



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

**Tesi di tirocinio di formazione e orientamento**

(Convenzione stipulata tra ISPRA e Università degli Studi di Napoli “Parthenope” )

**METODOLOGIA PER LA MAPPATURA DELLE SPIAGGE E DELLA  
DINAMICA LITORANEA MEDIANTE LA CLASSIFICAZIONE DI IMMAGINI  
DIGITALI**

**Dr.ssa Maria Giovanna Lasalandra**

**Tutor ISPRA: Ing. Angela Barbano**

**ANNO 2008/2009**

## **Abstract**

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di sperimentare una metodologia per l'osservazione dinamica costiera adoperando come strumento principale un classificatore di tipo supervised applicato ad immagini digitali a colori sia telerilevate che aeree.

Per la sperimentazione della metodologia sono stati scelti l'intero litorale molisano e un tratto tirrenico della costa calabrese, accomunati da evidenti fenomeni di erosione.

Dall'applicazione della metodologia nel caso del Molise è stata ricavata la mappatura della spiaggia; mentre in quello della Calabria, dato che si avevano a disposizione due immagini digitali differenti per data di acquisizione e tipo, il metodo è stato utilizzato per calcolare la Change Detection relativa alle spiagge nei due differenti anni ed è stato possibile stimare le zone in avanzamento e arretramento.

## **Prefazione**

La costa è un'area in continua evoluzione e i suoi cambiamenti si evidenziano soprattutto in corrispondenza di litorali bassi e sabbiosi, con nuovi assestamenti della linea di riva e con superfici territoriali emerse e sommerse dal mare. La dinamica dei litorali, che dipende essenzialmente dall'azione del mare (moto ondoso, maree, correnti, tempeste), è influenzata anche da tutte quelle azioni antropiche, quali insediamenti urbani produttivi, infrastrutture viarie terrestri e marittime, che alterano l'equilibrio del territorio costiero modificandone le caratteristiche naturali e ambientali.

L'urbanizzazione della costa, oltre che interagire con la naturale evoluzione dei litorali, ha fatto sì che l'erosione costiera da un fenomeno naturale sia diventata un vero e proprio problema, specie in corrispondenza di quelle aree in cui sono messe a rischio abitazioni, infrastrutture e attività economiche. L'analisi delle variazioni dei litorali negli ultimi 50 anni estesa a tutte le coste dell'Italia ha evidenziato che il 30% dei litorali è soggetto a intensa evoluzione geomorfologia e che l'Italia rientra tra i paesi a più alto rischio di erosione costiera in Europa.

Ciò ha condotto negli ultimi anni sia le amministrazioni locali che la comunità scientifica a promuovere rilievi per l'osservazione dello stato delle coste, a elaborare cartografia tematica e a sviluppare studi per l'individuazione delle aree più a rischio e per il monitoraggio degli interventi finalizzati alla stabilità dei litorali e alla protezione di infrastrutture ed abitazioni minacciate da fenomeni erosivi.

Lo studio condotto nel presente lavoro si inserisce in questo contesto e si pone l'obiettivo di sperimentare su specifiche aree territoriali una metodologia per la mappatura delle spiagge, adoperando come strumento principale un classificatore di tipo supervised applicato ad immagini digitali a colori sia telerilevate che aeree, e per analisi di change detection orientata all'osservazione della dinamica costiera, impiegando per una stessa area costiera rilievi pluriennali.

La metodologia, sperimentata sia su ortofoto a colori sia su immagini satellitari ad alta risoluzione, ha prodotto dati accurati sulla planimetria dei litorali sabbiosi e rappresentazioni cartografiche sull'evoluzione dell'aree costiere, naturali e occupate da infrastrutture urbane, rivelandosi una valida alternativa alla tecnica della fotointerpretazione, e ha inoltre consentito analisi comparative rispetto al tipo di rilievo aerofotogrammetrico impiegato, con specifiche tecniche utili per studi ad ampia scala territoriale.

## **Indice generale**

<b>Capitolo 1- Introduzione e finalità della ricerca .....</b>	<b>1</b>
1.1 Obiettivi della ricerca e sintesi della metodologia .....	1
1.2 Software e immagini utilizzati .....	2
1.3 Immagini digitali analizzate.....	3
<b>Capitolo 2- Redazione di carte tematiche attraverso la classificazione delle immagini telerilevate .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tecniche di classificazione .....	5
2.1.1 Unsupervised classification.....	5
2.1.2 Supervised classification.....	6
2.2 Algoritmi di classificazione .....	7
2.2.1 Classificatore Maximum Likelihood .....	7
2.2.2 Classificatore Minimum Distance .....	8
2.2.3 Classificatore box .....	8
<b>Capitolo 3- Caso studio 1: fascia costiera della regione Molise.....</b>	<b>9</b>
3.1 Inquadramento geografico .....	9
3.2 Classificazione dell'ortofoto del Molise.....	9
3.3 Estrazione delle spiagge e dell'urbano .....	11
3.4 Confronto fra i poligoni delle spiagge digitalizzate e quelli derivati dalla classificazione .....	12
3.5 Risultati.....	16
<b>Capitolo 4- Caso studio 2: porzione di litorale della Calabria tirrenica .....</b>	<b>17</b>
4.1 Inquadramento geografico .....	17
4.2 Classificazione dell'ortofoto e dell'immagine Ikonos.....	17
4.2.1 Change Detection.....	18
4.3 Risultati.....	21

<b>Conclusioni.....</b>	<b>22</b>
<b>Allegato.....</b>	<b>23</b>
<b>Riferimenti bibliografici e siti internet consultati .....</b>	<b>24</b>
<b>Tavole .....</b>	<b>26</b>

## **Capitolo 1-Introduzione e finalità della ricerca**

L'ambiente costiero è un sistema altamente dinamico dove i fenomeni di erosione, e quindi di arretramento, della linea di costa sono controllati da numerosi fattori meteorologici, geologici, biologici ed antropici. Sebbene in generale il "clima" sia da considerarsi come il principale motore degli agenti modificatori, localmente ciascuno degli altri parametri può assumere una prevalenza significativa. Basti pensare alla subsidenza naturale o indotta da estrazioni di fluidi dal sottosuolo, al ruolo di difesa delle piane costiere da parte dei sistemi dunali, al mancato apporto di sedimenti verso costa causato dall'alterazione dei cicli sedimentari per intervento antropico nei bacini idrografici (sbarramenti fluviali, regimazioni idrauliche, estrazioni di materiali alluvionali), all'influenza sulla dinamica litoranea dei sedimenti intercettati dalle opere marittime (opere portuali e di difesa) e delle infrastrutture viarie e urbanistiche costiere.

Nella nostra nazione il fenomeno dell'arretramento costiero assume contorni preoccupanti. Le coste italiane si estendono per circa 8350 chilometri (di cui 4600 sono di costa bassa), caratterizzati da una forte antropizzazione e dalla presenza di importanti infrastrutture. Attualmente quasi il 20% dei litorali italiani sono in evidente stato di erosione e a rischio allagamento. Questa circostanza nella maggior parte dei casi genera situazioni di pericolo per le popolazioni locali, per le strutture turistiche (che costituiscono un'importante risorsa socio-economica per la nazione) e per la flora e la fauna che si trovano in prossimità della costa.

Un'adeguata conoscenza delle molteplici fenomenologie che caratterizzano i litorali è indispensabile per procedere a interventi strutturali che producano risultati soddisfacenti nella difesa dall'erosione e a impatti ambientali sostenibili nel medio-lungo periodo. A tal fine è necessario un approccio metodologico integrato tra dati geologici e storici, osservazioni sperimentali e modelli teorico-numerici, tenendo opportunamente conto delle indicazioni empiriche fornite dagli interventi già realizzati in situazioni simili. Risulta quindi evidente la necessità di disporre di dati riguardanti la dinamica costiera, quali i movimenti della linea di riva e le caratteristiche dei litorali e anche di quelle del retrospiaggia, per comprenderne il trend evolutivo e individuare le zone a rischio.

### **1.1 Obiettivi della ricerca e sintesi della metodologia**

In questo contesto si inserisce lo studio condotto nel presente lavoro, che si pone

l'obiettivo di sperimentare una metodologia per la mappatura delle spiagge e per la valutazione della dinamica costiera adoperando come strumento principale un classificatore di tipo supervised applicato ad immagini digitali a colori sia telerilevate che aeree.

Per l'applicazione della metodologia sono stati scelti due tratti di litorale diversi, uno sul lato adriatico della penisola e l'altro su quello tirrenico, accomunati da evidenti fenomeni di erosione. La prima fascia costiera esaminata riguarda tutto il litorale molisano, mentre la seconda si estende sul tratto tirrenico della Calabria.

Per ottenere la carta di copertura del suolo e i dati relativi ai litorali delle zone in questione, sono state svolte le seguenti operazioni:

- scelta delle categorie (classi) in cui suddividere le immagini digitali;
- classificazione delle immagini digitali tramite l'utilizzo del software Erdas Imagine 9.1 da cui sono state ricavate le carte di copertura del suolo delle zone in oggetto;
- elaborazione delle carte di copertura del suolo per estrarre i soli dati relativi alle spiagge con ArcGis 9.2;
- validazione e valutazione dei dati ottenuti tramite il confronto con le medesime mappature cartografiche ottenute con il metodo della fotointerpretazione e digitalizzazione.

L'applicazione della metodologia è stata diversa a seconda del tratto di litorale esaminato. Nel caso del Molise è stata ricavata la mappatura della spiaggia. In quello della Calabria, dato che si avevano a disposizione due immagini digitali differenti per data di acquisizione e tipo, il metodo è stato utilizzato per calcolare la Change Detection relativa alle spiagge nei due differenti anni ed è stato possibile stimare le zone in avanzamento e arretramento. Una delle maggiori applicazioni dei dati remotely-sensed ottenuti dai satelliti che orbitano attorno alla Terra è proprio la change detection data la possibilità di avere dati di copertura a piccoli intervalli e con risoluzioni elevate.

## **1.2 Software e immagini utilizzati**

I software utilizzati sono Er Mapper 7.1 per la trasformazione delle immagini dal formato .ecw a .img, Erdas Imagine 9.1 della Leica Geosystem per la classificazione, ArcGis 9.2 della Esri.

