



MEV-CSU

MEtodologie avanzate per la Valutazione del Consumo di SUolo connesso ai processi di sviluppo del sistema insediativo, relazionale e naturalistico ambientale della Regione Basilicata.

WP3 - Analisi di Land Use e Land Cover Change 05/08/2021

Obiettivi: Implementazione di un database di mappe dell'uso del suolo fondata su una robusta analisi dei trend passati, analizzati mediante land cover change detection operate su dati telerilevati. Questa banca dati consente di individuare delle tendenze in atto sul territorio e di valutare la sostenibilità delle scelte della pianificazione, consentendo di individuare la migliore alternativa di piano possibile nell'ottica di una riduzione del consumo di suolo. Quest'ultimo aspetto è particolarmente interessante se si considera il clima di crescente attenzione sviluppatosi intorno al tema negli ultimi anni, sia da parte della comunità scientifica che da parte dei decisori politici. Con il supporto del gruppo operativo della Scuola di Agraria (SAFE) saranno anche identificate e definite le determinanti dei cambiamenti accorsi ed in atto, con specifico riferimento alla porzione agricola e naturale.

Responsabile: Consiglio Nazionale delle Ricerche-IMAA; Scuola di Ingegneria - Università Basilicata; Scuola di Scienze Agrarie, Forestali Alimentari ed Ambientali SAFE - Università Basilicata; FARBAS

Consiglio Nazionale delle Ricerche:
Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale

Gruppo di Lavoro CNR IMAA:
Dr. Gabriele Nolè, Dr. Antonio Lanorte, Biagio Tucci, Valentina Santarsiero, Giuseppe Cillis

Farbas (Fondazione Ambiente Ricerca Basilicata)

Keywords: land cover, change detection, GIS, Telerilevamento

INTRODUZIONE	3
Fonti per i dati sull'uso/copertura del suolo	4
Il tema degli Open Data per LULC	6
PARTE I - APPROCCIO A SCALA REGIONALE CON DATASET DISPONIBILI ONLINE	7
1. MATERIALI E METODI	8
1.1. AREA DI STUDIO	8
1.2. DATASET E STRUMENTI	9
1.2.1. Land Monitoring Service: CORINE LAND COVER	9
1.2.2 Land Monitoring Service: HIGH RESOLUTION LAYERS GRASSLANDS	11
1.2.3. Carta della Natura ISPRA	11
1.2.4. Dataset MODIS	12
2. ANALISI DEI CAMBIAMENTI DI COPERTURA DEL SUOLO CON DATASET LAND MONITORING SERVICE DI COPERNICUS	16
2.1. CAMBIAMENTI DI COPERTURA DEL SUOLO UTILIZZANDO CLC1990-2018	24
3. DINAMICHE DI TRASFORMAZIONE DELLE PRATERIE PER IL PERIODO 2015-2018	32
4. ANALISI DEI DATI OPEN PROCESSATI CON MODIS	34
5. DISCUSSIONE	39
PARTE II - APPROCCIO A SCALA LOCALE E METODOLOGIE INNOVATIVE PER LA CLASSIFICAZIONE DELLA COPERTURA DEL SUOLO	40
1. CASO DI STUDIO "PARCO REGIONALE GALLIPOLI COGNATO PICCOLE DOLOMITI LUCANE	41
1.1. AREA DI STUDIO	41
1.2. DATASET E STRUMENTI	42
1.3. ANALISI DELLA COPERTURA DEL SUOLO 1990-2018	44
2. METODOLOGIE AVANZATE DI CLASSIFICAZIONE PER MIGLIORARE I DATABASE LUCL DELLA BASILICATA	48
2.1 L'UTILIZZO DELLA PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS e DELLA CLASSIFICAZIONE NON SUPERVISIONATA	48
2.1.1. Analisi di tessitura	48
2.1.2. Principal Component Analysis	49
2.1.3. Classificazione non supervisionata	51
2.2. RISULTATI	51
3. DISCUSSIONE	53
CONCLUSIONI	54
BIBLIOGRAFIA	55

INTRODUZIONE

Il punto di partenza di qualsiasi studio territoriale e paesaggistico si basa sui dati di copertura e/o uso del suolo.

I termini "copertura del suolo" e "uso del suolo" sono spesso usati erroneamente come sinonimi (Fisher et al., 2005). Secondo la FAO (1998, FAO; UNEP, 1999), la copertura del suolo è la parte di superficie del globo definita nello spazio e riconosciuta in termini di caratteristiche e proprietà incluse dalle caratteristiche della biosfera, che sono ragionevolmente immutabili o ciclicamente prevedibili. Queste caratteristiche includono: aria, suolo, substrato geologico, orografia, idrologia e i risultati delle interazioni con l'attività umana. Comber et al. (Comber et al., 2005) sottolineano che il termine è stato ampliato per includere strutture antropiche come edifici o aree impermeabilizzate.

