

# **Valutazione della sostenibilità ambientale ed integrazione di dati ambientali e territoriali**

---

---

#### NOTA PER PUBBLICAZIONI ANTE ACCORPAMENTO IN ISPRA

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

La presente pubblicazione fa riferimento ad attività svolte in un periodo antecedente l'accorpamento delle tre Istituzioni e quindi riporta ancora, al suo interno, richiami e denominazioni relativi ai tre Enti soppressi.

**ISPRA** - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale  
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma  
[www.ispra.gov.it](http://www.ispra.gov.it)

© ISPRA, Rapporti 82/2008

ISBN 978-88-448-0347-X

Riproduzione autorizzata citando la fonte

#### Elaborazione grafica

ISPRA

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli

*Foto di copertina:* Chiara Munafò

#### Coordinamento tipografico

Daria Mazzella e Simonetta Turco

**ISPRA** - Settore Editoria

#### Amministrazione

Olimpia Girolamo

**ISPRA** - Settore Editoria

#### Distribuzione

Michelina Porcarelli

**ISPRA** - Settore Editoria

#### Impaginazione e stampa

Borgia srl, Industrie Grafiche Editoriali Associate  
00152 Roma - Via di Monteverde, 28-38

Stampato su carta TCF

Finito di stampare ..... 2008

#### A CURA DEL:

Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale

---

Il volume è a cura di:

*Michele Munafò*<sup>1</sup>

con il contributo dei seguenti autori:

Introduzione - *Michele Munafò*<sup>1</sup>, *Maria Gabriella Simeone*<sup>1</sup>, *Alessandro Troccoli*<sup>1</sup>

Cap. 1 - *Paola Giacomich*<sup>2</sup>, *Maria Antonietta Raimondo*<sup>3</sup>, *Carlo Cellamare*<sup>4</sup>, *Dario Rocchi*<sup>4</sup>,  
*Michele Munafò*<sup>1</sup>

Cap. 2 - *Cinzia Licciardello*<sup>5</sup>

Cap. 3 - *Paola Giacomich*<sup>2</sup>, *Michele Munafò*<sup>1</sup>, *Alfonso Ianiro*<sup>6</sup>, *Michele Ricci*<sup>6</sup>, *Stefania Caruso*<sup>7</sup>,  
*Giuseppe Onorati*<sup>8</sup>, *Emma Lionetti*<sup>8</sup>, *Luca Paglia*<sup>8</sup>, *Massimiliano Carrino*<sup>9</sup>, *Enrico Bonansea*<sup>9</sup>,  
*Marcella Alibrando*<sup>9</sup>

Si ringraziano l'ing. Maurizio Colagrossi<sup>1</sup> e tutti i componenti del Tavolo tecnico interagenzia-  
le "Strumenti, standard e dati SINAnet".

<sup>1</sup> ISPRA

<sup>2</sup> ARPA Friuli Venezia Giulia

<sup>3</sup> ARPA Sardegna

<sup>4</sup> Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

<sup>5</sup> ARPA Toscana

<sup>6</sup> ARPA Molise

<sup>7</sup> ARTA Abruzzo

<sup>8</sup> ARPA Campania

<sup>9</sup> ARPA Piemonte

Si ringrazia la prof.ssa Silvia Macchi dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza", facoltà di Ingegneria,  
per l'attività di revisione della presente pubblicazione.

La responsabilità di quanto esposto nel testo rimane esclusivamente agli autori.

---

## INDICE

INTRODUZIONE .....	7
1. ANALISI INTEGRATA E VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIEN- TALE DI AREE OMOGENEE .....	9
1.1 Inquadramento .....	9
1.2 Delimitazione di aree omogenee .....	10
1.2.1 Selezione dei descrittori .....	10
1.2.2 Le aree montane .....	15
1.2.3 Le aree umide .....	18
1.2.4 Le aree costiere .....	19
1.2.5 Le aree urbane .....	20
1.2.6 La carta dell'altitudine .....	22
1.2.7 La carta della pendenza .....	24
1.2.8 La carta della distanza dalla linea di costa verso terra .....	26
1.2.9 La carta dell'uso prevalente di suolo .....	28
1.2.10 La carta della vegetazione prevalente .....	31
1.2.11 La carta delle aree omogenee .....	33
1.2.12 Analisi e discussione dei risultati .....	36
1.3 Metodologia di valutazione .....	37
1.3.1 Il sistema degli indicatori .....	37
1.3.2 L'aggregazione degli indicatori mediante il metodo delle distanze dal target	44
1.3.3 Esempio applicativo .....	48
1.3.4 Limiti e potenzialità della metodologia .....	54
2. STANDARD METODOLOGICI E CARTOGRAFICI PER LA SPAZIALIZZAZIO- NE DI DATI STATISTICI FINALIZZATA ALLA DERIVAZIONE DI INDICATORI E CARTE TEMATICHE .....	55
2.1 Inquadramento .....	55
2.2 Ambiti applicativi e banche dati utilizzate .....	57
2.3 Metodologie utilizzate .....	58
2.4 Georeferenziazione .....	58
2.5 Geocoding .....	62
2.6 Linear Referencing .....	65
2.7 Interpolazione e predizione .....	65
2.8 Data Assimilation .....	71
3. STUDIO DI CASI: LA VALUTAZIONE DEL GRADO DI IMPERMEABILIZZA- ZIONE DEL TERRITORIO .....	73
3.1 Inquadramento .....	73

---

3.2 Esperienze regionali .....	76
3.2.1 ARPA Molise .....	76
3.2.2 ARTA Abruzzo .....	77
3.2.3 ARPA Campania .....	80
3.2.4 ARPA Piemonte .....	82
BIBLIOGRAFIA .....	89

---

## INTRODUZIONE

L'integrazione dei dati ambientali con i dati territoriali è un elemento imprescindibile per l'impostazione di analisi ambientali, per la messa a punto di strumenti di valutazione e per la costruzione di mappe tematiche. Il territorio aiuta a creare le condizioni affinché le conoscenze ambientali possano integrarsi a vari livelli, tra i diversi settori ed alle diverse scale di lettura. Inoltre, i fatti e i fenomeni ambientali, appartenenti ad un qualsiasi ambito tematico, assumono un significato concreto riferendoli al territorio in cui si manifestano.

In particolare, il riferimento a bacini omogenei, come ad esempio le aree costiere e le aree montane, è necessario per l'integrazione delle informazioni ambientali che sono, in gran parte, poco riferibili a contesti territoriali puramente di tipo amministrativo.

In questo rapporto viene illustrata la metodologia adottata per la valutazione della sostenibilità di aree omogenee a scala nazionale con approfondimenti specifici sul tema dell'impermeabilizzazione dei suoli e della spazializzazione dei dati, riportando quanto realizzato nell'ambito della terza linea di attività del Tavolo Tecnico Interagenziale "Strumenti Standard e Dati Sinanet" (TTI-SSDS). Il TTI-SSDS è uno dei progetti realizzati nel 2006 da APAT in collaborazione con il sistema delle Agenzie Ambientali.

Il progetto si è articolato su tre linee di attività:

- a. definizione e proposta di strumenti per la catalogazione e fruizione di quanto già disponibile e per la raccolta, gestione e condivisione dei dati e delle informazioni;
- b. definizione di servizi e metodologie, così come definite dal Centro Nazionale per l'Informatica nella P.A.;
- c. metodologie di integrazione dei dati ambientali e territoriali, con particolare riferimento ad aree omogenee.

Nello schema a pagina seguente è presentato il dettaglio del Piano Operativo con le attività e le task. Per ognuna di queste è indicato il responsabile APAT ed i componenti del Gruppo di Lavoro che ne hanno curato lo svolgimento.

Il presente testo, riguardante la linea c. del TTI-SSDS, è organizzato in tre parti:

1. analisi integrata e valutazione della sostenibilità ambientale di aree omogenee;
2. standard metodologici e cartografici per la spazializzazione di dati statistici finalizzata alla derivazione di indicatori e carte tematiche;
3. studio di casi: la valutazione del grado di impermeabilizzazione del territorio.

Nella prima parte viene preliminarmente fornita una definizione operativa del termine "aree omogenee" e, quindi, affrontato il tema della valutazione della sostenibilità ambientale mediante la definizione di set di indicatori che possano essere adattati, di volta in volta, alla caratterizzazione ambientale di diversi ambiti territoriali. La metodologia proposta viene applicata a scala nazionale ottenendo delle carte di sintesi con la classificazione utilizzata per la delimitazione delle aree omogenee. Vengono quindi descritti il sistema analisi e le modalità di popolamento della banca dati degli indicatori ottenuta sulle aree omogenee. L'aggregazione degli indicatori mediante la tecnica delle distanze dal target viene, infine, illustrata con un esempio applicativo, utile anche per evidenziare i limiti e le potenzialità della metodologia illustrata.

Nella seconda parte sono approfonditi gli aspetti specifici degli standard metodologici e cartografici per la spazializzazione di dati statistici. Le procedure tecniche che si riferiscono a tali standard sono, in generale, finalizzate alla derivazione di indicatori e carte tematiche e, nel caso

specifico, utili per un potenziale miglioramento dei riferimenti territoriali del sistema di indicatori illustrato nella prima parte.

L'ultima parte del lavoro è dedicata all'analisi di uno dei temi che possono contribuire alla valutazione integrata della sostenibilità ambientale con particolare riferimento all'uso del territorio: l'impermeabilizzazione dei suoli. Sono presentate diverse tecniche attraverso l'esposizione di quattro esperienze pilota riguardanti le regioni Molise, Abruzzo, Campania e Piemonte.

Attività	Task	Gruppo di Lavoro Interagenziale	
a.	Repertorio delle regole per la raccolta, gestione e condivisione di dati e informazioni ambientali e territoriali Resp. APAT: M. Gabriella Simeone	Specifiche della struttura del "Repertorio delle Specifiche e Standard SINAnet" Popolamento del Repertorio sviluppato da APAT in accordo alle suddette specifiche	APAT: Cristian Di Stefano, Alessandro Troccoli, Marche: Ferdinando De Rosa, Davide De March, Claudia Ferri, Federica Allegrezza, Sardegna: Maria Antonietta Raimondo, Veneto: Luca Menini, Silvia Rebeschini, Liguria: Enrica Bongio APAT, tutte le ARPA
	Prodotti e servizi per la gestione delle informazioni e delle risorse informative Resp. APAT: Antonio Pugliese	Definizione delle specifiche del modulo per l'integrazione del catalogo nazionale Fonti con quelli locali	APAT: Cristian Di Stefano, Alessandro Troccoli, Friuli V.G.: Enrico Artini, Maurizio Baldassi, Valle d'Aosta: Gian Piero Bottini, Marche: Ferdinando De Rosa, Lombardia: Andrea Barollo, Toscana: Maurizio Trevisani, Marco Bazzani, Piemonte: Enrico Bonansea, Massimiliano Carrino, Umbria: Roberta Calò, Veneto: Silvia Rebeschini, Campania: Giuseppe Onorati, Trento: Paolo Fedel
		Censimento dei cataloghi delle risorse e dei servizi locali - Popolamento del Catalogo nazionale FONTI	APAT, tutte le ARPA
b.	Strumenti per la Collaborazione Applicativa nella rete Resp. APAT: Valter Sambucini	Definizione e sviluppo di componenti software necessari alla Collaborazione Applicativa nella rete SINAnet così come definite dal Centro Nazionale per l'Informatica nella P. A..	APAT: Piero Frascchetti, Emilia Romagna: Gianfranca Galliani, Matteo Cicognani, Paolo Errani, Franco Screpanti, Friuli V.G.: Claudio Candelotto, Enrico Mengotti, Liguria: Enrica Bongio, Umbria: Mauro Emiliano, Valle d'Aosta: Gian Piero Bottini, Abruzzo: Marco De Berardis, Basilicata: Vito Mancusi, Piemonte: Claudio Marchisio, Veneto: Luca Menini, Maurizio Zanetti
		Contributo alla realizzazione di strumenti secondo gli standard SINAnet per la gestione di dati/ informazioni relativi ai laboratori di riferimento.	APAT: Alessandro Troccoli, Friuli V.G.: Enrico Artini, Roberto Faelli, Valle d'Aosta: Gian Piero Bottini, Liguria: Enrica Bongio, Lombardia: Andrea Barollo, Michele Lupo, Toscana: Maurizio Trevisani, Stefano Mignani
c.	Metodologie di integrazione dei dati ambientali e territoriali, con particolare riferimento ad aree omogenee Resp. APAT: Michele Munafò	Proposta di metodologia di analisi integrata per le aree costiere e per le aree montane ed esempi applicativi	Friuli V.G.: Paola Giacomich, Sardegna: Maria Antonietta Raimondo, Valle d'Aosta: Gian Piero Bottini
		Proposta di metodologia per la quantificazione delle aree impermeabilizzate a partire da dati di uso del territorio ed esempi applicativi	Friuli V.G.: Paola Giacomich, Abruzzo: Stefania Caruso, Campania: Giuseppe Onorati, Piemonte: Enrico Bonansea, Massimiliano Carrino, Molise: Alfonso Ianiro
		Spazializzazione dati socio-economici ed esempi applicativi	Toscana: Cinzia Licciardello, Friuli V.G.: Paola Giacomich, Valle d'Aosta: Gian Piero Bottini, Campania: Giuseppe Onorati

## 1. ANALISI INTEGRATA E VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DI AREE OMOGENEE

### 1.1 Inquadramento

Il concetto di sostenibilità, definito attraverso le quattro dimensioni economica, sociale, ambientale e istituzionale viene analizzato, nell'ambito del presente lavoro, nella sua componente ambientale intesa come capacità di mantenere nel tempo qualità e riproducibilità delle risorse naturali, di preservare la diversità biologica e di garantire l'integrità degli ecosistemi. L'obiettivo generale della produzione di una metodologia che possa permettere l'analisi integrata e la valutazione della sostenibilità ambientale di aree omogenee, con particolare riferimento all'uso del territorio, viene impostato mediante la definizione di un set di indicatori comuni che possa essere adattato alla caratterizzazione ambientale di realtà territoriali di diverso tipo, quali le macro tipologie di aree omogenee.

Nel proporre una metodologia applicata ad aree omogenee, sono necessari un preliminare inquadramento e una definizione del termine "aree omogenee". Esistono infatti differenti definizioni a seconda della tematica trattata, come le aree omogenee all'interno dei piani regolatori<sup>1</sup>, le aree omogenee dal punto di vista ecologico (ad es. le ecoregioni<sup>2</sup>) oppure quelle omogenee dal punto di vista climatico, paesaggistico, strutturale, ecc.. Il numero, la tipologia e le possibili definizioni delle diverse aree omogenee sono elevati e di conseguenza le analisi condotte possono risultare poco gestibili, specialmente nel caso di confronto tra aree omogenee di territori o regioni diverse. Per Vallega (1982, cit. in Macchi, 1988), l'uso del concetto dell'omogeneità è "logicamente ineccepibile" quando l'oggetto di studio sia l'ambiente fisico, mentre "rivela forzature abbastanza evidenti" qualora si considerino le interdipendenze tra gli elementi dell'organizzazione territoriale. Nell'ambito della pianificazione territoriale, peraltro, il concetto diviene centrale, nell'accezione assunta da Vallega, per gli studi inerenti la regionalizzazione del territorio in cui il fine della ricerca non sia un'oggettività regionale ma, piuttosto, l'area di diffusione di determinati fenomeni, quale strumento per la conoscenza di realtà più complesse. È in questo senso che Bellacicco (1983, ib.) definisce l'area omogenea "un insieme anche non strettamente contiguo di unità territoriali caratterizzato dalla massima correlazione tra un insieme di variabili predeterminate". L'individuazione di aree omogenee non deve condurre alla ricerca di "un'omogeneità teorica del territorio che, in realtà, non potrà mai sussistere somigliando tale omogeneità a quello stato di massima entropia nella termodinamica dei sistemi che, concretamente, significa la morte del sistema stesso" (ib.).

Secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente, le aree omogenee sono porzioni di superfici della stessa specie o natura, convenzionalmente delimitate e fornite di particolari caratteri, utilizzate per designare aree territoriali aventi determinate specificità dal punto di vista geografico, urbanistico, fisico, biologico, culturale, economico, ecc.<sup>3</sup>.

Solo concentrandosi sulla tematica dell'uso del territorio, possono essere definite diverse tipologie di aree omogenee. Per esempio, nel rapporto APAT sulla Qualità dell'ambiente urbano<sup>4</sup> viene specificato che "La normativa vigente in materia (D. Lgs. 267/2000) non fornisce speci-

<sup>1</sup> Secondo il D.M. 2 aprile 1968 si possono distinguere sei distinte categorie di zone territoriali omogenee tra le quali ad esempio, la zona A relativa al centro storico, la zona D destinata agli insediamenti industriali e la zona E destinata all'agricoltura.

<sup>2</sup> Protocollo d'intesa tra il Ministero dell'Ambiente ed il WWF firmato nel 2006: "Una ecoregione è costituita da un'unità terrestre e/o marina relativamente estesa che contiene un insieme distinto di comunità naturali le quali condividono la maggior parte delle specie, delle dinamiche ecologiche e delle condizioni ambientali".

<sup>3</sup> EEA, "State of the coasts in Europe. Towards a EEA assessment report", 2004.

<sup>4</sup> "Qualità dell'Ambiente Urbano" II° Rapporto APAT. Edizione 2005"

fici criteri per la delimitazione delle aree metropolitane, ma si limita a definire quali realtà territoriali possono essere considerate tali, ovvero, quelle parti di territorio costituite da una città centrale e da una serie di centri minori ad essa uniti da contiguità territoriale e da rapporti di stretta integrazione in ordine all'attività economica, ai servizi essenziali alla vita sociale, ai caratteri ambientali, alle relazioni sociali e culturali”.

Nell'Art. 2 LR 33/02 del Friuli Venezia Giulia “Istituzione dei Comprensori montani del Friuli Venezia Giulia” risulta che “Il territorio montano è costituito dai territori classificati tali alla data di entrata in vigore della presente legge ed è suddiviso in zone montane omogenee, secondo criteri di unità territoriale economica e sociale. [...] Sono altresì classificati montani i territori delle aree industriali e delle aree degli insediamenti produttivi, confinanti con le nuove delimitazioni comprensoriali. [...] In applicazione dei criteri di cui ai commi 1, 2 e 3 il territorio montano è ripartito nelle zone montane omogenee di cui all'allegato A”. La Legge 991/1952 “Provvedimenti in favore dei territori montani” stabilisce che “ai fini dell'applicazione della presente legge sono considerati territori montani i Comuni censuari situati per almeno l'80 per cento della loro superficie al di sopra di 600 metri di altitudine sul livello del mare e quelli nei quali il dislivello tra la quota altimetrica inferiore e la superiore del territorio comunale non è minore di 600 metri”.

In Inman e Brush (1973)<sup>5</sup> si specifica che la “zona costiera” può essere definita in funzione delle sue caratteristiche tettoniche ed erosivo-deposizionali a grande scala. Per quanto riguarda i limiti spaziali essa si ritiene composta, da terra verso mare, dalla pianura costiera e dalla piattaforma continentale fino al suo limite con la scarpata. Al suo interno si individuano, inoltre, le grandi baie, gli ambienti transizionali, le lagune, i campi di dune costiere e le foci fluviali. Invece nel Progetto EUROSION, dove entrano in gioco parametri relativi anche alla “parte marina” della fascia costiera, si è adottata una classificazione di carattere amministrativo, e si afferma che sono comprese nella parte terrestre della fascia costiera le unità amministrative situate parzialmente o per intero a meno di 10 km dalla linea di riva<sup>6</sup>.

Infine nel documento “Indicatori e indici sullo stato di qualità delle zone umide” APAT, CTN-NEB, viene fatto riferimento al DPR 13 marzo 1976, n. 448 secondo il quale per zone umide si intendono “le paludi e gli acquitrini, le torbiere oppure i bacini, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra o salata, ivi comprese le distese di acqua marina la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri”.

## 1.2 Delimitazione di aree omogenee

### 1.2.1 Selezione dei descrittori

La delimitazione di aree omogenee sul territorio nazionale con l'obiettivo di valutarne la sostenibilità ambientale, è stata ottenuta con l'impiego di alcune variabili (descrittori). Il descrittore viene inteso come un parametro che non consente di formulare valutazioni o giudizi, ma che viene utilizzato per catalogare, indicizzare e descrivere specifiche caratteristiche dell'ecosistema o del sistema sociale ed economico. I descrittori selezionati derivano da un'analisi della normativa e della letteratura scientifica effettuata su varie tipologie di aree omogenee in Italia (Tabella 1).

<sup>5</sup> Inman D. L. e Brush B. M., 1973. “The Coastal Challenge”. *Science*, 181: 20-32.

<sup>6</sup> EUROSION, 2003 - Trends of coastal erosion in Europe. EuroSION D 5.1.2, Final draft version: 57 pp.

Nella ricerca normativa effettuata, l'attenzione è stata posta sulla legislazione vigente nelle regioni Friuli Venezia Giulia, Valle d'Aosta, Sardegna, Sicilia e Veneto che hanno partecipato alla linea di attività C task 1 del Tavolo Tecnico SSDS e su una serie di tipologie di aree omogenee:

- aree montane;
- aree umide;
- aree costiere;
- aree urbane.

**Tabella 1. Analisi normativa e “scientifica” effettuata su varie tipologie di zone omogenee in Italia**

Zone omogenee	Definizione normativa	Definizione “scientifica”
<b>Zone montane</b>	<p>LIVELLO NAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE 25 luglio 1952, n. 991: Provvedimenti in favore dei territori montani;</li> <li>- D.P.R. 10 giugno 1955, n. 987;</li> <li>- LEGGE 30 LUGLIO 1957, n. 657 (GU n. 196 del 07/08/1957): modifica all'articolo 1 della Legge 25 - Luglio 1952, n. 991, concernente provvedimenti a favore dei territori montani;</li> <li>- LEGGE 3 dicembre 1971, n. 1102: nuove norme per lo sviluppo della montagna.</li> </ul> <p>LIVELLO REGIONALE (Veneto)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE REGIONALE 27 marzo 1973, n. 10 (BUR n. 12/1973) Abrogata: Ripartizione in zone omogenee del territorio montano della regione per la costituzione delle comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE 3 luglio 1992 n. 19 (BUR n. 72/1992): norme sull'istituzione e il funzionamento delle comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE 9 settembre 1999, n. 39 (BUR 79/1999): modifiche della Legge Regionale 3 luglio 1992 n. 19.</li> </ul> <p>LIVELLO REGIONALE (Valle d'Aosta)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE REGIONALE n. 13 del 05 04 1973: norme sull'istituzione e il funzionamento delle comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE N. 92 DEL 15-12-1982: Modificazioni delle delimitazioni territoriali stabilite con legge regionale 5 aprile 1973, n. 13, recante norme sulla istituzione e sul funzionamento delle comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE N. 91 DEL 02-11-1987: Norme concernenti le Comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE N. 16 DEL 06-05-1994: Modificazioni alla legge regionale 2 novembre 1987, n. 91 (Norme concernenti le Comunità montane).</li> </ul> <p>LIVELLO REGIONALE (Friuli Venezia Giulia)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE REGIONALE N. 29 DEL 04-05-1973: Norme di attuazione e di adeguamento della legge 3 dicembre 1971, n. 1102, sullo sviluppo della montagna;</li> <li>- LEGGE REGIONALE 33/02: Istituzione dei Comprensori montani del Friuli Venezia Giulia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classificazione statistica ISTAT;</li> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Biotopes;</li> <li>- Telerilevamento e Carta dell Natura scala 1:50.000;</li> <li>- Classificazione morfologica in base alla pendenza (servizio di conservazione del suolo degli USA);</li> <li>- Classificazione morfologica in base alla pendenza (Centro di Studi Fitosociologici ed Ecologici di Montpellier).</li> </ul>

Zone omogenee	Definizione normativa	Definizione “scientifica”
	<p>LIVELLO REGIONALE (Sardegna)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE REGIONALE 17 agosto 1978, n. 52: Delimitazione nei territori montani delle zone con caratteri omogenei ai sensi dell’articolo 2 della legge regionale 3 giugno 1975, n. 26.</li> </ul> <p>LIVELLO REGIONALE (Sicilia)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE REGIONALE N. 34 DEL 17-07-1972: Norme sulla costituzione delle Comunità montane;</li> <li>- LEGGE REGIONALE N. 46 DEL 15-12-1973 Ripartizione dei territori montani della Sicilia in zone omogenee.</li> </ul>	
<b>Zone umide</b>	<p>LIVELLO INTERNAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CONVENZIONE INTERNAZIONALE relativa alle Zone Umide di importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici, meglio nota come Convenzione di Ramsar, 2 febbraio 1971</li> </ul> <p>LIVELLO NAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- D.P.R. 13 marzo 1976, n. 448: Esecuzione della convenzione relativa alle zone umide d’importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici, firmata a Ramsar il 2 febbraio 1971- D.P.R. 11 febbraio 1987, n. 184 (Gazz. Uff., 15 maggio, n. 111): Esecuzione del protocollo di emendamento della convenzione internazionale di Ramsar del 2 febbraio 1971 sulle zone umide di Importanza internazionale.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Land Cover (legenda VOCE n. 4);</li> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Biotopes;</li> <li>- Telerilevamento e Carta della Natura scala 1:50.000;</li> <li>- Specie di uccelli acquatici significative in zone umide (WWF e LIPU Giornata mondiale delle zone umide World Wetlands Day 2 Febbraio 2003);</li> <li>- Specie vegetali significative in zone umide (siti regioni).</li> </ul>
<b>Zone urbane</b>	<p>LIVELLO NAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEGGE 142/1990: Ordinamento delle autonomie locali;</li> <li>- LEGGE 3 agosto 1999, n. 265: Disposizioni in materia di autonomia e ordinamento degli enti locali, nonché modifiche alla legge 8 giugno 1990, n. 142;</li> <li>- DECRETO LEGISLATIVO 18 agosto 2000, n. 267: Testo unico delle leggi sull’ordinamento degli enti locali;</li> <li>- D.P.R. 23-3-1998 n. 138 “Regolamento recante norme per la revisione generale delle zone censuarie, delle tariffe d’estimo delle unità immobiliari urbane e dei relativi criteri nonché delle commissioni censuarie in esecuzione dell’articolo 3, commi 154 e 155, della L. 23 dicembre 1996, n. 662”;</li> <li>- D.Lgs 31-3-1998 n. 112 “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della L. 15 marzo 1997, n. 59”;</li> <li>- D.P.R. 26-10-1972 n. 650 “Perfezionamento e revisione del sistema catastale”;</li> <li>- D.M. 28-10-1965 “Entrata in vigore del nuovo catasto edilizio urbano nella provincia di Trieste”;</li> <li>- D.M. 4-12-1961 “Entrata in vigore del nuovo catasto edilizio urbano a partire dal 1° gennaio 1962”;</li> <li>- D.P.R. 1-12-1949 n. 1142 “Approvazione del Regola-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Land Cover (legenda VOCE n. 1);</li> <li>- Progetto Moland;</li> <li>- Nuovo Catasto Edilizio Urbano (NCEU) per edificato residenziale/industriale;</li> <li>- Classificazione ISTAT;</li> <li>- U.M.Z. dell’E.E.A. (1990).</li> </ul>

Zone omogenee	Definizione normativa	Definizione “scientifica”
	<p>mento per la formazione del nuovo catasto edilizio urbano”;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DECRETO INTERMINISTERIALE 2 aprile 1968, n. 1444: “Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell’art. 17 della legge n. 765 del 1967”.</li> </ul>	
<b>Zone costiere</b>	<p>LIVELLO INTERNAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DIRETTIVA 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane;</li> <li>- DIRETTIVA 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.</li> </ul> <p>LIVELLO NAZIONALE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- DECRETO LEGISLATIVO 152/99 “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”;</li> <li>- DECRETO LEGISLATIVO sulla Tutela delle Acque (settembre 2005).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Land Cover (legenda VOCE n. 5);</li> <li>- Telerilevamento e progetto CORINE - Biotopes;</li> <li>- Telerilevamento e Carta della Natura scala 1:50.000;</li> <li>- Inman e Brush (1973);</li> <li>- Cowell e Thom (1994);</li> <li>- Thurman e Trujillo (2002);</li> <li>- Progetto Lacoast (Land cover changes in COASTal zones);</li> <li>- Progetto EUROSION;</li> <li>- E.E.A. (Environment in the European Union at the turn of the century, 1999);</li> <li>- Gruppo di Lavoro CNR-GNDCI;</li> <li>- Criterio biologico ed ecologico (Hinrichsen D., “Coastal waters of the world: trends, threats and strategies”, Washington DC 1998);</li> <li>- Criterio commerciale e marittimo(O.E.C.D., “Coastal zone management-integrated polices”, Paris 1993).</li> </ul>

In seguito all’analisi svolta sono stati selezionati i seguenti descrittori:

- altitudine;
- pendenza;
- distanza dalla linea di costa verso terra;
- uso del suolo prevalente;
- vegetazione prevalente.

Sulla base dei descrittori selezionati sono state delimitate le aree omogenee secondo la seguente classificazione:

- Altitudine (Zone altimetriche statistiche I.S.T.A.T.)
  - Classe 1: altitudine < 300 m (Pianura).
  - Classe 2: altitudine compresa fra 300 m e 600 m (Collina interna).
  - Classe 3: altitudine > 600 m (Montagna).
- Pendenza (Guerra e Motriol, 1978)
  - Classe 1: pendenza < 3% (Zona pianeggiante).
  - Classe 2: pendenza compresa fra 3% e 5% (Zona con pendenza lieve).
  - Classe 3: pendenza compresa fra 5% e 8% (Zona con pendenza moderata).
  - Classe 4: pendenza compresa fra 8% e 15% (Zona con pendenza moderatamente accentuata).
  - Classe 5: pendenza compresa fra 15% e 25% (Zona con pendenza accentuata).
  - Classe 6: pendenza > 25% (Zona con pendenza molto accentuata).
- Distanza dalla linea di costa verso terra
  - Ambito nazionale (Progetto *Lacoast: Land cover changes in coastal zones*)
    - Classe 0: mare.
    - Classe 1: distanza < 10 km dalla linea di costa (Zona costiera).
    - Classe 2: distanza > 10 km dalla linea di riva (Zona non costiera).
  - Ambito locale (Gruppo di Lavoro CNR-Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche)
    - Classe 0: mare
    - Classe 1: distanza < 600m dalla prima duna o dalla linea di costa (Zona costiera).
    - Classe 2: distanza > 600m dalla prima duna o dalla linea di costa (Zona non costiera).
- Uso prevalente suolo (Legenda *Corine Land Cover 2000* livello I, Figura 3)
  - Classe 1: suolo Urbanizzato.
  - Classe 2: suolo Agricolo.
  - Classe 3: suolo Naturale e Seminaturale.
  - Classe 4: misto tendente all'Urbanizzato.
  - Classe 5: misto tendente all'Agricolo.
  - Classe 6: misto tendente al Naturale o Seminaturale.
- Vegetazione prevalente (Legenda CLC 2000 livello IV e V)
  - Classe 1: latifoglie.
  - Classe 2: conifere.
  - Classe 3: specie esotiche, tropicali e subtropicali.
  - Classe 4: ecosistemi acquatici.
  - Classe 5: praterie, brughiere, macchie basse e cespuglieti.
  - Classe 6: sterile.
  - Classe 7: zone agricole e artificiali.

Partendo dai cinque descrittori selezionati, sono state elaborate cinque carte tematiche:

- carta dell'altitudine (dati utilizzati: DTM 75 m);
- carta della pendenza (dati utilizzati: DTM 75 m, griglia 5 km x 5 km).
- carta della distanza dalla linea di costa verso terra (dati utilizzati: DTM 75 m, linea di costa penisola italiana).
- carta dell'uso prevalente di suolo (dati utilizzati: CLC 2000 livello I, griglia 1 km x 1 km, DTM 75m).

– carta della vegetazione prevalente (dati utilizzati: CLC 2000 livello 4° e 5°, griglia 5 km x 5 km, DTM 75 m).

Mediante la sovrapposizione delle cinque carte ottenute è stato possibile costruire una sesta carta, la carta delle aree omogenee, che permette l'individuazione di aree, della stessa specie o natura, secondo le classificazioni adottate.

### 1.2.2 Le aree montane

Per quanto riguarda le aree montane, a livello nazionale, cinque sono i riferimenti normativi fondamentali nei quali viene effettuata una classificazione del territorio montano e vengono definite le zone montane omogenee:

- Legge 25 Luglio 1952, n. 991: “Provvedimenti in favore dei territori montani”;
- Decreto del Presidente della Repubblica 10 Giugno 1955, n. 987: “Decentramento di servizi del Ministero dell'agricoltura e delle foreste”;
- Legge 30 Luglio 1957, n. 657 (G.U. n. 196 del 07/08/1957): “Modifica all'articolo 1 della Legge 25 Luglio 1952, n. 991, concernente provvedimenti a favore dei territori montani”;
- Legge 3 Dicembre 1971, n. 1102: “Nuove norme per lo sviluppo della montagna”;
- Legge 8 Giugno 1990, n. 142: “Ordinamento delle autonomie locali”.