ERDAS ER Mapper è un sistema per l'elaborazione delle immagini e l'utilizzo successivo in ambiente GIS e CAD, ideale per la gestione di fotografie aeree e di dati

telerilevati da satellite. Le applicazioni sono la gestione del territorio, le applicazioni agronomiche e forestali, la gestione di risorse marine e le applicazioni militari, l'esplorazione mineraria, la ricerca petrolifera. ER Mapper mette a disposizione dell'utente una lista completa di funzionalità, dalla georeferenziazione di immagini alla riproiezione "al volo", alla produzione di ortofoto; dalla mosaicatura di immagini al bilanciamento automatico dei colori; dall'elaborazione dei dati Radar alla produzione di DEM, all'estrazione delle curve di livello, alla visualizzazione 3D, fino alla compressione ECW e JPEG2000 di immagini di qualsiasi dimensione.

Erdas Imagine è una suite di strumenti software completa, disegnata specificamente per l'elaborazione dei dati geospaziali. Grazie ai suoi strumenti si possono estrarre dalle immagini dati e informazioni di dettaglio. E' un software specifico per l'elaborazione di dati raster che permette all'utente di visualizzare e migliorare le immagini digitali.

ArcGIS è una famiglia di prodotti GIS estremamente ricca di funzionalità ed altamente scalabile per la gestione, la creazione, l'integrazione, l'analisi e la distribuzione di tutti i tipi di dati geografici, in grado di soddisfare le esigenze di ogni organizzazione dal singolo utente ad un sistema distribuito interconnesso in rete. ArcGIS è il risultato di un progetto che offre una soluzione per tutte le tipologie di utenti GIS quali utenti finali, sviluppatori, pianificatori, progettisti. I potenti strumenti per l'editing, l'analisi e modelli dati pronti all'uso e che consentono l'utilizzo di ArcGIS nei più svariati campi di applicazione quali gestione reti tecnologiche, ambiente, trasporti, difesa e idrologia, fanno di ArcGIS la famiglia di software leader del mercato e punto di riferimento del settore.

### **1.3 Immagini digitali analizzate**

Le immagini digitali analizzate, ortorettificate e in coordinate UTM/WGS84, sono:

- ortofoto aeree Volo Italia 2000 con risoluzione al suolo di 1 metro (sia per il Molise che per la porzione di costa calabra in oggetto);
- Ikonos 2005 con risoluzione spaziale di 1 metro nel pancromatico combinato con 4 metri nel multispettrale (per la costa calabra).

Un'ortofoto o ortofotografia è una fotografia aerea che è stata geometricamente corretta e georeferenziata (ortorettificata) in modo tale che la scala della fotografia sia uniforme, cioè la foto può essere considerata equivalente ad una mappa. A differenza di una foto aerea, un'ortofoto può essere usata per misurare distanze reali, in quanto essa raffigura un'accurata rappresentazione della superficie della Terra, infatti è stata aggiustata



in base ai rilievi topografici, alla distorsione della lente e all'orientamento della macchina fotografica.

Il satellite IKONOS acquisisce contemporaneamente immagini pancromatiche (in bianco e nero) con la risoluzione geometrica al suolo di 1 metro, e immagini multispettrali a quattro bande (a colori), con risoluzione di 4 metri. Programmando acquisizioni nadirali, il satellite IKONOS può acquisire immagini con risoluzione di 80 centimetri in bianco e nero e 3,2 metri nel Multispettrale. Dalla fusione di queste immagini da satellite è possibile ottenere dati a colori con risoluzioni tra 80 centimetri e 1 metro. L'altissimo livello di dettaglio di questi dati ne fanno uno dei prodotti migliori nel campo del Telerilevamento satellitare e dell'Osservazione della Terra.

## **Capitolo 2-Redazione di carte tematiche attraverso la classificazione delle immagini telerilevate**

Il problema principale che si pone dopo aver acquisito un'immagine digitale è quello di estrarre dai dati telerilevati le informazioni che contengono. Un primo approccio è costituito dall'esame visivo delle immagini. Ciascuna di esse, infatti, fornisce indizi più o meno numerosi sulle realtà al suolo deducibili dall'esame delle configurazioni che vi appaiono. Questo tipo di esame interpretativo-visuale è particolarmente adatto per fini geologici o idrologici e per una prima analisi dei tipi di copertura del suolo.

Le immagini telerilevate sono in formato raster, quindi ogni pixel che forma il raster deve essere classificato come appartenente a una certa categoria (ad esempio: terreno coltivato, edificio, bosco, ecc.), in base ai suoi valori di riflettanza nelle diverse bande spettrali. I sensori multispettrali rilevano energia elettromagnetica riflessa dalla superficie terrestre e dagli oggetti che ci sono sopra, scomponendola in diverse bande spettrali. Ogni banda spettrale dà luogo a una diversa immagine digitale.

Nella carta tematica ottenuta mediante il processo di classificazione di immagini digitali ad ogni pixel è associata:

- un'informazione di tipo spaziale (presente già nell'immagine digitale);
- un'informazione di tipo semantico, che specifica un attributo relativo ad un particolare tema d'interesse, detto classe (o categoria), informazione spettrale o informazione semantica.

Le classi d'interesse non sono registrate direttamente nelle immagini, ma si devono derivare attraverso un processo detto di classificazione.

### **2.1 Tecniche di classificazione**

Le tecniche tradizionali di classificazione sono divise in due categorie, unsupervised e supervised, a seconda che il metodo preveda o meno una fase preliminare in cui è richiesto l'intervento umano di indirizzo.

#### **2.1.1 Unsupervised classification**

I metodi di classificazione delle immagini del tipo "unsupervised" prescindono dalla conoscenza della realtà al suolo e applicano tecniche di "clustering" di tipo statistico. I singoli pixels dell'immagine vengono raggruppati in gruppi (cluster) che presentano

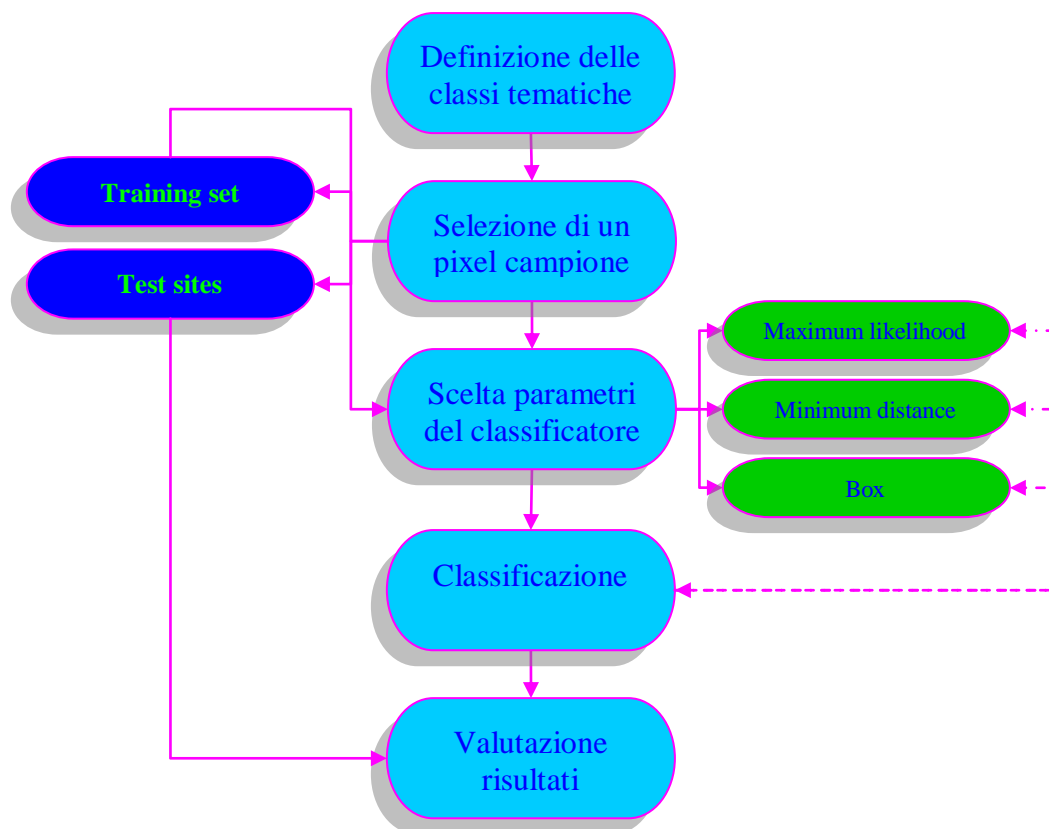
valori di riflettività simili fra loro: i pixel che appartengono a un cluster formano una classe spettrale. I cluster sono regioni uniformi e omogenee al loro interno, rispetto a certe caratteristiche, e significativamente differenti dalle regioni adiacenti.

Le classi di riflettività vengono fatte corrispondere a classi di informazione al suolo (ad esempio, categorie di uso del suolo o di copertura del suolo) mediante osservazioni di campagna (o interpretazione di fotogrammi). Quindi occorrono comunque informazioni di tipo ausiliario: queste informazioni ausiliarie vengono usate per il riconoscimento delle classi “a posteriori”.

### 2.1.2 Supervised classification

La classificazione supervised invece si basa sulla conoscenza di alcune aree campione rappresentative delle classi di superfici, note e ben localizzate sulle immagini, che vengono utilizzate per classificare tutta la scena:

- si decide in quali categorie (classi) deve essere suddivisa l’immagine (es. acqua, regioni urbane, seminativo, ecc.);
- si scelgono (a priori) pixels rappresentativi di ogni categoria (mediante visite in situ, carte, fotointerpretazione) chiamati appunto “training pixels;”
- si classifica ogni prestabiliti. pixel dell’immagine come appartenente a una delle



**Figura 2-1:** fasi della supervised classification.

categorie volute, in base agli algoritmi di classificazione.

Se i valori di un pixel sono lontani, oltre certe soglie, da quelli di ogni categoria già definita, il pixel viene considerato come incerto e non assegnato ad alcuna classe.

L'ultimo stadio prevede l'attribuzione dei pixels alle varie categorie su di una carta geografica, ad esempio attribuendo ai pixels codici colore o valori convenzionali. Si possono così ottenere carte dell'uso/copertura del suolo.

## **2.2 Algoritmi di classificazione**

### **2.2.1 Classificatore Maximum Likelihood**

Nell'ambito della classificazione guidata è possibile utilizzare diversi algoritmi che consentono di stabilire il criterio di assegnazione di ogni singolo pixel ad una determinata classe. Il classificatore Maximum Likelihood è il più utilizzato. Opera assegnando ciascun pixel alla classe per cui è maggiore la probabilità che, selezionato un pixel  $x$  della scena, esso appartenga ad una determinata classe  $C$ . Il pixel appartiene alla classe  $C$  se:

$$P(C|x) > P(C_k|x)$$

Dove  $P(C|x)$  è la probabilità condizionale dei pixel  $x$  rispetto alla classe  $C$  e  $P(C_k|x)$  è la probabilità condizionale dei pixel  $x$  rispetto alla classe  $C_k$ .