L'uso del suolo, d'altra parte, può essere interpretato come il modo in cui lo spazio è occupato dalla società umana cioè legato l'attività umana direttamente collegata allo sfruttamento del terreno e l'utilizzo che ne viene fatto dalla popolazione (Lambin et al., 2000). È costituito da attività antropiche legate a un'area di territorio, con l'intenzione di ottenere prodotti e benefici. In altre parole, si riferisce a funzioni socio-economiche; ad esempio, agricoltura, abitazioni, aree di protezione ambientale (Heymann et al., 1994). In breve, la copertura del suolo è "la copertura fisica e biologica osservata del suolo terrestre, come vegetazione o elementi artificiali". Al contrario, l'uso del suolo è "l'insieme delle disposizioni, delle attività e degli input che le persone svolgono in un certo tipo di copertura del suolo".

Le informazioni sull'uso del suolo (LU) e sulla copertura del suolo (LC) sono un potente strumento per vari studi e analisi, come la misurazione degli impatti fisici e ambientali, la determinazione degli indici relativi al benessere, la valutazione dell'impatto umano, il monitoraggio degli habitat e dei relativi servizi ecosistemici, i cambiamenti del paesaggio ecc... (Turner et al., 1995). Dati aggiornati sulla caratterizzazione del territorio e la sua distribuzione sono essenziali per una gestione efficiente delle risorse agricole e forestali in quanto la loro relazione contribuisce al individuare il collegamento tra l'ambiente fisico e quello socioeconomico. Infatti i dati LULC sono essenziali negli studi ambientali, nel processo decisionale, nella pianificazione e progettazione del territorio e nella definizione delle politiche di gestione delle risorse naturali (Wright, 1982). Questi dati di copertura del suolo possono essere utilizzati come input per una varietà di modelli (meteorologici, ecologici, biochimici, economici, idrologici, ecc.) per monitorare la biodiversità, eseguire modelli climatici e valutare i cambiamenti ambientali come la deforestazione, la desertificazione e l'espansione urbana. Inoltre, le mappe LC sono uno dei più potenti prodotti geospaziali in grado di misurare i 17 indicatori del Sustainable Development Goals (SDGs), definiti nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (United Nations, 2015).

Lo studio delle dinamiche territoriali e paesaggistiche si basa principalmente su geodati dell'uso e la copertura del suolo provenienti da diverse fonti e tecniche di inventario. Infatti, ogni tipologia ha una scala di utilizzabilità che è bene conoscere prima di utilizzarli nelle proprie indagini. Infatti, i dati sono spesso selezionati senza considerare esplicitamente l'idoneità per l'applicazione specifica, le distorsioni derivanti dall'inventario e dall'aggregazione dei dati e gli effetti dell'incertezza dei dati sui risultati della valutazione.

Pur riconoscendo le differenze nelle fonti dei dati e le cause delle incongruenze, sono stati sviluppati diversi metodi per estrarre in modo ottimale le informazioni e registrare le incertezze. Questi metodi, come indicato, includono l'integrazione dei dati, il miglioramento delle tecniche di convalida e l'armonizzazione dei sistemi di classificazione. Per alcuni tipi di dati, compresi quelli usati su scala globale, vengono prodotte raccomandazioni sull'uso. Per esempio, queste includono: una migliore documentazione sui sistemi di classificazione per l'uso del suolo e i dati di copertura; un'attenta selezione dei dati in funzione dell'applicazione specifica e l'uso di metodi di scalatura e aggregazione appropriati. Inoltre, la disponibilità dei dati può essere migliorata combinando diverse fonti di dati per ottimizzare il contenuto delle informazioni, mentre la raccolta di dati aggiuntivi dovrebbe concentrarsi sulla convalida dei set di dati disponibili e su una migliore copertura delle regioni e dei tipi di copertura del suolo con un alto livello di incertezza. In questo tipo d'indagini, la registrazione appropriata del tipo di copertura/uso dei dati dovrebbe seguire un sistema di classificazione standard, al fine di facilitare la fotointerpretazione e l'analisi comparativa. Queste linee guida, proposte da Verburg et al., (2011), rappresentano le azioni preliminari che dovrebbero essere implementate in primo luogo a qualsiasi studio territoriale e paesaggistico, sia a scala locale che globale. Inoltre, si deve adottare la scala più compatibile con il livello di dettaglio a cui si vuole arrivare.

