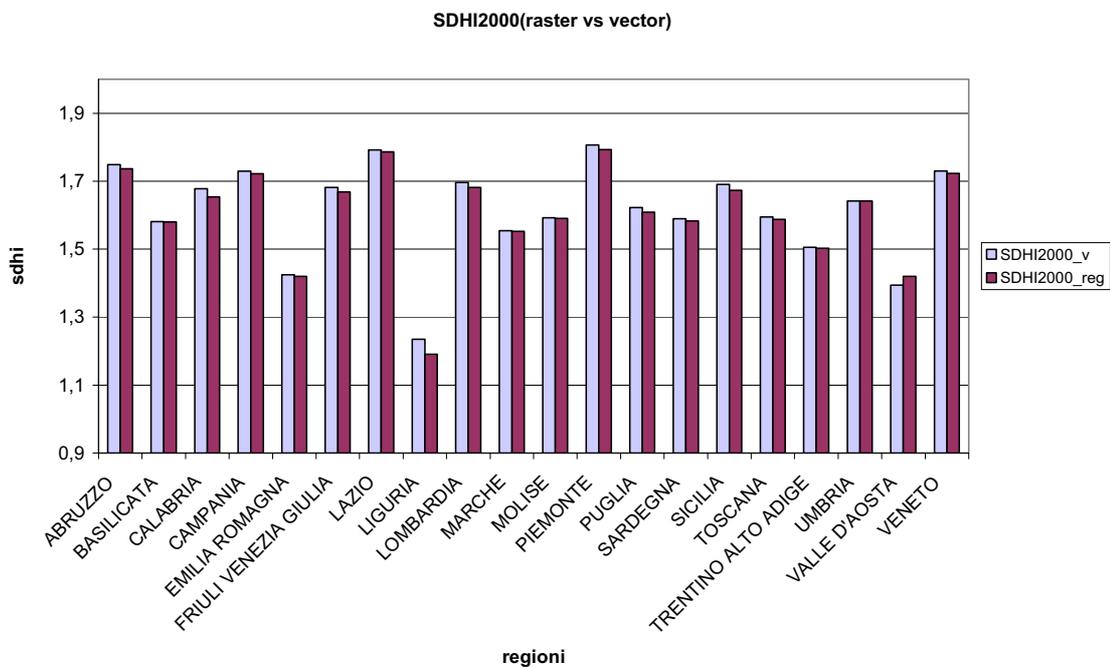


Fig. 5.4 – Confronto dei valori di SDHI del 2000 calcolati con le due metodologie.

5.2 Confronto fra due approcci nella scelta delle unità spaziali di riferimento: regioni vs finestra mobile.

Nell'utilizzo della finestra mobile i calcoli degli indicatori sono stati effettuati utilizzando dati raster. Il confronto con le precedenti metodologie è stato fatto ottenendo degli indicatori sintetici per regione, calcolati come media dei valori che gli stessi indicatori assumono nelle maglie della grid che ricadono in ogni unità amministrativa. In questo modo abbiamo delle unità spaziali (regioni) confrontabili.

L' Edge Density tende a ricalcare i risultati registrati con le precedenti metodologie (*Paragrafo 4.3, Fig. 4.17, 4.18*). Le Marche è la regione in cui l'ED è più elevato mentre è più basso in Puglia. In generale assume dei valori complessivamente superiori, questo può attribuirsi alla più elevata eterogeneità di alcune zone specifiche all'interno delle regioni. Utilizzando un'unità di riferimento piccola queste specificità territoriali vengono considerate maggiormente nel calcolo degli indicatori. Solo in tre regioni tra cui la Sardegna, la Sicilia e la Valle d'Aosta l'ED calcolato con la finestra mobile e quello ottenuto con la metodologia raster sono pressoché uguali, probabilmente perché nelle maglie della grid si riscontra una situazione territoriale molto vicina alla media regionale.

La situazione è diversa per l'indice di Shannon (*Paragrafo 4.3, Fig. 4.23, 4.24*) in cui i valori ottenuti con la finestra mobile sono complessivamente inferiori.

Dato che questo indicatore prende in considerazione la percentuale di superficie occupata da ogni classe rispetto alla superficie totale di riferimento (composizione) e il numero di classi presenti (ricchezza), se l'area di riferimento diminuisce, anche la quantità di classi sarà inferiore e la porzione di territorio occupata da ogni classe diminuirà; per cui è consigliabile applicare l'indice a delle porzioni di territorio omogenee in termini di superficie, al fine di permettere un confronto significativo dei risultati.

6. CONCLUSIONI

Le metodologie (vettoriale – raster), utilizzate per il calcolo degli indicatori ambientali scelti da APAT, non hanno evidenziato particolari problemi applicativi, infatti in entrambi i casi è stato possibile arrivare all'ottenimento degli indicatori ambientali senza riscontrare notevoli differenze nei tempi di esecuzioni e nel numero delle elaborazioni effettuate.