In particolare, nell'articolo 1 della Legge del 25 Luglio 1952, n. 991, sono considerati “territori montani i Comuni censuari situati per almeno l'80 per cento della loro superficie al di sopra di 600 metri di altitudine sul livello del mare e quelli nei quali il dislivello tra la quota altimetrica inferiore e la superiore del territorio comunale non è minore di 600 metri, sempre che il reddito imponibile medio per ettaro, censito, risultante dalla somma del reddito dominicale e del reddito agrario, determinati a norma del regio decreto-legge 4 aprile 1939, n. 589, convertito nella legge 29 giugno 1939, n. 976, maggiorati del coefficiente 12 ai sensi del decreto legislativo 12 maggio 1947, n. 356, non superi le lire 2400. La Commissione censuaria centrale compila e tiene aggiornato un elenco nel quale d'ufficio o su richiesta dei Comuni interessati, sono inclusi i terreni montani. La Commissione censuaria centrale notifica al Comune interessato e al Ministero dell'agricoltura e delle foreste l'avvenuta inclusione nell'elenco. La predetta Commissione ha altresì facoltà di includere nell'elenco stesso i Comuni, o le porzioni di Comune, anche non limitrofi ai precedenti, i quali, pur non trovandosi nelle condizioni di cui al primo comma del presente articolo, presentino pari condizioni economico-agrarie, con particolare riguardo ai Comuni già classificati montani nel catasto agrario ed a quelli riconosciuti, per il loro intero territorio, danneggiati per eventi bellici ai sensi del decreto legislativo presidenziale 22 giugno 1946, n. 33. La Commissione censuaria provinciale può inoltrare proposta alla Commissione censuaria centrale per la inclusione nei territori montani di Comuni, o di porzioni di Comune, aventi i requisiti di cui ai commi precedenti. Spetta inoltre alla Commissione censuaria provinciale suddividere l'intero territorio montano della Provincia in zone costituenti ciascuna un territorio geograficamente unitario ed omogeneo sotto l'aspetto idrogeologico, economico e sociale. Tale competenza è demandata alla Commissione censuaria centrale nei casi in cui, a giudizio delle Commissioni censuarie provinciali interessate, la costituzione di una zona debba comprendere territori montani contigui appartenenti a due o più Province”. L'articolo della Legge 25 Luglio 1952, n. 991 viene successivamente sostituito, senza molti stravolgimenti, dall'articolo unico Legge del 30 Luglio 1957, n. 657 (Gazzetta Ufficiale n. 196 del 07/08/1957) e poi abrogato dalla Legge dell'8 Giugno 1990, n. 142.



Il Decreto del Presidente della Repubblica 10 Giugno 1955, n. 987, aggiunge tre commi all'articolo 1 della Legge 25 Luglio 1952, n. 991 recante provvedimenti in favore dei territori montani. In particolare, nell'articolo 12 si afferma che "spetta inoltre alla Commissione censuaria provinciale suddividere l'intero territorio montano della Provincia in zone costituenti ciascuna un territorio geograficamente unitario ed omogeneo sotto l'aspetto idrogeologico, economico e sociale"

Successivamente, con la Legge 3 Dicembre 1971, n. 1102 articolo 3, viene confermata una classifica e una ripartizione dei territori montani: "I territori montani sono quelli determinati in applicazione degli articoli 1, 14 e 15 della legge 25 luglio 1952, n. 991 dell'articolo unico della legge 30 luglio 1957, n. 657, e dell'art. 2 della legge regionale del Trentino-Alto Adige 8 febbraio 1956, n. 4. La classifica dei territori montani predetti sarà valida a qualsiasi effetto di legge o di regolamento. I territori montani saranno ripartiti con legge regionale in zone omogenee in base a criteri di unità territoriale economica e sociale entro un anno dalla data di entrata in vigore della presente legge. Le delimitazioni già eseguite ai sensi dell'art. 12 del decreto del Presidente della Repubblica 10 giugno 1955, n. 987, dovranno essere riadattate o corrette con legge regionale in base agli stessi criteri con il fine precipuo di individuare zone che consentano l'elaborazione e l'attuazione della programmazione sovracomunale. Tali delimitazioni saranno adottate dalle regioni d'intesa con i comuni interessati".

Per quanto riguarda la normativa a livello regionale, il territorio montano del Friuli Venezia Giulia trova la sua definizione nell'articolo 2 della Legge Regionale del 20 dicembre 2002, n. 33: "Istituzione dei Comprensori montani del Friuli Venezia Giulia" (come successivamente integrato dall'articolo 3, comma 6, della Legge regionale del 30 aprile 2003, n. 12). In particolare, nell'articolo 2 si afferma che "il territorio montano è costituito dai territori classificati tali alla data di entrata in vigore della presente legge ed è suddiviso in zone montane omogenee, secondo criteri di unità territoriale economica e sociale.

La vigente delimitazione del territorio montano è integrata con l'inclusione in esso dei territori dei Comuni delle Province di Pordenone e Udine riconosciuti parzialmente montani aventi popolazione inferiore a 3.000 abitanti. È classificato montano, in provincia di Trieste, anche il territorio dei comuni di Muggia, di San Dorligo della Valle e, oltre a quello già classificato montano, il territorio dei comuni censuari di: Santa Croce, Prosecco, Contovello, Roiano, Longera e Santa Maria Maddalena Superiore del comune di Trieste.

Sono altresì classificati montani i territori delle aree industriali e delle aree degli insediamenti produttivi, confinanti con le nuove delimitazioni comprensoriali, se gestiti da Consorzi industriali partecipati con presenza maggioritaria numerica di Comuni montani o parzialmente montani, purché la nuova perimetrazione contenga entro il limite di 1.000 le persone residenti sul territorio interessato all'inclusione.

In applicazione dei criteri di cui ai commi 1, 2 e 3 il territorio montano è ripartito nelle zone montane omogenee di cui all'allegato A, costituite dai territori dei Comuni interamente montani e dei Comuni parzialmente montani, limitatamente alla parte montana".

Il territorio montano del Veneto, invece, trova la sua definizione nella Legge Regionale del 27 Marzo 1973, n. 10 (BUR n. 12/1973): "Ripartizione in zone omogenee del territorio montano della regione per la costituzione delle comunità montane". In particolare, nell'articolo 1 si dichiara che "la presente legge ripartisce in zone omogenee il territorio montano della Regione Veneta per la costituzione delle Comunità Montane, secondo i principi fissati dalla legge 3 dicembre 1971, n. 1102, recante nuove norme per lo sviluppo della montagna" e nell'articolo

2 si afferma che "I territori della Regione Veneta classificati montani in applicazione degli art. 1, 14, 15 della legge 25 luglio 1952, n. 991 e dell'articolo unico della legge 30 luglio 1957, sono ripartiti, sulla base dei criteri di unità territoriale economica e sociale e secondo le delimitazioni risultanti dall'allegata corografia 1:200.000, nelle seguenti zone omogenee:

1. Zona omogenea dell'Agordino comprendente i comuni di: Agordo, Alleghe, Cencenighe Agordino, Colle Santa Lucia, Falcade, Canale d'Agordo, Gosaldo, La Valle Agordina, Livenallongo del Col di Lana, Rivamonte Agordino, Rocca Pietore, S. Tommaso Agordino, Selva di Cadore, Taibon Agordino, Vallada Agordina, Voltago Agordino.
2. Zona omogenea dell'Alpago comprendente i comuni di: Chies d'Alpago, Farra d'Alpago, Pieve d'Alpago, Puos d'Alpago (parte), Tambre d'Alpago.
3. Zona omogenea del Basso Cadore - Longaronese - Zoldano comprendente i comuni di: Castellavazzo, Forno di Zoldo, Longarone, Ospitale di Cadore, Perarolo di Cadore, Soverzene, Zoldo Alto, Zoppè di Cadore. [...]"

La Legge Regionale del 27 Marzo 1973, n. 10 viene successivamente integrata dalla Legge Regionale del 3 Luglio 1992 n. 19 (BUR n. 72/1992): "Norme sull'istituzione e il funzionamento delle comunità montane" modificata, in seguito, dalla Legge Regionale del 9 settembre 1999, n. 39 (BUR 79/1999): "Modifiche della Legge Regionale 3 luglio 1992 n. 19".

Per quanto concerne il territorio montano della Sardegna, la Legge Regionale del 17 Agosto 1978, n. 52, "Delimitazione nei territori montani delle zone con caratteri omogenei ai sensi dell'articolo 2 della legge regionale 3 giugno 1975, n. 26", afferma che "i territori montani della Regione autonoma della Sardegna, classificati tali in applicazione degli articoli 1, 14 e 15 della legge 25 luglio 1952, n. 991, e dell'articolo unico della legge 30 luglio 1957, n. 657, sono delimitati, ai sensi dell'articolo 3 della legge 3 dicembre 1971, n. 1102, e dell'articolo 2 della legge regionale 3 giugno 1975, n. 26, nelle zone territoriali con caratteri omogenei elencate nell'allegata tabella A che fa parte integrante della presente legge".

Il territorio montano della Sicilia, invece, trova la sua definizione nella Legge Regionale del 17 Luglio 1972, n. 34: "Norme sulla costituzione delle Comunità montane" e nella Legge Regionale del 15 Dicembre 1973, n. 46: "Ripartizione dei territori montani della Sicilia in zone omogenee". In particolare, nell'articolo 1 della Legge Regionale del 17 Luglio 1972, n. 34 si sostiene che "nell'ambito della Regione siciliana, i territori montani, determinati in applicazione degli articoli 1, 14 e 15 della legge 25 luglio 1952, n. 991 e dell'articolo unico della legge 30 luglio 1957, n. 657, sono ripartiti in zone omogenee, in base a criteri di unità territoriale, economica e sociale, di intesa con i comuni interessati e con una Commissione parlamentare composta da 15 deputati nominati dal Presidente dell'Assemblea regionale siciliana, garantendo la rappresentanza proporzionale di ciascun gruppo parlamentare, con decreto del Presidente della Regione, emanato su proposta dell'Assessore regionale per l'agricoltura e le foreste, previa deliberazione della Giunta regionale".

Il territorio montano della Valle d'Aosta trova la sua caratterizzazione nella Legge Regionale del 5 Aprile 1973, n. 13: "Norme sull'istituzione e il funzionamento delle comunità montane" (modificata dalla Legge Regionale del 15 Dicembre 1982 e successivamente abrogata dall'art. 24 della Legge Regionale 2 Novembre 1987, n. 91 a sua volta abrogata dall'art. 129 della Legge Regionale 7 Dicembre 1998, n. 54). Nell'articolo 1 si dichiara che "la presente legge disciplina l'istituzione e l'attività delle Comunità montane previste dalla legge 3-12-1971 n. 1102, in relazione alle norme della legge costituzionale 26 febbraio 1948 n. 4".

L'I.S.T.A.T., per le proprie elaborazioni statistiche, utilizza le zone altimetriche omogenee, intese come ripartizione del territorio in zone omogenee derivanti dall'aggregazione di Comuni contigui sulla base di valori soglia altimetrici. Si distinguono, in questo modo, zone altimetriche di montagna, di collina e di pianura e, per tenere conto dell'azione moderatrice del mare sul clima, le zone altimetriche di montagna e di collina vengono divise in zone altimetriche di montagna interna e litoranea e di collina interna e litoranea, includendo nelle zone litoranee i territori bagnati dal mare o in prossimità di esso, esclusi dalla zona di pianura.

In particolare, la zona altimetrica di montagna è caratterizzata dalla presenza di notevoli masse rilevate aventi altitudine non inferiore a 600 metri nell'Italia settentrionale e 700 metri nell'Italia centro-meridionale ed insulare e la zona altimetrica di collina, invece, è caratterizzata dalla presenza di diffuse masse rilevate aventi altitudine inferiore a 600 metri nell'Italia settentrionale e 700 metri nell'Italia centro-meridionale ed insulare.

Accanto alla definizione statistica I.S.T.A.T. esistono una serie di sistemi "indiretti" utilizzabili per definire e individuare le aree omogenee montane. Ad esempio, il clima influenza direttamente la distribuzione e la diffusione in senso altitudinale delle specie vegetali. Il clima, infatti, attraverso i suoi fattori (temperatura, acqua, luce, neve, etc.) condiziona notevolmente la distribuzione delle varie specie arboree: vi sono piante che preferiscono o meglio si adattano ad ambienti aridi o umidi, a climi continentali o oceanici, a climi freddi o temperati.

Accanto alle definizioni di carattere statistico, climatologico e vegetazionale esistono anche definizioni di natura morfologica. Infatti, è possibile sfruttare indirettamente, per la delimitazione e la caratterizzazione delle aree omogenee montane, informazioni legate alla pendenza. In particolare, per precisare quantitativamente il confronto tra salite o discese si può caratterizzare ogni tratto di terreno indicando di quanti metri esso si innalza ogni 100 metri di avanzamento in orizzontale. È possibile in questo modo creare delle classi di pendenza mediante le quali discriminare una area pianeggiante da una collinare o una area collinare da una montana.

### 1.2.3 Le aree umide

Per quanto riguarda le aree umide, a livello internazionale, il riferimento normativo fondamentale è la Convenzione relativa alle zone umide d'importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici, firmata a Ramsar il 2 febbraio 1971.

Nell'introduzione della convenzione si afferma che "le parti contraenti, riconoscendo l'interdipendenza tra l'uomo ed il suo ambiente, considerando le funzioni ecologiche fondamentali delle zone umide come regolatori del regime delle acque e come habitat di una flora e di una fauna caratteristiche e, in particolare di uccelli acquatici; convinti che le zone umide costituiscono una risorsa di grande valore economico, culturale, scientifico e ricreativo, la cui perdita sarebbe irreparabile; desiderando arrestare ora e per l'avvenire la progressiva invasione da parte dell'uomo e la scomparsa delle zone umide; riconoscendo che gli uccelli acquatici, nel periodo delle migrazioni stagionali, possono attraversare le frontiere così da dover essere considerati come risorsa internazionale; essendo persuasi che la tutela delle zone umide, della loro flora e fauna può essere assicurata mediante l'unione di una politica nazionale lungimirante con una azione internazionale coordinata."

Entrando nel dettaglio, nell'articolo 1 della convenzione "si intendono per zone umide le paludi (termine col quale si indica un territorio caratterizzato dalla presenza di acque dolci stagan-

ti di profondità ridotta) e gli acquitrini (termine che indica un bacino prossimo alla costa caratterizzato da acque salmastre poco profonde la cui limitata comunicazione con il mare non consente movimenti di marea), le torbe oppure i bacini, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra, o salata, ivi comprese le distese di acqua marina la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri". Continuando, nell'articolo 2 si dichiara che "ciascuna Parte contraente designa le zone umide idonee del proprio territorio, da inserire nell'Elenco delle zone umide di importanza internazionale, chiamato qui di seguito «l'Elenco», che viene conservato dall'ufficio istituito in virtù dell'art. 8. I confini di ciascuna zona umida vanno indicati con precisione, e riportati su una carta e possono comprendere le zone rivierasche, fluviali e marine, adiacenti alle zone umide, le isole o le distese di acqua marina con profondità superiori ai sei metri durante la bassa marea, situate entro i confini delle zone umide, in particolare quando tali zone, isole o distese d'acqua, hanno importanza come habitat degli uccelli acquatici.

La scelta delle zone umide da inserire nell'Elenco dovrebbe essere effettuata sulla base della loro importanza internazionale dal punto di vista dell'ecologia, della botanica, della zoologia, della limnologia o dell'idrologia. In primo luogo andrebbero inserite nell'Elenco le zone umide di importanza internazionale come habitat degli uccelli acquatici in qualsiasi stagione".

Il recepimento della convenzione, a livello nazionale, è avvenuto tramite il Decreto del Presidente della Repubblica del 13 marzo 1976, n. 448: "Esecuzione della convenzione relativa alle zone umide d'importanza internazionale, soprattutto come habitat degli uccelli acquatici, firmata a Ramsar il 2 Febbraio 1971" e attraverso il Decreto del Presidente della Repubblica del 11 Febbraio 1987, n. 184 (Gazzetta Ufficiale, 15 maggio, n. 111): "Esecuzione del protocollo di emendamento della convenzione internazionale di Ramsar del 2 febbraio 1971 sulle zone umide di Importanza internazionale".

Ad oggi 50 siti del nostro Paese sono stati riconosciuti e inseriti nell'elenco d'importanza internazionale stilato ai sensi della Convenzione di Ramsar. Si tratta di aree acquitrinose, paludi, torbiere oppure zone naturali o artificiali d'acqua, permanenti o transitorie comprese zone di acqua marina la cui profondità, quando c'è bassa marea, non superi i sei metri.

Viene così garantita la conservazione dei più importanti ecosistemi "umidi" nazionali, le cui funzioni ecologiche sono fondamentali, sia come regolatori del regime delle acque, sia come habitat di una particolare flora e fauna.

### 1.2.4 Le aree costiere

Qualunque definizione di zona costiera non può prescindere dal contesto dinamico di un ambiente, in cui i tre principali elementi terrestri, ovvero l'acqua, l'atmosfera e la terra, si incontrano e interagiscono. Inoltre, gli oceani ed i mari esercitano un profondo effetto sui continenti, influenzando sia le condizioni meteorologiche sia il clima, di modo che i limiti spaziali della zona costiera non sono di facile attribuzione.

Dal punto di vista legislativo, due sono i riferimenti all'interno dei quali vengono definiti dei limiti per l'area costiera:

– Decreto Legislativo 152/99: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole". Nel Decreto si afferma che le zone costiere sono

“quelle comprese entro la distanza di 3.000 metri dalla costa e comunque entro la batimetria dei 50 metri”(Allegato 1 par. 1.1.3).

– Schema di Decreto Legislativo sulla Tutela delle Acque (settembre 2005), art. 2 nel quale si afferma che: “le acque superficiali situate all’interno rispetto a una retta immaginaria distante, in ogni suo punto, un miglio nautico sul lato esterno dal punto più vicino della linea di base che serve da riferimento per definire il limite delle acque territoriali e che si estendono eventualmente fino al limite esterno delle acque di transizione” (circa 13 miglia).

Si tratta di definizioni e limitazioni di carattere molto generale che considerano solamente il limite della zona costiera verso il mare e non il limite verso terra, molto più interessante ai fini di questo lavoro.

La definizione dei limiti dell’area costiera non è normalmente possibile, in quanto molto spesso questi ultimi sono contraddistinti da un ambiente di transizione, ovvero da un ambiente che occupa una posizione intermedia fra quello continentale e quello marino, come per esempio i delta, gli estuari e le lagune. In ogni località, inoltre, la zona costiera può essere definita in funzione di criteri fisici, biologici, o culturali, che solo occasionalmente coincidono.

Il Progetto Lacoast (Land cover changes in COASTal zones) tratta unicamente la “parte terrestre” della fascia costiera, identificando per quest’ultima un limite di tipo rigido, uguale per tutti i Paesi e per tutte le tipologie costiere, posto a 10 km dalla linea di riva. Il progetto Lacoast, finanziato dal Centro Comune di Ricerche di Ispra, ha la finalità di verificare le variazioni intervenute tra il 1975 e gli anni Novanta nella copertura del suolo nell’ambito della area costiera dei Paesi aderenti all’UE. Allo scopo, è stato realizzato il confronto tra la cartografia CORINE Land Cover (1992-1993) e le immagini satellitari Landsat MMS (1973-1975) per una fascia di territorio compresa tra la linea costiera e i 10 km nell’entroterra.

### 1.2.5 Le aree urbane

All’interno del Decreto Interministeriale del 2 aprile 1968, n. 1444 “Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell’art. 17 della legge n. 765 del 1967”, in particolare nell’articolo 2, vengono delimitate e definite le “zone territoriali omogenee” secondo la seguente classificazione:

- A. le parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestano carattere storico, artistico e di particolare pregio ambientale o da porzioni di essi, comprese le aree circostanti, che possono considerarsi parte integrante, per tali caratteristiche, degli agglomerati stessi;
- B. le parti del territorio totalmente o parzialmente edificate, diverse dalle zone A): si considerano parzialmente edificate le zone in cui la superficie coperta degli edifici esistenti non sia inferiore al 12,5% (un ottavo) della superficie fondiaria della zona e nelle quali la densità territoriale sia superiore ad 1,5 mc/mq;
- C. le parti del territorio destinate a nuovi complessi insediativi, che risultino inedificate o nelle quali l’edificazione preesistente non raggiunga i limiti di superficie e densità di cui alla precedente lettera B);
- D. le parti del territorio destinate a nuovi insediamenti per impianti industriali o ad essi assimilati;

E. le parti del territorio destinate ad usi agricoli, escluse quelle in cui - fermo restando il carattere agricolo delle stesse - il frazionamento delle proprietà richieda insediamenti da considerare come zone C);

F. le parti del territorio destinate ad attrezzature ed impianti di interesse generale.

L’I.S.T.A.T. intende per centro abitato un aggregato di case contigue o vicine con interposte strade, piazze e simili, o comunque con brevi soluzioni di continuità, caratterizzato dall’esistenza di servizi od esercizi pubblici (ad esempio, chiesa, scuola, stazione, ufficio pubblico, etc.) costituenti la condizione di una forma autonoma di vita sociale e, generalmente, determinanti un luogo di raccolta ove sogliono concorrere anche gli abitanti dei luoghi vicini. Il nucleo abitato, invece, è una località abitata caratterizzata dalla presenza di case contigue o vicine con almeno cinque famiglie e con interposte strade, sentieri, spiazzi, aie, piccoli orti, piccoli incolti e simili, purché l’intervallo tra casa e casa non superi i 30 metri e sia in ogni modo inferiore a quello intercorrente tra il nucleo stesso e la più vicina delle case sparse e purché sia priva del luogo di raccolta che caratterizza il centro abitato.

L’Agenzia Europea per l’Ambiente afferma che l’area urbana è una zona circostante una agglomerazione (o una conurbazione) che per i vari servizi dipende dalla città centrale (metropoli) ed è caratterizzata dall’integrazione delle funzioni e dall’intensità dei rapporti che si realizzano al suo interno. Per agglomerazione si può intendere un’area urbana che comprende il tessuto costruito da un Comune centrale unito ai sobborghi e alle città satellite che lo circondano.

Una definizione scientifica largamente condivisa individua l’agglomerazione quale tessuto urbano che presenti distanze fra il costruito inferiori ai duecento metri, esclusi parchi ed aree protette. L’agglomerazione, monocentrica, si differenzia dalla conurbazione, policentrica. Una conurbazione è un’area urbana comprendente alcune città che, attraverso la crescita della popolazione e l’espansione urbana, si sono fisicamente unite a formare un’unica area edificata. La conurbazione è dunque una forma policentrica di agglomerazione.

Da un punto di vista urbanistico, a livello europeo, molto utili per la definizione e delimitazione delle aree omogenee urbane e artificiali sono le Zone Morfologiche Urbane (U.M.Z.) definite nel 1990. Le Zone Morfologiche Urbane (U.M.Z.) sono definite mediante i codici di categoria dei tipi di terreno del *CORINE Land Cover 2000* che contribuiscono al tessuto urbano. I codici di categoria dei tipi di terreno del *CORINE Land Cover 2000* sono:

1.1.1 - Tessuto urbano continuo

1.1.2 - Tessuto urbano discontinuo

1.2.1 - Unità industriali o commerciali

1.2.2 - Reti della guida e della strada e terra collegata

1.4.1 - Aree urbane verdi

1.4.2 - Sport ed attrezzature ricreative

I perimetri delle “*Urban Morphological Zones*” definite dall’E.E.A. sono costituiti da un insieme di poligoni classificati urbani (o comunque connessi al tessuto urbano per funzioni ed utilizzo: commerciali, industriali, ricreativi, etc.) tra loro contigui o non più distanti di 200 m. È importante evidenziare che ciascuna U.M.Z. (delimitata con procedure grafico/geometriche automatizzate) può estendersi oltre i limiti amministrativi di un Comune e comprendere al suo interno più di un insediamento. Per questo motivo le U.M.Z. non vengono associate ai nomi delle singole città.

### 1.2.6 La carta dell'altitudine

Per la realizzazione della Carta dell'Altitudine è stato utilizzato un D.T.M. (Digital Terrain Model) in formato raster a maglia quadrata con celle aventi lato di dimensioni di 75m e dotato di una accuratezza orizzontale di 50 metri e di una accuratezza verticale di 30 metri. Il sistema di riferimento cartografico utilizzato è l'UTM-Fuso32N su Datum WGS84.

Si è proceduto, quindi, ad effettuare una riclassificazione secondo le classi altimetriche I.S.T.A.T.:

- Classe 1 (Pianura): altitudine compresa fra 1 metro e 300 m
- Classe 2 (Collina interna): altitudine compresa fra 300 m e 600 m
- Classe 3 (Montagna interna): altitudine > 600 m

Non sono state considerate nella classificazione le zone altimetriche di collina litoranea e montagna litoranea, in quanto già considerate nella carta della distanza dalla linea di costa verso terra (si veda oltre).

Nelle figure sono riportate la procedura operativa precedentemente descritta e la carta dell'altitudine ottenuta.

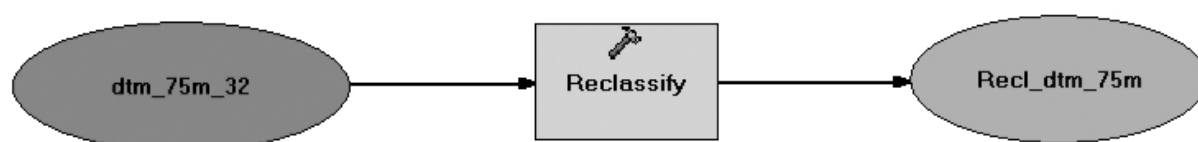
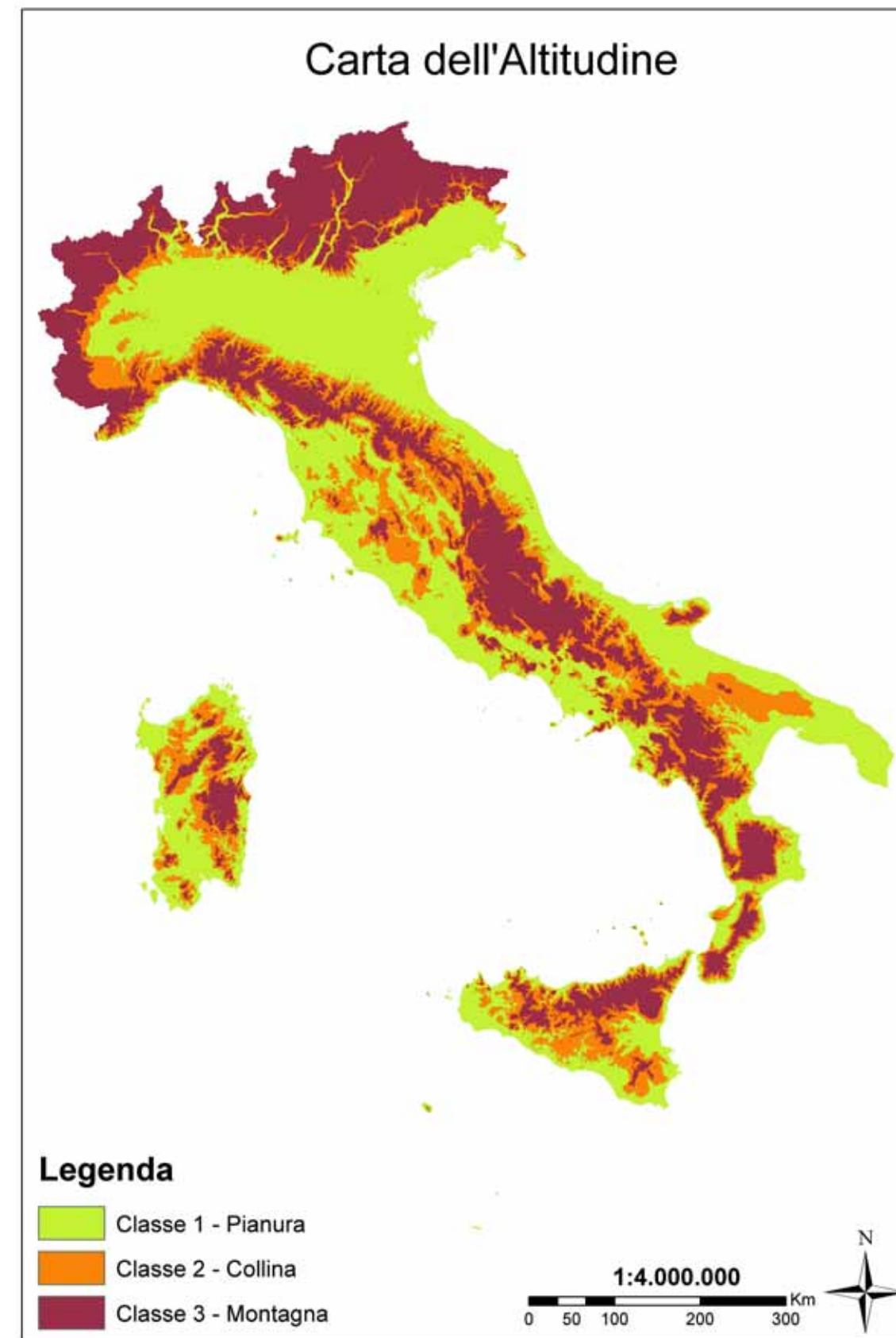


Figura 1. Procedura operativa per la realizzazione della carta dell'altitudine



### 1.2.7 La carta della pendenza

Per la realizzazione della Carta della Pendenza, i dati utilizzati sono stati il D.T.M. e una griglia con maglie di 25 km<sup>2</sup>, derivante dal progetto CORINE Land Cover 2000, su cui è stata valutata la pendenza media.

Le classi impiegate sono:

- Classe 1: pendenza < 3% (Zona pianeggiante).
- Classe 2: pendenza compresa fra 3% e 5% (Zona con pendenza lieve).
- Classe 3: pendenza compresa fra 5% e 8% (Zona con pendenza moderata).
- Classe 4: pendenza compresa fra 8% e 15% (Zona con pendenza moderatamente accentuata).
- Classe 5: pendenza compresa fra 15% e 25% (Zona con pendenza accentuata).
- Classe 6: pendenza > 25% (Zona con pendenza molto accentuata).

Di seguito si riporta la procedura operativa precedentemente descritta e la carta della pendenza ottenuta.