Ma se a scala globale sono disponibili molti dati, a scala locale e per studi dettagliati è spesso necessario creare i propri dataset a una scala di dettaglio maggiore partendo da diversi tipi di cartografia o di plottaggio dati. Nel caso d'indagini dettagliate, come le mappe a livello locale, il rilevamento si basa di solito su fotografie aeree, ortofoto, immagini satellitari, e talvolta sul lavoro sul campo (Veldkamp et al., 2001).

Fonti per i dati sull'uso/copertura del suolo

I dati di copertura del suolo più utilizzati sono quelli ottenuti attraverso il telerilevamento e in particolare quelli raccolti da fotografie aeree, veicoli aerei senza equipaggio (UAV) e satelliti. Il telerilevamento si basa sulla rifrazione di una radiazione a una certa lunghezza d'onda. Questa rifrazione è legata alla copertura della superficie terrestre ma non sempre rivela la destinazione d'uso del terreno. Un esempio può essere quello legata alla copertura forestale. Attraverso il telerilevamento è possibile individuarlo molto semplicemente ma è quasi impossibile capire se quella foresta è utilizzata per pascolo o meno. Tuttavia, la copertura del suolo in combinazione con strutture spaziali e attributi aggiuntivi può, in una certa misura, permettere di derivare l'uso del suolo.

Ma per recuperare i dati di copertura del suolo che possono essere utilizzati all'interno dei vari software, è necessario interpretare queste immagini. Per l'interpretazione e l'estrazione dei dati di telerilevamento, c'è una grande varietà di approcci che vanno dal completamente automatizzato, al semi-automatico, alla semplice interpretazione visiva (Richards et al., 2006). Gli approcci completamente automatizzati, cioè l'elaborazione dei dati dalle immagini utilizzando algoritmi di apprendimento automatico, hanno il vantaggio di un'elaborazione veloce che permette un'alta risoluzione temporale e la replica, che è particolarmente utile, per esempio, per monitorare la rapida deforestazione su scala globale (Asner et al., 2009). Le tecniche di classificazione supervisionata e l'interpretazione visiva permettono

l'integrazione di conoscenze specialistiche, aree di esempio, osservazioni sul campo e modellazione (Siren et al., 2009), ma introducono anche un elemento di soggettività che rende le interpretazioni dipendenti dall'utente (Foody, 2002). Questo, soprattutto per l'interpretazione manuale, può causare problemi di replica e quindi modificare il rilievo, ma in alcuni casi, come per le mappe storiche, la classificazione ad un livello di dettaglio molto elevato e in ambito professionale e di pianificazione, rappresenta una metodologia ampiamente utilizzata. Sicuramente l'integrazione delle diverse metodologie permette di compensare gli errori e gli svantaggi di ogni tecnica e permette una classificazione più accurata.

Oltre alla rilevazione telerilevata della copertura e dell'uso del suolo, meno utilizzata ma altrettanto importante, è possibile recuperare geodati da mappe topografiche o basate su indagini sul campo (Wagle et al., 2020), dati censuari (Aalders et al., 2006) o tutto ciò che rientra nel campo della cartografia storica (Tortora et al., 2005). Le mappe più utilizzate sono quelle topografiche che, negli ultimi due secoli, sono state realizzate per scopi militari o di governo del territorio regionale da diverse agenzie e organizzazioni militari nazionali. Queste mappe topografiche mostrano dettagli planimetrici e altimetrici geolocalizzati, cioè la rappresentazione bidimensionale dei rilievi tramite le curve di livello. Queste mappe rappresentano il rilievo dettagliato del terreno in associazione con varie informazioni relative ai corpi idrici (laghi e corsi d'acqua e aree di deflusso), copertura forestale, aree amministrative, rete stradale ed edifici, e altre caratteristiche artificiali. Anche le informazioni testuali (in particolare i nomi dei luoghi) hanno una notevole importanza nello studio e nella ricostruzione del paesaggio. Queste mappe sono un'importante fonte primaria di informazioni per qualsiasi inventario, pianificazione e implementazione di progetti di sviluppo legati al territorio, poiché possiedono un'ampia varietà di informazioni. Infatti, da esse si possono fare mappe derivate/amministrative, mappe tematiche e mappe delle risorse terrestri e mappe a grande scala sono necessarie per lo sviluppo, l'amministrazione e le statistiche a livello nazionale.