I pixel con valori di radianza molto diversi da quelli delle categorie inizialmente definite non vengono classificati.

In tal modo ciascuna classe tematica è individuata da una distribuzione normale gaussiana che dà la caratteristica suddivisione dello spazio multi spettrale. Si può utilizzare la probabilità a priori per decidere il peso di ciascuna classe tematica nella classificazione. I limiti di decisione, essendo quadratici, assicurano maggiore flessibilità delle decisioni lineari. Il metodo considera la direzione di distribuzione dei dati (covarianza) e le distanze tra le medie dei pixel.

La complessità di calcolo cresce al quadrato con  $N$  (numero di componenti spettrali o classi) e richiede  $(N^2+N)$  moltiplicazioni ed  $(N^2+2N+1)$  addizioni.

Circa il numero di elementi campione il classificatore richiede un minimo teorico di  $(N+1)$  pixel. In pratica il minimo è di  $10N$  pixel per classe spettrale per la campionatura, mentre  $100N$  o più sono auspicabili per una migliore classificazione. E' un modello probabilistico e dà informazioni circa la distribuzione dei dati in  $n$  dimensioni spettrali.

I pixel vengono assegnati ad una classe o ad un'altra seguendo il criterio di massima

probabilità di appartenenza; è possibile inoltre definire una soglia per imporre i confini della decisione.

### **2.2.2 Classificatore Minimum Distance**

In questo caso la direzione di distribuzione dei dati non è considerata poiché vengono calcolate solo le distanze tra le medie dei pixel e non le matrici di covarianza.

La probabilità a priori non è presa in considerazione dall'algoritmo e i limiti di decisione sono lineari. Circa la complessità di calcolo questo metodo è più veloce del precedente, meno complesso e richiede  $N$  moltiplicazioni e  $N$  addizioni per pixel. La complessità cresce linearmente con  $N$ , dove  $N$  è il numero di classi o componenti spettrali, ed è pertanto utile la selezione di un alto numero di componenti spettrali.

Il numero di pixel campione richiesto può essere limitato, dato che si calcola solo la media di questi campioni. Si assume che il modello sia simmetrico nello spazio spettrale, per cui esso non fornisce indicazioni su come i dati siano distribuiti negli  $n$  piani spettrali.

Il classificatore Minimum Distance è un modello probabilistico in cui ciascun pixel è assegnato alla classe con il valore medio più vicino alle coordinate del punto considerato e che può prevedere la definizione di livelli di soglia per imporre i confini della decisione.

### **2.2.3 Classificatore box**

In confronto ai due metodi precedenti l'algoritmo del classificatore box, che delimita delle regioni nello spazio multi spettrale, presenta le seguenti limitazioni:

- la probabilità a priori non è presa in considerazione dal classificatore;
- i dati correlati tra loro danno origine ad una sovrapposizione spaziale tra due o più parallelepipedi;
- i limiti di separazione tra le classi sono lineari.

Circa la complessità di calcolo questo metodo è il più veloce e il più semplice. Si effettuano semplici controlli per assegnare i pixel ai parallelepipedi tracciati. Tutto lo spazio bi- o multi-dimensionale deve essere ricoperto per non escludere pixel dalla classificazione. Il modello è basato sulla preparazione di specifiche suddivisioni delle classi tematiche sugli istogrammi delle  $n$  bande assegnando poi ciascun pixel al corrispondente parallelepipedo che definisce una certa classe.

L'algoritmo non fornisce indicazioni sulla distribuzione dei dati negli  $n$  piani spettrali e può essere definita una soglia per decidere i limiti inferiori e superiori di ciascuna classe.

## **Capitolo 3-Caso studio 1: fascia costiera della regione Molise**

### **3.1 Inquadramento geografico**

Il primo tratto di litorale analizzato si estende per trentotto chilometri e rappresenta l'intera costa molisana, limitata a nord dal comune di Marina di Montenero e a sud da quello di Campomarino.

Il tipo di costa è prevalentemente basso e sabbioso. Le spiagge sono bordate da cordoni dunari discontinui, antropizzati, frequentemente interessati da fenomeni erosivi su cui si sviluppano pinete spesso sofferenti per l'erosione e la conseguente salinizzazione della falda in seguito alle mareggiate.

La zona è sede di peculiarità ambientali e paesaggistiche rilevanti, quali SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e beni architettonici.

### **3.2 Classificazione dell'ortofoto del Molise**

Dall'analisi del contesto territoriale dell'ortofoto Volo Italia 2000 della regione Molise (tavola 1) sono state scelte 6 classi:

- acqua;
- colture permanenti;
- boschi;
- seminativi;
- aree artificiali
- spiagge.

L'ortofoto Volo Italia 2000 relativa al Molise è in formato .ecw, che non può essere utilizzato con Erdas Imagine. Si è proceduto quindi al taglio, alla decompressione e alla trasformazione dell'immagine nel formato .img utilizzando il software Er Mapper 7.1. Dopo di che sono stati scelti i pixels caratteristici delle classi definite in precedenza attraverso l'utilizzo di diversi comandi di Erdas Imagine 9.1, quali:

- *AOI/tools/polygon*: con questo comando si disegnano dei poligoni che contengono i pixels caratteristici delle varie classi considerate;
- *Classifier/Signature Editor*: con questo comando si crea il file di signatures a partire dai poligoni dell'AOI creati in precedenza; è possibile attribuire ad ogni classe un colore distintivo.

Fatto ciò si è proseguito con la classificazione di tipo supervised (*Classifier/Supervised Classification*). Si è scelto di utilizzare un algoritmo del tipo

*Maximum Likelihood* che valuta la prossimità di un pixel ad una classe nello spazio multi spettrale. La classificazione è stata ripetuta più volte, scegliendo di volta in volta un training set diverso fino ad ottenere un risultato ottimale. L'accuratezza della classificazione è stata valutata prendendo in considerazione i risultati riguardanti zone la cui copertura del suolo era nota, quali la spiaggia, le aree artificiali, l'acqua. Nel momento in cui non si è avuta corrispondenza fra la carta ottenuta e l'immagine, la classificazione è stata ripetuta.

Dall'analisi della carta di copertura del suolo ottenuta si evince che la sabbia e lo strato rimescolato di acqua di mare in prossimità della linea di riva, vengono interpretati dal software come appartenenti ad altre classi (in particolare come aree urbane e vegetazione). L'errore è dovuto al fatto che la firma spettrale della sabbia è molto simile a quella del cemento e che l'acqua di mare in prossimità della costa è particolarmente torbida e assume un colore verdastro poiché in questa zona sfociano diversi fiumi.

Per ovviare a tali errori e al problema della presenza di pixels singoli all'interno di aree a copertura omogenea è stato utilizzato il software ArcGis, in particolare si è scelto di provare due comandi.

Il primo, *Arctoolbox/Spatial Analyst Tool/Majority Filter*, riposiziona le celle (pixels) singole tenendo presenti le celle più vicine (esempio in figura 3-1).

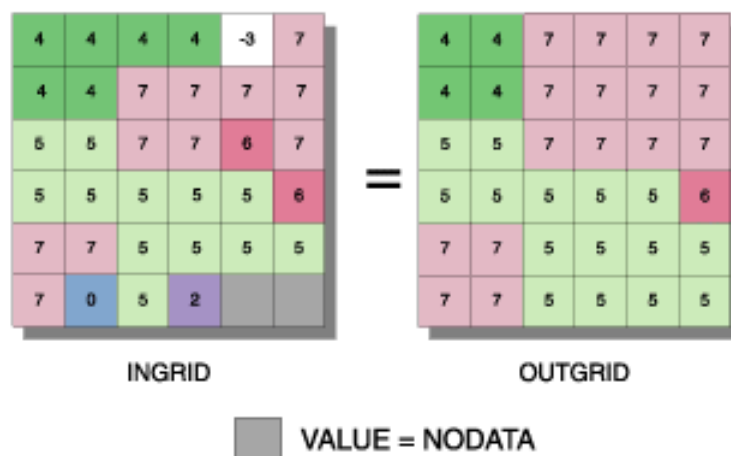


**Figura 3-1:** funzionamento del *Majority Filter*.

L'operazione è stata ripetuta più volte, in modo da ottenere una copertura del suolo il più omogenea possibile.

Il secondo, *Arctoolbox/Spatial Analyst Tool/Boundary Cleaner*, leviga il confine tra le zone espandendole o contraendole in modo che tutte le regioni con meno di tre celle nella direzione X o Y vengono riposizionate (es. in figura 3-2).

Analizzando le immagini ottenute si è ritenuta più simile alla realtà quella ottenuta con l'utilizzo del *Majority Filter* (tavola 2).



**Figura 3-2:** funzionamento del *Boundary Cleaner*.

### 3.3 Estrazione delle spiagge e dell'urbano

Gli elementi dell'immagine raster ottenuta con il *Majority Filter* sono stati opportunamente riclassificati per ricavare informazioni riguardanti solo le spiagge e l'urbano. Per far ciò è stato utilizzato il comando *Spatial Analyst/Reclassify* e si è attribuito come grid code alle classi da escludere dall'analisi il valore "No Data".

I risultati ottenuti per l'urbano non sono stati soddisfacenti poiché il software identifica anche i campi arati e privi di vegetazione come area urbana e richiedono ulteriori approfondimenti. Per ovviare invece agli errori di classificazione del software, che identifica la presenza di spiaggia anche nell'entroterra, è stato creato lo shapefile poligonale relativo alla zona litorale con ArcCatalog e in seguito si è proceduto alla vettorializzazione in ArcGIS. E' fondamentale precisare che tale poligono è un'approssimazione della spiaggia e non il risultato di una vera e propria vettorializzazione puntuale. In seguito il raster delle spiagge è stato tagliato utilizzando come maschera tale poligono (*Spatial Analyst/Options* e *Spatial Analyst/Raster Calculator*).