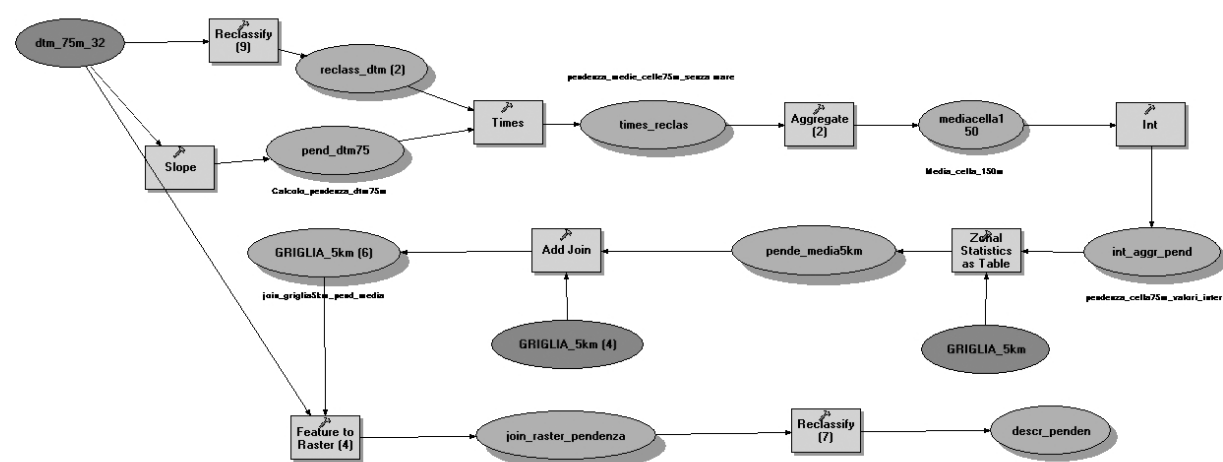
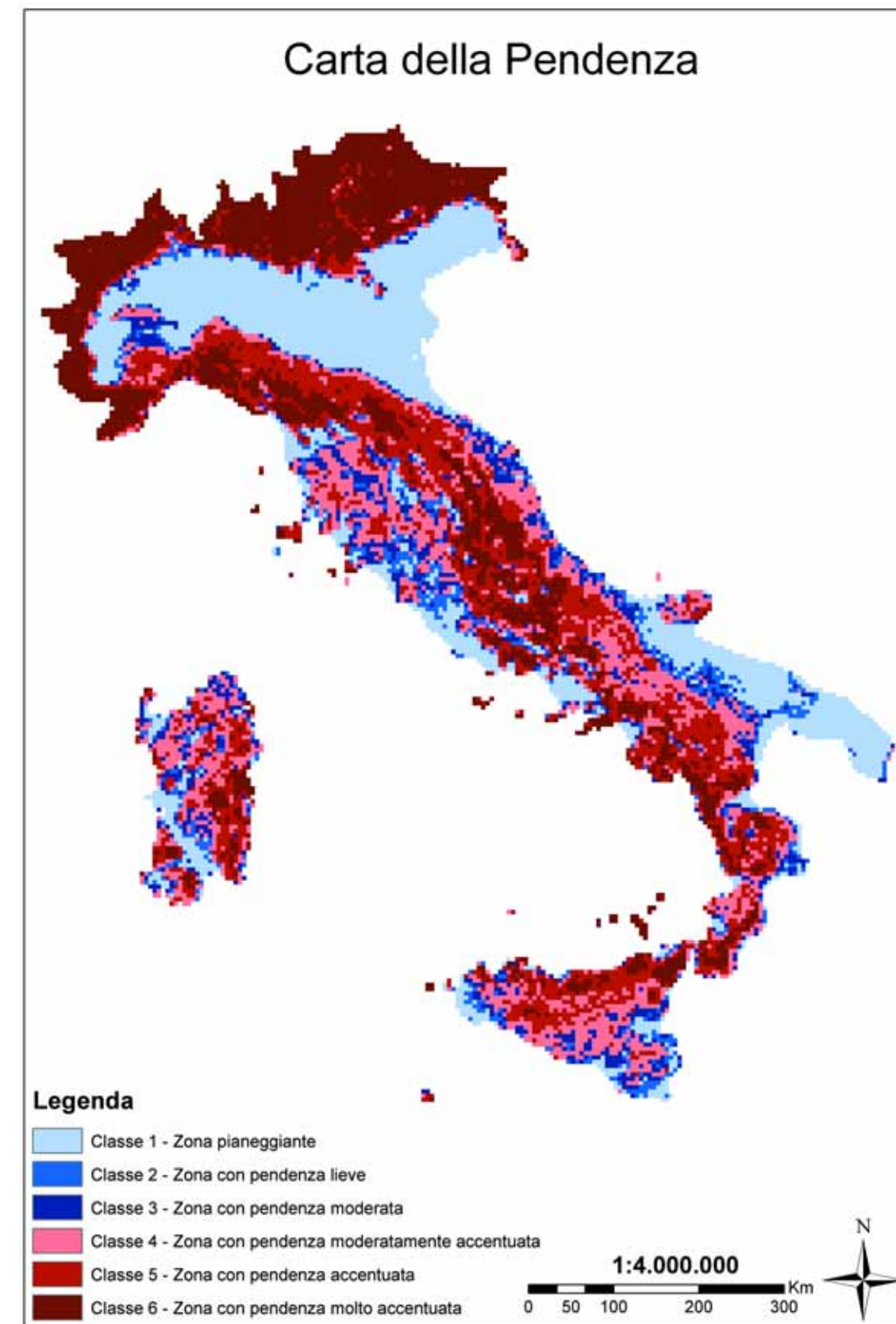


Figura 2. Procedura operativa per la realizzazione della carta della pendenza





### 1.2.8 La carta della distanza dalla linea di costa verso terra

Per la realizzazione della Carta della Distanza dalla Linea di Costa verso Terra, i dati utilizzati sono stati il D.T.M. e la linea di costa della penisola italiana, della Sicilia, della Sardegna e delle isole minori in formato vettoriale<sup>7</sup>.

Di seguito si riporta la procedura operativa e la carta della distanza dalla linea di costa verso terra ottenuta.

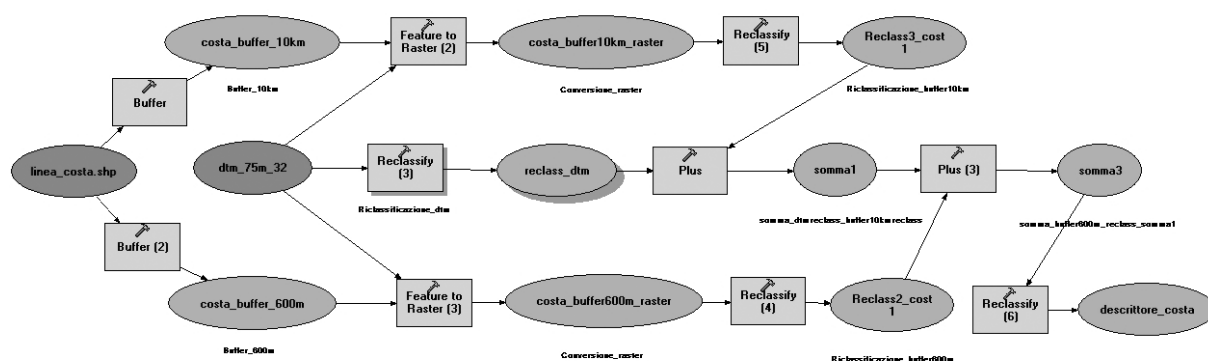


Figura 3. Procedura operativa per la realizzazione della carta della distanza dalla linea di costa verso terra



<sup>7</sup> Sistema informativo geografico costiero, [www.sinanet.apat.it/coste](http://www.sinanet.apat.it/coste)

### 1.2.9 La carta dell'uso prevalente di suolo

Per la realizzazione della carta dell'uso prevalente di suolo, i dati utilizzati sono stati il D.T.M., una griglia quadrata con maglie di 1 km<sup>2</sup> e la copertura al I livello CORINE Land Cover 2000<sup>8</sup> in formato vettoriale.

In particolare sono state elaborate le percentuali delle classi al I livello CORINE all'interno della griglia ed attribuendo i risultati ottenuti in sei classi secondo quanto riportato nella figura seguente.

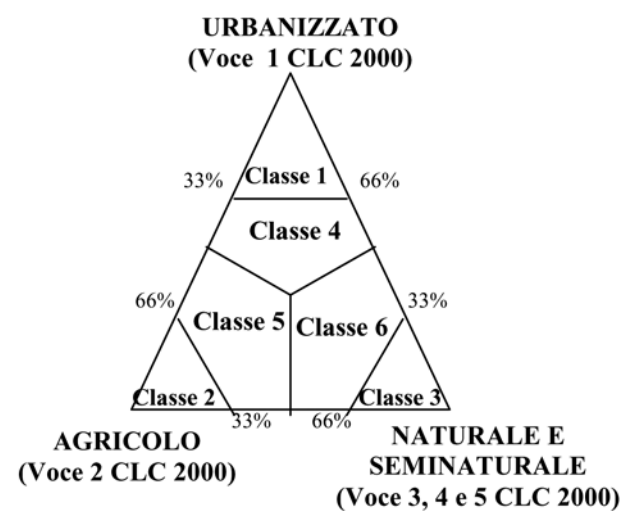


Figura 4. Definizione delle classi di uso del suolo prevalente

Di seguito si riporta la procedura operativa precedentemente descritta e la carta dell'uso prevalente di suolo ottenuta.

<sup>8</sup> www.clc2000.sinanet.apat.it

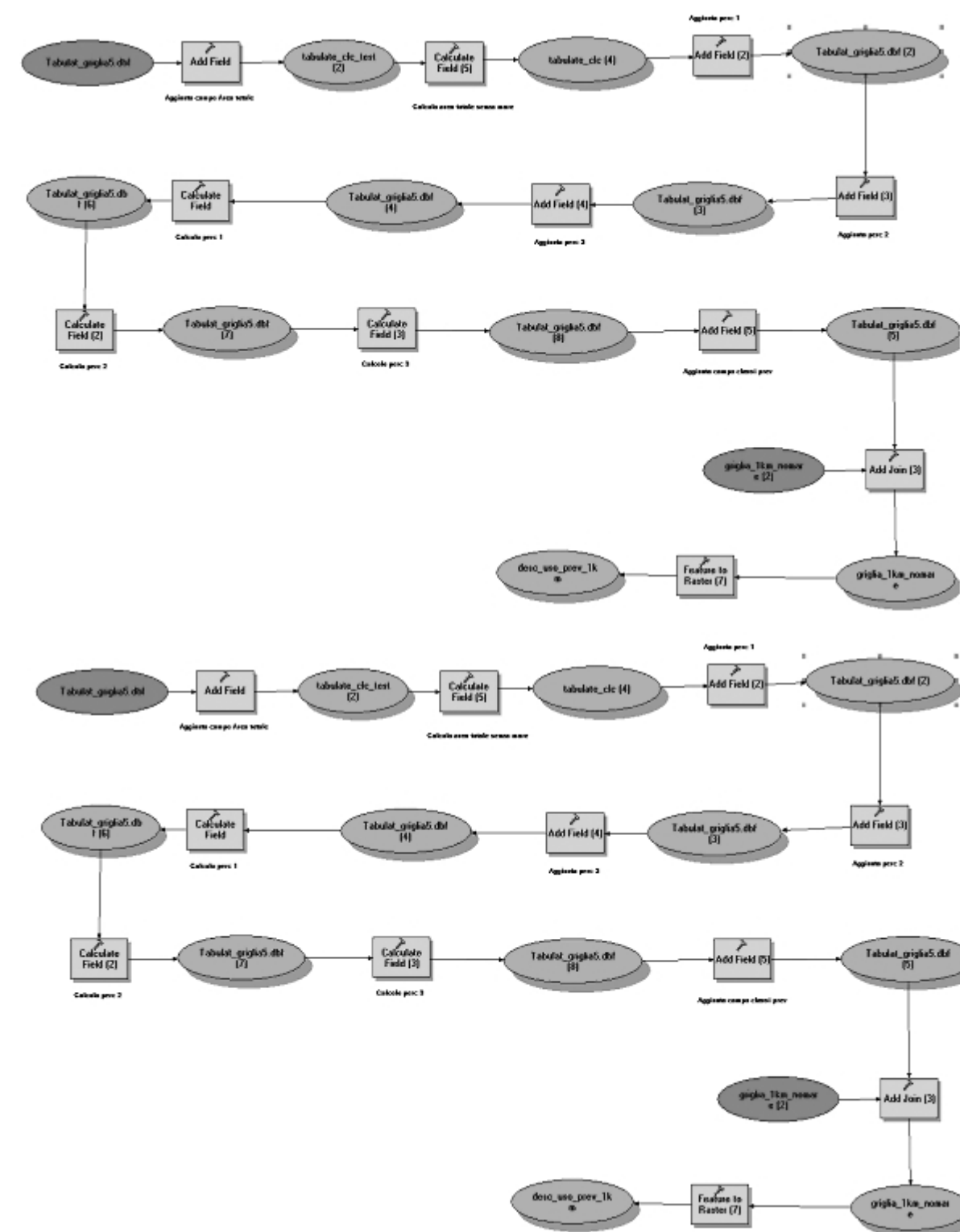
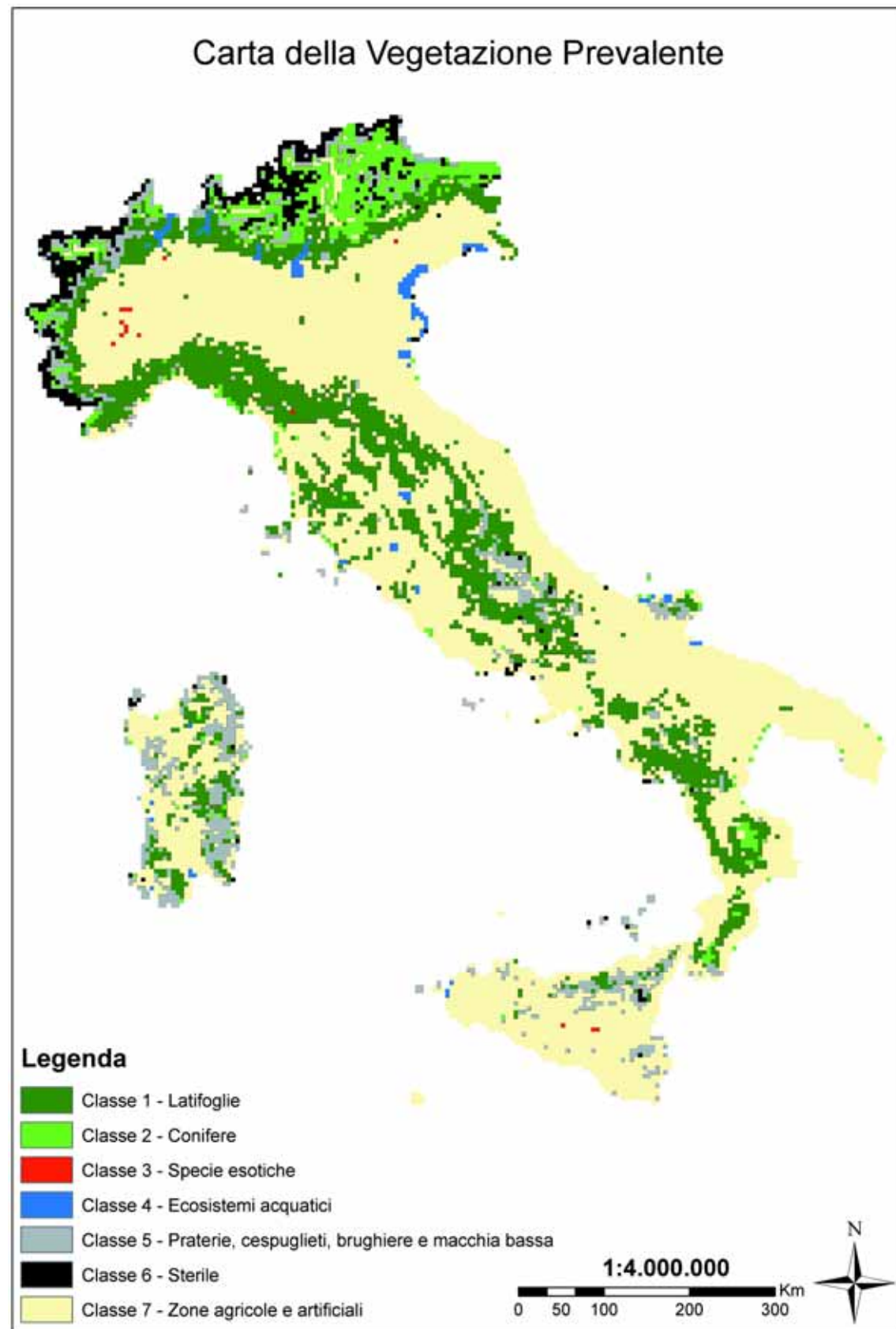


Figura 5. Procedura operativa per la realizzazione della carta dell'uso prevalente di suolo







### 1.2.11 La carta delle aree omogenee

Mediante la sovrapposizione delle cinque carte precedentemente descritte è stato possibile costruire una sesta carta, la carta delle aree omogenee in Italia, che permette l'individuazione di aree, della stessa specie o natura, aventi determinate specificità dal punto di vista geografico, urbanistico, fisico e biologico secondo la procedura illustrata in figura.

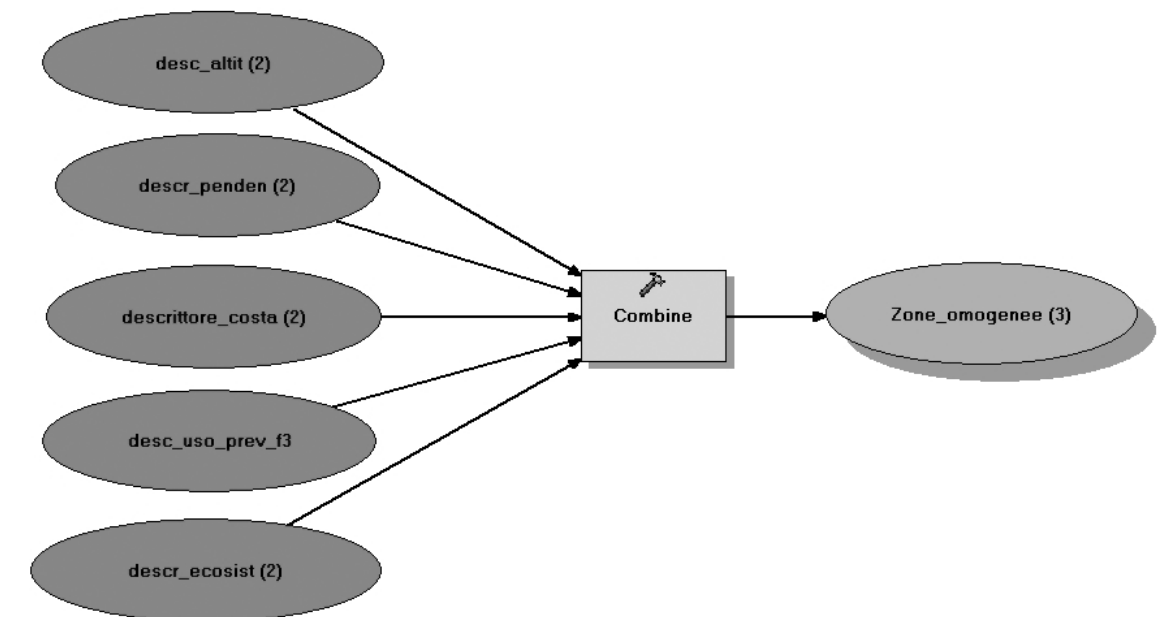


Figura 7. Procedura operativa per la realizzazione della carta delle aree omogenee in Italia

Si è poi effettuata un'aggregazione gerarchica su più livelli delle circa 1.200 tipologie di aree omogenee individuate, in modo da rendere la carta delle aree omogenee maggiormente leggibile e da consentire alla successiva fase di valutazione della sostenibilità ambientale di essere chiara e facilmente gestibile. L'aggregazione è stata effettuata dando la priorità, nell'ordine, all'uso prevalente di suolo, alla distanza dalla linea di costa verso terra, all'altitudine, agli ecosistemi prevalenti e, in ultima battuta, alla pendenza.

Le 8 macro-aree omogenee (livello I) individuate sono state: urbane e artificiali (aree che hanno un uso del suolo prevalente appartenente alla Classe 1), prevalentemente urbane e artificiali (aree che hanno un uso del suolo prevalente appartenente alla Classe 4), umide (aree che hanno una vegetazione prevalente appartenente alla Classe 4 che hanno un uso del suolo prevalente appartenente alla Classe 3 e 6), umide costiere (aree che hanno una vegetazione prevalente appartenente alla Classe 4 e un uso del suolo prevalente appartenente alla Classe 3 e 6 e una altitudine compresa fra 1 m e 600 m), umide montane (aree che hanno una vegetazione prevalente appartenente alla Classe 4 e un uso del suolo prevalente appartenente alla Classe 3 e 6 e una altitudine maggiore di 600 m), montane (aree che hanno una altitudine maggiore di 600 m), costiere (aree che rientrano nella fascia di 10 km dalla linea di costa) e altro.

Tale classificazione ha l'obiettivo di rendere la lettura della carta immediata e comprensibile per i *decision maker* ed ha anche lo scopo di avvicinare alla materia i "non addetti ai lavori", in particolare il pubblico interessato.

Di seguito si riporta la schematizzazione della procedura operativa utilizzata per effettuare l'aggregazione gerarchica delle circa 1.200 tipologie di aree omogenee individuate e la carta delle aree omogenee in Italia ottenuta dall'unione delle classi conseguite dalla prima fase di aggregazione in 8 macro-aree omogenee (livello I).

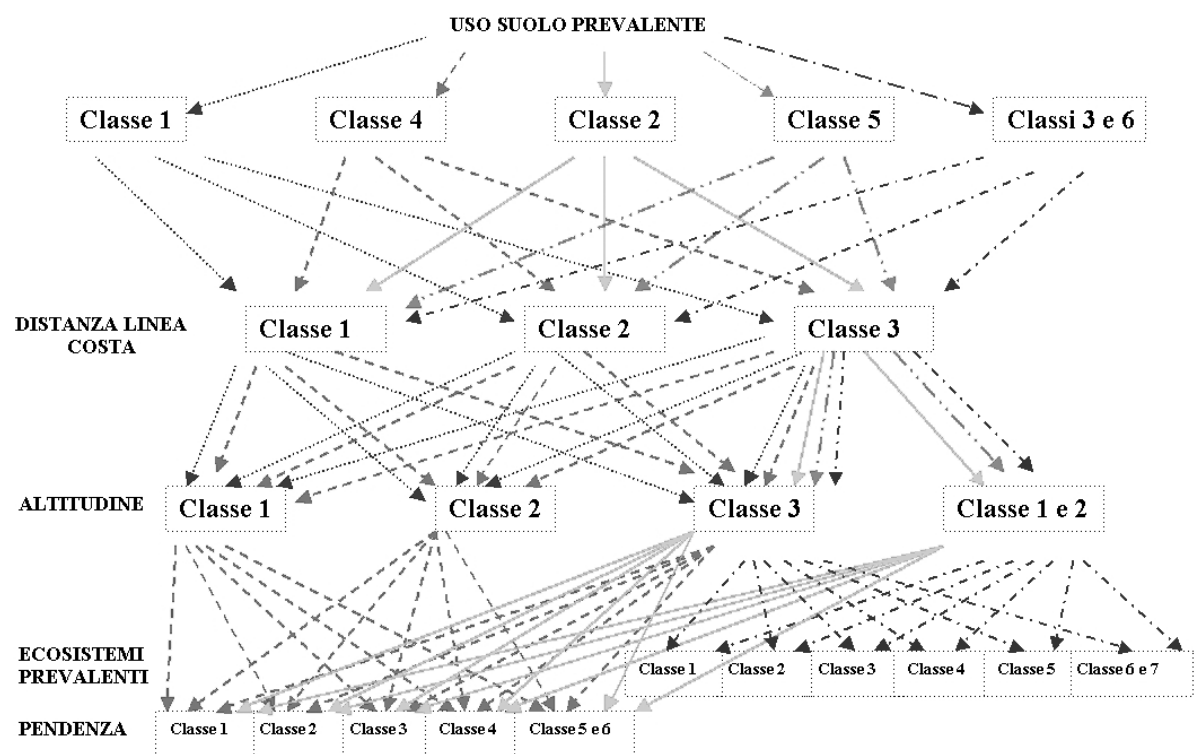
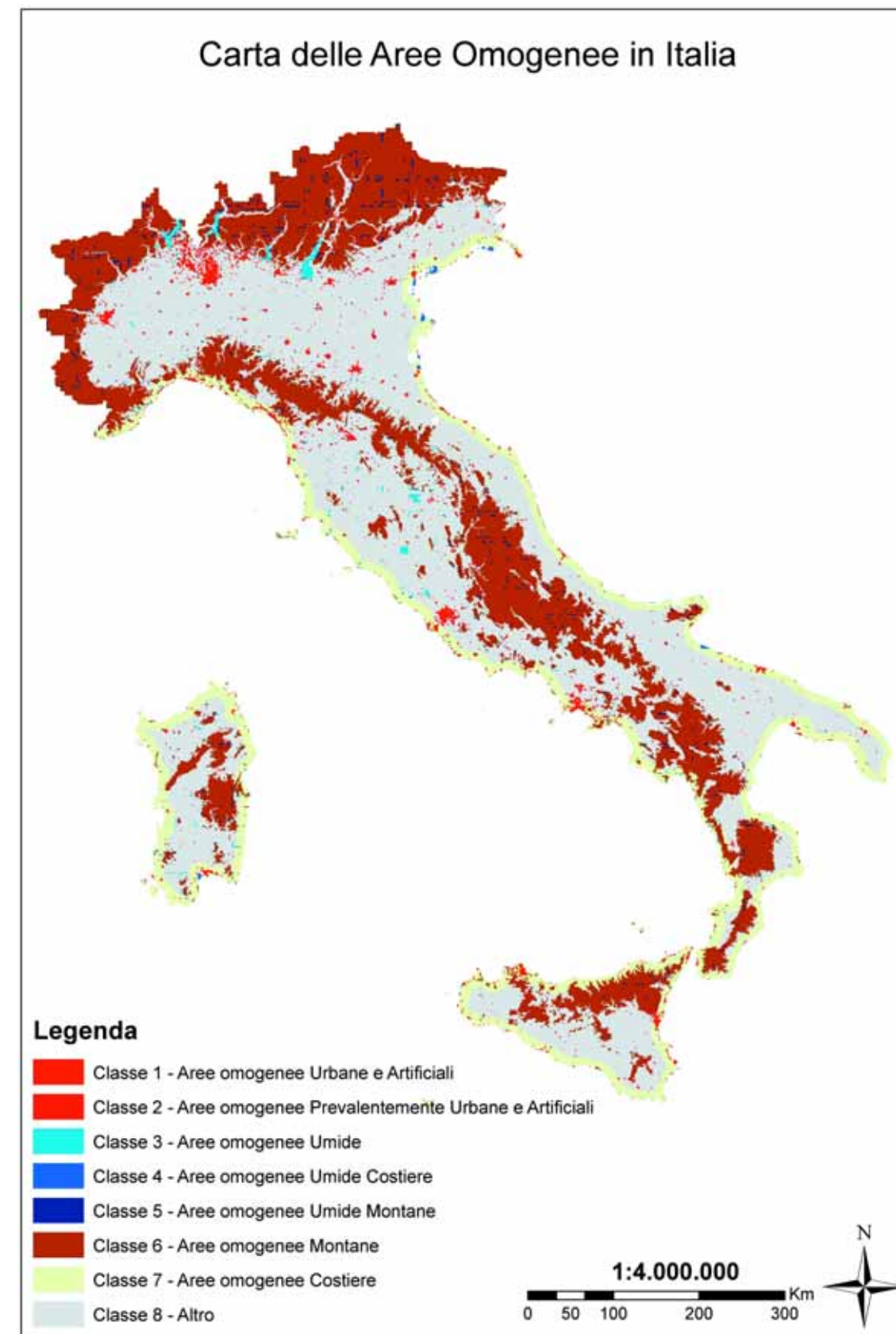


Figura 8. Procedura operativa utilizzata per aggregare le classi di aree omogenee



### 1.2.12 Analisi e discussione dei risultati

La suddivisione dell'Italia in aree omogenee per caratteristiche fisiche è stata necessaria, in primo luogo, per semplificare, mettere in evidenza e rendere maggiormente comprensibili e leggibili le peculiarità del territorio caratterizzato da una pluralità di ambiti territoriali, naturali e insediativi diversi, ma singolarmente omogenei per caratteristiche. In secondo luogo, ogni area omogenea, fornita di particolari caratteri e di determinate specificità, richiede l'utilizzo di indicatori caratteristici, di *target* temporali associati ad ogni indicatore e di obiettivi quantificabili per analizzare e valutare il livello di sostenibilità ambientale presente e futuro. In questo modo la sostenibilità ambientale di ciascuna area omogenea viene valutata unicamente prendendo in considerazione un sistema di indicatori specifici e nel rispetto della distanza dall'obiettivo fissato e del tempo necessario per raggiungerlo.

Al di là degli aspetti più tecnici della metodologia adottata, ciò che conta è la possibilità di leggere in modo trasparente la base dei dati e dei *target* associati ad ogni tipologia di area omogenea. L'importanza di aver caratterizzato il territorio italiano in aree omogenee sta, infatti, nella percezione netta del collegamento tra la possibilità di circoscrivere le problematiche comuni all'interno della stessa porzione di territorio e di misurare il fenomeno osservato e l'evoluzione desiderata che è oggetto delle scelte politiche con le quali vengono fissati gli obiettivi e i tempi.

La scelta di descrittori riguardanti la morfologia del territorio (altitudine, pendenza, linea di costa), l'uso prevalente di suolo, la vegetazione e gli ecosistemi prevalenti, necessari per suddividere il complesso territorio italiano in macro aree omogenee, è stata effettuata prestando una maggiore attenzione e cercando di mettere in risalto la componente fisica, ecologica ed ambientale del contesto di studio, anziché la componente sociale ed economica. Le motivazioni che hanno portato a questa scelta sono da ricondurre al fatto che, in primo luogo, gli aspetti sociali ed economici, essenziali per effettuare una valutazione completa, vengono presi in considerazione e messi in risalto nel momento in cui si individuano le cause determinanti nell'ambito delle varie componenti ambientali individuate e, in particolare, delle aree omogenee determinate. In secondo luogo, nel presente lavoro, si cerca di analizzare e valutare la sostenibilità ambientale delle aree omogenee, piuttosto che la sostenibilità sociale o economica. Nello specifico, si è utilizzato un criterio puramente fisico ed ambientale per individuare, delimitare e caratterizzare le varie aree omogenee in Italia e, solo successivamente, si è aggiunta la componente sociale e la componente economica per la realizzazione di un sistema completo di indicatori basato su indici, su trend e su target per valutare la sostenibilità ambientale delle aree omogenee in Italia, in modo da costruire una metodologia capace di descriverne lo stato attuale e di consentirne il monitoraggio nel futuro.

Altra considerazione da fare è che, nella metodologia utilizzata per la caratterizzazione e la localizzazione delle aree omogenee in Italia, non sono stati introdotti e utilizzati, se non nelle fasi successive, descrittori di tipo amministrativo, come limiti comunali, provinciali o regionali. La motivazione che ha portato a questa scelta è da ricercare nel fatto che si è cercato di svincolare da precisi limiti amministrativi convenzionali il sistema territoriale italiano, caratterizzato da una molteplicità di ambiti territoriali, naturali e insediativi in cui si leggono sistemi diversi tra loro e singolarmente omogenei per caratteristiche. I confini amministrativi solo in pochi casi coincidono con i limiti delle aree omogenee, per cui molti comuni, ad esempio, ricadono dal punto di vista morfologico e paesistico, per notevoli porzioni, in sistemi territoriali omogenei diversi.

Sicuramente la delimitazione delle aree omogenee, che deriva dalla lettura delle caratteristiche del territorio, ha semplificato l'analisi dei fattori peculiari del Paese ed ha permesso di articolare l'indagine mettendo in risalto le continuità ambientali o approfondendone i limiti fisici e d'uso, senza che i confini amministrativi velassero una lettura che si è voluta imparziale e non astratta o convenzionale. Le aree individuate, quindi, sono viste come elementi omogenei a cui riferire ogni valutazione.

Tuttavia, non è stato possibile svincolare totalmente il sistema territoriale italiano dai limiti amministrativi convenzionali. Infatti, come evidenziato in seguito, la maggior parte degli indicatori individuati per valutare la sostenibilità ambientale delle aree omogenee è stata caratterizzata e popolata rispetto ai limiti amministrativi comunali, provinciali o regionali. La causa è da attribuire al fatto che i dati recuperati per popolare gli indicatori sono spesso riferiti ai limiti amministrativi, piuttosto che alla molteplicità delle aree territoriali e naturali che caratterizzano il sistema Italia.

## 1.3 Metodologia di valutazione

### 1.3.1 Il sistema degli indicatori

La sostenibilità (o la non sostenibilità) non è facilmente misurabile: essa infatti non si presenta direttamente rilevabile come se si trattasse di un fenomeno naturale descrivibile o indicizzabile o diretta conseguenza della lettura di indicatori ambientali. Anche se la misurazione della sostenibilità implica necessariamente il ricorso a indicatori, standard e bilanci ambientali, si tratta tuttavia per definizione di un bilancio e, quindi, di una comparazione e di una valutazione tra il complesso delle trasformazioni, alterazioni, flussi e consumi di risorse, in atto o programmate, messe in gioco da un dato sistema di sviluppo in un dato contesto e i tassi e le velocità di riproduzione e di rigenerazione (naturale o controllata dall'uomo) delle stesse risorse. Non solo la sostenibilità non appare sempre facilmente misurabile, ma non si è ancora trovato un accordo a livello internazionale e europeo sui suoi indicatori. Un indicatore di sviluppo sostenibile è necessariamente cosa diversa da un indicatore di stato dell'ambiente o di pressione, poiché può essere integrato su una molteplicità di fenomeni, anche non omogenei, che riflettono gli aspetti ambientali ed economico-sociali dello sviluppo.