I dati dei censimenti e delle indagini sono un'altra fonte di dati sulla copertura e l'uso del suolo comunemente usata. In particolare, molti paesi e organizzazioni internazionali raccolgono informazioni statistiche sui tipi di uso del suolo agricolo come parte di un censimento agricolo. Oltre alle superfici coltivate, a volte includono informazioni di gestione come l'irrigazione, i tassi di applicazione dei fertilizzanti, le rese delle colture, le statistiche forestali e i parametri economici. Pertanto, le informazioni dei censimenti sono molto adatte a fornire informazioni sull'uso del suolo che non possono mai essere raccolte attraverso il telerilevamento. Tuttavia, la maggior parte dei dati del censimento si concentra sui settori economici, e le informazioni ecologiche spesso non sono incluse. Inoltre, i dati sono spesso aggregati a livello di unità amministrative, mentre i dati originali non sono disponibili a causa della legislazione sulla privacy.

Di grande interesse sono le mappe partecipative come possono essere quelle di OpenStreetMap (Larrain et al., 2019). Infine anche le mappe catastali (Kain, 2010), con molte differenze da paese a paese, possono fornire informazioni utili per lo studio del paesaggio e del territorio.

Tutti i tipi di fonti di dati di copertura e uso del suolo hanno aspetti positivi e negativi, quindi è importante per chi si occupa di studi del territorio e del paesaggio conoscere tutte le caratteristiche per trovare il modo d'integrare quello positivo e minimizzare gli errori. Attualmente, la concessione e l'utilizzo di questi dati è passata da un sistema a pagamento o di consultazione temporanea con enti pubblici, a un sistema quasi esclusivamente libero e/o aperto, grazie all'evoluzione della legislazione e grazie alla digitalizzazione delle informazioni

che possono essere facilmente veicolate da sistemi informatici via web. In particolare, lo stato attuale conferma che l'apertura ha cambiato il modo in cui i dati geospaziali vengono raccolti, elaborati, analizzati e visualizzati e questo ha avuto un impatto positivo anche sulle analisi spaziali e paesaggistiche.

Il tema degli Open Data per LULC

La "Open Definition" (2019) descrive la conoscenza "aperta" come: "se qualcuno è libero di accedervi, usarla, modificarla e condividerla - soggetto, al massimo, a misure che preservano la provenienza e la penality". Questa definizione, derivata dalla Open Source Definition (2019) che è specifica per i software, introduce l'idea di un bene comune basato sull'accesso alle informazioni di cui tutti possono beneficiare. Non c'è dubbio che il dominio geospaziale abbia il potenziale per giocare un ruolo importante nella realizzazione di questa rivoluzione digitale aperta, dato che ogni giorno vengono prodotti sempre più dati georeferenziati - ad esempio da sensori o dai cittadini (Foody et al., 2017) - e la tecnologia geospaziale è diventata una tendenza dominante in una moltitudine di questioni. È possibile identificare tre tipi di dati aperti (Coetzee et al., 2020). Quelli di maggior interesse sono i dati scientifici aperti in cui i risultati della ricerca sono condivisi per incoraggiare la verifica dei risultati della ricerca stessa e/o l'integrazione dei risultati per produrne di nuovi.

Concentrandosi sull'ultimo tipo di dati aperti, questi permettono ad altri di verificare, confermare o rifiutare le affermazioni scientifiche. Questo è garantito quando la scienza è intesa come un'impresa aperta, dove i dati scientifici sono aperti e liberamente accessibili, le università sostengono e premiano la pubblicazione di dati aperti e la comunità richiede un accesso aperto e pubblico ai dati e ai metodi scientifici. Diverse riviste scientifiche promuovono il paradigma della scienza come impresa aperta e confermano il nuovo standard di produzione di dati scientifici aperti. Ad esempio, nel gennaio 2019, le riviste Nature e Scientific Data hanno approvato l'iniziativa di abilitare i dati FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) nelle scienze della terra, dello spazio e dell'ambiente. Ciò significa che le pubblicazioni saranno pubblicate in queste riviste solo quando il relativo materiale supplementare è sottoposto a un archivio di dati scientifici aperti e FAIR. Inoltre, le amministrazioni governative stanno creando infrastrutture per la condivisione dei dati scientifici (Stall et al., 2019; ScienceBase, 2020).

Nel campo del paesaggio, dell'ambiente e dello studio del territorio, i dati liberi e/o aperti sono essenziali per realizzare studi multidisciplinari e multitemporali.