La scelta di utilizzare il vettoriale piuttosto che il raster è quindi da attribuirsi allo specifico caso da esaminare, al tipo di dati di input a disposizione e alle preferenze dell'utente.

Gli indicatori ambientali prescelti descrivono la struttura del paesaggio sotto diversi aspetti (diversità, frammentazione...); come messo in evidenza nello sviluppo del lavoro, però, la costruzione degli indicatori è fortemente influenzata dalle modalità secondo cui vengono condotti le misurazioni di base.

Ciò implica che non è definibile a priori il "miglior" indicatore in grado di fornirci da solo una visione complessiva, soddisfacente ed univoca del fenomeno analizzato.

In linea generale, quindi, è necessario determinare preliminarmente la specifica finalità d'uso dell'indicatore, in quanto è proprio essa a determinare il grado di approssimazione, generalizzazione e sintesi contenuta nell'indicatore.

Ad esempio, la scelta di una data unità di riferimento spaziale per la effettuazione delle misure influenza la validità e l'interpretabilità del risultato, in particolar modo quando si opera in un territorio vasto e diversificato come quello italiano.

Come visto, infatti, la scelta dei confini regionali ha portato a dei risultati generalizzati, che forse poco rappresentano la complessità interna del territorio esaminato. D'altronde, tale scelta permette di ottenere un risultato direttamente riferibile all'ente territoriale (la regione appunto) competente sul fenomeno analizzato.

Informazioni più articolate sono definibili adottando delle unità di misura in base a delle caratteristiche comuni (per esempio la geografia, la morfologia, la geologia), con lo scopo di produrre degli indicatori più indirizzati verso soggetti disciplinarmente interessati alla analisi ambientale.

Questo secondo aspetto, in particolare, è utilmente trattato mediante lo sviluppo di analisi a finestra mobile, che permettono di valutare più analiticamente le diverse articolazioni locali dei fenomeni indagati, consentendo in particolare di superare il limite della marginatura (legata alla esistenza di confini amministrativi) di quegli elementi dotati di una naturale continuità (come per l'appunto sono le aree naturali).

Inoltre, variando le dimensioni della grid di analisi si possono ottenere informazioni a vario grado di dettagliato, confrontando le quali sarebbe probabilmente possibile far emergere quegli elementi da sottoporre ad una più accurata analisi..

Dal punto di vista del merito del fenomeno studiato si deve comunque concludere come, nel suo complesso, il territorio italiano nel corso del decennio 1990 – 2000 non presenti grandi cambiamenti nella destinazione di uso del suolo; ciò infatti emerge da tutte le misure effettuate.

DEFINIZIONI, ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

AEA	Agenzia Europea per l'Ambiente
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
CLC	<i>Corine Land Cover</i>
Corine	<i>Coordinating Information on the environment</i>
DG AGRI	<i>General Directorate of Agriculture</i>
ED	<i>Edge Density</i>
EEA	<i>European Environment Agency</i>
ETCs	<i>European Topic Centres</i>
EUROSTAT	<i>European Environment Agency</i>
GIS	<i>Geographical Information System</i>
ha	ettaro
I&CLC2000	<i>Image & Corine Land Cover 2000</i>
JRC	<i>Joint Research Centre</i>
SDHI	<i>Shannon's Diversity Index</i>

BIBLIOGRAFIA

1. APAT, (2005). *La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000*. APAT. Rapporti: 36/2005.
2. Eiden. G. et all. Quantifying Landscape Structures: spatial and temporal dimensions. *From land cover to landscape diversity in the European Union*. Services of the European Commission e European Environmental Agency, 2000. Disponibile all'indirizzo: http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/index_en.htm
3. <http://www.clc.2000.sinanet.apat.it>

[1] www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000/clc2000/progetto_i_clc_2000.asp

[2] www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000/clc2000/programma_corine.asp

4. <http://www.europa.eu.int>

[1] www.europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/intro.htm

[2] www.europa.eu.int/comm/agriculture/publi/landscape/about.htm

[3] www.europa.eu.int/comm/agriculture/publi/index_en.htm

5. Ioannilli. M & Schiavoni. U.M.A., (2002). *Fondamenti di sistemi informativi geografici*. Università di “Tor Vergata”, Facoltà di Ingegneria.
6. McGarigal, K & Marks, B., (1994). *Fragstats – Spatial pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis .
7. Munafò. M. *La tutela dei corsi d'acqua e al pianificazione territoriale*. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità. Volume 41, n. 3, 2005. p. 293 – 298.
8. OECD. *Better Understand our Cities, The Role of Urban Indicators*. Paris: OECD; 1997.

9. Turner, M. G., (1989), '*Landscape Ecology: the effect of pattern on processes*', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, p. 171-197.
10. Turner, M. G., Gardner, R.H., (1991), 'Quantitative Methods in Landscape Ecology: An Introduction', *Ecological Studies*, 81, 1991, p. 3-17.
11. United Nations. *Earth Summit, The Rio Declaration – Agenda 21*. Rio de Janeiro; 1992.