In questi ultimi anni, per affrontare in termini scientifici i problemi relativi allo sviluppo sostenibile ed alle analisi di sostenibilità, sono stati messi a punto vari indicatori e/o indici di sostenibilità. Si tratta di diverse famiglie di indicatori che sono in grado di dare risposte diverse sia per quanto riguarda il tipo di analisi, sia per quanto riguarda i sistemi a cui possono essere applicati. In particolare si tratta di indicatori di tipo energetico, ecologico, eco-economico, termodinamico e relativi ad analisi del territorio, di ecosistemi, di produzioni agricole (agro-alimentari, agro-forestali), di produzioni industriali, del ciclo dei rifiuti, dei cicli biochimici e geochimici globali (clima, acqua, ecc.). Tra questi possiamo trovare, ad esempio, l'impronta ecologica (*ecological footprint*), un indicatore messo a punto da William Rees, ecologo della British Columbia University di Vancouver. L'impronta ecologica è una misura della superficie degli ecosistemi ecologici produttivi (foreste, terre agricole, pascoli, bacini idrici, ecc.) necessari per sostenere a lungo termine le attività economiche e sociali di un individuo, di una particolare comunità, di un paese, di una nazione o del mondo intero. È, dunque, una misura che tiene conto dei prevalenti sistemi produttivi e di consumo, delle tecnologie e del-

l'organizzazione sociale. L'impronta ecologica viene espressa in ettari di superficie ecologicamente produttiva.

Un'analisi integrata, con l'uso di set di indicatori diversi, permette spesso risposte più adeguate e puntuali ai problemi da risolvere e porta, quindi, a indicazioni più precise e praticamente più utili per i *decision makers*. L'analisi integrata, a partire dalla complessità delle informazioni a vario titolo acquisite, è uno strumento di supporto alla pianificazione, d'individuazione delle criticità e delle problematiche ambientali presenti in un territorio<sup>9</sup>. L'analisi integrata con l'uso d'indicatori ambientali può essere considerata lo stadio iniziale della procedura di valutazione della sostenibilità ambientale di un'area. L'ulteriore fase consiste nello sviluppo di indicatori chiave o indici, calcolati attraverso l'aggregazione di un certo numero di indicatori ambientali mediante un appropriato algoritmo di combinazione.

Ai fini del seguente lavoro è parso pertanto opportuno, in primo luogo, procedere alla verifica degli indicatori fissati dalla normativa internazionale, europea e nazionale elaborati per misurare e quantificare lo sviluppo sostenibile in diversi ambiti territoriali. In secondo luogo, ci si è preoccupati di considerare anche gli indicatori "ideali" che mirano a rappresentare in maniera ottimale l'insieme degli elementi e delle relazioni che caratterizzano un qualsiasi tema o fenomeno ambientale, mettendolo in relazione con l'insieme delle politiche esercitate verso di esso (ad esempio indicatori elaborati nelle catene D.P.S.I.R. complete per ogni componente ambientale). In ultima battuta si è proceduto alla verifica degli indicatori già sviluppati ed utilizzati, nei vari *report* ambientali (nazionali, comunitari e internazionali) e progetti indicati in tabella.

<sup>9</sup> Bettini, V. e Marotta, L. "Atlante Ambientale della Laguna - Analisi integrata e valutazione ambientale", Università IUAV di Venezia, 2004.

**Tabella 2. Documenti e progetti analizzati per la selezione degli indicatori di interesse**

n°	Documenti/Progetti
1	Progetto Murbandy/Moland "Towards an urban atlas", Environmental issue report n° 30, EEA, 2002
2	Annuario dei dati ambientali 2002, 2003, 2004, 2005-2006 APAT.
3	ISSI Rapporto finale indicatori. "Indicatori per lo sviluppo sostenibile in Italia".
4	Lista di indicatori della sostenibilità locale utilizzati da Agenda21.
5	WWF Italia "Libro Rosso degli Habitat in Italia della Rete Natura 2000".
6	"Linee guida per la valutazione ambientale strategica (VAS)" (Fondi strutturati 2000-2006)
7	Indicatori di "contesto chiave" realizzati nell'ambito del progetto "Informazione statistica territoriale e settoriale per le politiche strutturali 2001-2008" dell'ISTAT.
8	Rapporto tecnico "EEA core set of indicators" (Aprile 2003).
9	"Key environmental indicators" pubblicato nel 2001 dal Dipartimento ambientale dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development).
10	EUROSTAT "Indicatori strutturali".
11	Del. CIPE n. 57/2002 "Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia".
12	ESPO "European Spatial Planning Observation Network".
13	SPESP "Study Programme on European Spatial Planning 1998-1999".
14	ECI "European Common Indicators".
15	Core set CTN - TES "Indicatori e indici sullo stato di qualità ambientale dell'area costiera". Dossier sullo stato di qualità dell'area costiera.
16	Core set CTN - TES "Sviluppo d'indicatori per l'uso del territorio".
17	CTN - ACE Progetto "La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni".
18	WHO "World Health Organisation. Sustainable development and health environment"
19	ARPA Piemonte "Sostenibilità ambientale dello sviluppo. Tecniche e procedure di valutazione di impatto ambientale".
20	ARPA Emilia Romagna e Dipartimenti sanità pubblica Progetto "Pressioni ambientali e balneabilità ambientale".
21	POR Sardegna 2000 - 2006 Analisi ambientale aree PIT
22	Qualità dell'ambiente urbano III Rapporto APAT - Edizione 2006

Sono stati analizzati, quindi, quali degli indicatori siano realmente utilizzabili e popolabili nel tempo: vengono scelti unicamente gli indicatori per i quali si ha disponibilità di dati relativamente ad una serie storica sufficientemente significativa e ad una distribuzione territoriale ottimale per gli obiettivi da conseguire. Il risultato di questo processo di analisi è un *set* di indicatori selezionati perché ritenuti utili per valutare la sostenibilità ambientale delle differenti macro tipologie di aree omogenee individuate e, allo stesso tempo, per indirizzare l'attività di monitoraggio sulle aree omogenee mediante l'applicazione del modello D.P.S.I.R..

Il risultato finale è sintetizzato in tabella e riporta:

1. gli indicatori scelti per categoria di appartenenza in funzione del modello D.P.S.I.R. e per tematica;
2. l'unità di misura;
3. la distribuzione spaziale e la "serie storica" degli indicatori;



4. le componenti ambientali (1 = Atmosfera, 2 = Ambiente Idrico, 3 = Litosfera, 4 = Vegetazione e Flora, 5 = Fauna, 6 = Rumore e Vibrazioni, 7 = Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti, 8 = Paesaggio e 9 = Rifiuti) che l'indicatore va ad interessare;

5. le macro tipologie di aree omogenee che l'indicatore va ad interessare (1 = urbane e artificiali, 2 = prevalentemente urbane e artificiali, 3 = umide, 4 = umide costiere, 5 = umide montane, 6 = montane, 7 = costiere e 8 = altre);

6. il *target* spaziale e/o temporale da associare all'indicatore.

**Tabella 3. Il set indicatori scelti per la valutazione della sostenibilità ambientale delle aree omogenee**

DPSIR	Tematica	Nome Indicatore	Unità misura	Distribuzione Spaziale	Serie storica	Fonte Dati	Componente Ambientale Interessata	Area Omogenea Interessata	Target
D1	Economia	P.I.L. pro-capite	Euro/abitante	Regione	1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003	UNIONCAMERE, ISTAT, SISREG, EUROSTAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 5, 6, 7, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello regionale
D2	Popolazione (residenti e turisti)	Pressione turistica rispetto superficie	Numero posti letto attività ricettive/kmq	Comune	1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004	ISTAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Valore minimo assoluto della serie storica a livello regionale
D3	Popolazione (residenti e turisti)	Intensità turistica	Numero posti letto attività ricettive/abitanti residenti*1000	Comune	1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004	ISTAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D4	Popolazione (residenti e turisti)	Densità popolazione e residente	Residenti/kmq	Comune	1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D5	Agricoltura e Allevamento	Superficie agricola utilizzata (S.A.U.)	%	Comune	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	ISTAT	2, 3, 4, 5, 8	6, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D6	Agricoltura e Allevamento	Carico organico potenziale	Abitanti equivalenti/kmq	Comune	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	ISTAT	1, 2, 3, 9	6, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D7	Silvicoltura	Incidenza settore forestale	Numero addetti unità locali/ha sup. forestale*1000	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT	1, 3, 4, 5, 8	5, 6, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello regionale
D8	Industria	Impianti di produzione di energia	Numero unità locali/kmq	Comune	2000, 2001, 2002, 2003, 2004	ISTAT	1, 2, 6, 7, 8, 9	1, 2, 7, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D9	Servizi (turismo e trasporti)	Uso suolo per attività turistica	Numero attività ricettive/kmq	Comune	1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004	ISTAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale
D10	Servizi (turismo e trasporti)	Consistenza a flotta veicolare	Numero veicoli/abitante	Comune	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ACI, ISTAT, ISFORT, MIT	1, 2, 4, 5, 6	1, 2, 6, 7, 8	Valore minimo assoluto della serie storica a livello comunale

P1	Consumo di materiali (legno, ghiaia, combustibili...)	Superficie delle tagliate forestali	ha tagliate/ha superficie forestale	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT, Ministero Politiche agricole, forestali e alimentari, Corpo Forestale dello Stato	1, 2, 3, 4, 5, 8	5, 6	Valore minimo assoluto della serie storica a livello regionale
P2	Consumo di materiali (legno, ghiaia, combustibili...)	Utilizzazioni legnose totali	m3/ha superficie forestale	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT, Ministero Politiche agricole, forestali e alimentari, Corpo Forestale dello Stato	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	5, 6	Valore minimo assoluto della serie storica a livello regionale
P3	Produzione di inquinanti	Uso di fertilizzanti	Quintali/kmq	Provincia	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT	2, 3, 4, 9	3, 4, 5, 6, 7, 8	Riduzione del 50% entro il 2025 nell'uso di prodotti chimici in agricoltura sulla base del valore minimo assoluto della serie storica disponibile
P4	Produzione di rifiuti	Produzione di rifiuti urbani pro-capite	Kg/abitante residente	Provincia	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	APAT (Rapporto rifiuti)	1, 2, 6, 8, 9	1, 2	Valore minimo assoluto della serie storica a livello provinciale
P5	Produzione di rifiuti	Quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica	Tonnellate/kmq	Provincia	2002, 2003, 2004, 2005	APAT (Rapporto rifiuti)	1, 2, 6, 8, 9	1, 2	Comunicazione della Commissione Europea per il VI Programma d'Azione Ambientale, pari a -50% di Rifiuti Urbani smaltiti in discarica al 2050 rispetto al valore minimo assoluto della serie storica a livello provinciale
P6	Produzione di inquinanti	Emissione gas serra CO2	Milligrammi/kmq	Provincia	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	APAT	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0
P7	Produzione di inquinanti	Emissione gas serra N2O	Milligrammi/kmq	Provincia	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	APAT	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0
P8	Produzione di inquinanti	Emissione gas serra CH4	Milligrammi/kmq	Provincia	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	APAT	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	0
S1	Effetti dei cambiamenti climatici	Variazione fronti glaciali	%	Alpi Occidentali, Centrali e Orientali	1999, 2000, 2001, 2002, 2003	APAT, Comitato Glaciologico Italiano	1, 2	6	0
S2	Foreste	Indice boscosità	%	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT, Ministero Politiche agricole, forestali e alimentari, Corpo Forestale dello Stato	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	5, 6	Si pone come obiettivo un aumento minimo del 4% di superficie forestale al 2015 (il 4% corrisponde all'aumento medio decennale dell'Italia a partire dal

									1948) rispetto al valore massimo assoluto della serie storica
S3	Qualità dei corpi idrici	TRIX (indice trofico)	Valore	Stazione di misura	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	Elaborazioni APAT su dati SLDI.MAR. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare	2, 4, 5, 9	4, 7	Target fissato dalla normativa di riferimento e prevede che sia raggiunto uno Stato trofico delle acque marino/costiere buono per tutti le stazioni di campionamento il 2015
S4	Qualità dei corpi idrici	Carico PCB nei sedimenti	Microgrammi per Kg di peso secco	Stazione di misura	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	Elaborazioni APAT su dati SLDI.MAR. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare	2, 4, 5, 9	4, 7	0
S5	Qualità dei corpi idrici	Carico IPA nei sedimenti	Milligrammi per Kg di peso secco	Stazione di misura	2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	Elaborazioni APAT su dati SLDI.MAR. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare	2, 4, 5, 9	4, 7	0
S6	Gestione dei rifiuti	Discariche di rifiuti urbani	Numero/kmq	Provincia	2002, 2003, 2004, 2005	APAT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9	1, 2	Valore minimo assoluto della serie storica a livello provinciale
I1	Perdita di acqua, territorio, foreste e biodiversità	Coste non balneabili per inquinamento	%	Regione	1993, 1995, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	ISTAT, Ministero della salute	2, 4, 5, 8	4, 7	Normativa nazionale (DPR 470/82) ed europea (Direttiva 1976/160/CE) (100% di coste in cui sia garantita la balneabilità)
I2	Perdita di acqua, territorio, foreste e biodiversità	Superficie forestale percorsa da incendi	%	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT, Ministero politiche agricole, alimentari e forestali	1, 3, 4, 5, 8, 9	5, 6	0% di superficie forestale percorsa da incendi (L. 353/2000)
I3	Perdita di acqua, territorio, foreste e biodiversità	Dimensione e media incendi	Numero incendi/ha superficie forestale	Regione	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	ISTAT, Ministero politiche agricole, alimentari e forestali	1, 3, 4, 5, 8, 9	5, 6	0
R1	Qualità dell'aria	Centraline rilevamento qualità area	Numero	Comune	1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	APAT	1	1, 2	Aumento del 50% del numero di centraline di rilevamento della qualità dell'aria rispetto valore massimo assoluto della serie storica a livello comunale per il 2010
R2	Qualità ambientale di organizzazioni e imprese	Certificazioni ambientali ISO14001	Numero/aziende	Regione	1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	SINCERT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 7, 8	Valore massimo assoluto della serie storica a livello regionale

R3	Qualità ambientale di organizzazioni e imprese	Certificazioni ambientali EMAS	Numero/aziende	Regione	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	SINCERT	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	1, 2, 7, 8	Valore massimo assoluto della serie storica a livello regionale
R4	Gestione dei rifiuti	Rifiuti urbani raccolti in maniera differenziata	%	Provincia	2001, 2002, 2003, 2004, 2005	APAT	1, 2, 6, 8, 9	1, 2	D.Lgs 22/97 per il 15% entro il 1999; 25% entro il 2001; 35% entro il 2003; 45% entro 2005
R5	Biodiversità: aree naturali protette	Presenza di aree naturali protette	%	Regione	1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006	APAT, Ministero dell'ambiente e tutela del territorio	1, 2, 3, 4, 5, 8	3, 4, 5, 6, 7, 8	1

A partire dagli indicatori popolati e dai *target* selezionati si è creato un sistema informativo capace di gestire questo complesso tipo di articolazione e combinazione di dati statistici. Il sistema informativo poggia su un *database* che contiene tutti i dati numerici e le serie storiche utilizzate per la costruzione degli indicatori. Tale sistema non è un semplice contenitore di numeri predefiniti sulla base di parametri invariabilmente fissati, ma è un sistema aperto che, attraverso un'interfaccia colloquiale, può essere interrogato consentendo, ad esempio, di variare in tempo reale gli obiettivi ed i tempi di ciascun indicatore in ciascun livello, di cambiare l'anno di riferimento dei *target*, di aggiungere o togliere nuovi indicatori, di eseguire gli studi di sensibilità del sistema alla variazione di qualsiasi parametro.

La scelta degli indicatori non può essere considerata, inoltre, un evento distinto e indipendente dalla selezione dei relativi *target*. In tal senso l'insieme degli indicatori e dei *target* rappresenta il principale risultato del processo di elaborazione di una visione condivisa di sostenibilità ambientale per le differenti tipologie di aree omogenee in Italia. Associare un indicatore ad un *target*, definito come valore obiettivo e tempo, collega il concetto di sostenibilità alla misura del cammino da fare (*burden*, sforzo) per raggiungere l'obiettivo. Tali cammini si sommano, come lo sforzo richiesto, man mano che si inseriscono nel percorso della sostenibilità altri processi e quindi altri indicatori.

Nel presente lavoro, la definizione dei *target* risponde, innanzitutto, agli obblighi derivanti dalla normativa vigente, laddove esistenti. In assenza di tali vincoli si è tenuto conto delle indicazioni contenute nei principali documenti di riferimento prodotti ad ogni livello, come ad esempio il Piano di Azione Ambientale del Summit mondiale ONU di Johannesburg, il sistema comunitario delle strategie di Lisbona e Goteborg e del VI Piano di Azione Ambientale oppure la Strategia Italiana di Azione Ambientale per lo Sviluppo Sostenibile. Nei casi dove i *target* non sono predefiniti o delimitati da obblighi si è proceduto a fissare autonomamente obiettivi e tempi. A tal fine va preso in considerazione il concetto base di sostenibilità ed i principi che lo regolano affinché sia possibile valutare i *target* da raggiungere in funzione dello stato dell'ambiente nazionale, della *carrying capacity* delle aree omogenee, dei tempi necessari e dei costi. Se, invece, esistono indici e *target* simili in altri paesi o regioni, ovviamente non obbligatori, è opportuno considerarli e considerare le ragioni che hanno determinato a tali scelte le altre comunità. In conseguenza è opportuno calibrare i propri *target*. Il riferimento ai limiti va naturalmente articolato in maniera flessibile e ragionata, se necessario graduando gli impegni, se possibile anticipando le scadenze o addirittura modificando i *target* in senso migliorativo.

In considerazione dell'obiettivo finale, cioè la definizione di un indicatore/indice sintetico che fosse in grado di definire e monitorare nel tempo lo stato della sostenibilità ambientale delle varie macro tipologie di aree omogenee, è parso opportuno inserire i limiti amministrativi comunali tra i descrittori delle aree omogenee per il popolamento di alcuni indicatori la cui distribuzione spaziale non fosse ottenibile con maggiore dettaglio. La scelta si è dimostrata adeguata in molti casi benché durante le prime fasi di popolamento degli indicatori siano emerse difficoltà relativamente al reperimento di alcuni dati necessari al dettaglio comunale in quanto generalmente acquisiti dalle Amministrazioni competenti con dettaglio provinciale o regionale.

Per quanto riguarda la distribuzione temporale, invece, si è cercato di costruire per il popolamento degli indicatori una "serie storica", nel caso specifico 2000 – 2005, quanto più estesa possibile. Nella fase di popolamento non è stato però sempre possibile riferire i dati agli anni prescelti ed è stato necessario effettuare delle elaborazioni e stime per il periodo mancante partendo dai dati e dagli anni disponibili. L'utilizzo di un indicatore nella metodologia proposta richiede che di questo indicatore esista una serie storica di dati, che tali dati siano prodotti nello stesso modo o che siano in modo semplice confrontabili tra loro. Nel corso della ricerca sono state riscontrate diverse carenze informative che riguardano l'esistenza stessa di determinati indicatori, la presenza di riferimenti normativi specifici, di target quantitativi e/o temporali e l'esistenza di un numero sufficiente di dati per coprire un andamento di 5-6 anni. L'individuazione del sistema di indicatori deve comunque collocarsi all'interno di un quadro conoscitivo statisticamente affidabile e confrontabile con i sistemi adottati a livello internazionale e a livello comunitario. Inoltre, la scelta di rappresentare gli indicatori rispetto a un target definito temporalmente e di dare dunque una caratteristica di performance all'indicatore, oltre a essere in sintonia con l'approccio generale dell'Unione Europea, aumenta la capacità comunicativa dell'indicatore e fornisce un punto di riferimento per le analisi dell'efficacia delle politiche nei diversi settori.

Questioni fondamentali da tenere in primo piano sono la trasparenza e la partecipazione intesi come importanti strumenti di democrazia ma in questo rapporto, a causa dello scarso tempo a disposizione e per questioni di natura organizzativa, non è stato possibile, se non in minima parte, coinvolgere gruppi professionali, tecnici, sociali, associazioni e autorità di governo al fine di ottenere un set di indicatori e di target spazio/temporali condivisi per valutare la sostenibilità ambientale delle aree omogenee individuate. Gli indicatori e i target sono quindi da considerarsi una base di lavoro per la sperimentazione della metodologia proposta e sono stati scelti principalmente in riferimento alla normativa e ai sistemi informativi esistenti.

### 1.3.2 L'aggregazione degli indicatori mediante il metodo delle distanze dal target

In letteratura esistono molte metodologie che permettono di valutare il livello di sostenibilità di un determinato ambito territoriale<sup>10</sup>, ma non esiste un modello di valutazione universalmente conosciuto e utilizzato. Sul problema dell'aggregazione degli indicatori sono stati prodotti molti lavori scientifici e sono state sviluppate molte procedure. Il problema dell'aggregazione viene molto spesso presentato in funzione della presentazione dei risultati, ma si tratta di que-

<sup>10</sup> Si veda, ad esempio, il modello sviluppato da A.R.P.A. Piemonte per la valutazione integrata della qualità ambientale in ambienti naturali e seminaturali presentato nel lavoro "Sostenibilità ambientale dello sviluppo. Tecniche e procedure di valutazione di impatto ambientale", oppure il modello dell'Impronta Ecologica.

stioni ben distinte. È vero che l'aggregazione, riducendo la dimensionalità geometrica del sistema degli indicatori, può semplificare le rappresentazioni grafiche, cioè, però, non ha nulla a che vedere con la semplificazione del messaggio né con il miglioramento dell'intelligibilità. Spesso anzi la concentrazione dell'informazione ne aumenta l'astrazione e introduce ambiguità di varia natura.

La maggior parte dei progetti di costruzione di indicatori dello sviluppo sostenibile adotta come metodo di aggregazione la combinazione lineare pesata. Associare un peso a ciascuna componente per bilanciare il rapporto tra la significatività dei singoli indici è perfettamente legittimo, ma la questione fondamentale ancora aperta è l'attribuzione delle priorità e dei pesi ai vari indicatori e la combinazione in un unico indice finale di sostenibilità.

La metodologia qui utilizzata prende spunto dal modello I.S.S.I. (Indice Sviluppo Sostenibile Italia) sviluppato in funzione della preparazione del rapporto "Un futuro sostenibile per l'Italia", primo rapporto dell'Istituto Sviluppo Sostenibile Italia sullo stato della sostenibilità nel nostro Paese, pubblicato nel 2002<sup>11</sup>. Tale modello è stato adottato dal C.N.E.L. (Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro) per la realizzazione del progetto "Indicatori per lo sviluppo sostenibile"<sup>12</sup>. L'obiettivo del progetto è la costruzione di un sistema condiviso di indicatori per lo sviluppo sostenibile basato su indici, su indicatori e su target quantitativi da raggiungere nel tempo, in modo da predisporre un Rapporto sullo Sviluppo Sostenibile in Italia. Il modello I.S.S.I. permette di ottenere un indice che ha l'obiettivo di fornire una valutazione quantitativa del grado di sostenibilità dello sviluppo italiano e delle politiche attuali e di quelle da intraprendere in futuro.

Nel nostro caso specifico, il modello impegna due livelli del sistema informativo:

1. l'indicatore di primo livello, Indice di Sostenibilità Ambientale (I.S.A.), che misura lo stato generale della sostenibilità ambientale delle aree omogenee in Italia in relazione all'obiettivo generale da raggiungere;
2. il secondo livello, composto da 32 indicatori differenziati per tematica e categoria D.P.S.I.R. associati ad un target ed ad un tempo di conseguimento.

L'indicatore di primo livello (Indice di Sostenibilità Ambientale) dovrà essere costruito singolarmente per ogni tipologia di area omogenea (ogni area omogenea potrebbe avere specifici indicatori e specifici target da perseguire nel tempo) e risulterà essere sensibile alle specificità ed alle differenze esistenti fra le varie tipologie di aree omogenee individuate. Può dunque essere usato, in primo luogo, per la valutazione dello stato e della tendenza della sostenibilità ambientale per l'intero Paese e, in secondo luogo, per la sostenibilità delle singole aree omogenee locali.

L'assegnazione del peso a ciascuno degli indicatori avviene attraverso la distanza dal target: il target, come i pesi, pone problemi di consenso che, però, sempre più spesso vengono superati in fase di negoziato internazionale o locale o di fissazione di standard e regolamenti soprannazionali.

Per quanto concerne il metodo di standardizzazione si arriva a definire l'indice finale mediante una serie storica adeguata, estesa su un intervallo di tempo di riferimento comune a tutto il sistema, e di normalizzare gli indicatori sulle scale fisiche di definizione rispetto alla variabilità dimostrata nell'intervallo di riferimento e/o rispetto ad un target<sup>13</sup>. Calcolando le distanze

<sup>11</sup> Istituto Sviluppo Sostenibile Italia, "Un futuro sostenibile per l'Italia", Rapporto ISSI 2002, a cura di Edo Ronchi, Editori Riuniti, 2002.

<sup>12</sup> C.N.E.L., "Indicatori per lo sviluppo sostenibile in Italia" Rapporto finale, 2005.

<sup>13</sup> Human Development Index - United Nations Development Programme

dal *target*, infatti, si esegue una normalizzazione che rende tutti gli indici tra loro confrontabili; inoltre, la distanza è sommabile per definizione in uno spazio a più dimensioni e quindi consente una aggregazione diretta dei contributi dei singoli indicatori, senza alcuna necessità di attribuire ad essi i pesi.

L'Indice Sostenibilità Ambientale è quindi un indice assoluto che posiziona e quantifica lo stato della sostenibilità ambientale, fondamentalmente un vettore a  $y$  dimensioni ( $y$  è pari al numero di indicatori utilizzato e varia a seconda dell'area omogenea considerata)  $X(t)$  che varia nel tempo  $t$  seguendo i dati delle serie storiche degli indicatori  $X_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 32$ , in relazione al sistema di obiettivi assegnato. L'obiettivo è definito mediante un bersaglio, il *target*, anch'esso un vettore  $T(t)$  a  $y$  componenti definito per l'anno obiettivo  $t$ . Si può, in linea generale, immaginare uno spazio  $y$ -dimensionale, non diverso concettualmente dallo spazio fisico tridimensionale. In esso si immaginino collocati idealmente i vettori  $X$  e  $T$ . La distanza dall'obiettivo è la misura scalare (la lunghezza, mod) del vettore che unisce  $X$  a  $T$  nello spazio.

Questo tipo di metrica consente di superare i limiti connessi con la semplice valutazione qualitativa degli indicatori. Esistono molti tipi di distanze. La più comune è la distanza quadratica euclidea, che consente una semplice composizione degli indicatori. Nel nostro caso si adotta una particolare forma quadratica, la distanza di Mahalanobis, che:

- tiene conto della dinamica intrinseca della serie storica dell'indicatore dato;
- tiene conto delle dipendenze statistiche ed informazionali tra le serie storiche;
- prende in esame non solo il valore medio, ma anche la varianza e la covarianza delle variabili misurate. Invece di calcolare semplicemente la distanza dai valori medi, questa distanza pesa ciascuna variabile per la sua deviazione *standard* e per la sua covarianza; in tal modo il valore calcolato fornisce una misura statistica di quanto i nuovi valori siano consistenti con i valori di partenza.

La distanza dal *target* viene normalizzata in proporzione alla dinamica dell'indicatore, stimata per mezzo della sua varianza. Per indicatori dotati di diversa dinamica, a parità di *target*, la distanza dall'obiettivo risulterà proporzionalmente maggiore per l'indicatore meno dinamico. In tal modo, viene sottolineata la maggior difficoltà di raggiungere l'obiettivo per i processi che hanno una dinamica sistemica intrinseca inferiore.

La definizione per l'indice vettoriale multidimensionale è:

$$D^2 = (X - T_{target})' W^{-1} (X - T_{target})$$

ovvero, se  $H$  è un vettore di normalizzazione che comprende i fattori di scala:

$$D^2_{norm} = (X - T_{target})' (HWH')^{-1} (X - T_{target})$$

dove  $W$  è la matrice di covarianza. L'elemento  $w_{ij}$  è la covarianza tra gli indicatori delle corrispondenti riga  $i$ -esima e colonna  $j$ -esima, legata agli indici di correlazione lineare  $\tilde{n}_{ij}$  dalla relazione:

$$\tilde{n}_{ij} = w_{ij} / (w_{ii} w_{jj})^{1/2}$$

Gli elementi  $w_{ij}$  possono essere calcolati dai coefficienti di correlazione relativi alle serie di indicatori  $i$ -esima e  $j$ -esima posizione. Gli elementi della diagonale principale sono le varianze  $w_{ii} = \sigma^2_{ii}$  che danno una misura della variabilità propria sistemica dell'indice.

L'utilizzo della correlazione lineare consente di trattare in prima approssimazione le dipendenze statistiche tra gli indicatori e la ridondanza informazionale. Può infatti accadere che due indicatori contengano in tutto o in parte lo stesso dato fisico. In tal caso, i normali metodi com-

binatori commettono un errore, sommando due volte lo stesso contributo mentre la metrica di Mahalanobis elimina queste distorsioni<sup>14</sup>.

Per monitorare efficacemente il progresso degli indicatori verso gli obiettivi, si è rivelato efficace immaginare nello spazio una "linea del *target*", linea retta che può essere costante nel caso in cui il *target* da raggiungere sia il medesimo per tutta la serie storica considerata, oppure che parte dal primo anno di disponibilità del dato e mira all'obiettivo con una progressione costante nel tempo.

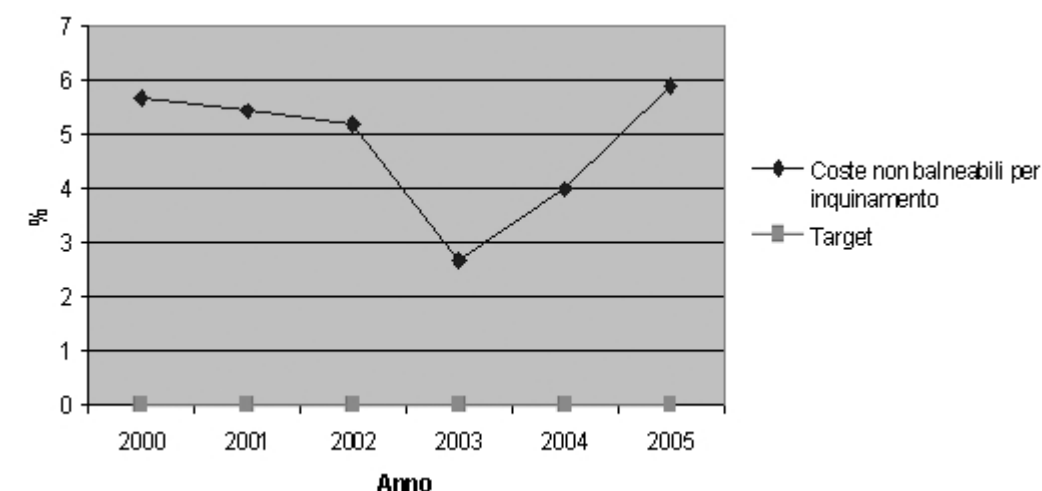


Figura 9. Andamento "Percentuale di costa non balneabile per inquinamento" e linea del target per un'area omogenea campione

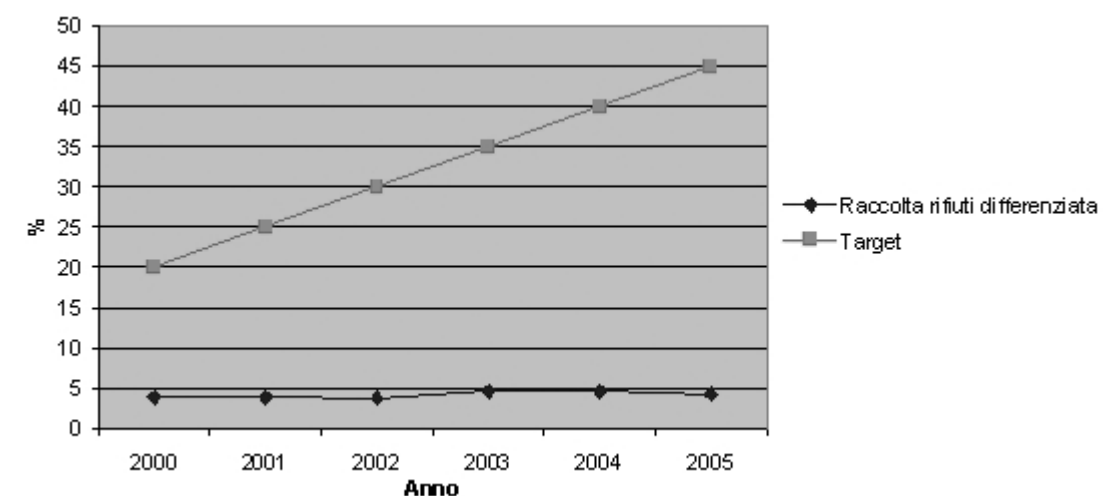


Figura 10. Andamento "Percentuale di rifiuti urbani oggetto di raccolta differenziata" e linea del target per un'area omogenea campione

<sup>14</sup> Per una trattazione più approfondita si rimanda ai lavori citati



### 1.3.3 Esempio applicativo

Per meglio comprendere la metodologia utilizzata si riporta un esempio applicativo su un'area campione, l'area omogenea 45.678, situata in Puglia nel comune di Fasano (BR) e classificata come area omogenea costiera. Dal *database* precedentemente costruito si può estrarre la "Matrice degli Indicatori" (riportata in Tabella 4) contenente il numero identificativo dell'indicatore, il numero identificativo dell'area omogenea, la serie storica nella quale sono disponibili i dati (2000-2005), il valore che l'indicatore assume in ogni anno della serie storica e la varianza.