Per ottenere informazioni riguardanti la superficie del litorale in questione si è proceduto per prima cosa alla trasformazione del file raster delle spiagge in vettoriale (*SpatialAnalyst Tool/Convert/Convert Raster To Features*). Nella tabella degli attributi di tale file è stato inserito il campo "area" e con il *Field Calculator* è stata calcolata la superficie dei vari poligoni che rappresentano la spiaggia. A questo punto sono stati estratti in sequenza i poligoni con superficie maggiore di 10000 mq, 5000 mq e 4000 mq. In questo modo è possibile raffinare ulteriormente la classificazione escludendo i poligoni troppo piccoli nati dagli errori di classificazione. Dal confronto fra le aree ottenute e le aree



dei poligoni digitalizzati della spiaggia sono stati scelti come più vicini alla realtà i poligoni con area superiore a 4000 mq. Si è proceduto all'identificazione delle spiagge, che nel caso del Molise sono risultate essere 6, ed è stato utilizzato il comando *Data Management Tools/General/Merge* sia per i poligoni digitalizzati per quelli classificati. In questo modo i vari poligoni separati sono stati combinati in modo da rientrare in un unico poligono che rappresentasse l'intera spiaggia (tavola 3). Fatto ciò è stato aggiunto ad entrambi gli shape poligonali un campo relativo alle aree e un numero identificativo della porzione di litorale, dal confronto delle quali è stato possibile testare la metodologia applicata per la mappatura delle spiagge.

### 3.4 Confronto fra i poligoni delle spiagge digitalizzate e quelli derivati dalla classificazione

Si è proceduto all'analisi delle superfici delle spiagge identificate da nord verso sud. La prima spiaggia identificata si estende dal confine fra Abruzzo e Molise sino all'idrovora situata a sud della Marina di Montenero. Possiamo affermare che l'area dei poligoni derivati dalla classificazione risulta essere minore del 17% di quella reale (figura 3-3).



**Figura 3-3:** poligoni digitalizzati e derivati dalla classificazione della prima spiaggia del Molise.

Cod. spiaggia	Area digit	Area classific.	Differenza	Differenza %
1	88099	106530	-18431	-17%

Questa discrepanza è dovuta agli errori di classificazione del software in prossimità:

- della foce del fiume Trigno dove la torbidità dell'acqua è elevata;
- dei pennelli presenti sul litorale;
- del retrospiaggia dove la composizione del terreno nudo è prevalentemente sabbiosa.

La firma spettrale di questi tre elementi si avvicina molto a quella della sabbia e quindi vengono classificati come tale. Da qui il surplus di superficie rispetto alla realtà.

Nel caso della seconda spiaggia, i cui limiti vanno dall'idrovora suddetta sino alla foce torrente Tecchio, si ha invece un deficit in quanto il software non intercetta porzioni di litorale di piccole dimensioni (figura 3-4).



**Figura 3-4:** poligoni digitalizzati e derivati dalla classificazione della seconda spiaggia del Molise.

Cod. spiaggia	Area digit.	Area classific.	Differenza	Differenza %
2	95832	74382	21450	29%

Anche per le restanti spiagge si è in presenza di un deficit nel calcolo delle aree dovuto, questa volta, non solo alle estensioni ridotte delle spiagge ma anche alla presenza di strutture balneari che non vengono classificate come sabbia. I limiti di tali tratti sono:

- terza spiaggia, dalla foce del Tecchio sino al lato nord del porto di Termoli (figura 3-5 );
- quarta spiaggia, dal lato sud del porto di Termoli sino alla foce del Biferno (figura 3-6);
- quinta spiaggia, dalla foce del Biferno sino all'idrovora a sud di Termoli (figura 3-7);
- sesta spiaggia, dalla suddetta idrovora sino alla foce del Saccione (figura 3-8).

Bisogna specificare che il deficit per la quarta spiaggia risulta essere solo dell'1% in quanto è vero che il software non ha classificato come tali alcune porzioni di litorale, ma è pur vero che ha rilevato la presenza di una spiaggia (figura 3-6), in prossimità di alcune barriere aderenti, che è stata esclusa dalla digitalizzazione poiché non è stata considerata come naturale. E' per questo che al netto il deficit risulta essere così ridotto.



**Figura 3-5:** terza spiaggia.

Codice spiaggia	Area reale	Area classific.	Differenza	Differenza %
3	480914	431029	49885	12%
4	135797	134097	1700	1%
5	310742	261855	48887	19%
6	184811	144849	39962	28%





**Figura 3-6:** quarta spiaggia.



**Figura 3-7:** quinta spiaggia.



**Figura 3-8:** sesta spiaggia.

### 3.5 Risultati

Dall'analisi delle immagini ottenute si evince che la procedura attuata dà buoni risultati sulle spiagge ampie più di 10 metri, mentre il software Erdas Imagine non riesce a discriminare in maniera soddisfacente le porzioni di litorale di dimensioni minori e la battigia. Entrambi i problemi sono dovuti alla natura ibrida della linea di riva, zona di confine fra terra e mare dove la mescolanza fra la sabbia e l'acqua crea giochi di colore che difficilmente si riesce a far rientrare in una delle due classi. Gli altri errori che si sono verificati sono dovuti alla natura sabbiosa dei terreni del retrospiaggia e alla presenza di ombrelloni sulle spiagge, i quali ovviamente falsano la classificazione. Di qui la necessità di disporre di immagini telerilevate acquisite prima di tutto nella stessa stagione (l'ortofoto del Molise è composta da frame diversi, alcuni dei quali acquisiti anche a distanza di un anno l'uno dall'altro) e in periodi adatti al tipo di studio che si vuole condurre. Non ha senso infatti utilizzare immagini rilevate in periodi estivi per la presenza di strutture balneari e di spiagianti, ma neppure rilevate in periodi invernali durante i quali sappiamo che le mareggiate causano un naturale e stagionale arretramento della linea di riva.

I risultati prodotti sono soddisfacenti in termini di superficie, in quanto la differenza in termini percentuali fra le aree totali di tutto il litorale molisano e le aree calcolate con la classificazione è del 12%. La metodologia utilizzata è quindi in grado di determinare la planimetria dei litorali sabbiosi e di fornire tematismi cartografici per lo studio della dinamica litoranea con una tecnica speditiva e oggettiva alternativa all'onerosa e, in alcuni casi, soggettiva attività di fotointerpretazione e digitalizzazione.

## **Capitolo 4-Caso studio 2: porzione di litorale della Calabria tirrenica**

### **4.1 Inquadramento geografico**

Il secondo tratto di litorale esaminato si estende per venti chilometri ed è situato fra i comuni della Calabria tirrenica di Campora San Giovanni a nord e di Gizzeria Lido a sud.

Il quadro geomorfologico della zona è caratterizzato da versanti acclivi che si elevano a breve distanza dal mare o ne formano direttamente la costa, profondamente incisi da corsi fluviali conseguenti, a regime torrentizio esasperato (fiumare). E' da evidenziare la presenza di una serie di laghetti di acqua salmastra lungo la costa del comune di Gizzeria riconosciuti come Sito di Importanza Comunitaria (SIC-101) perché sono gli ultimi laghi costieri salmastri della costa tirrenica calabrese e luoghi di sosta per uccelli acquatici migratori.

Il tipo di costa è basso e sabbioso, anche in questo caso interessato da una forte antropizzazione (massiccia presenza sul territorio di strutture ricettive turistiche e costruzione in pochi anni di due porti per imbarcazioni da diporto) e da fenomeni erosivi rilevanti.

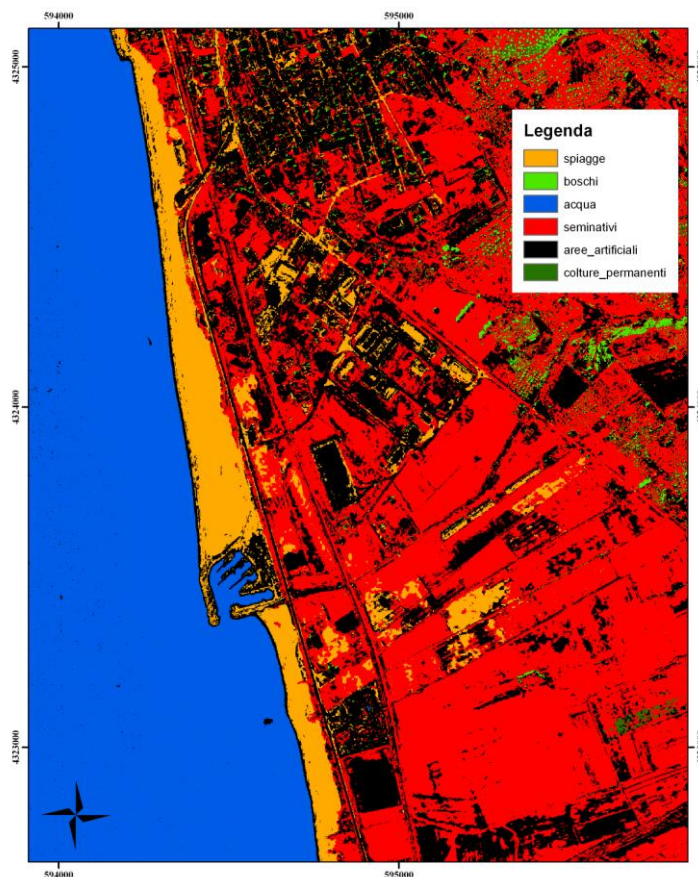
### **4.2 Classificazione dell'ortofoto e dell'immagine Ikonos**

Nel caso della Calabria, come è stato già anticipato, la metodologia è stata applicata a due immagini digitali a colori diverse per periodo di acquisizione e tipo, infatti la prima è un'ortofoto Volo Italia 2000 (tavola 4) e l'altra un'Ikonos del 2005 (tavola5). Per questo l'obiettivo è stato :

- verificare la metodologia e confrontare i risultati della classificazione su immagini aeree e satellitari;
- ricavare da mappe multitemporali della spiagge una procedura di change detection.

Per la classificazione è stata applicata la stessa procedura già utilizzata per il Molise (vedi paragrafo 3.2). Si evince dalle carte di copertura del suolo ricavate dalle due immagini (tavole 6 e 7) che quella relativa all'Ikonos ha una maggiore definizione e accuratezza, in particolare i risultati relativi alle spiagge sono più che soddisfacenti e la battigia, nonostante sia individuata dal software come urbano, risulta essere perfettamente coincidente con la linea di riva (figura 4-1).





**Figura 4-1:** particolare della carta di copertura del suolo della porzione di Calabria oggetto di studio.

#### 4.2.1 Change Detection

A questo punto sono state individuate le tre spiagge che compongono il litorale:

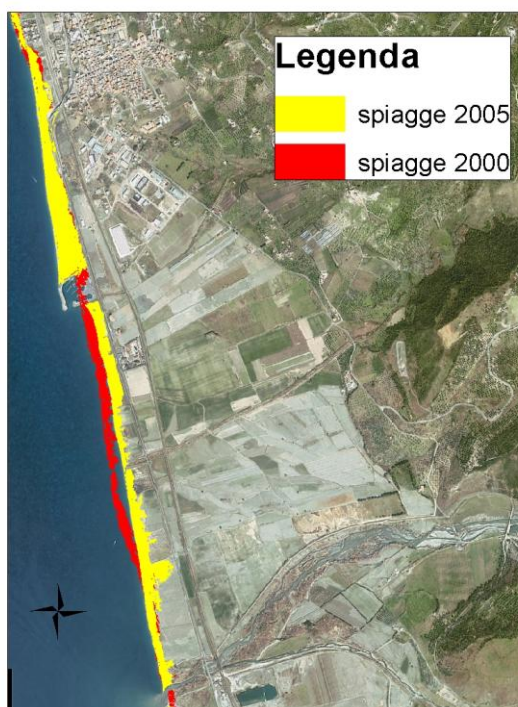
- prima spiaggia, tra torre San Giovanni e la foce del fiume Savuto;
- seconda spiaggia, tra la foce del fiume Savuto e quella del Cartolano;
- terza spiaggia, tra la foce del Cartolano e il comune di Gizzeria Lido.