Nello specifico, gli indicatori che caratterizzano l'area omogenea in questione sono:

- P.I.L. pro-capite;
- Pressione turistica rispetto alla superficie;
- Intensità turistica;
- Densità di popolazione residente;
- Superficie agricola utilizzata;
- Carico organico potenziale;
- Incidenza del settore forestale;
- Impianti di produzione di energia;
- Uso del suolo per attività turistica;
- Consistenza della flotta veicolare;
- Superficie delle tagliate forestali;
- Utilizzazioni legnose totali per lavoro e combustione;
- Uso di fertilizzanti;
- Produzione di rifiuti urbani *pro-capite*;
- Quantità di rifiuti urbani smaltiti in discarica;
- Emissione gas serra CO<sub>2</sub>;
- Emissione gas serra N<sub>2</sub>O;
- Emissione gas serra CH<sub>4</sub>;
- Indice di boscosità;
- TRIX, indice trofico;
- Carico PCB nei sedimenti;
- Carico IPA nei sedimenti;
- Percentuale di coste non balneabili per inquinamento;
- Superficie forestale percorsa da incendi;
- Dimensione media degli incendi;
- Certificazioni ambientali I.S.O. 14001;
- Certificazioni ambientali E.M.A.S.;
- Discariche di rifiuti urbani;
- Rifiuti urbani raccolti in maniera differenziata;
- Presenza di aree naturali protette.

Insieme alla "Matrice degli Indicatori" si estrapola anche la "Matrice dei *Target*" (Tabella 5) contenente il numero identificativo dell'indicatore, il numero identificativo dell'area omogenea e il valore che il *target* assume in un determinato anno per ogni indicatore considerato. Dalle matrici precedentemente descritte si ottiene la "Matrice delle distanze" (Tabella 6) contenente il valore assoluto della distanza esistente tra il *target* stabilito per un determinato indicatore e il valore che l'indicatore assume in un determinato anno.

È così possibile calcolare:

- la "Matrice della varianza/covarianza";
- l'inversa della "Matrice della varianza/covarianza";
- la trasposte della "Matrice delle distanze";
- la distanza di Mahalanobis D che permette l'elaborazione dell'Indice di Sostenibilità Ambientale.

**Tabella 4. Matrice degli indicatori per l'area omogenea campione 45.678**

ID Indicatore	ID Area Omogenea	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Varianza
1	45.678	14.915.000	15.308.000	15.826.000	15.576.200			114.013,20
2	45.678	14,230	14,477	14,516	14,516	16,391		0,62
3	45.678	47,309	48,232	48,296	48,228	54,845		7,59
4	45.678	300,790	300,160	300,550	300,980	298,860	298,650	0,84
5	45.678	56,199	54,391	52,584	50,777	48,969	47,162	9,53
6	45.678	345,620	356,810	367,999	379,186	390,370	401,550	364,99
7	45.678		0,471	0,197	0,197	0,257	0,274	0,01
8	45.678	0,016	0,008	0,008	0,008	0,008		0,00
9	45.678	0,163	0,170	0,186	0,186	0,317		0,00
10	45.678	0,705	0,726	0,704	0,723	0,730	0,730	0,00
11	45.678		0,009	0,010	0,012	0,013	0,007	0,00
12	45.678		0,731	0,530	1,074	1,006	0,726	0,04
13	45.678	172,610	146,120	167,780	170,460	139,860	140,930	201,48
14	45.678		462,080	510,080	537,230	491,430	474,110	708,80
15	45.678			88,310	110,480	116,890	123,300	173,70
16	45.678	6.894,600	6.919,600	6.944,600	6.969,500	6.994,500	7.019,500	1.820,75
17	45.678	0,425	0,413	0,401	0,389	0,377	0,365	0,00
18	45.678	4,064	3,916	4,034	3,883	4,004	3,850	0,01
20	45.678		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,00
22	45.678		3,673	3,511	3,300	3,415	3,410	0,02
23	45.678		0,000	0,000	0,000	0,070	0,250	0,01
24	45.678	0,076	0,076	0,026	0,058	0,000	0,510	0,03
25	45.678	5,676	5,430	5,554	2,420	3,990	5,890	1,53
26	45.678	3,397	3,397	0,795	1,337	1,515	1,575	1,03
27	45.678	0,111	0,111	0,203	0,248	0,121	0,124	0,00
29	45.678	1,376	5,024	8,231	5,970	10,573	14,241	16,89
30	45.678	0,032	0,035	0,033	0,000	0,100	0,300	0,01
31	45.678			0,002	0,001	0,001	0,001	0,00
32	45.678	3,820	3,820	3,749	4,649	4,530	4,187	0,13
33	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00

**Tabella 5. Matrice dei target per l'area omogenea campione 45.678**

ID Indicatore	ID Area Omogenea	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	45.678	10.843,000	10.843,000	10.843,000	10.843,000	10.843,000	10.843,000
2	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	45.678	1,028	1,028	1,028	1,028	1,028	1,028
5	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	45.678	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
11	45.678	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
12	45.678	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171	0,171
13	45.678	1,309	1,296	1,283	1,270	1,258	1,245
14	45.678	7,780	7,780	7,780	7,780	7,780	7,780
15	45.678	0,162	0,161	0,159	0,158	0,156	0,154
16	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	45.678	40,000	41,000	42,000	43,000	44,000	45,000
22	45.678	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
23	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
27	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
29	45.678	67,318	67,318	67,318	67,318	67,318	67,318
30	45.678	23,887	23,887	23,887	23,887	23,887	23,887
31	45.678	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
32	45.678	20,000	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
33	45.678	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

**Tabella 6. Matrice delle distanze per l'area omogenea campione 45.678**

ID Indicatore	ID Area Omogenea	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1	45.678	4072,000	4465,000	4983,000	4733,200		
2	45.678	14,230	14,477	14,516	14,516	16,391	
3	45.678	47,309	48,232	48,296	48,228	54,845	
4	45.678	299,762	299,132	299,522	299,952	297,832	297,622
5	45.678	56,199	54,391	52,584	50,777	48,969	47,162
6	45.678	345,620	356,810	367,999	379,186	390,370	401,550
7	45.678		0,471	0,197	0,197	0,257	0,274
8	45.678	0,016	0,008	0,008	0,008	0,008	
9	45.678	0,163	0,170	0,186	0,186	0,317	
10	45.678	0,704	0,725	0,703	0,722	0,729	0,729
11	45.678		0,008	0,009	0,011	0,012	0,006
12	45.678		0,560	0,359	0,903	0,835	0,555
13	45.678	171,301	144,824	166,497	169,190	138,603	139,685
14	45.678		454,300	502,300	529,450	483,650	466,330
15	45.678			88,151	110,323	116,734	123,146
16	45.678	6894,600	6919,600	6944,600	6969,500	6994,500	7019,500
17	45.678	0,425	0,413	0,401	0,389	0,377	0,365
18	45.678	4,064	3,916	4,034	3,883	4,004	3,850
20	45.678		40,940	41,940	42,940	43,940	44,940
22	45.678		1,673	1,511	1,300	1,415	1,410
23	45.678		0,000	0,000	0,000	0,070	0,250
24	45.678	0,076	0,076	0,026	0,058	0,000	0,510
25	45.678	5,676	5,430	5,554	2,420	3,990	5,890
26	45.678	3,397	3,397	0,795	1,337	1,515	1,575
27	45.678	0,111	0,111	0,203	0,248	0,121	0,124
29	45.678	65,942	62,294	59,087	61,348	56,745	53,077
30	45.678	23,855	23,852	23,854	23,887	23,787	23,587
31	45.678			0,002	0,001	0,001	0,001
32	45.678	16,180	21,180	26,251	30,351	35,470	40,813
33	45.678	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Il risultato finale è rappresentato in figura. Lo stato della sostenibilità ambientale dell'area omogenea campione 45.678 nell'intervallo di tempo considerato (serie storica 2000 - 2005) mostra che la distanza minima da una condizione di sostenibilità ambientale si ha negli anni 2000 e 2001. È poi possibile approfondire l'analisi considerando i singoli indicatori ed evidenziando che, ad esempio, a fronte di una percentuale di raccolta differenziata di rifiuti pressoché costante nel tempo, si ha una variazione importante del *target* da raggiungere concentrata in prossimità degli anni 2003, 2004 e 2005. Inoltre, la percentuale di coste non balneabili per motivi di inquinamento presenta un miglioramento per gli anni 2003 e 2004, rispetto agli anni 2001 e 2002, e un consistente peggioramento per l'anno 2005 a fronte di un *target* costante nel tempo. Continuando nell'analisi, si rileva un aumento nel tempo della pressione turistica rispetto alla superficie e della intensità turistica a fronte di un *target* costante nel tempo. Nel caso

degli indicatori 16, 17 e 18 (emissioni di gas serra CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>), a fronte di un *target* molto rigido, pari all'azzeramento totale delle emissioni, si ha un andamento costante nel tempo di milligrammi/Km<sup>2</sup> di gas serra emessi. Analoghe considerazioni possono essere fatte anche per tutti gli altri indicatori caratteristici dell'area omogenea campione. L'Indice di Sostenibilità

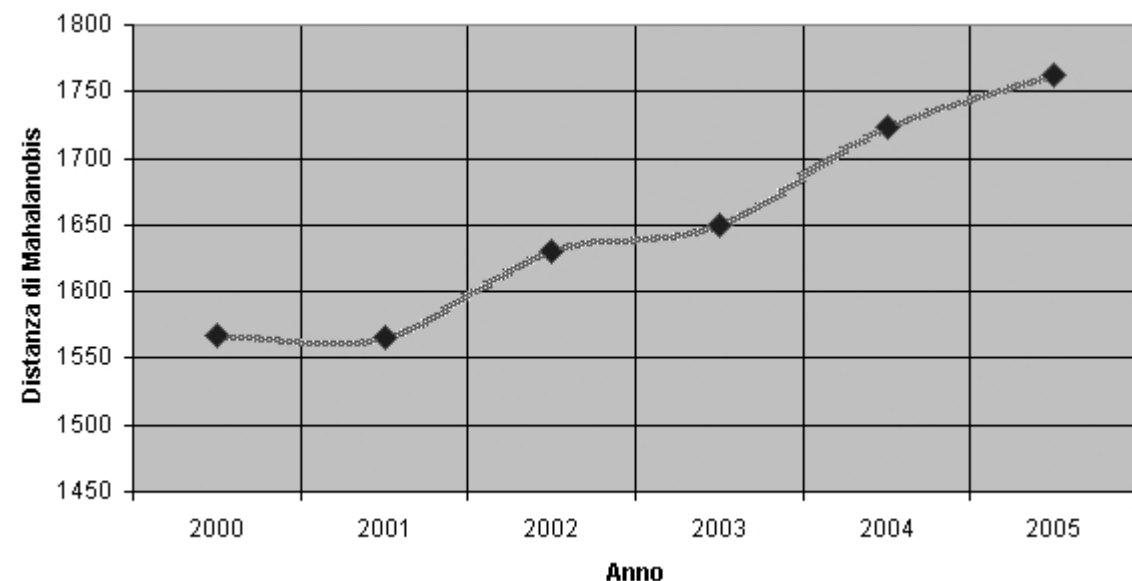


Figura 11. Indice di Sostenibilità Ambientale per l'area omogenea 45.678

Ambientale risulta essere, quindi, un importante strumento di supporto al monitoraggio, alla progettazione e alla pianificazione integrata territoriale sostenibile. Infatti, i vantaggi offerti dall'utilizzare un indice sintetico di sostenibilità caratteristico per ogni area omogenea sono legati al fatto che esso permette:

- di valutare se si sta "viaggiando" o meno verso una situazione di sostenibilità ambientale;
- di misurare il livello di sostenibilità ambientale raggiunto in un determinato anno;
- di fissare eventuali "risposte" in termini di azioni individuali o collettive (interventi strutturali e di pianificazione, interventi prescrittivi o tecnologici, bonifiche e ripristino delle condizioni naturali, politiche di conservazione, etc.), al fine di raggiungere uno stato soddisfacente di sostenibilità;
- di prevedere gli effetti prodotti da determinate azioni sul territorio;
- di stimare possibili valori futuri che un determinato indicatore potrebbe avere in funzione delle "risposte" fissate, con lo scopo di prevedere evoluzioni future della sostenibilità ambientale;
- di evidenziare la presenza di eventuali situazioni di criticità sulle quali intervenire in maniera repentina e adeguata.

L'Indice di Sostenibilità Ambientale è uno strumento molto sensibile alle più piccole variazioni dei valori assunti dagli indicatori e/o dai *target* (al variare degli indicatori e/o dei *target* l'andamento dell'Indice di Sostenibilità Ambientale per l'area omogenea considerata si modifica notevolmente).

Considerando l'andamento dell'Indice di Sostenibilità Ambientale caratteristico dell'area omogenea 45.678, si potrebbe, ad esempio, incrementare la percentuale di rifiuti raccolti in maniera differenziata, incentivando efficacemente la gestione integrata e invogliando le persone a differenziare correttamente i rifiuti, oppure organizzando campagne di informazione. Analogamente, si potrebbero sottoporre le coste a frequenti interventi di recupero e monitoraggio (interventi di disinfestazione e disinfezione, bonifiche ambientali, istituzione di aree naturali protette, etc) oppure ad analisi e ispezioni approfondite, con lo scopo di ridurre al minimo i Km di coste non balneabili per motivi di inquinamento. Mediante queste "risposte", sarebbe possibile stimare i valori che uno o più indicatori assumerebbero nel futuro e valutare, quindi, eventuali miglioramenti o peggioramenti della sostenibilità ambientale dell'area oggetto di studio. Condizione necessaria al perfetto funzionamento della metodologia è il continuo inserimento di nuovi indicatori che coprano tematiche lasciate "scoperte" e il periodico aggiornamento e controllo dei dati. Infatti, bisogna tener presente la dovuta integrazione o meno di altri indicatori nel futuro, necessari in funzione dell'evoluzione del Paese e dello sviluppo delle nuove tecnologie. La manutenzione e l'aggiornamento di un sistema di indicatori di complessità anche minima può essere assicurata soltanto mediante l'uso di sistemi informativi basati su architetture tecnologiche opportunamente strutturate: esclusivamente in questo modo è possibile sfruttare in pieno le grandi potenzialità dell'Indice di Sostenibilità Ambientale.

La metodologia precedentemente descritta può essere applicata ad ognuna delle aree omogenee individuate, in modo da ottenere un indice sintetico di sostenibilità ambientale caratteristico di ogni area analizzata.

Va osservato che alcuni indicatori perdono la propria rilevanza e vanno esclusi dalla lista, nel momento in cui certificano il raggiungimento di uno stato soddisfacente di sostenibilità avendo raggiunto stabilmente il *target*. È opportuno, quindi, valutare e analizzare caso per caso il comportamento di ogni singolo indicatore e, laddove possibile, introdurre uno o più indicatori alternativi in grado di valutare e tenere conto delle caratteristiche dei fenomeni osservati. Inoltre, in alcuni casi, uno o più indicatori possono avere valori costanti o pressoché costanti lungo tutta la serie storica considerata. In questi casi può accadere che sia impossibile calcolare l'inversa della "Matrice della covarianza" e quindi applicare la formula della distanza di Mahalanobis (è il caso, ad esempio, dell'indicatore 33 caratterizzato da una varianza nulla). È opportuno, quindi, analizzare caso per caso il comportamento di ogni singolo indicatore ed eventualmente eliminare o sostituire l'indicatore "incriminato".

Per rendere possibile il confronto fra aree omogenee differenti a livello nazionale, è necessario prendere in considerazione per ogni indicatore un unico *target* da raggiungere nel tempo anche se tale operazione potrebbe far perdere di vista gli obiettivi legati a specificità locali. Nel caso, infatti, in cui la valutazione sia incentrata su di un ambito territoriale ristretto, la determinazione per alcuni indicatori di un unico *target* da raggiungere nel tempo può in alcuni casi essere poco significativa. È opportuno, di conseguenza, calibrare i *target* in relazione all'indicatore considerato e alle caratteristiche dell'area omogenea analizzata. Tuttavia, la realizzazione di una carta della sostenibilità ambientale in Italia, con la necessità di assumere obiettivi omogenei, permette immediatamente di effettuare un confronto annuale di aree omogenee e di contesti territoriali diversi e consente di evidenziare la presenza di eventuali situazioni di criticità sulle quali intervenire in maniera repentina e adeguata mediante interventi strutturali e di pianificazione, interventi prescrittivi o tecnologici, bonifiche e ripristino delle condizioni naturali, politiche di conservazione, interventi di controllo, ecc.

### 1.3.4 Limiti e potenzialità della metodologia

Quello che emerge dal lavoro svolto è che qualunque gruppo professionale, *team* tecnico, gruppo sociale, associazione o Autorità di governo che voglia conoscere il livello di sostenibilità ambientale di un ambito territoriale di interesse e pianificare azioni e politiche di intervento ha a disposizione tutti i mezzi per farlo. Infatti, in primo luogo, è possibile estrapolare dalla tabella caratteristica della carta delle aree omogenee la lista e il numero identificativo delle aree omogenee che compongono l'ambito territoriale oggetto di analisi. In secondo luogo, dal *database* creato è possibile estrarre le "Matrici degli indicatori" e le "Matrici dei *target*" caratteristiche delle singole aree omogenee considerate. A questo punto, è possibile applicare la formula della distanza di Mahalanobis in modo tale da ottenere l'Indice di Sostenibilità Ambientale per ogni area omogenea analizzata. Si riescono in questo modo ad individuare le aree critiche, rilevare se ci si sta allontanando o meno da una condizione di sostenibilità ed eventualmente a valutare possibili evoluzioni future.

Non è certo possibile affermare in termini assoluti che il problema della valutazione della sostenibilità ambientale di un determinato contesto territoriale sia stato risolto in maniera esauritiva e definitiva. Gli indicatori sono un supporto ai processi decisionali i cui percorsi devono essere consapevoli dei limiti della scienza e, quindi, costruiti sul consenso e sulla condivisione della responsabilità tra i diversi attori. Ciò è fondamentale soprattutto quando si usano indici sintetici complessi, come l'Indice di Sostenibilità Ambientale, il cui calcolo si basa su una serie di stime ed assunzioni sia per quanto riguarda i dati di *input* che per la metodologia di calcolo. Il metodo si presta facilmente ad essere utilizzato quale strumento per verificare la pressione complessiva esercitata dall'uomo e dai processi "artificiali" e naturali su un assegnato ambito territoriale. Inoltre, l'Indice di Sostenibilità Ambientale è anche un meccanismo di avvertimento ed un mezzo di informazione sui limiti ecologici per gli scienziati, i politici e i cittadini, capace di delineare i passi da seguire per un miglior uso della capacità ecologica della natura, al fine di assicurare il benessere della popolazione.

Appare inoltre chiaro che la valutazione del progresso verso la sostenibilità ambientale dovrebbe essere guidata da una visione chiara di sviluppo sostenibile e da obiettivi precisi che definiscano tale visione. Infatti, la valutazione dovrebbe includere l'analisi del sistema nella sua globalità e delle sue componenti, considerare il benessere dei sottosistemi, il loro stato, così come la direzione ed il ritmo di cambiamento delle parti che lo compongono e le interazioni tra le parti. Dovrebbe, inoltre, vagliare sia le conseguenze negative sia quelle positive dell'attività umana, in modo che possano evidenziarsi i costi e i benefici dei sistemi umano ed ecologico, sia in termini economici che non economici. Da non sottovalutare è anche la possibilità di ripetere le misurazioni, al fine di determinare gli andamenti ed i *trend*: il processo di valutazione dovrebbe essere iterativo, adattabile e reattivo ai cambiamenti ed all'incertezza, dato che i sistemi sono complessi ed evolvono continuamente. Importante è anche tarare gli obiettivi, gli schemi e gli indicatori ogni volta che si acquisisce un nuovo punto di vista e promuovere lo sviluppo dell'apprendimento collettivo e del *feed-back* nel processo decisionale.

## 2. STANDARD METODOLOGICI E CARTOGRAFICI PER LA SPAZIALIZZAZIONE DI DATI STATISTICI FINALIZZATA ALLA DERIVAZIONE DI INDICATORI E CARTE TEMATICHE

### 2.1 Inquadramento

Uno degli aspetti più critici nell'ambito della valutazione della sostenibilità e dell'integrazione dei dati ambientali, è la possibilità di spazializzare le informazioni per permettere il confronto tra le diverse realtà territoriali. In particolare, nel caso delle aree omogenee utilizzate per la sperimentazione della metodologia illustrata nel precedente capitolo, si è potuto osservare come la disponibilità di banche dati e di sistemi informativi sia tale da non permettere facilmente l'attribuzione di dati ambientali, sociali od economici a contesti territoriali non coincidenti con i limiti amministrativi di riferimento.

Inoltre la tecnologia dei GIS (Geographic Information Systems) costituisce un linguaggio comune per lo scambio di informazioni tra tutti i soggetti implicati nell'interazione con l'ambiente secondo il modello concettuale DPSIR. La potenza di questi sistemi consente al giorno d'oggi di descrivere un fenomeno distribuito sul territorio a un livello di dettaglio impensabile fino a pochi anni fa, dotando i decisori degli strumenti necessari alla realizzazione di una pianificazione realmente sostenibile.

L'offerta di strumenti evoluti per il trattamento dell'informazione ambientale porta con sé una domanda crescente di banche dati "geografiche", ovvero di banche dati che consentano di attribuire una grandezza misurata a una entità geometrica localizzata sul territorio (punto/linea/poligono). Gli indicatori comunemente utilizzati per la caratterizzazione dello stato dell'ambiente secondo il modello concettuale DPSIR non sono sempre riferibili ad una precisa entità geometrica localizzata sul territorio, e possono generalmente essere classificati in tre distinte tipologie:

- conteggi (es: numero di superamenti di un livello di attenzione/pericolo, km di piste ciclabili)
- valori misurati (es: risultati di campagne di misura e/o analisi di laboratorio)
- presenza/assenza di un fenomeno (es: presenza di certificazioni ambientali)

Di queste tre tipologie solamente la seconda si riferisce a un fenomeno misurabile e rappresentabile da una variabile il cui valore varia con continuità nel territorio, e si presta pertanto ad essere rappresentata nella forma di dato geografico.

Molto spesso però la risoluzione spaziale di una variabile misurata, ovvero il livello di dettaglio con il quale ne può essere fornita una rappresentazione cartografica, non è sufficiente rispetto alle necessità dell'utilizzatore, fondamentalmente per uno dei due motivi riportati:

1. il dato viene raccolto a un livello di aggregazione non compatibile con le necessità dell'analisi (integrazione di dati socio-economici e ambientali).

Casi tipici:

- stima della popolazione esposta a un inquinante a partire dai dati di popolazione (aggregati per Comune);
- stima dei carichi inquinanti sui corsi d'acqua a partire dai dati relativi alle attività agricole (aggregate per Provincia).

2. il dato viene raccolto in un numero di località non sufficienti per ottenere una distribuzione compatibile con le necessità dell'analisi (misura/rilevamento di un parametro di interesse ambientale).

Casi tipici:

- campionamenti su siti contaminati
- sondaggi geologici
- misure per la qualità dell'aria e dell'acqua

In entrambi i casi solitamente vengono utilizzati metodi matematici e statistici, talvolta in associazione con banche dati ausiliarie, per ottenere, a partire dai valori disponibili, delle stime con un livello di aggregazione o risoluzione spaziale adeguati alla precisione desiderata. È questo ciò che si intende nel contesto del presente documento con il termine “spazializzazione”: la stima, a partire da un insieme di dati georiferiti, di una variabile in modo da ottenere una resa cartografica coerente con l'intenzione di rappresentazione/elaborazione.

La spazializzazione di una variabile necessita di alcuni requisiti fondamentali:

la disponibilità di dati georiferiti a scala minore di quella di rappresentazione, ovvero con risoluzione spaziale inferiore (dati da spazializzare);

la disponibilità di dati georiferiti a scala maggiore di quella di rappresentazione, ovvero con risoluzione spaziale superiore (dati ausiliari per l'operazione di spazializzazione)<sup>15</sup>;

l'utilizzo di procedure di elaborazione (algoritmi per la spazializzazione).

La conoscenza dello stato dell'ambiente che deriva dagli indicatori si presenta comunque estremamente frammentaria, e non consente di cogliere appieno le interazioni tra i vari attori del modello DPSIR: a tale scopo si va diffondendo la consapevolezza della necessità di un approccio integrato per la realizzazione di politiche del territorio volte a garantire una sostenibilità ambientale, che faccia uso sia delle informazioni storicamente utilizzate nella pianificazione territoriale (carte tecniche redatte dei vari soggetti istituzionali: Comuni, Province, Regioni, Agenzia del Territorio) che di banche dati socio-economiche rilevate da altri attori istituzionali (ISTAT). Per motivi storici e tecnici le banche dati che raccolgono informazioni di tipo socio-economico non consentono una distribuzione diretta sul territorio delle grandezze misurate, in quanto la fase di raccolta prevede un livello di aggregazione delle informazioni generalmente più elevato rispetto a quello comunemente richiesto dalle analisi ambientali.

<sup>15</sup> Non sempre questo requisito è indispensabile nelle operazioni di spazializzazione: si pensi ai casi in cui l'andamento sul territorio di una variabile continua può essere ottenuto mediante la semplice interpolazione di un numero adeguato di valori misurati.

## 2.2 Ambiti applicativi e banche dati utilizzate

Nel presente lavoro viene riportata una panoramica di alcuni lavori svolti da ARPA regionali, enti di ricerca e da enti sovranazionali, quali l'Agenzia Europea per l'Ambiente e il Joint Research Center della Commissione Europea, che possono costituire dei riferimenti relativamente a metodologie e banche dati utilizzabili nelle operazioni di spazializzazione.

È stato scelto di descrivere in dettaglio un caso di studio per ciascuna matrice ambientale, come riportato in tabella.

Matrice	Caso di studio	Autore / Ambito del lavoro
Climatologia e meteorologia	Spazializzazione di dati meteo	CNR Ibimet
Contaminazione dei suoli	Contaminazione del suolo da metalli pesanti	JRC IES
Qualità dell'aria	Metodi di interpolazione e data assimilation per la qualità dell'aria	European Topic Center on Air and Climate Change
Qualità delle acque superficiali e sotterranee	La cartografia dello stato chimico delle acque sotterranee nei piani di tutela delle acque	ARPA Campania
Esposizione ad agenti fisici	Distribuzione comparata di Cesio 137 in diverse matrici ambientali sul territorio della Valle d'Aosta	ARPA Valle d'Aosta

Le banche dati utilizzate nella maggior parte dei casi sono state ottenute da campagne di rilevamento effettuate ad hoc, da modelli matematici o da banche dati disponibili su scala regionale.

Nel solo caso di studio riportato per la qualità dell'aria si fa riferimento, oltre ai dati raccolti dalle stazioni di monitoraggio e provenienti da modelli matematici, alle banche dati dell'inquinamento da ozono e da PM10, disponibile su scala europea:

- SOMO0 (somma annuale delle concentrazioni giornaliere massime su 8 ore);
- SOMO35 (somma annuale delle concentrazioni giornaliere superiori a 35 ppb su 8 ore);
- AOT40 (somma delle differenze tra concentrazioni giornaliere orarie massime superiori ai 40 ppb e concentrazioni orarie tra le ore 7:00 e le 19:00 nei mesi da Maggio a Luglio superiori ai 40 ppb).

Inoltre viene illustrato un esempio su scala nazionale, relativo alla spazializzazione dei dati di popolazione rilevati nell'ambito del censimento ISTAT 2001 che fa uso della banca dati la copertura del suolo Corine Land Cover (CLC 2000) come banca dati ausiliaria.

### 2.3 Metodologie utilizzate

Le principali metodologie comunemente utilizzate per la spazializzazione dei dati geografici sono:

- Georeferenziazione/Geocoding
- Linear Referencing
- Interpolazione
- Modellazione
- Geostatistica

Metodologia	Dati utilizzati	Dati attesi
Georeferenziazione	Dati vettoriali da georeferenziare	Localizzazione secondo l'unità amministrativa prescelta (es: particella catastale, Comune, Provincia...)
Geocoding	Dati vettoriali da georeferenziare Banca dati indirizzi	Localizzazione con indirizzo e civico
Linear Referencing	Tabella di eventi Grafo lineare	Collegamento dinamico degli eventi alle porzioni del grafo
Interpolazione	Dati misurati/rilevati (es: popolazione per sezione di censimento)	Mappa della distribuzione di una variabile (es: densità di popolazione)
Modellazione	Parametri del modello (es: traffico stradale. Numero di veicoli, barriere presenti, cartografia 3D....)	Mappa della distribuzione di una variabile (es: livello sonoro)
Geostatistica	Dati misurati/rilevati (es: qualità dell'aria. Livelli di ozono rilevati dalle centraline, piovosità)	Mappa della distribuzione di una variabile (es: livello di ozono)

### 2.4 Georeferenziazione

In tutti i casi nei quali si hanno a disposizione banche dati alle quali non è associato nessun tipo di informazione geografica si rende necessario l'utilizzo di banche dati geografiche ausiliarie. Spesso le informazioni presenti in queste banche dati di appoggio devono essere messe a confronto per ottenere un'unica banca dati geografica da utilizzare nell'operazione di georeferenziazione. Qualora risulti disponibile un indirizzo associato al singolo record della banca dati da georeferenziare, la procedura di georeferenziazione risulta drasticamente semplificata e rientra nel caso particolare del *geocoding*.

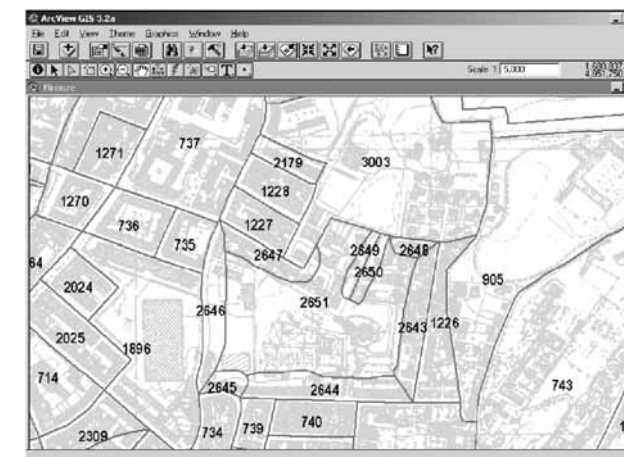
A titolo di esempio si riportano le attività svolte presso ARPAT per la georeferenziazione delle aziende censite sul Registro Imprese della Camera di Commercio di Firenze.

I dati originali relativi alle imprese toscane sono riferiti alle 504.476 unità locali (comprendenti anche delle sedi legali, qualora presenti in Toscana) esistenti alla data del 31 dicembre 2003. Per ciascuna unità locale sono presenti, tra le altre informazioni, il comune di appartenenza, la località, il tipo di via (via, viale, piazza, corso, lungomare, ecc.), il toponimo ed il numero civico.

Il processo di attribuzione di una coppia di coordinate a ciascuna unità locale ha richiesto la predisposizione di una serie di archivi di supporto riportati in tabella.

Archivio	Informazioni presenti	Metodologia di implementazione
Comuni	Codice ISTAT Comunale Codice ISTAT Provinciale Codice ISTAT Regionale Nome Provincia Nome Regione Nome Comune Sigla Provincia Sigla Regione Codice comunale Min. Finanze Coordinata EST Centroide Coordinata NORD Centroide	Le coordinate dei centroidi sono state ottenute dai limiti amministrativi ISTAT 1991.  Le coordinate dei centroidi comunali sono state assegnate alle unità locali catastali sulla base del Comune di appartenenza.
Località Abitate	Toponomastica ISTAT 1971 Toponomastica ISTAT 1981 Toponomastica ISTAT 1991 Toponomastica IGM 1:25.000 Codice ISTAT Comunale Codice ISTAT Provinciale Coordinata EST Centroide ISTAT Coordinata NORD Centroide ISTAT Coordinata EST Centroide IGM Coordinata NORD Centroide IGM	Le coordinate delle località sono state associate alle diverse unità locali del catasto sulla base del riconoscimento del relativo toponimo.
Stradario ISTAT 1991	Comune Sezione di censimento Nome della strada Numero civico di partenza Numero civico di arrivo Coordinata EST sezione di censimento 1991 Coordinata NORD sezione di censimento 1991	L'archivio mette in relazione con ciascuna sezione di censimento le porzioni di strade che ne definiscono il contorno.  A ciascuna tratta di strada, intesa come toponimo stradale e intervallo di numeri civici, sono state attribuite le coordinate della sezione di censimento di cui partecipa a comporre il contorno.  Le coordinate di tali tratte di strade sono state associate alle diverse unità locali del catasto sulla base del riconoscimento dell'indirizzo e dell'appartenenza del numero civico all'intervallo di civici.
Baricentri Strade	Comune Sezione di censimento Nome della strada Numero civico di partenza Numero civico di arrivo Indirizzo Coordinata EST baricentro sezioni 1991 Coordinata NORD baricentro sezioni 1991	Sullo stradario ISTAT 1991 è stato operato un raggruppamento sulla base dell'indirizzo  Successivamente è stato calcolato il baricentro (o media spaziale, cioè media delle coordinate) delle diverse sezioni di censimento che condividono ciascuna strada nei loro perimetri.  Nella pratica, una strada che risulti appartenere a sei sezioni di censimento, sulla sua destra, ed a altre 5 sezioni di censimento, sulla sua sinistra, erediterà come baricentro la media delle coordinate X ed Y delle diverse sezioni di censimento che la riguardano. Tale baricentro è associato a ciascun

		<p>indirizzo, senza alcun riferimento ai numeri civici, e si configura quindi come coordinate medie della strada (o piazza, viale, ecc.).</p> <p>Le coordinate di tali strade (il baricentro delle sezioni di censimento interessate da quella strada) sono state associate alle diverse unità locali del catasto sulla base del riconoscimento dell'indirizzo. Nel caso in cui più strade siano comprese interamente all'interno della stessa sezione di censimento, ad esse risulta associato lo stessa coppia di coordinate corrispondente al baricentro della sezione di censimento.</p>
Numeri Civici	<p>Tipo di strada Codice identificativo Toponimo Progressivo viario Numero del civico Esponente del civico Tipo del civico</p>	<p>Dalla Carta Tecnica Regionale numerica in scala 1:2.000 sono stati estratti i dati relativi alle strade (layer 101) ed ai numeri civici (layer 130).</p> <p>Sono poi state ricostruite le associazioni tra i civici e le strade (al civico non risulta attribuito un indirizzo, bensì un codice identificativo della strada cui appartiene), avendo preventivamente riconosciuto, tramite apposite elaborazioni GIS il comune di appartenenza di ciascun numero civico. In tal modo ciascun numero civico presenta un indirizzo, un comune di appartenenza, una scritta (data dalla composizione del numero civico e di eventuali esponenti (es.: /A, /5, /R, ecc.)), e una coppia di coordinate.</p> <p>Dopo un confronto preventivo con gli indirizzi, effettuato associando alle unità locali l'identificativo univoco della entità dell'archivio delle strade dei civici, sono stati confrontati i diversi numeri civici con il civico della unità locale, aventi uguale identificativo dell'indirizzo, preventivamente riconosciuto.</p> <p>A tutte le unità locali per cui, nelle due fasi, sono stati riconosciuti sia l'indirizzo che il numero civico, sono state attribuite le coordinate del civico. L'assegnazione è stata possibile solo nell'ambito di quei territori e comuni per cui era disponibile la Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000 (capitolato livello 3).</p>
Strade dei Numeri Civici	<p>Tipo di strada Codice identificativo Toponimo Progressivo viario Coordinata EST del baricentro dei civici Coordinata NORD del baricentro dei civici</p>	<p>Ogni strada riporta come coordinate la media di quelle dei civici che le appartengono.</p> <p>Per le diverse unità locali sono state effettuate elaborazioni finalizzate a riconoscere l'indirizzo di ciascuna unità locale nell'archivio delle strade dei numeri civici, associando alle unità locali le coordinate del baricentro.</p>



**Figura 12.**  
**Rappresentazione delle unità locali**

La procedura di matching è stata effettuata in più passi:

1. Per ciascuna unità locale sono stati operati dei confronti con i seguenti archivi:
  - Comuni (associazione delle coordinate del centroide del comune)
  - Località abitate (associazione delle coordinate del centroide della località abitata ed il relativo identificativo univoco)
  - Baricentri delle strade (stradgrp) del censimento 1991 (associazione delle coordinate del baricentro della strada ed il relativo identificativo univoco)
2. A seguito del riconoscimento dell'appartenenza del numero civico della unità locale all'opportuno intervallo associato (Archivio dello stradario ISTAT91), alle sezioni di censimento che condividono ciascuna strada come confine sono state associate le coordinate del centroide della sezione di censimento ed il relativo identificativo univoco.
3. Successivamente sono stati operati i confronti con l'archivio delle strade dei numeri civici (strade\_civ\_n), associando coordinate ed identificativo univoco della strada riconosciuta come coincidente con quella dell'indirizzo della unità locale.
4. Infine, tra tutti i numeri civici dell'archivio dei numeri civici, sono stati individuati quelli coincidenti (a parità di indirizzo, riconosciuto nel passo precedente) con i civici delle diverse unità locali.

Ogni unità locale si può pertanto trovare in diverse possibili casistiche, che le vedono associati identificativo e coordinate ricavate dal confronto dei diversi archivi, e quindi con differenti gradi di dettaglio spaziale.

Si riporta in tabella il risultato delle operazioni di geocoding: ciascuna riga si riferisce a un livello differente nella precisione della georeferenziazione, e riporta il numero di aziende per le quali è stato possibile attribuire le informazioni di georeferenziazione ai vari livelli di dettaglio.

Tipo georeferenziazione	Totale	<	045 MS	046 LU	047 PT	048 FI	049 LI	050 PI	051 AR	052 SI	053 GR	100 PO
Civico	233695		8871	21695	16537	87509	19685	24310	8407	9109	7695	29877
Strada civici	105589		8247	20542	8967	29138	8379	10098	5312	4555	3464	6887
Sezione di censimento	59950		3264	2967	6837	6537	5900	5359	12412	8974	7473	227
Strada censimento	2898		186	162	312	250	288	261	604	362	459	14
Località	30033		1940	4214	2135	3069	1597	3657	3376	3190	6412	443
Comune	70667		3177	3499	5900	8851	5439	5542	14690	11031	11394	1142
Non georeferenziato	1644	1644										
	<b>504474</b>											

## 2.5 Geocoding

Per geocoding viene comunemente intesa la procedura che consente, a partire da un indirizzo geografico espresso in formato standard, di assegnare la coppia di coordinate della relativa alla posizione geografica. L'ampia disponibilità di banche dati di indirizzari di pubblico dominio, in particolare negli Stati Uniti, ha fatto sì che ben presto tutti i principali prodotti di analisi GIS si siano dotati di strumenti per l'automatizzazione delle procedure di geocoding<sup>16</sup>.

Il processo di geocoding si può schematizzare come illustrato in figura:



Figura 13. Fasi del processo di geocoding ([www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it))

Il problema principale nell'utilizzo di procedure di geocoding in Italia è la scarsa disponibilità di banche dati pubbliche che contengano un indirizzario aggiornato e georeferenziato al livello di dettaglio richiesto dalle applicazioni ambientali o di pianificazione territoriale. I dati di base necessari per le operazioni di geocoding possono pertanto essere reperiti:

da cartografia tecnica regionale/catastale a grande scala (1:2.000) (generalmente gratuita all'interno delle PA)

da banche dati di terze parti (a pagamento)

La cartografia regionale/catastale a grande scala ha lo svantaggio, oltre alla mancanza di standard di riferimento e – nella maggior parte dei casi – alla necessità di operazioni di preelaborazione che possono rivelarsi piuttosto onerose, di non essere generalmente disponibile su tutto il territorio italiano. Per citare il caso della Toscana, la realizzazione della cartografia in scala 1:2.000 è di competenza comunale: a causa dei notevoli costi realizzativi la copertura è garantita solamente sulle località abitate.

<sup>16</sup> [www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)

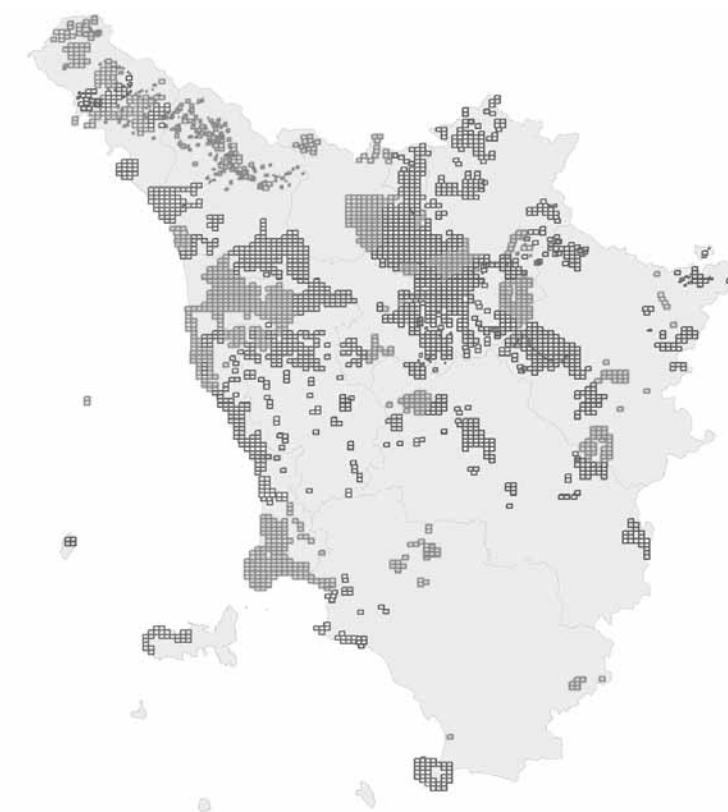


Figura 14. Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000 disponibile in Toscana – grigio scuro: nuovo impianto

Da qualche anno sono stati fatti notevoli passi in avanti nella direzione della standardizzazione a livello nazionale di alcune tra le principali banche dati geografiche: in particolare, il gruppo di lavoro Intesa GIS ha provveduto alla redazione di uno standard cartografico per i seguenti strati informativi:

- Database topografici in scala 1.000/2.000/5.000/10.000/25.000 (WG01)
- Reti plano-altimetriche (WG02)
- DTM (Modelli digitali del terreno) (WG03)

I database topografici in particolare potranno essere utilizzati in un futuro non lontano per l'implementazione di servizi standard di geocoding.

In alternativa alle banche dati derivate dalla cartografia tecnica, banche dati di terze parti sono rese disponibili da società commerciali, e stanno diventando sempre più popolari grazie alla diffusione dei navigatori satellitari: tali banche dati, integrate nei navigatori di ultima generazione, consentono l'orientamento nei centri abitati con sufficiente precisione, anche se non paragonabile a quella della cartografia tecnica. Molte di queste società rendono gratuitamente disponibile la consultazione via web della banca dati, consentendo di individuare su una mappa la località geografica corrispondente a un indirizzo completo (via e città).

Allo stato attuale sono disponibili diverse soluzioni per le attività di geocoding:

- Utilizzo di procedure automatiche con strumenti GIS
- Geocoding semiautomatico con strumenti GIS
- Utilizzo di servizi web pubblici o privati



Procedure di geocoding automatico sono disponibili su molti programmi commerciali: sono altresì disponibili soluzioni distribuite con licenza Open Source. In ogni caso le procedure automatiche di geocoding sono espressamente progettate per l'utilizzo con database di pubblico dominio disponibili negli Stati Uniti, per l'utilizzo in altri paesi è necessario predisporre database che rispettino lo schema di queste banche dati<sup>17</sup>.

A titolo di esempio, si citano i seguenti prodotti:

- Servizi di Geocoding disponibili con ArcGIS 8.x/9.x
- Applicativo Postal Address Geocoder (PACG), rilasciato con licenza Open Source<sup>18</sup>
- PostGIS TIGER Geocoder

Qualora non siano disponibili database normalizzati è possibile procedere in modo semiautomatico utilizzando le funzionalità base per la gestione di database presenti in tutti i prodotti GIS o in qualsiasi client RDBMS, Microsoft Access incluso. In molti casi l'eterogeneità delle banche dati a disposizione (cartografia tecnica regionale, toponomastica ISTAT, ecc...) può richiedere un lavoro di armonizzazione degli archivi estremamente dispendioso, come nel caso della banca dati del Registro Imprese: più spesso sarà sufficiente effettuare una serie di operazioni di JOIN tra le tabelle delle varie banche dati.

Negli ultimi anni i servizi di geocodifica disponibili sul web si stanno moltiplicando in maniera esponenziale, a causa della generale crescita del mercato dei cosiddetti *Location-Based Services* (LBS) e ponendosi come valida alternativa ai metodi di geocoding con strumenti GIS, sicuramente più onerosi sia da un punto di vista economico che implementativo a motivo della necessità di un continuo aggiornamento delle banche dati.

Ad esempio, la API (*Application Program Interface*) di *GoogleMaps* integra un modulo di geocoding, utilizzabile sia tramite chiamata diretta a un URL oppure tramite codice Javascript inserito in pagine web personalizzate: in quest'ultimo caso per l'utilizzo è necessario effettuare la registrazione al servizio (gratuita), ottenere un codice numerico (*Google Key*) e utilizzare sempre lo stesso PC dal quale è stata effettuata la registrazione, mentre per l'utilizzo tramite chiamata diretta alla URL non è richiesta alcuna registrazione<sup>19</sup>. Servizi gratuiti sono disponibili in rete<sup>20</sup> insieme ad altri a pagamento<sup>21</sup>

<sup>17</sup> Banche dati US Census Bureau 2000, prodotti TIGER/Line: le specifiche per il prodotto relativo all'anno 2006 sono reperibili all'indirizzo <http://www.geocode.com/documentation/Geocode2006.pdf>

<sup>18</sup> <http://www.pacgeo.org>

<sup>19</sup> [http://www.google.com/apis/maps/documentation/#Geocoding\\_Examples](http://www.google.com/apis/maps/documentation/#Geocoding_Examples); la chiamata diretta (URL) deve invece essere effettuata secondo lo standard sotto riportato:

<http://maps.google.it/maps?ie=UTF8&hl=it&q=Via+Porpora,+22+Florence&f=q&sampleq=1>

Alla data odierna il limite per utilizzi non commerciali del modulo di geocoding è limitato a 50.000 indirizzi al giorno.

<sup>20</sup> Ad esempio: <http://geo.localsearchmaps.com>; un servizio gratuito (riferimenti riportati all'indirizzo <http://emad.fano.us/blog/?p=277>) che consente di ottenere in forma testuale le coordinate del punto, inserendone l'indirizzo direttamente nella URL. Oppure <http://www.batchgeocode.com>; che consente di ottenere in forma testuale le coordinate del punto, effettuando l'upload di un file di testo in formato CSV tab delimited contenente l'indirizzo in formato standard.

<sup>21</sup> Via Michelin, il noto sito ampiamente utilizzato per il calcolo dei percorsi stradali in tutta Europa, rende disponibile un kit di sviluppo software per integrare i webservices messi a disposizione, tra i quali i web services di geocoding e inverse geocoding, in applicazioni web o stand-alone sviluppate con tecnologia JAVA, Microsoft .NET o PHP.

<http://ws.viamichelin.com/wswebsite/ita/jsp/prs/MaKeyFeatures.jsp>

<http://ws.viamichelin.com/wswebsite/ita/pdf/webservices.pdf>

Il kit di sviluppo è a pagamento; è comunque scaricabile gratuitamente in prova, con una limitazione di utilizzo a 1000 operazioni, all'indirizzo <http://ws.viamichelin.com/wswebsite/gbr/jsp/tec/MaDownloadSDK.jsp>.

TeleAtlas fornisce un servizio di geocoding a pagamento (EZ Locate), che può essere utilizzato in tre distinte modalità: tramite interfaccia web (Online Geocoding / Assisted Geocoding); tramite applicativo stand-alone (EZ Locate Client, scaricabile all'indirizzo <http://www.geocode.com/index.cfm?module=license&code=fromDL&code2=2xx>); tramite applicativi personalizzati che utilizzano EZ Locate SDK (Software Development Kit), scaricabile all'indirizzo <http://www.geocode.com/index.cfm?module=license&code=fromDL>. Tutte e tre le modalità richiedono la registrazione al servizio, gratuita solamente per i primi 100 indirizzi. I riferimenti relativi alla procedura da utilizzare sono disponibili all'indirizzo <http://www.geocode.com/documentation/Geocode2006.pdf>.

## 2.6 Linear Referencing

Con il termine *Linear Referencing* si intende generalmente “la possibilità di identificare posizioni lungo elementi lineari senza fornire esplicitamente le coordinate XY ma utilizzando un sistema di misurazione lineare”<sup>22</sup>. Ciò si rivela particolarmente utile in alcuni casi, in particolare qualora si desiderino associare a un'entità geometrica lineare due distinte tipologie di informazioni:

- più informazioni/attributi
- un'informazione che varia nel tempo (evento).

La tecnica del *linear referencing* consente di collegare una tabella di eventi, nella quale ciascun record rappresenta un'occorrenza misurata di un dato fenomeno, a tratti di un'entità rappresentabile con geometria lineare (*network*). Tale approccio viene solitamente utilizzato per la modellazione di entità quali:

- grafi stradali
- idrografia
- reti tecnologiche.

Ciascun evento può essere di tipo puntuale, e di conseguenza associabile a una distanza precisa individuata sul grafo (ad esempio, la presenza di una pietra chilometrica oppure gli eventi associati agli incidenti stradali), oppure di tipo lineare, quindi associabile a un tratto del grafo (ad esempio, un tratto di strada chiusa per lavori in corso).

Tra i possibili campi di applicazione di questa metodologia, per citare i più diffusi, si riportano:

- la stima del traffico veicolare
- la stima dei carichi inquinanti sui corsi d'acqua dovuti alle attività agricole
- la stima del rumore da traffico ferroviario e la modellazione degli interventi di risanamento
- la stima della fauna ittica
- la sicurezza stradale.

## 2.7 Interpolazione e predizione

In tutti i casi nei quali il comportamento del sistema che dà luogo alla variabile di interesse sia descrivibile con un formalismo matematico o statistico (modello predittivo), è possibile, a partire da una serie di dati in ingresso (parametri che influenzano il comportamento del modello), ricostruire l'andamento della variabile di interesse con una risoluzione spaziale limitata solamente dalla precisione del modello e dei dati in ingresso.

Si può parlare in generale di:

- tecniche “dirette”: ricostruire l'andamento della variabile di interesse a partire da un modello dei fenomeni fisici che concorrono alla determinazione del valore della variabile nello spazio e nel tempo e dai parametri del modello (tecniche di modellazione)
- tecniche “inverse”: ricostruire l'andamento globale della variabile di interesse a partire da un numero limitato di osservazioni (stima), senza alcuna conoscenza dei fenomeni fisici coinvolti.

<sup>22</sup> [www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)

Le tecniche inverse, più comunemente note come tecniche di interpolazione, vengono utilizzate in tre distinte situazioni:

- La superficie discretizzata ha un livello di risoluzione, una dimensione del grigliato o un orientamento differente da quella richiesta. Ad es: conversione di immagini digitalizzate tramite scanner da un grigliato con una data dimensione e orientamento ad un altro.
- La superficie continua è rappresentata da un modello di dati differente da quello richiesto. Ad es: trasformazioni di superfici continue da un formato ad un altro (da TIN a raster o da raster a TIN)
- I dati acquisiti non coprono il dominio di interesse. Ad es: conversione di dati da un insieme di punti campionati ad una superficie continua discretizzata.

I metodi di interpolazione possono essere divisi in due categorie:

- Metodi globali
- Metodi locali

I metodi globali Usano tutti i dati disponibili nell'area di interesse. Possono essere utilizzati per individuare (e quindi rimuovere) gli effetti di un eventuale trend. Una volta che l'andamento globale sia stato esaminato e rimosso è possibile passare all'interpolazione locale dei residui. Operano in una piccola zona nei dintorni del punto da interpolare e, in generale, producono un "lisciamiento" del comportamento dei dati. Tra metodi locali più noti si possono citare i seguenti:

- Nearest Neighborhood
- Interpolazione mediante l'inverso della distanza (media pesata, o Inverse Distance Weighting (IDW))
- Interpolazione polinomiale
- Interpolazione mediante spline
- Kriging

I metodi analitici utilizzano un modello matematico approssimato del fenomeno fisico da esaminare, che consente a partire da condizioni iniziali specificate di prevedere l'evoluzione futura del sistema in qualsiasi momento. I metodi analitici sono estremamente diffusi in campo ambientale, in quanto molto spesso i fenomeni coinvolti possono essere modellati attraverso semplici equazioni matematiche; si pensi a titolo esemplificativo al campo magnetico radiato dalle linee elettriche ad alta tensione.

La disponibilità di calcolatori sempre più potenti fa sì che la domanda di approcci all'analisi e alla gestione ambientale basati su modelli matematici sia in crescita, nonostante l'utilizzo dei modelli analitici richieda la disponibilità di grosse quantità di dati raccolti con un elevato livello di precisione (si pensi al calcolo del rumore lungo un'arteria di comunicazione in centri abitati, per il quale è necessario disporre di cartografia tridimensionale dettagliata).

Una trattazione dettagliata dei metodi analitici disponibili per le varie matrici ambientali, in quanto legata alle peculiarità di ciascun modello del fenomeno fisico connesso, esula dagli scopi del presente documento: si rimanda perciò a quanto già disponibile nei documenti predisposti dai CTN per ciascuna matrice.

L'interpolazione è una procedura di predizione dei valori di attributi di punti non campionati, a partire dalle misure eseguite in determinati punti all'interno della stessa area. Per ciascuno dei punti misurati devono necessariamente essere operate alcune scelte che stanno alla base del processo di interpolazione:

- definizione dell'area di ricerca nei dintorni del punto utilizzabile nella predizione
- identificazione di eventuali punti presenti all'interno dell'area di ricerca

– scelta della funzione matematica per la modellizzazione della variazione locale dell'insieme di dati

– valutazione della variazione su una griglia regolare

Il risultato di queste scelte porta alla definizione dei parametri della procedura di interpolazione, ovvero:

- tipo di funzione interpolante da usare
- dimensione e forma della regione di prossimità
- numero di dati da considerare
- tipo di griglia (regolare o irregolare)
- possibile utilizzo di funzioni esterne riguardanti la presenza di eventuali trend

In base alla funzione interpolante utilizzata i metodi di interpolazione possono essere divisi in due distinte categorie:

- Metodi deterministici: il legame fra punti vicini è espresso da una legge esplicita i cui parametri hanno significato fisico.
- Metodi stocastici: il legame tra punti vicini è espresso da un legame statistico (covarianza) che può non avere significato fisico.

Nell'applicare qualsiasi metodo di interpolazione è necessario tenere conto dell'autocorrelazione spaziale tra i punti rilevati; in altre parole, la variabile osservata in punti vicini nello spazio tende ad assumere un valore simile.

Per questo motivo si assegnano "pesi" alti a dati che corrispondono a punti vicini al punto in cui si desidera ottenere il valore interpolato, sia nel caso in cui si usino algoritmi di media sia nel caso in cui la funzione venga modellata in modo deterministico.

L'algoritmo *Nearest Neighborhood* assegna ad ogni punto del dominio il valore del punto campionato più vicino, delimitando regioni (poligoni) a valori costanti "attorno" ai punti campionati (tassellation). La configurazione delle regioni è univocamente determinata dalla posizione dei punti campionati; in particolare, se i punti sono distribuiti regolarmente le regioni sono rettangolari.

Nel caso della media mobile (Averaging) il valore in un punto è dato da una media dei valori rilevati in prossimità del punto di interesse. La finestra per la scelta dei valori da utilizzare nell'interpolazione è simmetrica, centrata nel punto, e può avere forme diverse. La dimensione della finestra è determinante ai fini del risultato, dal momento che finestre piccole esaltano alte frequenze e finestre grandi riducono le alte frequenze (effetto di smoothing).

Con l'*Inverse Distance Weighting* (IDW) si tiene conto della distanza dei punti rispetto al punto di interesse pesando il contributo di ciascun punto con una funzione della sua distanza:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i, y_i)$$

$n$  = numero dei punti nella finestra mobile

$x_i, y_i$  = coordinate dei punti noti

$\lambda_i$  = peso del punto  $i$ -esimo

I pesi vengono determinati come  $\lambda_i = \Phi(d(x, x_i)) \rightarrow 0$  quando  $d(x, x_i) \rightarrow \infty$ . Il peso più usato è l'inverso della distanza al quadrato:

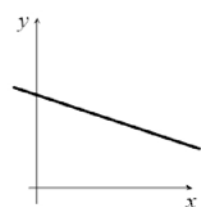
$$z(x_i) = \frac{\sum_{j=1}^n z(x_j) d_{i,j}^{-2}}{\sum_{j=1}^n d_{i,j}^{-2}}$$

I punti su cui calcolare la media pesata possono essere scelti fissando forma e dimensioni della finestra mobile, o in alternativa fissando il numero dei punti da inserire nel calcolo. Si noti che il risultato della stima con il metodo IDW è legato ai valori campionati circostanti da una funzione che dipende solo dalla distanza (il legame ipotizzato tra i valori assunti dalla variabile osservata in punti contigui è solamente di tipo geometrico).

In generale l'utilizzo del metodo IDW è consigliabile nei casi in cui sui dati in ingresso si verifichino le seguenti condizioni:

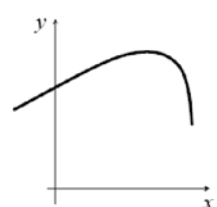
- i dati non presentano trend
- non sono presenti cluster nei dati
- i dati sono isotropi
- ci si trovi in presenza di un gran numero di dati

Funzioni mono e bidimensionali possono essere rappresentate come somma di funzioni polinomiali semplici opportunamente pesate. Si riportano in figura le espressioni delle funzioni interpolanti di tipo polinomiale di primo, secondo e terzo grado.



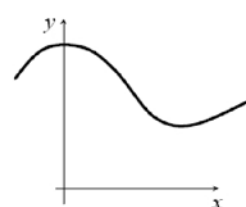
Modello lineare

$$y = a + bx$$



Modello quadratico

$$y = a + bx + cx^2$$



Modello cubico

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

Le funzioni *spline* sono una particolare tipologia di funzioni polinomiali, definite su una parte del dominio spaziale. Nel caso unidimensionale, se  $[a,b]$  è l'intervallo sul quale viene effettuata l'interpolazione, definito  $\Delta = \{a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b\}$  come una suddivisione dell'intervallo  $[a,b]$ , una funzione *spline* di grado  $p$  con nodi nei punti  $x_i$  è una funzione tale che:

- su ogni intervallo  $[x_i, x_{i+1}]$   $i=0, \dots, n-1$   $s_p(x)$  è un polinomio di grado  $p$
- la funzione  $s_p(x)$  e le sue prime  $(p-1)$  derivate sono continue su  $[a,b]$
- Il numero dei gradi di libertà di  $s_p(x)$ , ovvero dei parametri da calcolare per l'interpolazione è pari a  $(p+1) \cdot n - p \cdot (n-1) = n+p$ .

Nella pratica le *spline* maggiormente utilizzate sono quelle di terzo grado (*splines* cubiche con  $p = 3$ ): in questo caso le *splines* sono funzioni continue fino alla derivata seconda compresa. Su ogni intervallo della suddivisione vengono quindi utilizzati polinomi di terzo grado, ovvero tali che per  $x \in [x_j, x_{j+1}]$ ,  $j = 0, 1, \dots, n-1$  possono essere rappresentati dall'equazione:

$$s_3(x) = c_{1,j} + c_{2,j}(x - x_j) + c_{3,j}(x - x_j)^2 + c_{4,j}(x - x_j)^3$$

In questo caso i gradi di libertà sono  $4n - 3$  ( $n-1$ )  $= n + 3$ , che imponendo le condizioni di interpolazione  $s_3(x_j) = Z_j$  si riducono a due. Per ottenere una soluzione unica è necessario introdurre due ulteriori condizioni, che nella maggior parte dei casi sono le seguenti:

- spline naturale:  $s_3''(a) = s_3''(b) = 0$
- spline periodica:  $s_3'(a) = s_3'(b)$   $s_3''(a) = s_3''(b)$
- spline vincolata:  $s_3'(a) = Z_0'$   $s_3'(b) = Z_n'$

I valori  $Z_0'$  e  $Z_n'$  sono calcolati interpolando i valori  $Z_i$ .

In base alla presenza o meno di ulteriori condizioni sulle *spline* interpolanti queste si potranno distinguere in regolari (*regular*) o con tensione (*tension*): le *spline* regolari producono una superficie interpolante liscia rispetto alla distribuzione dei punti campionati, mentre nel caso delle *spline* con tensione imponendo alcune condizioni sulle derivate prime e seconde viene esercitato un controllo sulla curvatura della superficie che si sta interpolando. In particolare, nel caso in cui le derivate prime siano nulle o costanti la superficie interpolante si riduce a un piano orizzontale, mentre se la medesima condizione viene imposta sulle derivate seconde si otterrà un piano orientato nello spazio.

Un'ulteriore tipologia di funzioni *spline* è costituita dalle *B-spline*, definite a loro volta come somme di *spline* che per definizione si azzerano fuori dall'intervallo di interesse. Le *B-splines* consentono di effettuare un adattamento locale (*fitting*) con polinomi di ordine basso. Un loro utilizzo tipico è lo *smoothing* di bordi di poligoni per ottenere rappresentazioni grafiche (costruzione di mappe di caratteristiche del suolo o mappe geologiche).

In generale l'utilizzo di funzioni *splines* come funzioni interpolanti è consigliabile nei casi in cui sui dati in ingresso si verifichino le seguenti condizioni:

- non sono presenti grosse discontinuità (non modellabili con le *spline*)
- sono presenti andamenti locali significativi
- si richiede un'interpolazione esatta

A causa della distribuzione irregolare dei siti campionati, degli errori nelle analisi o semplicemente del comportamento intrinseco della stessa variabile in esame, la variazione spaziale di un attributo è spesso irregolare, e di conseguenza non rappresentabile con una funzione matematica semplice; l'utilizzo dei metodi statistici per l'interpolazione porta molto spesso ad ottenere un risultato assai più vicino a quello reale.

I metodi di interpolazione deterministici lasciano all'utilizzatore la scelta su una serie di parametri che influiscono pesantemente sui risultati, quali dimensione, orientamento e forma della finestra mobile e metodi di stima dei pesi, oltre a non consentire la determinazione della precisione dei valori ricavati con l'interpolazione in modo semplice; viceversa i metodi statistici consentono di ottenere una stima ottimale con associato il relativo errore di previsione. Il problema generale che viene risolto utilizzando i metodi statistici è quello della ricerca di una funzione interpolante ottimale (*BLUE, Best Linear Unbiased Estimate*).

Tra i metodi statistici di interpolazione spaziale il più utilizzato è sicuramente il *Kriging*, sviluppato per la prima volta in Sudafrica dall'ingegnere minerario D. G. Krige nel tentativo di ottenere previsioni accurate sulla posizione dei giacimenti di metalli preziosi; nel corso degli anni il metodo è diventato uno strumento fondamentale nel campo della geostatistica.

Il *kriging* si basa sull'assunzione che i parametri da interpolare possano essere trattati come variabili regionalizzate, ovvero variabili con un comportamento intermedio tra quello di una variabile casuale e una variabile deterministica. Una variabile regionalizzata ha la caratteristica di variare in modo continuo da un punto all'altro: di conseguenza punti vicini presentano un certo grado di correlazione spaziale, mentre punti molto distanti tra di loro sono statisticamente indipendenti (Davis, 1986). Il *kriging* può essere descritto come un set di routine di regressione lineare che minimizza la varianza della stima a partire da un modello di covarianza predefinito, ed è applicabile sotto l'ipotesi di validità dalla teoria dei processi stocastici stazionari per il processo in esame.

A differenza degli altri metodi di interpolazione, quali IDW e *spline*, il *kriging* permette di studiare il comportamento spaziale dei fenomeni prima di scegliere il metodo per generare la

superficie interpolante; Il *kriging* è una procedura complessa che richiede una conoscenza approfondita della statistica e dell'analisi spaziale, e l'utilizzo non è appropriato per gli insiemi di punti che presentano cambiamenti bruschi.

Dal momento che il *kriging* si fonda su una ipotesi di omogeneità spaziale, ovvero sull'assunzione che variazioni spaziali nella rappresentazione di un certo fenomeno siano statisticamente omogenee attraverso tutta la superficie, prima di procedere con l'interpolazione può essere necessario "stratificare" i dati in regioni a comportamento omogeneo e analizzarli separatamente.