In tabella sono riportate le aree in mq delle suddette zone e la differenza fra quelle del 2000 e quelle del 2005.

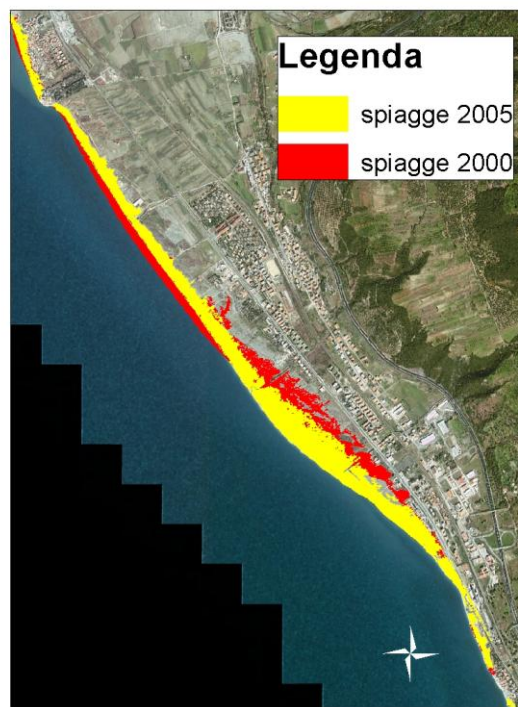
Cod. spiaggia	Area 2000	Area 2005	Differenza	Differenza %	Bilancio 2005
1	237563	339833	-102270	-30%	+
2	564366	632667	-68301	-11%	+
3	939418	802791	136627	17%	-

Come già detto per il Molise, la classificazione delle tre spiagge non risulta efficace in prossimità di zone molto strette e di porzioni di retrospiaggia non coperte da vegetazione.

Dai dati numerici si evince che la prima spiaggia ha subito una perdita in termini di superficie di 102270 mq. e analizzando le immagini risulta evidente che si sono verificate due situazioni opposte sullo stesso litorale in seguito alla costruzione di un porto. Infatti nel primo tratto a nord della struttura si ha un avanzamento della spiaggia, mentre in quello a sud un arretramento dovuto alla struttura portuale che interrompe il flusso di sedimenti (figura 4-2).



**Figura 4-2:** prima spiaggia.

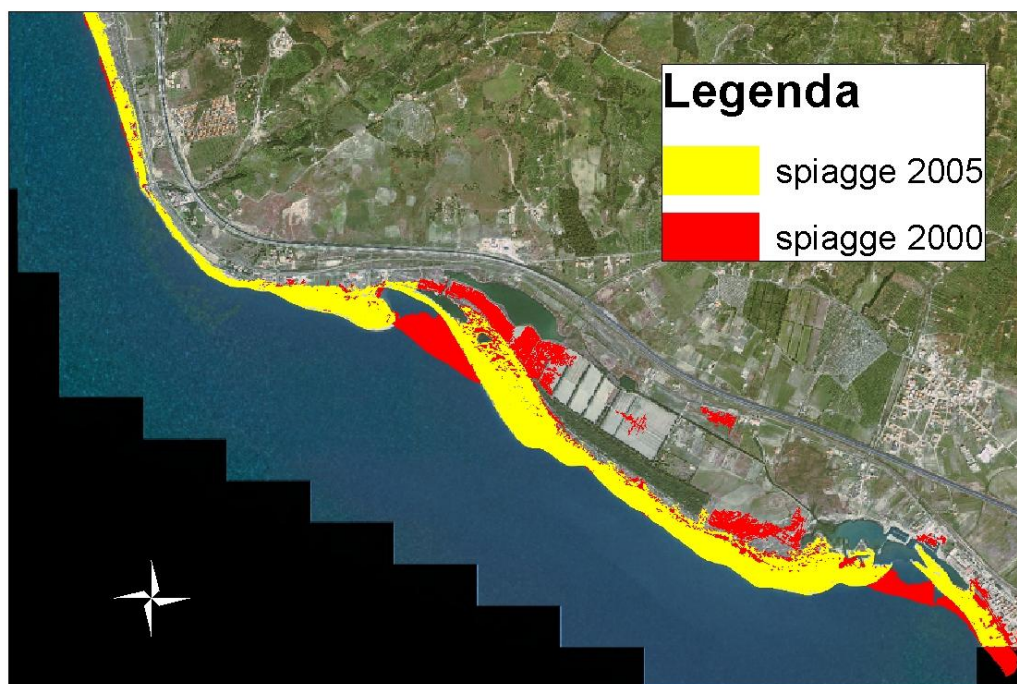


**Figura 4-3:** seconda spiaggia.

Per quanto riguarda la seconda spiaggia si è avuta una perdita di 68301 mq di superficie e in questo caso il riposizionamento della spiaggia originaria riguarda solo una piccola porzione di questa (figura 4-3).

Il caso della terza spiaggia è molto particolare. Dai dati numerici risulta esserci un bilanciamento negativo della spiaggia con una perdita di superficie di 136627 mq. In prossimità del Lago di Volta nel 2000 era presente un secondo specchio d'acqua, ma il cordone sabbioso che lo divideva dal mare è stato eroso permettendo l'ingressione dell'acqua salata. Anche poco più a sud, prima di Gizzeria Lido, nel 2000 era presente uno specchio d'acqua al posto del quale nel 2005 è presente un porto. Quindi anche in questo caso in concomitanza ad un avanzamento della linea di riva si è verificato di un riposizionamento dei sedimenti (figura 4-4).





**Figura 4-4:** terza spiggia.

Oltre ad un bilancio complessivo delle variazioni superficiali intervenute sulle spiagge nei cinque anni, si è voluto delimitare e quantificare anche le superfici perse e acquisite in tale periodo. A tal fine sono stati estratti i poligoni relativi alle porzioni di litorale in avanzamento ed arretramento. Per fare questo sono state riclassificate le immagini della copertura del suolo attribuendo, a ciascun elemento considerato, grid code diversi secondo lo schema in tabella:

Anno	Spiaggia	Acqua	No Data
2005	16	14	12
2000	10	7	4

In seguito è stato utilizzato il comando di ArcGis *Arctoolbox/Spatial Analyst Tool/Math/Minus* che sottrae il valore del secondo raster inserito dal valore del primo raster cella per cella (per i dettagli della procedura si veda l'allegato) In questo modo si è ottenuta una mappa della dinamica dell'intera spiaggia, con porzioni di litorale stabili, in arretramento e in avanzamento (tavola 8) sia per quanto riguarda la zona di avanspiaggia che di retrospiaggia. Dopodichè, come già fatto per il Molise, per ottenere informazioni riguardanti la superficie del litorale in questione si è proceduto alla trasformazione dei file raster della mappa in vettoriali, alla discriminazione di poligoni molto piccoli dovuti ad

errori di classificazione, all'identificazione delle 3 spiagge. Si è proceduto poi al confronto della aree dei poligoni relativi all'avanzamento e all'arretramento della zona di avantispiaggia verso il mare, sottraendo le superfici dei primi da quelle dei secondi

<b>Cod. spiaggia</b>	<b>Area avanzamento classif.</b>	<b>Area arretramento classif.</b>	<b>Differenza</b>	<b>Bilancio</b>
1	39149	158553	-119404	-
2	161654	167998	-6344	-
3	192967	191897	1070	+

Per quanto riguarda le prime due spiagge il bilancio è negativo e ci ritroviamo con le considerazioni fatte in precedenza. Infatti questi dati confermano che le due spiagge, pur avendo avuto un incremento della superficie, si sono riposizionate rispetto alla loro collocazione originaria. L'avanzamento del litorale si è verificato verso la terraferma e non verso il mare.

Per la terza spiaggia il bilancio è positivo, ma concorda ancora con i risultati ottenuti dalla mappatura delle spiagge. In questo caso le dimensioni della spiaggia si sono ridotte in termini di superficie, ma c'è stato uno avanzamento verso il mare.

#### **4.3 Risultati**

La metodologia dà risultati soddisfacenti in termini di Change Detection e mostra come immagini ad alta risoluzione siano classificabili con maggiore precisione. Infatti la carta di copertura del suolo ricavata dalla classificazione dell'ortofoto è risultata meno accurata di quella ottenuta dall'immagine Ikonos.

Inoltre dai risultati prodotti dimostrano come con tale metodologia sia possibile fornire non solo dati di superficie ma anche elementi riguardanti i movimenti e i riposizionamenti delle spiagge attraverso l'estrazione dei poligoni di arretramento e avanzamento del litorale.

## **Conclusioni**

In conclusione possiamo affermare che, affinché la metodologia produca dati accurati e attendibili sulle dinamiche dei litorali, è necessario prima di tutto disporre di immagini digitali ad alta risoluzione sia spaziale che radiometrica dalla cui classificazione vengono prodotte carte di copertura del suolo del tutto corrispondenti alla natura dei territori analizzati.

In secondo luogo tali immagini devono essere acquisite nella stessa stagione e in periodi adatti al tipo di studio che si vuole condurre.

Partendo da tali presupposti la metodologia sperimentata sarà in grado di determinare la planimetria dei litorali sabbiosi e di fornire rappresentazioni cartografiche per lo studio della dinamica litoranea fornendo un'alternativa all'attività di fotointerpretazione.

## Allegato

Il comando di ArcGis Arctoolbox/Spatial Analyst Tool/Math/Minus sottrae il valore del secondo raster inserito dal valore del primo raster cella per cella. Partendo da questo presupposto sono state riclassificate la spiaggia, l'acqua e le restanti classi come segue in tabella.