Il *co-kriging* è una procedura di *kriging* che si applica qualora si abbiano a disposizione dati misurati di più variabili spazialmente correlate. In altre parole, avendo a disposizione i valori misurati di due diverse variabili U e V spazialmente correlate, si possono usare le informazioni sulla variazione di V per predire U, nell'ipotesi che le misure della variabile V siano molto più numerose di quelle della variabile U. Questa tecnica, sviluppata da Matheron nel 1971, non richiede nessuna assunzione sul tipo di correlazione che deve esserci tra le due variabili: è necessario solamente che esse abbiano un significativo numero di punti campione in comune per ottenere una discreta stima del crossvariogramma. La condizione ottimale si ottiene minimizzando la varianza dell'errore di stima: la difficoltà principale nell'applicazione del metodo consiste nel calcolo del crossvariogramma e nella successiva verifica di correttezza del modello teorico, in modo particolare se le due variabili non sono ben correlate tra loro.

Per l'approfondimento dei metodi geostatistici si rimanda alla letteratura in bibliografia, in particolare alle attività del *Joint Research Center*<sup>23</sup> e allo studio comparato di varie metodologie di interpolazione per la derivazione di carte dell'inquinamento da Ozono e PM10<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> www.ai-geostats.org

<sup>24</sup> Jan Horálek, Pavel Kurfurst, Bruce Denby, Peter de Smet, Frank de Leeuw, Marek Brabec, Jaroslav Fiala, "Interpolation and assimilation methods for European scale air quality assessment and mapping – Part II: Development and testing new methodologies" (ETC/ACC Technical Paper 2005/08, December 2005); Alfonso Crisci, "Spazializzazione dati meteo", Tavolo di confronto "Metodi, strumenti e indicatori per la definizione delle variabili climatiche"

**Tabella 7. Raffronto tra i metodi di interpolazione**

Metodo	Vantaggi	Svantaggi
Nearest Neighborhood	<ul style="list-style-type: none"> <li>– approccio molto semplice</li> <li>– soluzione unica</li> <li>– stima in un punto uguale al valore del poligono di appartenenza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– la dimensione e la forma delle regioni dipende dai campioni</li> <li>– non ci sono indicazioni dell'errore di stima</li> </ul>
Media mobile	<ul style="list-style-type: none"> <li>– approccio molto semplice</li> <li>– soluzione unica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– i punti prossimi al punto da interpolare vengono trattati tutti allo stesso modo (viene assegnato a ciascuno lo stesso peso).</li> </ul>
Inverse Distance Weighting (IDW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– calcolo veloce</li> <li>– implementa direttamente l'influenza dei valori campionati in funzione della distanza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– il risultato dipende dalla funzione peso usata e dalla dimensione della finestra</li> <li>– è sensibile a "cluster" nei dati</li> <li>– risente della presenza di trend globali nei dati</li> </ul>
Spline	<ul style="list-style-type: none"> <li>– calcolo veloce</li> <li>– modellano bene andamenti locali</li> <li>– sono efficaci per la visualizzazione dei dati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– problemi per punti angolosi</li> <li>– in alcuni casi introducono caratteristiche non presenti nella superficie</li> <li>– non c'è stima dell'errore di approssimazione associato all'interpolazione</li> </ul>
Kriging	<ul style="list-style-type: none"> <li>– interpolatore ottimale dal punto di vista teorico</li> <li>– fornisce una stima dell'errore</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– necessità di identificare e rimuovere eventuali trend</li> <li>– il risultato dipende da una corretta scelta della funzione di covarianza</li> <li>– la procedura comporta un processo di calcolo intensivo; la velocità di esecuzione dipende dal numero di punti in input e dalla forma della finestra di ricerca</li> </ul>

## 2.8 Data Assimilation

Per *Data Assimilation* si intendono tutte le tecniche che consentono l'integrazione dei dati osservati con i dati ottenuti dal modello in modo da poter ottenere un modello più preciso. In questo approccio i risultati del modello vengono influenzati dai dati osservati, in modo da ottenere la migliore rappresentazione possibile del fenomeno fisico.

Tra i metodi più noti si possono citare:

- interpolazione ottima: ricerca della matrice W dei coefficienti di peso da utilizzare come moltiplicatori del vettore  $y^0 - H(x^f)$ , ovvero del vettore differenza tra dati osservati e risultati del modello rappresentato dall'operatore H, tali che la somma ottenuta, sommata allo stato ottenuto dal modello, dia come risultato un nuovo stato. I pesi vengono calcolati minimizzando la varianza associata alla predizione
- modelli variazionali: minimizzazione di una funzione costo legata alla differenza tra dati osservati e dati calcolati
- filtri di Kalman: stima automatica e aggiornamento della covarianza dell'errore del modello tra passi successivi, con l'assunzione che gli errori sul modello e sui dati osservati abbiano distribuzione gaussiana

---

### 3. STUDIO DI CASI: LA VALUTAZIONE DEL GRADO DI IMPERMEABILIZZAZIONE DEL TERRITORIO

#### 3.1 Inquadramento

Il “suolo” è lo strato superiore della crosta terrestre, costituito da componenti minerali, organici, acqua, aria e organismi viventi. Rappresenta l’interfaccia tra terra, aria e acqua ed ospita gran parte della biosfera. Visti i tempi estremamente lunghi di formazione del suolo, si può ritenere che esso sia una risorsa sostanzialmente non rinnovabile. Il suolo ci fornisce cibo, biomassa e materie prime; funge da piattaforma per lo svolgimento delle attività umane; è un elemento del paesaggio e del patrimonio culturale e svolge un ruolo fondamentale come habitat e pool genico. Nel suolo vengono stoccate, filtrate e trasformate molte sostanze, tra le quali l’acqua, i nutrienti e il carbonio. Per l’importanza che rivestono sotto il profilo socioeconomico e ambientale, tutte queste funzioni devono pertanto essere tutelate<sup>25</sup>.

Il suolo subisce una serie di processi di degradazione e di minacce: una di queste è l’impermeabilizzazione (sealing). Non esistono molte definizioni internazionalmente riconosciute d’impermeabilizzazione. Burghardt dà 3 diverse definizioni<sup>26</sup>: 1) l’impermeabilizzazione è la separazione dei suoli dagli altri compartimenti dell’ecosistema, quali la biosfera, l’atmosfera, l’idrosfera, l’antroposfera e altre parti della pedosfera svolta da strati od altre strutture di materiale totalmente o parzialmente impermeabile. 2) l’impermeabilizzazione è la copertura della superficie del suolo con un materiale impermeabile o il cambiamento della sua natura tale che il suolo diventa impermeabile, questo tipo di suolo non è più capace di svolgere le funzioni ad esso associate. 3) il cambiamento della natura del suolo tale che si comporta come un mezzo impermeabile. Questa definizione include la compattazione. L’Unione Europea afferma che l’impermeabilizzazione si riferisce al cambiamento della natura del suolo tale che esso si comporti come un mezzo impermeabile (per esempio, la compattazione da macchine agricole). Questo termine è anche usato per descrivere la copertura od impermeabilizzazione della superficie del suolo con materiali impermeabili come, calcestruzzo, metallo, vetro, catrame e plastica<sup>27</sup>. La proposta di Direttiva (COM(2006) 232) che istituisce un quadro per la protezione del suolo, per “impermeabilizzazione” intende la copertura permanente della superficie del suolo con materiale impermeabile. Infine, Grenzdorffer sostiene che “un suolo è considerato impermeabilizzato se è coperto da un materiale impermeabile. Le superfici impermeabilizzate possono essere costituite sia da aree edificate che da aree non edificate. Inoltre, accanto alle superfici completamente impermeabilizzate come quelle edificate o coperte da calcestruzzo o asfalto, anche alcune superfici parzialmente permeabili, come le pavimentazioni a celle discontinue, che consentono una ridotta crescita di vegetazione, vengono considerate aree parzialmente impermeabili”<sup>28</sup>.

In questo documento s’intende per impermeabilizzazione il rivestimento del suolo per la

---

<sup>25</sup> COM(2006)231 def. Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato Economico e Sociale Europeo ed al Comitato Delle Regioni, “Strategia tematica per la protezione del suolo”.

<sup>26</sup> Burghardt W., Banko G., Hoeke S., Hursthouse A., De L’escaille T., Ledin S., Ajmone Marsan F., Sauer D., Stahr K., Amann E., Quast J., Neger M., Schneider J. and Kuehn K. 2004. “Task Group 5 on Soil Sealing, Soils in Urban Areas, Land Use and Land Use Planning”. Working Group on Research, Sealing and Cross-cutting issues. Final Report, May 2004

<sup>27</sup> European Environment Agency. “Soil Sealing Workshop. Summary Report”. European Topic Centre Terrestrial Environment, 2004.

<sup>28</sup> Grenzdorffer, G.J., 2005. “Land use change in Rostock, Germany since the reunification - a combined approach with satellite data and high resolution aerial images”. In: Anon., ISPRS WG VII/1 “Human Settlements and Impact Analysis” 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005), Tempe, AZ, USA, 14-16 March.

costruzione di edifici, strade o altri usi, senza far rientrare in tale termine i suoli compattati da attività agricole.

Quando il terreno viene impermeabilizzato, si riduce la superficie disponibile per lo svolgimento delle funzioni del suolo, tra cui l'assorbimento di acqua piovana per l'infiltrazione e il filtraggio. Inoltre, le superfici impermeabilizzate possono avere un forte impatto sul suolo circostante, modificando le modalità di deflusso dell'acqua ed incrementando la frammentazione della biodiversità. L'impermeabilizzazione del suolo è pressoché irreversibile.

L'aumento dell'impermeabilizzazione del suolo è in gran parte determinato da strategie di pianificazione del territorio che purtroppo spesso non tengono debitamente conto degli effetti irreversibili delle perdite di suolo. Mediamente, la superficie di suolo coperta da materiale impermeabile è pari a circa il 9% della superficie totale degli Stati membri. Nel decennio 1990-2000 la superficie interessata da questo fenomeno nell'UE-15 è aumentata del 6% e la domanda di nuove infrastrutture di trasporto e di nuove costruzioni rese necessarie dalla maggiore proliferazione urbana è in continua crescita<sup>29</sup>. Nelle zone costiere del Mediterraneo la percentuale di superficie completamente priva di costruzioni è in costante declino. Nel 1996, in Italia, quasi il 43% della superficie delle zone costiere, che in genere comprende suolo fertile, era interamente occupata da zone fabbricate e solo il 29% era privo di qualsiasi tipo di costruzione<sup>30</sup>.

Da tempo sia a livello europeo che nazionale si è realizzato che l'impermeabilizzazione rappresenta uno dei gravi problemi che portano alla perdita irreversibile di suolo.

Così come deciso nel sesto programma comunitario di azione nel campo dell'ambiente (DEC. 1600/2002/CE), l'Unione europea nel settembre 2006 ha adottato la strategia tematica sulla protezione del suolo, con l'obiettivo di proteggere e preservare le risorse naturali. La Strategia è composta da tre elementi: una comunicazione (COM(2006) 231) che stabilisce gli obiettivi della strategia; una proposta di direttiva quadro (COM(2006) 232) ed un'analisi degli impatti ambientali, economici e sociali della strategia stessa.

Per quando concerne l'impermeabilizzazione la Strategia stabilisce che "per un utilizzo più razionale del suolo, gli Stati membri saranno chiamati ad adottare provvedimenti adeguati per limitare il fenomeno dell'impermeabilizzazione (*sealing*) tramite il recupero dei siti contaminati e abbandonati (i cosiddetti *brownfields*) e ad attenuare gli effetti di questo fenomeno utilizzando tecniche di edificazione che permettano di conservare il maggior numero possibile di funzioni del suolo". A livello nazionale il D.M. 16-6-2005 "Linee guida di programmazione forestale" stabilisce che per il "Mantenimento e adeguato sviluppo delle funzioni protettive nella gestione forestale [...] la costruzione delle infrastrutture forestali, quali piste e vie di esbosco, deve essere effettuata in modo da minimizzare gli impatti sui suoli con particolare riguardo ai fenomeni di erosione, degradazione e compattazione nonché all'impermeabilizzazione, preservando la funzionalità idraulica ed il livello di naturalità dei corsi d'acqua". L'articolo 2 della L. 403/99 "Ratifica ed esecuzione della convenzione per la protezione delle Alpi" stabilisce che "Le Parti contraenti, in ottemperanza ai principi della prevenzione, della cooperazione e della responsabilità di chi causa danni ambientali, assicurano una politica globale per la conservazione e la protezione delle Alpi [...] prendendo misure adeguate in particolare nei campi [...] della difesa del suolo - al fine di ridurre il degrado quantitativo e qualitativo del suolo [...] limitando l'erosione e l'impermeabilizzazione dei suoli".

<sup>29</sup> SEC(2006)1165. Documento di accompagnamento alla Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo, al Comitato Economico e Sociale Europeo ed al Comitato delle Regioni "Strategia tematica per la protezione del suolo".

<sup>30</sup> COM(2002) 179. Comunicazione della Commissione al Consiglio ed al Parlamento Europeo, al Comitato Economico e Sociale ed al Comitato delle Regioni "Verso una strategia tematica per la protezione del suolo".

Durante gli ultimi anni sono stati portati avanti alcuni progetti in Europa per la valutazione dell'impermeabilizzazione a scala europea, nazionale e regionale. Nel 2001 l'EEA ha organizzato un workshop sull'impermeabilizzazione del suolo, incentrato sull'uso di indicatori, durante il quale è stato sviluppato un modello DPSIR adattato alla tematica e si è giunti alla conclusione che il grado d'impermeabilizzazione può essere stimato utilizzando dati statistici nazionali, i dati Corine Land Cover e le tecniche di telerilevamento.

Sempre nel 2001 è stato firmato il programma GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), iniziativa comune europea sul monitoraggio globale, basato su dati satellitari. L'obiettivo principale è quello di fornire servizi precisi ed affidabili riguardanti gli aspetti ambientali e di sicurezza a supporto delle esigenze delle politiche pubbliche europee. Tra i servizi e/o progetti il progetto *SoilsAGE* fornisce informazioni sul consumo di suolo ed il grado d'impermeabilizzazione; il progetto GUS (*GMES Urban Services*) produce mappe relative all'uso del suolo, al controllo dello sviluppo urbano e mappe della cementificazione.

Il progetto MOLAND (*Monitoring Land Use / Cover Dynamics*) del *Joint Research Centre* della Commissione Europea ha l'obiettivo principale di sviluppare una metodologia integrata basata su un set di strumenti per la pianificazione territoriale (tra cui le immagini satellitari) che possano essere utilizzati per la valutazione, il monitoraggio e la previsione delle evoluzioni degli ambienti urbani e regionali. Il progetto comprende il calcolo d'indicatori per valutare espansione insediativa, i trasporti ecc. dentro ed intorno alle aree urbane e lungo i corridoi di sviluppo<sup>31</sup>.

Sono stati sviluppati metodi per quantificare le superfici impermeabili basate sull'analisi sinergica di immagini del satellite Landsat-7 ETM+ e del satellite IKONOS ad alta risoluzione<sup>32</sup> o su una combinazione di immagini dei satelliti Landsat TM e SPOT con foto aeree ad alta risoluzione per identificare le superfici impermeabilizzate ed il grado d'impermeabilizzazione tramite l'uso del software *eCognition*<sup>33</sup>. Kampouraki ha sviluppato un metodo per la mappatura automatica delle zone impermeabilizzate in aree urbane<sup>34</sup>. La percentuale di tali aree è stata estratta tramite interpretazione visiva di foto aeree ed il risultato è stato comparato con quello ottenuto dalla classificazione automatica dell'Indice di verde NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) ottenuto da immagini del satellite *QuickBird*.

A livello nazionale è stata sperimentata una metodologia basata sul ricampionamento di ortofoto e la loro integrazione con dati satellitari Landsat TM, Ikonos e Spot 5, allo scopo di derivare tematismi relativi alla copertura del suolo ed all'individuazione di aree urbanizzate<sup>35</sup>.

L'APAT ha proposto una metodologia per ottenere la carta nazionale dell'impermeabilizzazione dei suoli, a scala 1:100.000, basata sulla fotointerpretazione a video di ortofoto di un campione di punti localizzati sul territorio italiano. La caratterizzazione delle singole classi di copertura/impermeabilizzazione è stata fatta tramite confronto con i dati CORINE Land Cover<sup>36</sup>.

<sup>31</sup> Lavallo C. "Monitoraggio e previsione delle dinamiche territoriali in aree urbane e regionali".

<sup>32</sup> Limin Yang, Chengquan Huang, Collin G. Homer, Bruce K. Wylie, and Michael J. Coan "An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery". *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 230-240, 2003.

<sup>33</sup> Grenzdorffer, G.J., 2005. "Land use change in Rostock, Germany since the reunification - a combined approach with satellite data and high resolution aerial images". In: Anon., ISPRS WG VII/1 "Human Settlements and Impact Analysis" 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005), Tempe, AZ, USA, 14-16 March.

<sup>34</sup> Kampouraki M. et al. 2006. "The application of remote sensing to identify and measure sealed areas in urban environments". 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006). Workshop proceedings.

<sup>35</sup> Barberis R., Fabietti G., Piccoli T., Vergella R., Navone P., Penon A., Boccardo P. e Agosto E., "Popolamento di indicatori inerenti il territorio e i siti contaminati tramite l'utilizzo di immagini satellitari e ortofoto ad alta risoluzione". Atti della 7a Conferenza Nazionale ASITA. L'Informazione Territoriale e la dimensione tempo, Verona 28 - 31 ottobre 2003.

<sup>36</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Catania 2005.

## 3.2 Esperienze regionali

### 3.2.1 ARPA Molise

L'Arpa Molise, ha verificato l'applicazione della metodologia della Carta nazionale dell'impermeabilizzazione dei suoli, applicandola a scala regionale. Per tale verifica ci si è avvalsi della collaborazione del Servizio Cartografico Regionale, che ha fornito, nell'ambito della Convenzione Regione Molise e ARPA Molise reg. n. 41824 del 12/08/05, la carta dell'uso del suolo Corine Land Cover di IV livello.

Per l'individuazione del grado di impermeabilizzazione di suoli a scala regionale, è stata utilizzata la cartografia digitale del Molise. La parte relativa alla fotointerpretazione a video è stata già analizzata nella redazione della Carta Tecnica Regionale (CTR) a scala 1:5.000. La scala di rappresentazione scelta ha permesso di avere dati confrontabili e significativi con la carta dell'uso del suolo Corine Land Cover di IV livello della Regione Molise.

I punti utilizzati per l'interpretazione dei suoli sono stati dislocati in modo casuale all'interno di celle generate da un reticolo sistematico con passo di 1 Km appoggiato al sistema di coordinate UTM – WGS 84, fuso 33, per un totale di 1472 unità.

I 1472 punti sono stati sovrapposti alla Carta Tecnica Regionale per ricavare informazioni sul *soil sealing* in corrispondenza di ogni unità campionata. Come per la metodologia sperimentata a livello nazionale, è stato associato ad ogni punto un attributo relativo ad un campo denominato "sealing", inserendo un valore pari a "0" quando dall'interpretazione si deduceva che il punto era localizzato in corrispondenza di un suolo presumibilmente mantenuto allo stato naturale e quindi permeabile, e un valore pari a "1" nei casi in cui il punto ricadeva in corrispondenza di suolo modificato rispetto al suo stato naturale e coperto di materiale presumibilmente impermeabile.

La fase successiva del lavoro ha riguardato la sovrapposizione con la carta dell'uso del suolo Corine Land Cover di IV livello della Regione Molise, permettendo la caratterizzazione delle singole classi di copertura del suolo in termini di *soil sealing*. Dalla sovrapposizione della copertura del suolo data dal Corine Land Cover di IV livello Regionale, al tematismo della carta con valori "0" o "1" ottenuta, è stato possibile visualizzare la distribuzione all'interno delle classi CORINE dei punti campionari impiegati dall'interpretazione della carta CTR.

Da una prima analisi dei dati ottenuti si è riscontrato che alcune classi hanno un numero di punti esiguo e quindi non possono essere ritenuti significativi a livello statistico. In questi casi si sono accorpate le classi ritenute simili per le loro caratteristiche di uso del suolo, mentre sono state eliminate quelle per le quali non è stato possibile un loro raggruppamento.

È stata quindi misurata la dispersione dei dati nella valutazione dell'impermeabilizzazione definita per ogni classe Corine tramite un indicatore statistico: la deviazione standard. Il risultato finale dell'elaborazione dei dati raccolti, delle valutazioni fatte e dell'analisi statistica è riportato in tabella, dove viene riportato il valore in percentuale di suolo impermeabilizzato calcolato e l'errore stimato.

Classe CLC	Descrizione Classe	Sup. impermeabilizzata	Deviazione standard
1111	Aree edificate urbane continue	100%	0,00%
1122	Zone edificate discontinue con case famigliari	33%	11,11%
2111	Terre arabili con vegetazione continua	11%	2,34%
2112	Terre arabili con vegetazione discontinua	6%	1,18%
2211	Vigneti	0%	0,00%
2221	Frutteti	0%	0,00%
2231	Oliveti	9%	3,81%
2311	Prati	10%	6,41%
2312	Prati con alberi e arbusti	2%	2,25%
2411	Colture annuali associate a colture permanenti	0%	0,00%
2421	Sistemi colturali complessi senza presenza di edifici	0%	0,00%
2422	Sistemi colturali complessi con presenza di edifici	11%	7,04%
243	Superfici principalmente occupate da agricoltura, con aree significative	5%	4,65%
2441	Aree agro-forestali	20%	17,89%
3112	Altre foreste di latifoglie con copertura continua	3%	1,26%
3113	Altre foreste di latifoglie con copertura discontinua	5%	1,74%
3131	Boschi misti derivati dall'alternanza di alberi	11%	10,48%
3211	Praterie naturali	6%	6,05%
3212	Praterie naturali con alberi e arbusti	7%	2,75%
3213	Vegetazione ripariale	7%	6,44%
324	Boschi e arbusti di transizione	9%	3,16%
3313	Sponde dei fiumi	25%	21,65%
3321	Rocce nude	0%	0,00%
3332	Vegetazione sparsa su roccia	0%	0,00%
3333	Vegetazione sparsa su calanchi	20%	17,89%
4111	Paludi interne con acqua dolce	0%	0,00%
5111	Fiumi	0%	0,00%

### 3.2.2 ARTA Abruzzo

L'ARTA Abruzzo ha proposto una metodologia di analisi del territorio a scala regionale/locale che si base sulla fotointerpretazione di immagini satellitari associata ai rilievi in campo e all'utilizzo di carte tematiche (carta dell'uso del suolo regionale alla scala 1:25.000) e ortofoto; la metodologia prevede l'utilizzo del software *Erdas Immagine 8.7*.

L'interpretazione di immagini satellitari può garantire un buon rapporto tra costi e risultati attesi poiché consente di analizzare accuratamente il territorio a partire da una scala di sintesi e regionale fino a una di maggior dettaglio e consente di ottimizzare le risorse umane ed economiche.

Attualmente l'Agenzia è fornita di Immagini LANDSAT 7 multispettrali con risoluzione 1 pixel=20 mq, la quale permette di realizzare una classificazione del territorio impermeabilizzato alla scala 1:50.000. Nel caso in cui fosse possibile acquisire immagini satellitari a risolu-

zione maggiore si potrebbe assicurare una classificazione a una scala di maggiore dettaglio (1:25.000).

Per avere una visione evidenziata degli oggetti indagati si associano tre diverse bande spettrali ai colori naturali rosso, verde e blu nell'ordine, ottenendo una facile visione degli elementi omogenei.

Per distinguere le aree antropizzate è utilizzabile la combinazione 532 che evidenzia in maniera netta le strutture in toni di viola.

La metodologia proposta consiste nella realizzazione di una mappa del grado di impermeabilizzazione del territorio con un numero variabile di classi di impermeabilizzazione in funzione del grado di risoluzione dell'immagine satellitare.

La metodologia è stata applicata su un'area costiera e di pianura di circa 28.600 ettari, ricadente interamente nella provincia di Pescara. L'area indagata presenta una forte urbanizzazione legata al fenomeno dell'industrializzazione e del conseguente esodo della popolazione dalle zone interne collinari-montane alle aree costiere; nonostante ciò nell'area indagata si osservano un vasto territorio destinato all'agricoltura (campi coltivati, oliveti, vigneti ecc.) e una rete viaria autostradale e statale in continua crescita.

Per la rappresentazione del fenomeno dell'impermeabilizzazione è stata considerata la percentuale di copertura di suolo sulla superficie di un ettaro; sono state individuate le seguenti 5 classi:

- Classe A – Percentuale di impermeabilizzazione 0% (sono inclusi in questa classe i campi coltivati, gli oliveti, i vigneti, i boschi, gli arbusteti, i rimboschimenti, le praterie ecc.);
- Classe B - Percentuale di impermeabilizzazione 25% (sono incluse in questa classe le zone agricole con edifici sparsi o nuclei abitativi di piccole dimensioni e le linee viarie autostradali ricadenti nelle zone agricole);
- Classe C - Percentuale di impermeabilizzazione 50% (sono incluse in questa classe le zone agricole con nuclei abitativi importanti e le aree urbane con presenza di parchi e giardini);
- Classe D - Percentuale di impermeabilizzazione 75% (sono incluse in questa classe le aree urbane e le aree artigianali e industriali);
- Classe E - Percentuale di impermeabilizzazione 100% (sono incluse in questa classe le aree urbane con presenza di edifici di grandi dimensioni, i centri commerciali e le aree artigianali e industriali importanti).

La metodologia adottata prevede le seguenti fasi di lavoro:

- realizzazione di una *unsupervised* o classificata non guidata (file raster img) a partire dall'immagine LANDSAT (file img); la non classificata è una mappatura del territorio basata esclusivamente sull'analisi dei dati per la suddivisione a priori dei pixel in un determinato numero di classi (i valori spettrali rilevati di oggetti simili risultano simili); tale classificazione ha lo scopo essenziale di fornire una prima mappa digitale della copertura del suolo che possa essere utilizzata come guida nella scelta delle aree campione. Nella classificazione automatica, mediante l'utilizzo di alcuni algoritmi, ogni pixel viene assegnato ad una classe spettrale su base statistica, tenendo conto dei valori che esso assume in ogni singola banda.
- digitalizzazione a video delle aree a tipologia nota su immagine satellitare con l'utilizzo di ortofotocarte sul software *Erdas Immagine 8.7*. La metodologia prevede la creazione delle aree di interesse o AOI e la campionatura delle firme spettrali; per ogni campionamento viene verificata la firma spettrale che consiste nel profilo che il valore del complesso dei pixel campionati per una singola area assume mediamente in ogni banda. Inoltre viene crea-

to il feature space (spazio fisionomico) dell'immagine, all'interno del quale è possibile plot-tare i campioni di ogni singola classe verificandone la posizione relativa rispetto agli altri cluster. Il feature space consiste in più grafici a dispersione in cui i singoli pixel si dispon-gono secondo valori che assumono sugli assi delle x e delle y corrispondenti a due variabili (bande) per volta.

- elaborazione delle carte classificate e *fuzzy* (file raster img) a partire dall'immagine LANDSAT (file img); sulla base della distribuzione in ogni banda dei valori assunti dai pixel contenuti nelle classi identificate, ogni area campione viene estesa per somiglianza spettrale su tutto il territorio coperto dall'immagine utilizzando l'algoritmo di massima verosimiglianza. Esso si basa sulla probabilità che un pixel appartenga ad una particolare classe. Inizialmente viene realizzata una *Fuzzy Classification* che produce come risultato un file di distanze e un'immagine *multi-layer*, dove il layer 1 rappresenta la classificazione più probabile sulla base dei campioni scelti, il layer 2 la classificazione immediatamente meno probabile e così via. Il passo successivo è quello di realizzare la *Fuzzy Convolution* che permette, usando la classificazione *multi-layer* e il file delle distanze, di creare un nuovo file di output in cui i pixel siano assegnati alla classe in assoluto più probabile calcolando una distanza pesata totale per tutte le classi.
- controlli in campo, revisione delle firme spettrali e successive rielaborazioni;
- ulteriore revisione della mappa tramite l'utilizzo delle informazioni presenti nel file dell'Uso del Suolo 1:25.000;
- eliminazione delle aree inferiori all'ettaro tramite il software *Erdas Immagine 8.7*. Durante questo passaggio vengono eliminate le singole aree che presentano una superficie inferiore a un ettaro, valore convenzionalmente considerato quale area minima cartografabile alla scala 1:50.000. La scelta di tale area minima consente la riduzione del possibile rumore di fondo delle immagini riuscendo a dare una chiara visione della struttura del territorio mediante una minima alterazione del risultato finale. Le zone lasciate scoperte dall'eliminazione di tali piccole isole vengono riempite statisticamente secondo il criterio del valore predominante più vicino, andando così a produrre una cartografia raster molto più omogenea.
- ricodifica della Carta tramite il software *Erdas Immagine 8.7*; ad ogni classe di impermeabilizzazione viene assegnato un codice univoco: da un *Attribute Editor* di n righe otteniamo un *Attribute Editor* di un numero di righe pari al numero di classi definito (nel nostro caso studio 5 classi).
- quantificazione delle aree a diverso grado di impermeabilizzazione a partire dalla carta ricodificata.



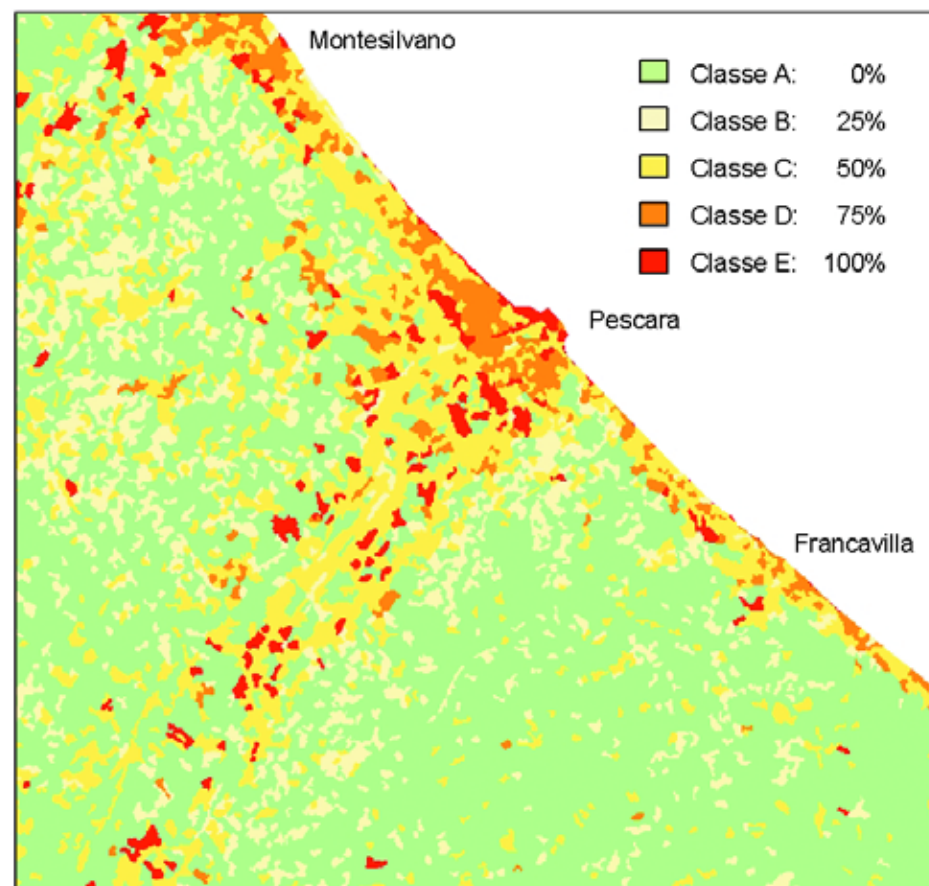


Figura 15. L'impermeabilizzazione dei suoli nell'area campione

### 3.2.3 ARPA Campania

Anche dall'ARPAC sono state avviate iniziative basate anche sull'analisi di dati satellitari. Le attività hanno compreso sperimentazioni di diverse applicazioni del telerilevamento, finalizzate alla mappatura ed al monitoraggio di variabili ambientali, in coerenza con le task già portate avanti nell'ambito del Centro Tematico Nazionale Territorio e Suolo, di cui ARPAC è stata coleader.

In particolare si è acquisita una campionatura multispettrale, in sette bande dello spettro elettromagnetico, del sensore Landsat Thematic Mapper (TM); la scena comprende una vasta porzione di mare e le coste del Salernitano, il golfo di Napoli e più a nord il litorale flegreo.

I dati satellitari sono stati integrati e supportati da un'ortofoto a colori. La foto (da aereo) è un intorno della laguna Fusaro (o Lago del Fusaro) che è posta all'estremità sud-occidentale dei Campi Flegrei (Napoli).

L'indicatore studiato è stato lo "sviluppo urbano", un indicatore di pressione che fornisce un quadro rappresentativo di una situazione ambientale ed una fotografia dell'area studio, inquadrandone le relazioni presenti.