Anno	Spiaggia	Acqua	No Data
2005	16	14	12
2000	10	7	4

Effettuando la sottrazione si sono ottenuti i seguenti risultati:

Sottrazione classi	Grid code	Dinamica litoranea
Spiaggia 2005 - Spiaggia 2000	6	porzione di litorale stabile, sia nel 2005 che nel 2000 c'è spiaggia
Spiaggia 2005 - Acqua 2000	9	porzione di litorale in avanzamento, nel 2000 c'era dell'acqua e nel 2005 spiaggia
Spiaggia 2005 - No Data 2000	12	arretramento del retrospiaggia, nel 2000 abbiamo terraferma e nel 2005 spiaggia.
Acqua 2005 - Spiaggia 2000	4	Arretramento della spiaggia, dove nel 2000 c'era spiaggia, nel 2005 c'è acqua
Acqua 2005 - Acqua 2000	7	Acqua
Acqua 2005 - No Data 2000	10	Arretramento, dove c'era terraferma nel 2000, nel 2005 c'è acqua
No Data 2005 - Spiaggia 2000	2	Avanzamento retrospiaggia
No Data 2005 - Acqua 2000	5	Avanzamento retrospiaggia
No Data 2005 - No Data 2000	8	Terraferma

Il raster ottenuto è stato riclassificato attribuendo nuovi grid code alle porzioni di litorale in avanzamento e arretramento e il valore NoData alle restanti classi.

## **Riferimenti bibliografici e siti internet consultati**

**AA.VV.**, *Introduzione ad ArcGIS 1° parte*, sl, ESRI, 2001.

**AA.VV.**, *Using ArcView 8 Spatial Analyst*, sl, ESRI, 2001

**AA.VV.**, *Sedimentation engineering*, New York, Vito A Vanoni, 1975

**Amadesi E.**, *Fotointerpretazione e aereofotogrammetria*, Bologna, Pitagora Ed., 1977

**Amadesi E.**, *Atlante fotografico con esempi di fotointerpretazione*, Bologna, Pitagora Ed., 1982

**Amadesi E., Vianello G.**, *Construction scheme of a slope stability map by air photographs*, Stuttgart, 36th Photogrammetric Week, 1978

**Burrough P.A.**, *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assesment*, Oxford, Clarendon Press, 1986.

**Gomarasca Mario A.**, *Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali*, ed.1997

**Huxold W. E.**, *An introduction to Urban Geographic Information System*, Oxford, University Press, 1991

**Mori Alberto**, *Le carte geografiche e loro lettura e interpretazione*, Pisa, Libreria Goliardica, 1968

**Piscdda Sandra**, *Introduzione ai sistemi informativi geografici*, Agricoltura Ricerca, Anno XXI, numero 180/181, 1999, pp 5/46

**Scarpa Luigi**, *Lo spazio geografico nei GIS - Sistemi informativi geografici-: concetti tecnologie ed applicazioni*, "Moduli 10", Napoli, CUEN, 2001.

**Venturini G ed altri**, *Progettazione e realizzazione di sistemi informativi geografici (GIS) per la gestione integrata delle aree costiere*, Atti Giornate Italiane Ingegneria Costiera, 2000.

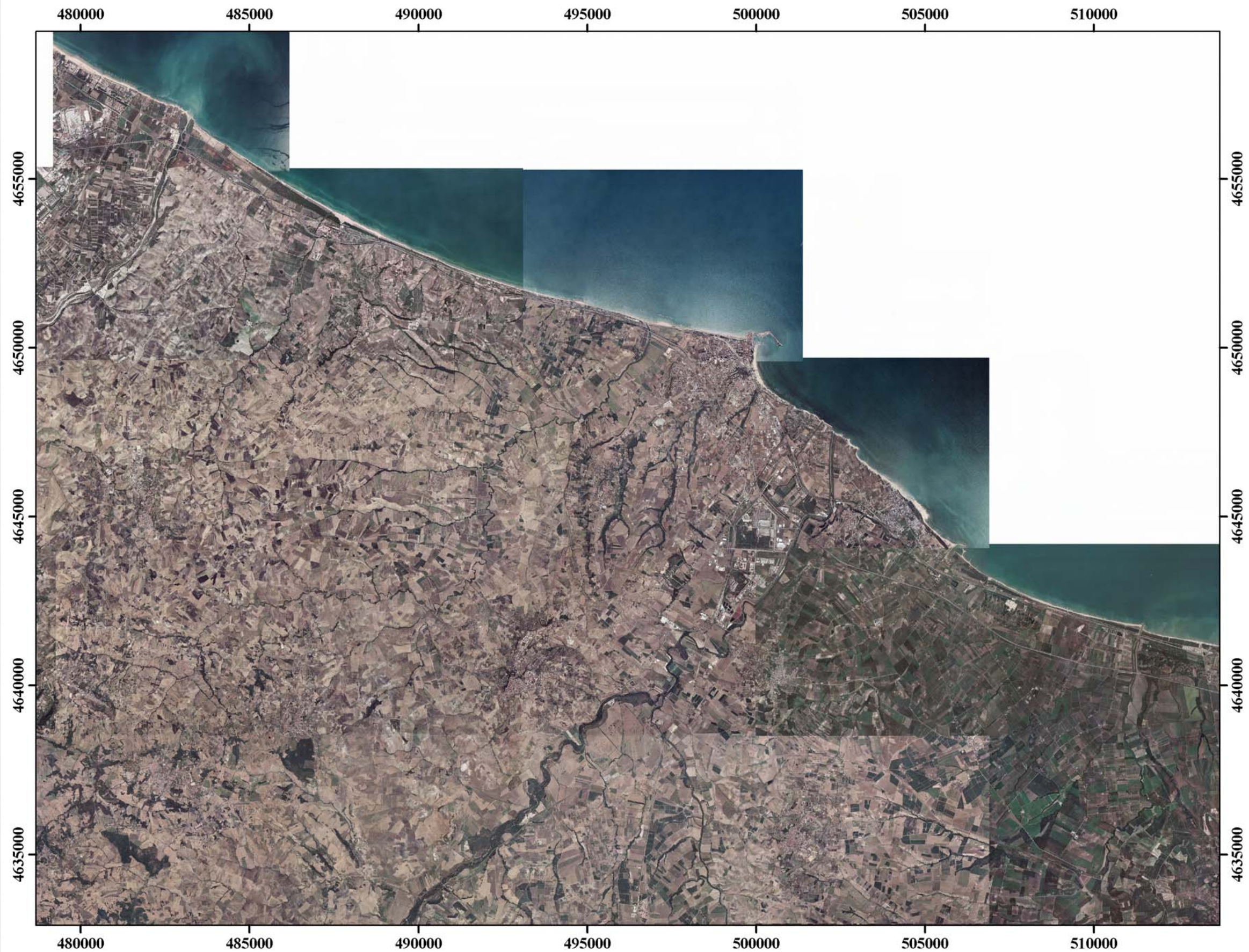
**Vianell Giolmo**, *Cartografia e fotointerpretazione*, Bologna, CLUEB, 1998

- <http://www.esriitalia.it>
- <http://www.guidanatura.com>
- <http://www.geologica.com>
- <http://www.diiar.polimi.it>
- <http://www.atenoline.it>
- <http://www.geotecnologie.unisi.it/Geotecnologie/telerilevamento.php>
- <http://www.planetek.it/corsotlr/>
- <http://www.disat.unimib.it/VAST/lezioni/file%20pdf/principi-grandezze1.pdf>
- [http://www.apat.gov.it/site/\\_files/Pubblicazioni/Annuario2007/capitolo\\_5.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_files/Pubblicazioni/Annuario2007/capitolo_5.pdf)
- [http://www.rilevamento.polimi.it/doc/cart\\_migliaccio/lez%209\\_2%20classif%20immagini.pdf](http://www.rilevamento.polimi.it/doc/cart_migliaccio/lez%209_2%20classif%20immagini.pdf)
- [http://geomatica.como.polimi.it/corsi/misure\\_geodetiche/mg\\_01introduzione.pdf](http://geomatica.como.polimi.it/corsi/misure_geodetiche/mg_01introduzione.pdf)