La classificazione di immagini satellitari risulta essere una valida metodologia di indagine territoriale finalizzata al popolamento dell'indicatore. Un'immagine classificata, infatti, rende

immediata la possibilità di avere una visione globale di una determinata area, mettendone in risalto le connotazioni principali. Tra i risultati più significativi di una procedura di classificazione vi è quello di pervenire ad una netta distinzione tra coperture artificiali (*man made*) ed aree a copertura vegetale naturale. In base a tali considerazioni si è scelto di operare un rilevamento delle classi di copertura al suolo tramite algoritmi di clustering applicati ai dati multispettrali, estraendo il contenuto informativo dai supporti digitali disponibili.

La classificazione è stata condotta utilizzando algoritmi *supervised*. Tali algoritmi richiedono un addestramento che consiste nel tracciare manualmente sull'immagine delle aree a copertura nota (*training sites* o ROI) che il software utilizzerà per classificare i restanti pixel dell'immagine. Le ROI possono derivare da campagne per la ricognizione delle verità a terra o anche dal loro riconoscimento su supporti a più alta risoluzione.

Dopo aver opportunamente definito i contorni dei training sites si è passato all'applicazione di tre diversi algoritmi classificatori:

- Metodo dei parallelepipedi;
- Minima distanza;
- Massima verosimiglianza.

Utilizzando, quindi, le stesse ROI si sono avviate tre procedure di classificazione assistita. I risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati l'uno rispetto all'altro, scegliendo infine il prodotto fornito dal classificatore massima verosimiglianza. L'esito del processo di classificazione è mostrato in figura, in cui sono particolarmente evidenti il corso d'acqua e le formazioni nuvolose a cui è stata applicata una maschera *bitmap*.

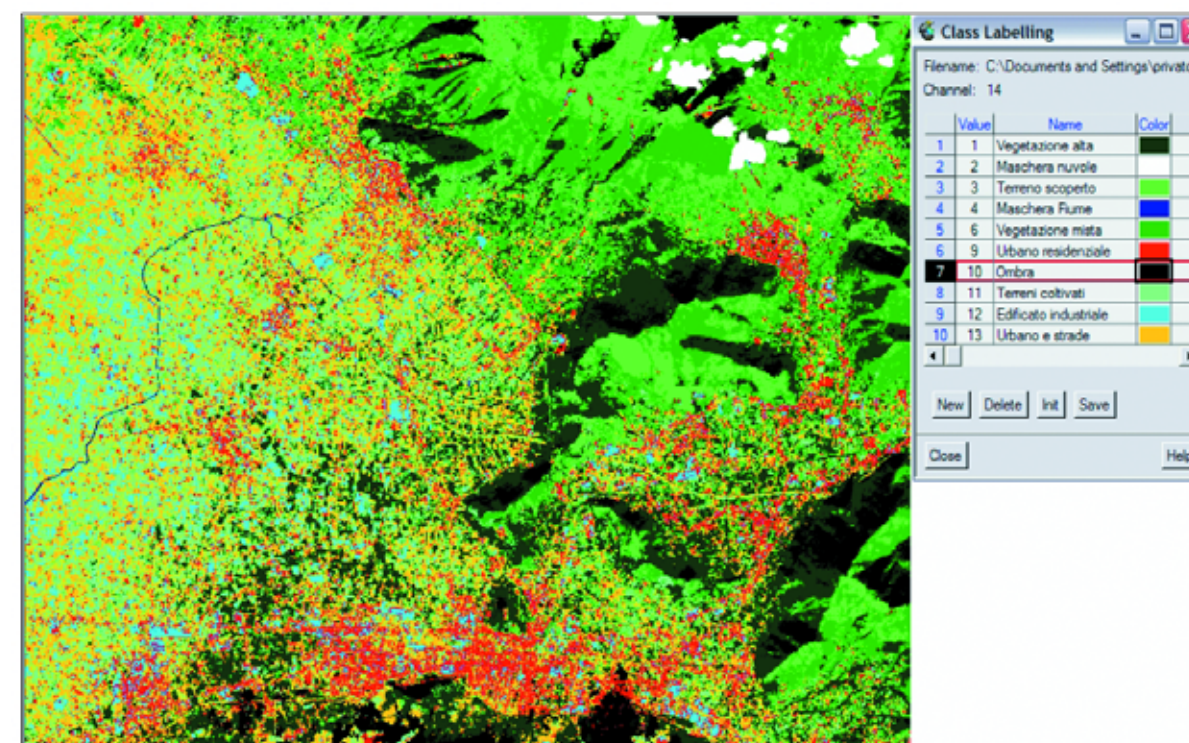


Figura 16. Esito del processo di classificazione

A questo punto si è giunti ad un risultato che consente di stimare, in metri quadri o in altre unità di misura, le aree a copertura artificiale e quelle a copertura naturale:

- area naturale: 95,2 km<sup>2</sup>
- area artificiale: 61,2 km<sup>2</sup>
- altro: 8,4 km<sup>2</sup>

La voce “altro” include esclusivamente le due maschere e l’ombra.

### 3.2.4 ARPA Piemonte

ARPA Piemonte ha proposto un approccio di analisi spaziale basato sull’utilizzo di dati di uso del suolo desunti principalmente da cartografie tecniche regionali. La metodologia per la valutazione del *soil sealing* si è basata in primo luogo sulla classificazione del territorio regionale in aree permeabili ed aree impermeabili e, successivamente, sulla caratterizzazione delle differenti coperture del suolo, individuate nell’ambito del progetto Corine Land Cover 2000.

Le informazioni geografiche utilizzate sono le seguenti:

- Carta Tecnica Regionale – Livello Isolati uso del suolo (Scala 1:10.000)
- Carta Tecnica Regionale – Livello Idrografia areale (Scala 1:10.000)
- Banca Dati Regionale delle Aree estrattive (Scala 1:10.000)
- Discariche (Scala 1:10.000)
- Corine Land Cover 2000 (scala 1:100.000)

L’ambito territoriale oggetto della presente sperimentazione è il foglio IGM SUSA, n. 154 alla scala 1:50.000, di cui si riporta nella figura che segue la collocazione territoriale rispetto alla regione Piemonte.

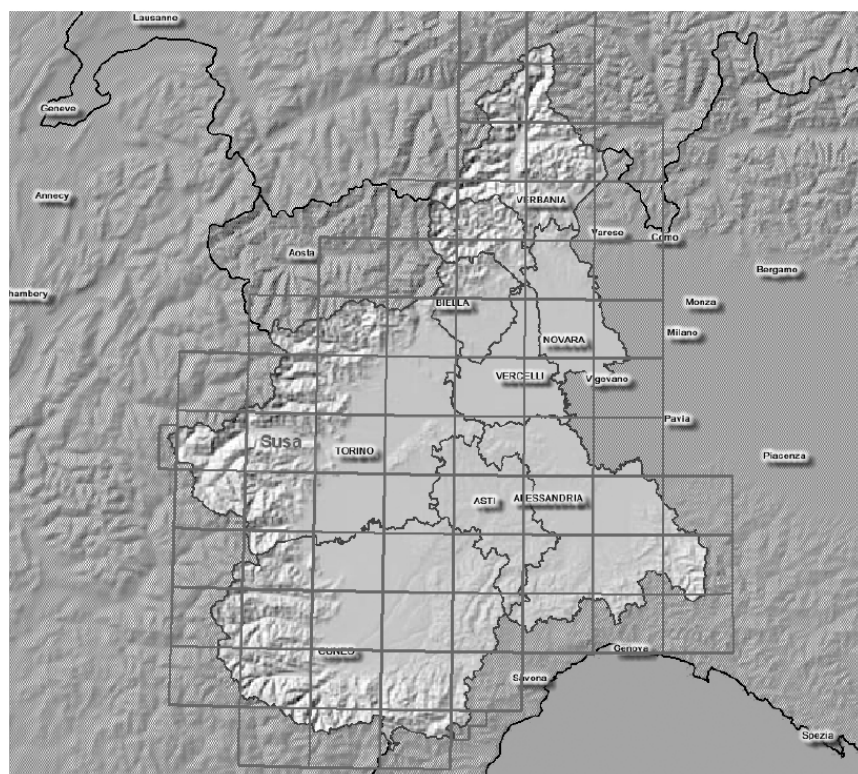


Figura 17. Area di test: Foglio IGM 154 - SUSA, Scala 1:50.000

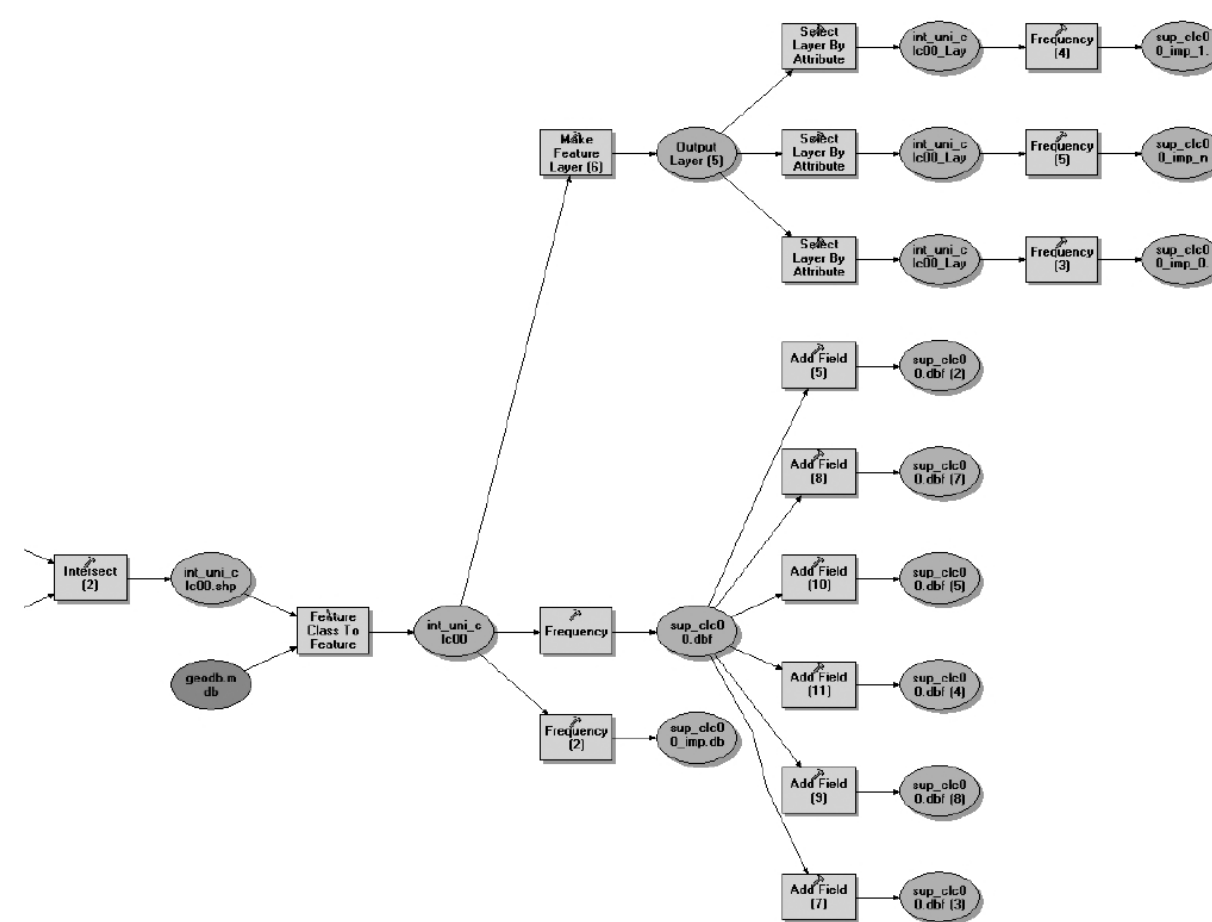


Figura 18. Estrazione della parte del modello che elabora la tabella dei risultati finali

Nella prima fase si sono identificate le aree impermeabili e quelle permeabili a partire dal livello informativo degli isolati dell’uso del suolo della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000. In particolare è stata effettuata una riclassificazione delle diverse tipologie di uso del suolo in aree permeabili ed aree impermeabili. La tabella seguente descrive i criteri utilizzati per effettuare questa riclassificazione.

Codice Uso del Suolo	Decodifica	VALORE (0 = area permeabile; 1 = area impermeabili; -999 = non classificabile)
“ “	Corpi idrici e ingombro stradale	1
A	Aree agricole e naturali	0
AE	Aree ad attività estrattiva	0
AI	Altre infrastrutture	1
AR	Aree agricole e naturali miste ad aree residenziali	0
C	Cascine	1
IA	Altre infrastrutture	1
IR	Infrastrutture e impianti tecnologici	1
IS	Servizi	1
IT	Infrastrutture ed impianti per i trasporti	1
NC	Aree di incerta classificazione	-999
P	Aree produttive	1
R	Aree residenziali	1
RP	Aree prevalentemente residenziali miste a produttivo	1
S	Servizi	1

Per distinguere i corpi idrici che sono inseriti nella classe “Corpi idrici ed ingombro stradale” dalla viabilità, lo strato informativo dell’uso del suolo della CTR è stato successivamente intersecato con quello dei corsi d’acqua ai quali è stato assegnato il valore “-999” (non classificabile).

Decodifica	VALORE
Corpi idrici	-999
Ingombro stradale	1

A partire dai risultati dell’elaborazione precedente, è stata effettuata l’intersezione anche con i livelli geografici più aggiornati delle aree estrattive e delle discariche ai quali sono stati assegnati rispettivamente i valori “0” ed “1”.

L’area di test, suddivisa in aree permeabili ed aree impermeabili, è stata, a questo punto, intersecata con il livello geografico della copertura del suolo Corine Land Cover 2000. Per ogni poligono risultante dall’intersezione è stato effettuato il calcolo della superficie. Infine, per ogni classe di copertura del suolo presente nell’area di indagine, sono stati calcolati i valori di superficie totale e percentuale di aree permeabili, impermeabili e incerte. La tabella seguente mostra il risultato di questa operazione. Le classi di Corine Land Cover inserite in tabella sono quelle presenti all’interno dell’area di test.

Codice CORINE Land Cover	Superficie totale	Superficie impermeabile	Superficie permeabile	Superficie “incerta”	Percentuale di Superficie impermeabile	Percentuale di Superficie permeabile	Percentuale di Superficie “incerta”
112	14678112,37	8907812,76	5660590,41	109709,19	60,69	38,56	0,75
131	744613,43	235004,92	481723,77	27884,74	31,56	64,69	3,74
231	3522264,17	207634,57	3283036,84	31592,77	5,89	93,21	0,90
242	19725627,32	3312814,05	16140571,74	272241,54	16,79	81,83	1,38
243	35785580,01	4019379,15	31334562,33	431638,53	11,23	87,56	1,21
311	167105297,88	3146933,84	163738165,38	220198,66	1,88	97,99	0,13
312	76816606,62	276854,84	76497778,24	41973,53	0,36	99,58	0,05
313	46115085,55	625120,21	45425949,45	64015,89	1,36	98,51	0,14
321	114484709,78	494208,39	113892965,27	97536,12	0,43	99,48	0,09
322	14524671,13	16099,84	14508364,23	207,07	0,11	99,89	0,00
324	45520616,05	795383,67	44697917,97	27314,41	1,75	98,19	0,06
332	19795370,50	3428,43	19749716,80	42225,27	0,02	99,77	0,21
333	24187996,13	13938,95	24150253,38	23803,80	0,06	99,84	0,10
511	35653,05	10732,10	24158,23	762,72	30,10	67,76	2,14

La tabella che segue mostra, per l’area interessata dal test della metodologia adottata da Arpa Piemonte, il confronto tra i risultati ottenuti a scala nazionale e quelli ottenuti a scala regionale.

Codice CORINE Land Cover	Dati Relazione “Carta nazionale dell’impermeabilizzazione dei suoli”		Dati sperimentazione Arpa Piemonte - Foglio 154 - Susa		Differenze	
	Percentuale di punti campionari ricadenti in aree permeabili	Percentuale di punti campionari ricadenti in aree impermeabili	Superficie permeabile	Superficie impermeabile	Differenza nei valori percentuali Superficie permeabile	Differenza nei valori percentuali Superficie impermeabile
112	40,53	59,47	38,56	60,69	-1,97	1,22
131	84,62	15,38	64,69	31,56	-19,93	16,18
231	91,91	8,09	93,21	5,89	1,30	-2,20
242	90,25	9,75	81,83	16,79	-8,42	7,04
243	94,26	5,74	87,56	11,23	-6,70	5,49
311	98,81	1,19	97,99	1,88	-0,82	0,69
312	98,90	1,10	99,58	0,36	0,68	-0,74
313	97,87	2,13	98,51	1,36	0,64	-0,77
321	98,86	1,14	99,48	0,43	0,62	-0,71
322	97,73	2,27	99,89	0,11	2,16	-2,16
324	97,94	2,06	98,19	1,75	0,25	-0,31
332	100,00	0,00	99,77	0,02	-0,23	0,02
333	100,00	0,00	99,84	0,06	-0,16	0,06
511	100,00	0,00	67,76	30,10	-32,24	30,10

Pur essendo il confronto limitato alle sole 14 classi presenti nell’area di test sembra che i risultati siano generalmente confrontabili fatta eccezione per le classi 511 e 131 in cui gli scosta-



menti sono rispettivamente del 30% e del 20% circa. In tutti gli altri casi gli scostamenti sono inferiori al 10% e spesso sono molto vicini allo 0%.

Per quanto concerne gli scostamenti occorre ricordare che, mentre a scala nazionale i valori percentuali si riferiscono al numero di punti campionari impiegati per la fotointerpretazione, a scala locale i valori si riferiscono alle superfici di aree permeabili ed impermeabili ricavate in ogni classe CORINE Land Cover ricavate da overlay fra cartografie a scala differente (1:100.000 in un caso e 1:10.000 nell'altro).

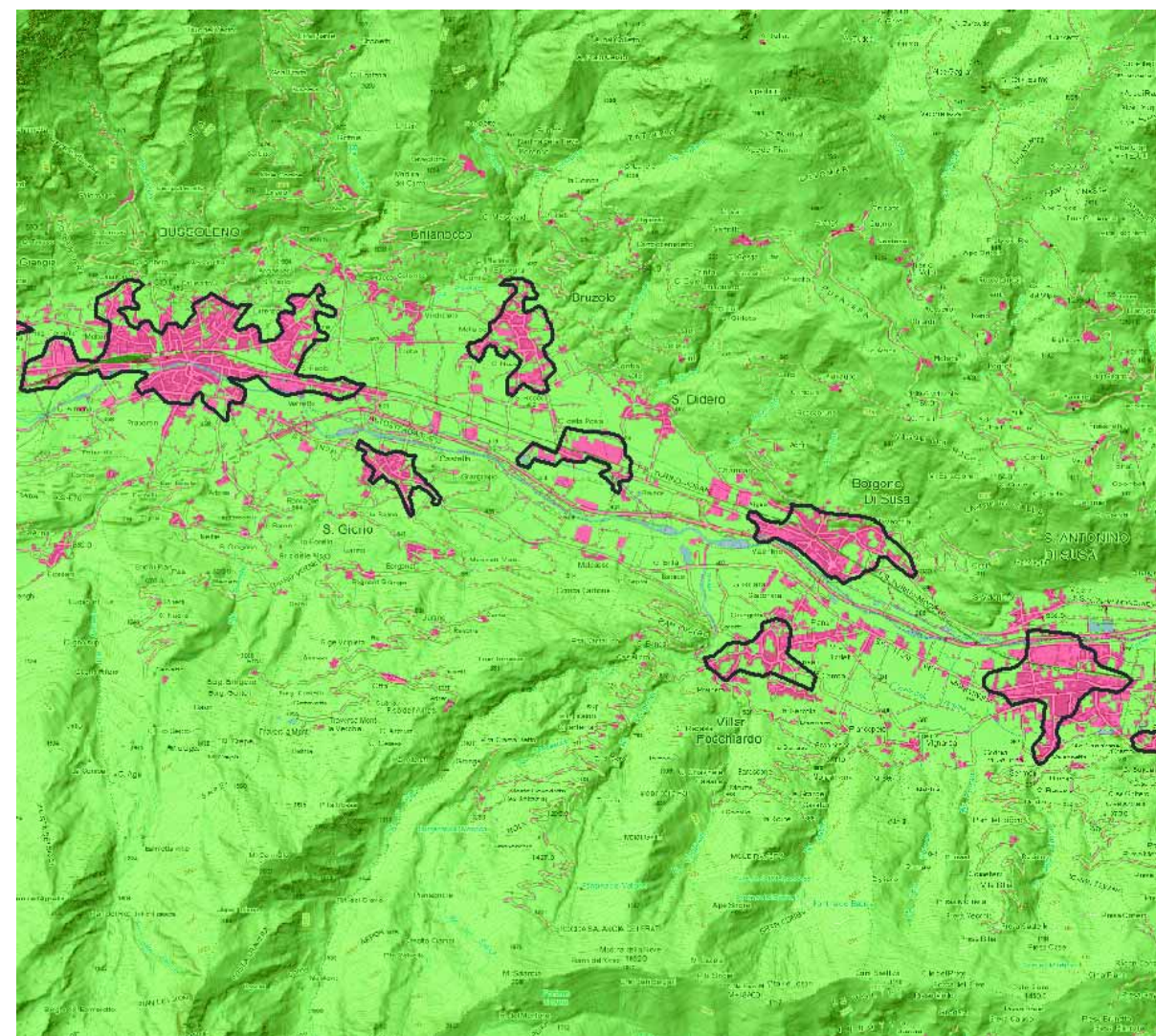
In particolare tale fattore di scala emerge soprattutto per alcune classi di uso del suolo le cui perimetrazioni risultano meno precise in CORINE Land Cover (scala 1:100.000), quali ad esempio le aree estrattive e il tessuto urbanizzato.

Una prima evoluzione della metodologia presentata potrebbe consistere nell'estendere l'area di analisi all'intero territorio regionale per verificare se vengono raggiunti risultati confrontabili con quelli dell'area di test.

Inoltre, la metodologia applicata a livello regionale potrebbe a nostro giudizio affinarsi ulteriormente utilizzando dati di maggior dettaglio presenti a livello regionale, quali i Piani Territoriali Forestali (in corso di realizzazione in Piemonte alla scala 1:25.000) e i Piani Regolatori Comunali (Banca dati alla scala 1:10.000).

In tal senso nell'ambito delle attività svolte da Arpa Piemonte sul progetto è stata condotta una prima sperimentazione basata sull'utilizzo integrato di più fonti informative con scala di dettaglio superiore che hanno evidenziato possibilità di approfondimento soprattutto in termini cartografici del fenomeno del *soil sealing*.

Una futura evoluzione potrebbe nascere dall'analisi delle colture agricole in termini di impatto sui suoli derivante dalle pratiche agricole in particolare dai processi di lavorazione delle terre e di carico di mezzi meccanici impiegati (n. tipologia di mezzi, numero di passaggi medi annui, etc.).



**Figura 19. Confronto tra i risultati dell'elaborazione effettuata da ARPA Piemonte e lo strato informativo CORINE Land Cover. In rosso sono evidenziate le aree impermeabili; in verde quelle permeabili. Le aree con il bordo scuro sono le aree urbane ed industriali secondo CORINE Land Cover**

---

## BIBLIOGRAFIA

- Alberti M. e J. Parker “Gli Indicatori di Sostenibilità Ambientale”, in G. Conte, G. Melandri (a cura di), Ambiente Italia 1993, Koiné Edizioni, Roma, 1993.
- Ambiente Italia, Istituto di ricerca, “Rapporto Ambiente Italia 2004”, 2004.
- Angela, S. “Indici ed Indicatori di Sviluppo Sostenibile: l’Ecological Footprint”, Dicembre 2005.
- ANPA, “Il monitoraggio dello stato dell’ambiente in Italia. Esigenze e disponibilità di elementi conoscitivi”, serie stato dell’Ambiente 7/2000.
- Anselin L., “Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook”, Spatial Analysis Laboratory, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, 2005.
- Anselin L., “Spatial Regression Analysis in R: A Workbook”, Spatial Analysis Laboratory, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, 2005.
- APAT e Osservatorio Nazionale sui Rifiuti, “Rapporto rifiuti 2006. Volume I – Rifiuti urbani”, Dicembre 2006.
- APAT, “Annuario dei dati ambientali edizione 2003”, Dicembre 2003.
- APAT, “Annuario dei dati ambientali edizione 2004”, Maggio 2005.
- APAT, “Annuario dei dati ambientali edizione 2005/2006”, Dicembre 2006.
- APAT, CTN-ACE “La disaggregazione a livello provinciale dell’inventario nazionale delle emissioni”, 2002.
- APAT, CTN-NEB “Indicatori ed indici sullo stato di qualità delle zone umide”, 2004.
- APAT, CTN-NEB “Indicatori ed indici sullo stato di qualità dell’area costiera”, Luglio 2005.
- APAT, CTN-NEB “Indicatori per il reporting sulla biosfera”, 2004.
- APAT, CTN-TES “Zone costiere e zone umide. Seminario nazionale”, 2005.
- ARPA Piemonte, “Sostenibilità ambientale dello sviluppo. Tecniche e procedure di valutazione di impatto ambientale”, 2002.
- ARPA Piemonte - Rapporto sullo Stato dell’Ambiente 2004.
- Autorità Ambientale Regione Sardegna, “POR Sardegna 2000 – 2006. Analisi ambientale aree PIT”, 2006.
- Balstrøm T., S.H. Mernild, B. Hasholt, “Linear referencing to assist the classification of natural and regulated Danish river systems”, Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark, 2004.
- Barberis R., A. Di Fabbio, M. Di Leginio, F. Giordano, L. Guerrieri, I. Leoni, M. Munafò, S. Viti, “Impermeabilizzazione e consumo dei suoli nelle aree urbane”. Qualità dell’ambiente urbano, III Rapporto APAT, edizione 2006.
- Barberis R., Fabietti G., Piccoli T., Vergella R., Navone P., Penon A., Boccardo P. e Agosto E., “Popolamento di indicatori inerenti il territorio e i siti contaminati tramite l’utilizzo di immagini satellitari e ortofoto ad alta risoluzione”. Atti della 7a Conferenza Nazionale ASITA. L’Informazione Territoriale e la dimensione tempo, Verona 28 - 31 ottobre 2003.
- Bettini, V. e Marotta, L. “Atlante Ambientale della Laguna - Analisi integrata e valutazione ambientale”, Università IUAV di Venezia, 2004.

---

Bilanzone G., M. Munafò, M. Pietrobelli (a cura di), “La ricerca: metodologia e risultati”, L’Impronta ecologica delle Regioni dell’Obiettivo 1 del QCS del 2000/2006, un contributo per valutare lo sviluppo sostenibile, WWF e Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, 2004.

Bollini, G. “Gli indicatori ambientali di sostenibilità”. Il Coordinamento Agende 21 Locali Italiane, 2006.

Burghardt W., Banko G., Hoeke S., Hursthouse A., De L’escaille T., Ledin S., Ajmone Marsan F., Sauer D., Stahr K., Amann E., Quast J., Nерger M., Schneider J. and Kuehn K. “Task Group 5 on Soil Sealing, Soils in Urban Areas, Land Use and Land Use Planning”. Working Group on Research, Sealing and Cross-cutting issues. Final Report, May 2004.

C.N.E.L., “Indicatori per lo sviluppo sostenibile in Italia” Rapporto finale, 2005.

Cacciari, P. “Pensare la decrescita. Sostenibilità ed equità”, Edizioni Intra Moenia, 2006

Cukjati, F. e Pietta, A. “L’applicazione dello Sviluppo Sostenibile mediante gli indicatori”, Working Paper GEO 1-03, Dipartimento di Studi Sociali dell’Università degli Studi di Brescia, 2003;

D.E.T.E.C. (Department of Environment, Transport, Energy and Communications), Federal Office for Spatial Development, “Sustainability assessment Conceptual framework and basic methodology”, 2004.

Daly, H. e Cobb, E. “For the Common Good”, Beacon Press, Boston, 2004.

E.E.A., “State of the coasts in Europe. Towards a EEA assessment report”, 2004.

E.E.A., “The changing faces of Europe’s coastal areas”, report 6/2006

E.E.A., Progetto Murbandy/Moland “Towards an urban atlas”, Environmental issue report 30, 2002.

E.E.A., Technical report, “EEA core set of indicators”. Guide 1/2005.

Environmental Agency of the Republic of Slovenia, “Environmental indicators”, 2003.

European Commission, “Towards a European Set of Environmental Headline Indicators”, Bruxelles, 1999.

European Environment Agency. “Soil Sealing Workshop. Summary Report”. European Topic Centre Terrestrial Environment, 2004.

European Environment Agency. Technical report n. 80 “Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing”. 2001.

Ferlaino, F. “La sostenibilità ambientale del territorio. Teoria e metodi”, UTET Libreria, 2005.

Grenzdorffer, G.J. “Land use change in Rostock, Germany since the reunification - a combined approach with satellite data and high resolution aerial images”. In: Anon., ISPRS WG VII/1 “Human Settlements and Impact Analysis” 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) and 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005), Tempe, AZ, USA, 14-16 March 2005.

Istituto Sviluppo Sostenibile Italia, “La performance di sviluppo del modello italiano”, OCSE, 2003.

Istituto Sviluppo Sostenibile Italia, “Un futuro sostenibile per l’Italia”, Rapporto ISSI 2002, a cura di Edo Ronchi, Editori Riuniti, 2002.

---

Kampouraki M. *et al.* “The application of remote sensing to identify and measure sealed areas in urban environments”. 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006). Workshop proceedings, 2006.

Laniado, E., Arcari, S. e Cerioli, R. “Gli indicatori per la Valutazione Ambientale Strategica”, n. 5 ‘Valutazione Ambientale’ – EdicomEdizioni, 2004.

Lavalle C. “Monitoraggio e previsione delle dinamiche territoriali in aree urbane e regionali”. Atti della “Settima conferenza Nazionale delle Agenzie ambientali. L’innovazione al servizio della conoscenza e della prevenzione. Dai sistemi di monitoraggio alla diffusione della cultura ambientale”. Milano, 24 – 26 Novembre 2003.

Limin Yang, Chengquan Huang, Collin G. Homer, Bruce K. Wylie, and Michael J. Coan “An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery”. *Can. J. Remote Sensing*, Vol. 29, No. 2, pp. 230–240, 2003.

Macchi S. “Il territorio regionale. Teorie e metodi per la sua articolazione funzionale”, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di tecniche dell’edilizia e del controllo ambientale, Roma, 1988.

Maricchiolo C., V. Sambucini, A. Pugliese, M. Munafò, G. Cecchi, E. Rusco, “La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000”, APAT, Rapporti 61/2005.

Migliaccio F. e A. Albertella, “Metodi e modelli di interpolazione dei dati geografici”, Politecnico di Milano, Dispense del corso di SIT B – Corso di laurea in Ingegneria Civile, [www.rilevamento.polimi.it](http://www.rilevamento.polimi.it), 2007.

Ministero dell’Ambiente e della tutela del Territorio, “Strategia d’azione ambientale per lo Sviluppo Sostenibile in Italia”, dipartimento per lo sviluppo sostenibile e per le politiche del Personale e degli Affari Generali – Direzione per lo Sviluppo Sostenibile, 2002.

Munafò M., F. Baiocco, V. Sambucini. “Sistema di caratterizzazione ambientale degli oggetti territoriali SINAnet”. Atti della 9ª Conferenza Italiana Utenti ESRI, Roma, 2006.

Raymaekers D. *et al.* “Spectral unmixing of low resolution images for monitoring soil sealing”. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34/2005.

Romano L., M. Munafò, “Carta nazionale dell’impermeabilizzazione dei suoli”, atti della 9ª Conferenza Nazionale ASITA, Catania, 2005.

Sacco, C. *et al.* “Cosa sono gli indicatori di sostenibilità e perché sono indispensabili”. Working paper n. 4/02. Osservatorio Città Sostenibili, 2002.

Sachs, W. “Ambiente e giustizia sociale. I limiti della globalizzazione”, Editori Riuniti, Roma, 2002.

Segre, A. e Dansero, E. “Politiche per l’ambiente. Dalla natura al territorio”, UTET Libreria, 1996.

U.N.C.S.D., “Report on the Aggregation of Indicators of Sustainable Development”, Background Paper for the Ninth Session of the Commission on Sustainable Development, United Nations, New York, 2002.

U.N.E.P., Plan Bleu “Methodological sheets of the 34 priority indicators for the “Mediterranean Strategy for sustainable development” follow-up”. Working document, Maggio 2006.

W.W.F. International, “Living Planet Report 2004”, WCMC-UNEP, Redefining Progress e Center for Sustainability Studies, 2004.