## **Tavole**



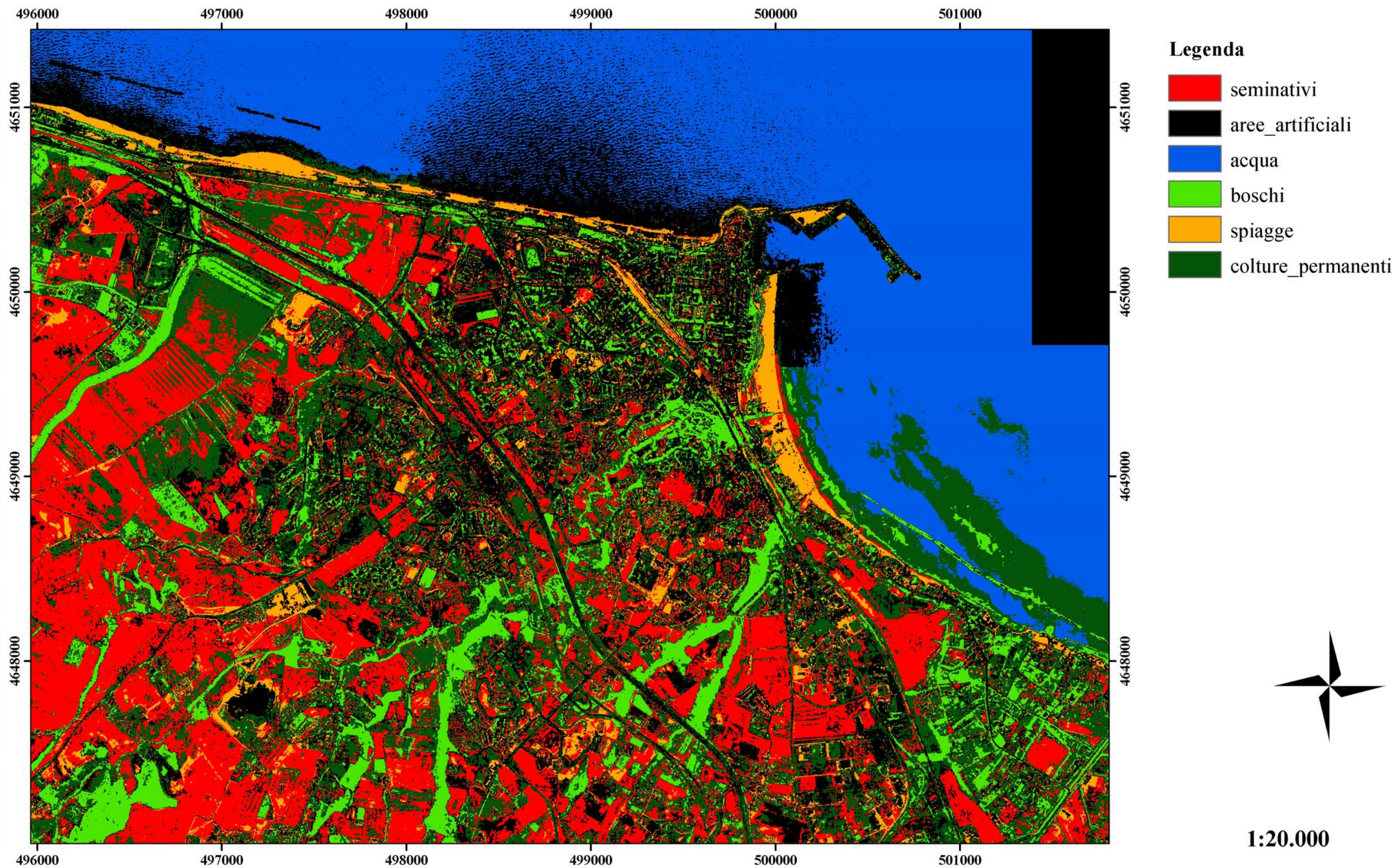
# Ortofoto Volo Italia 2000



*Tavola 1 : ortofoto Volo Italia 2000 del Molise (UTM/WGS 84).*



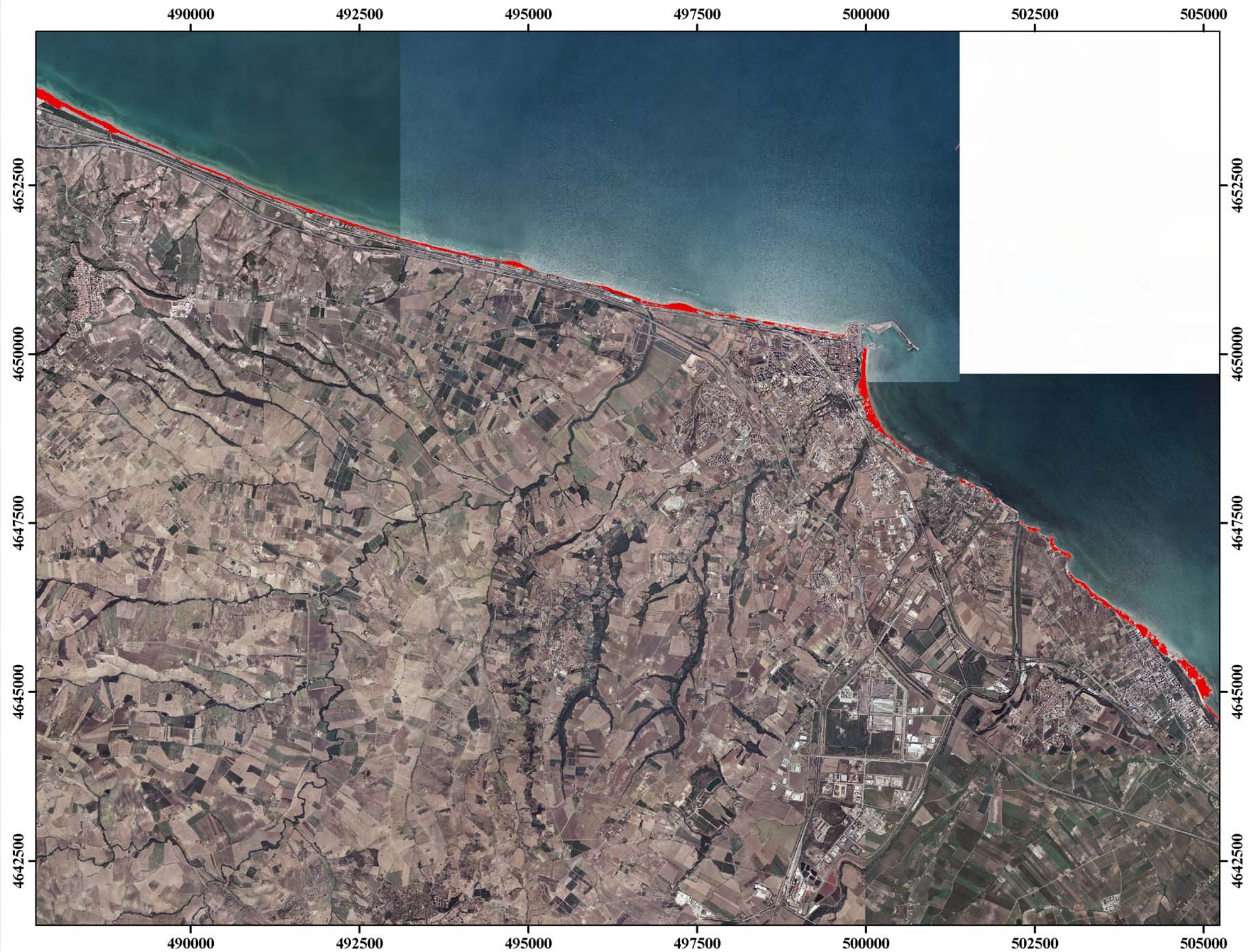
# Carta di copertura del suolo



*Tavola 2 : carta di copertura del suolo del Molise filtrata col comando Majority Filter.*



# Carta delle spiagge



1:60.000

*Tavola 3 : carta di copertura delle spiagge del Molise ricavata dalla classificazione.*



## Ortofoto Volo Italia 2000

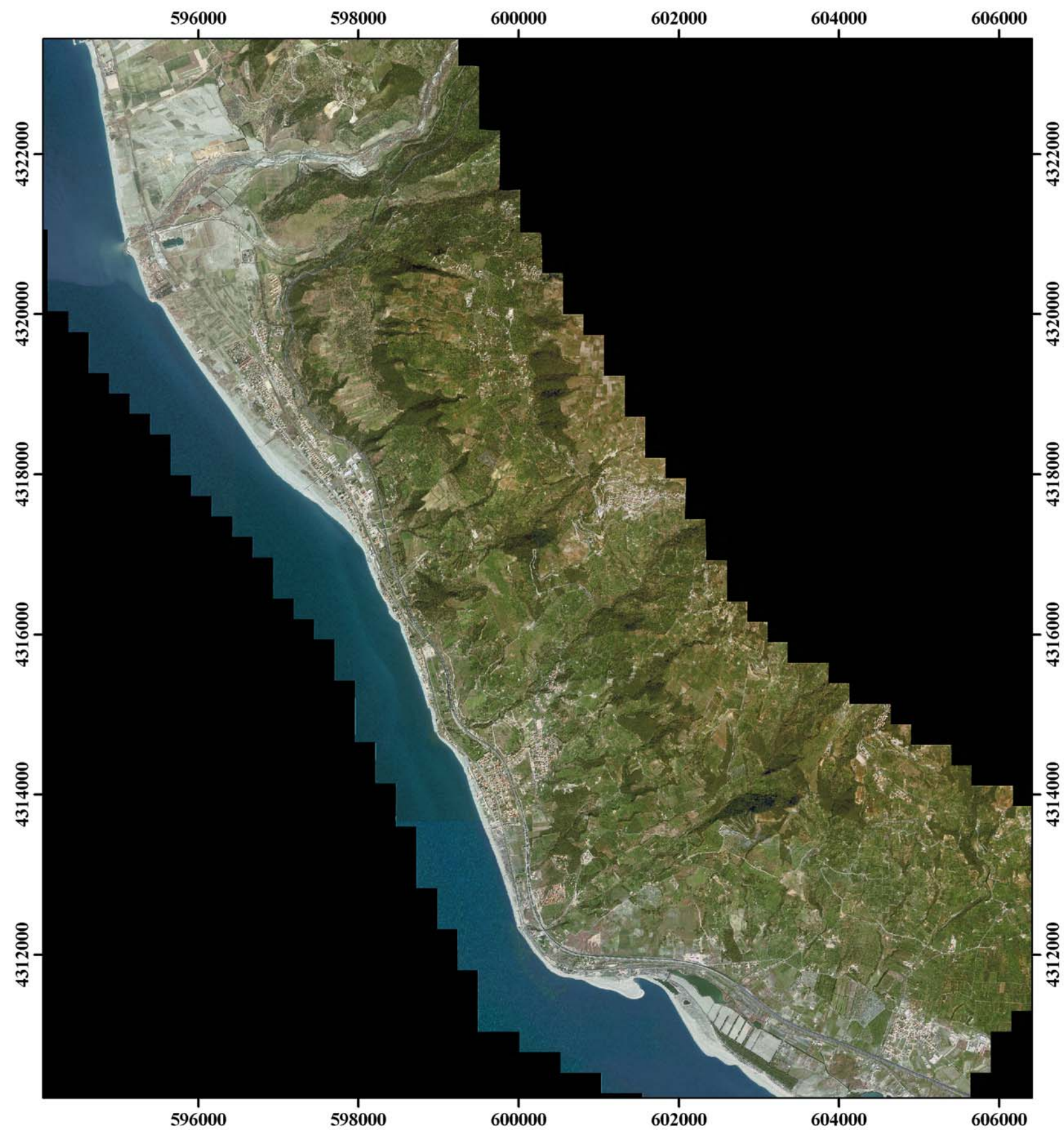


1:60.000

*Tavola 4 : ortofoto Volo Italia 2000 (UTM/WGS 84) di una porzione della Calabria tirrenica.*



## Immagine Ikonos

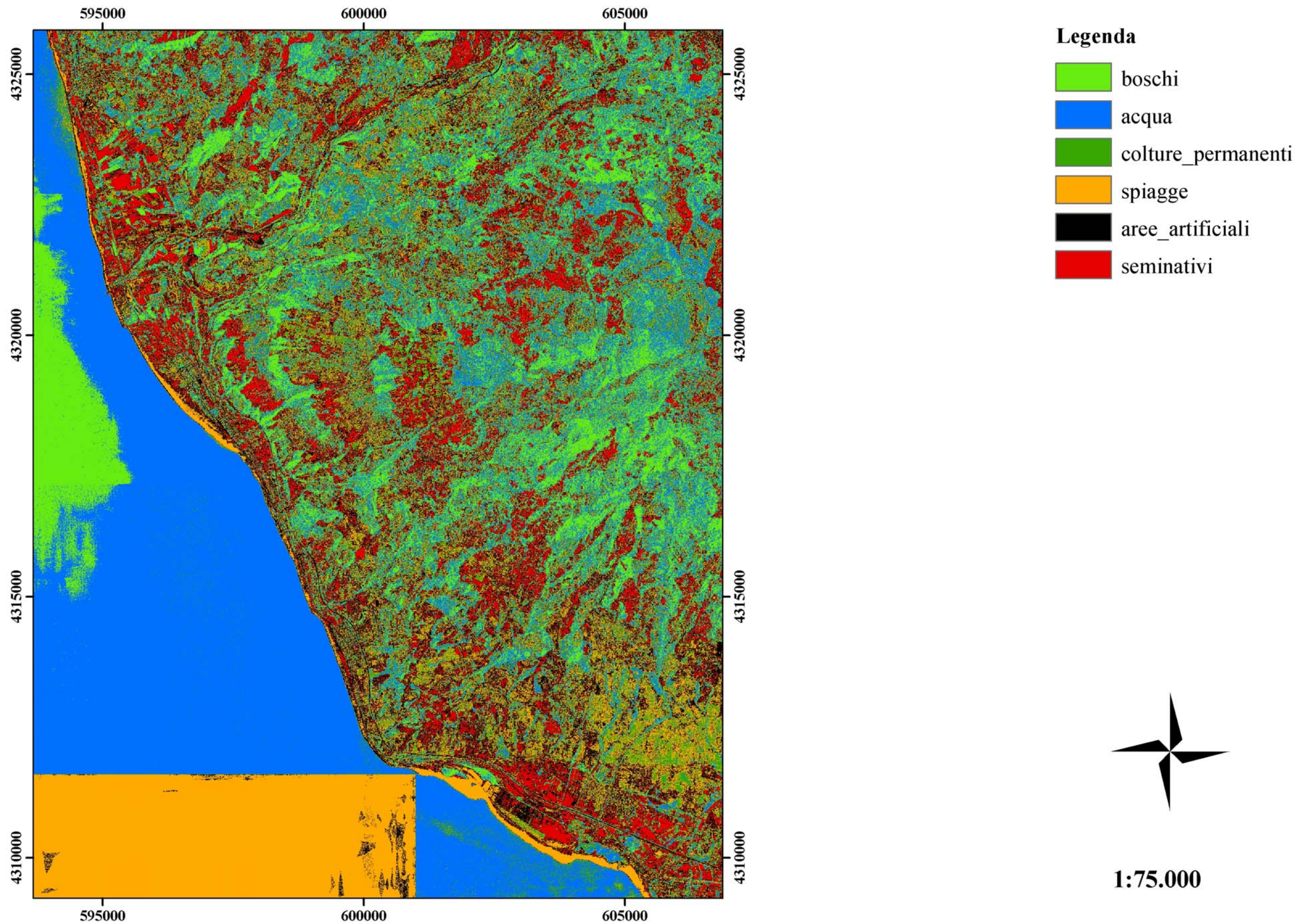


1:60.000

*Tavola 5 : immagine Ikonos (UTM/WGS 84) di una porzione della Calabria tirrenica.*



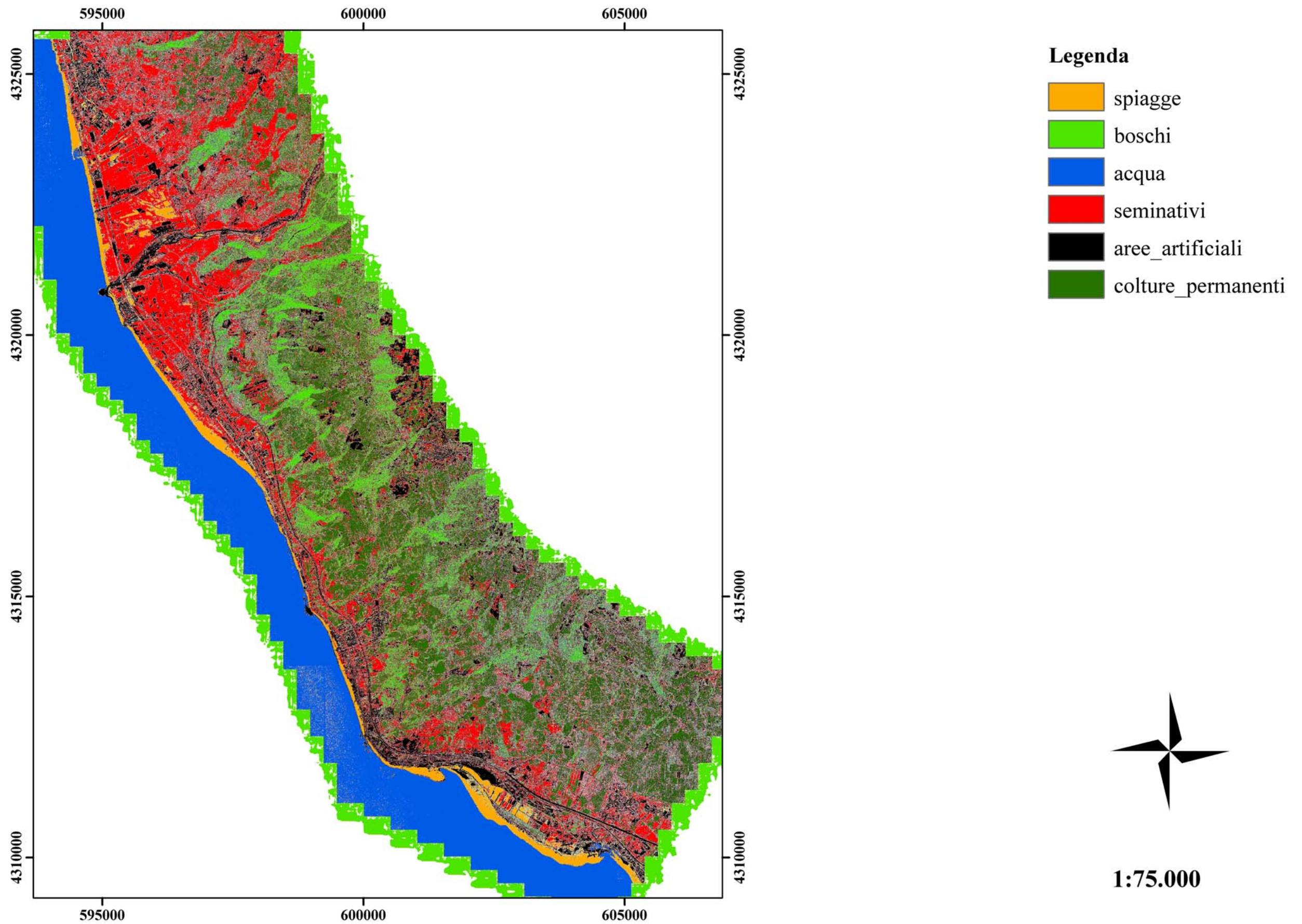
## Carta di copertura del suolo



**Tavola 6:** carta di copertura del suolo ricavata dalla classificazione dell'ortofoto e filtrata con il comando Majority Filter.



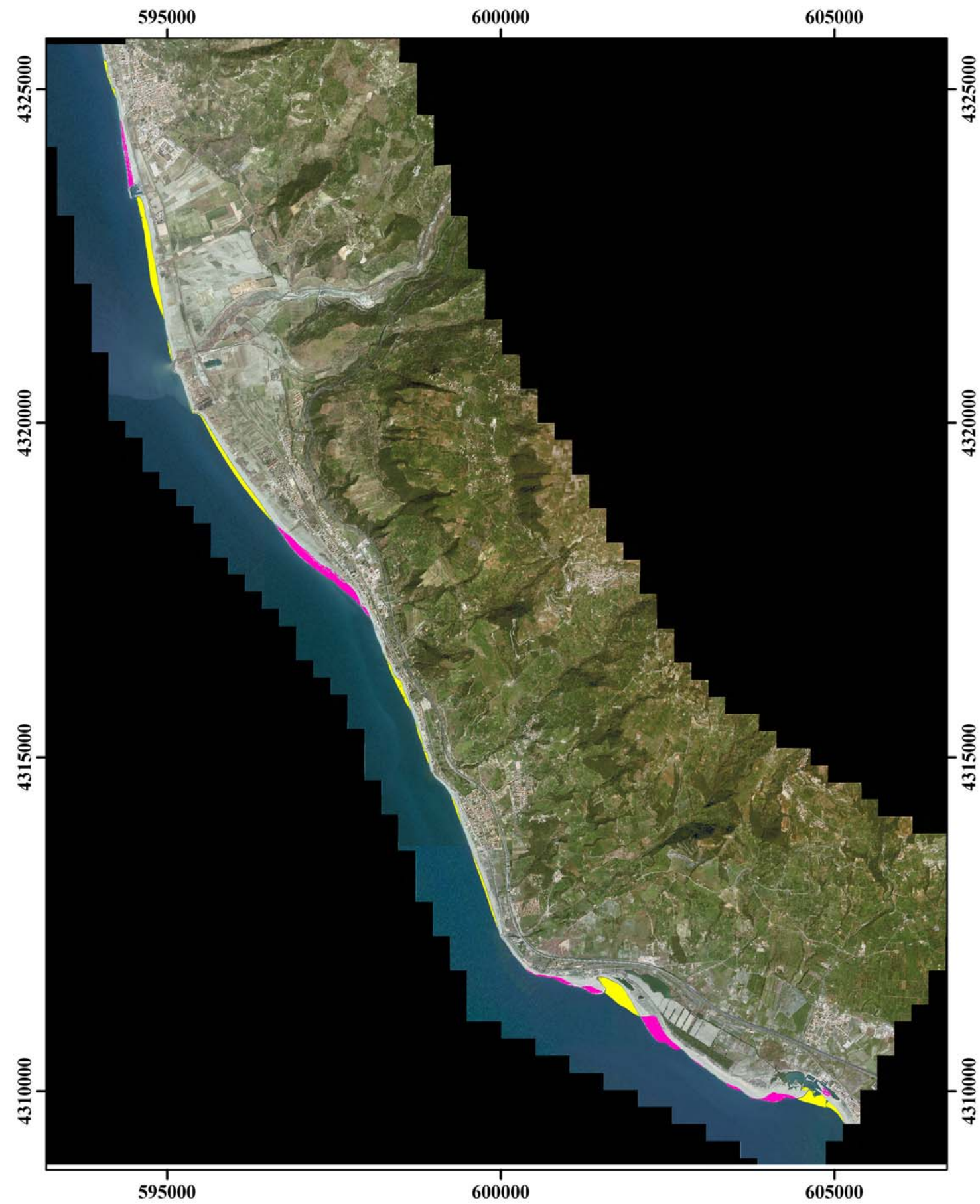
## Carta di copertura del suolo



**Tavola 7:** carta di copertura del suolo ricavata dalla classificazione dell'immagine Ikonos filtrata con il comando Majority Filter.



# Dinamica del litorale



## Legenda

- pol. arretramento
- pol. avanzamento



1:75.000

Tavola 8: poligoni delle spiagge in arretramento ed avanzamento.