Le immagini satellitari gratuite come Landsat, MODIS o Sentinel, sono sempre più utilizzate anche perché offrono una vasta gamma di opzioni e possibili applicazioni. Inoltre, il fatto di fornire costantemente immagini con la stessa risoluzione spaziale e temporale garantisce elaborazioni standard molto rilevanti negli studi territoriali ed ecologici (Turner et al., 2015). Ma i dati liberamente accessibili possono anche essere ortofoto, cartografie, foto aeree o anche dati in formato vettoriale tematico. La loro disponibilità e il loro livello di "apertura" dipende da paese a paese. In Italia, ad esempio, è possibile utilizzare alcuni geodati liberamente disponibili dal Geoportale Nazionale (PCN, 2020) o quelli forniti dalle singole regioni. Per la Regione Basilicata (RSDI, 2020), è disponibile uno dei più innovativi geoportali a livello nazionale, dove una moltitudine di geodati sono forniti in un formato totalmente aperto e con una specifica "Italian Open Data License v2.0" (IODL, 2020).

Questa licenza open data consente (solo citando la fonte) agli utenti: di riprodurre, distribuire al pubblico, noleggiare, mostrare in pubblico, trasmettere e ritrasmettere in qualsiasi modo, eseguire, rappresentare, includere in opere collettive e/o composte pubblicare, estrarre e riutilizzare le informazioni, creare un'opera derivata ed esercitare su questa i diritti di cui al punto precedente, ad esempio tramite combinazione con altre informazioni (mashup). A livello europeo invece è possibile usufruire dei dataset messi a disposizione dal Land Monitoring Service di Copernicus di cui si parlerà in dettaglio nei paragrafi successivi.

Fatto questa valutazione dello stato dell'arte e delle questioni che riguardano i temi del LU e del LC, in questo WP verranno implementati database di mappe dell'uso/copertura del suolo e dei trend passati, analizzati mediante land cover change detection operate su dati basati sul telerilevamento con l'obiettivo di individuare delle tendenze in atto sul territorio e di valutare la sostenibilità delle scelte della pianificazione in un'ottica di riduzione del consumo di suolo e riduzione della land degradation.

Il lavoro svolto in questo WP è suddiviso in due parti:

1- PARTE I - APPROCCIO A SCALA REGIONALE CON DATASET DISPONIBILI ONLINE

Sfruttando alcuni dataset liberamente disponibili online, sono state realizzate mappe di copertura del suolo, di cambiamenti di copertura del suolo 1990/2018 e mappatura di alcune dinamiche legate a specifiche classi di copertura del suolo (praterie). Inoltre sono stati utilizzati alcuni layer realizzati a partire da MODIS. L'area di studio scelta è quella della Regione Basilicata.

2- PARTE II - APPROCCIO A SCALA LOCALE E METODOLOGIE INNOVATIVE PER LA CLASSIFICAZIONE DELLA COPERTURA DEL SUOLO

L'approccio a scala locale consente di determinare con maggior dettaglio le dinamiche che si manifestano sul territorio, di migliorare la metodologia e di mettere a punto strategie di pianificazione territoriale più oculate. Inoltre il miglioramento delle metodologie permette di applicare nuove forme di classificazioni accurate anche ad aree molto vaste e quindi migliorare i dataset presenti online.

Tutte le operazioni spaziali e statistiche sono state realizzate con il software QGIS.

PARTE I - APPROCCIO A SCALA REGIONALE CON DATASET DISPONIBILI ONLINE

1. MATERIALI E METODI

1.1. AREA DI STUDIO

L'area di studio (Figura 1) corrisponde ai confini della Regione Basilicata. Copre una superficie di 1007332 ettari ed è la penultima regione italiana per densità abitativa (circa 55 abitanti/km²) ma rappresenta la prima regione italiana con maggiore rapporto tra superficie protetta per abitanti.

La Basilicata presenta un territorio classificato in gran parte nelle zone altimetriche di montagna e collina (47% e 45% rispettivamente). Solo a Est, nel breve tratto di costa sul mar Ionio, vi è la più vasta zona pianeggiante della regione (8%).

Dal punto di vista orografico, a sud dell'area vulcanica del Vulture inizia la zona Appenninica, al cui interno ricadono alcuni dei massicci più elevati di tutto l'Appennino meridionale e si divide in cinque gruppi distinti.

Tutto il versante orientale è occupato dall'area collinare che, a causa della costituzione geolitica dei suoli, subisce continue modificazioni dovute a fenomeni erosivi ad aree calanchive prive o quasi di vegetazione. Le aree pianeggianti, sono individuabili prevalentemente nella pianura Metapontina nel sud-est, originatasi dal continuo accumulo di materiale eroso trasportato a valle dai fiumi.

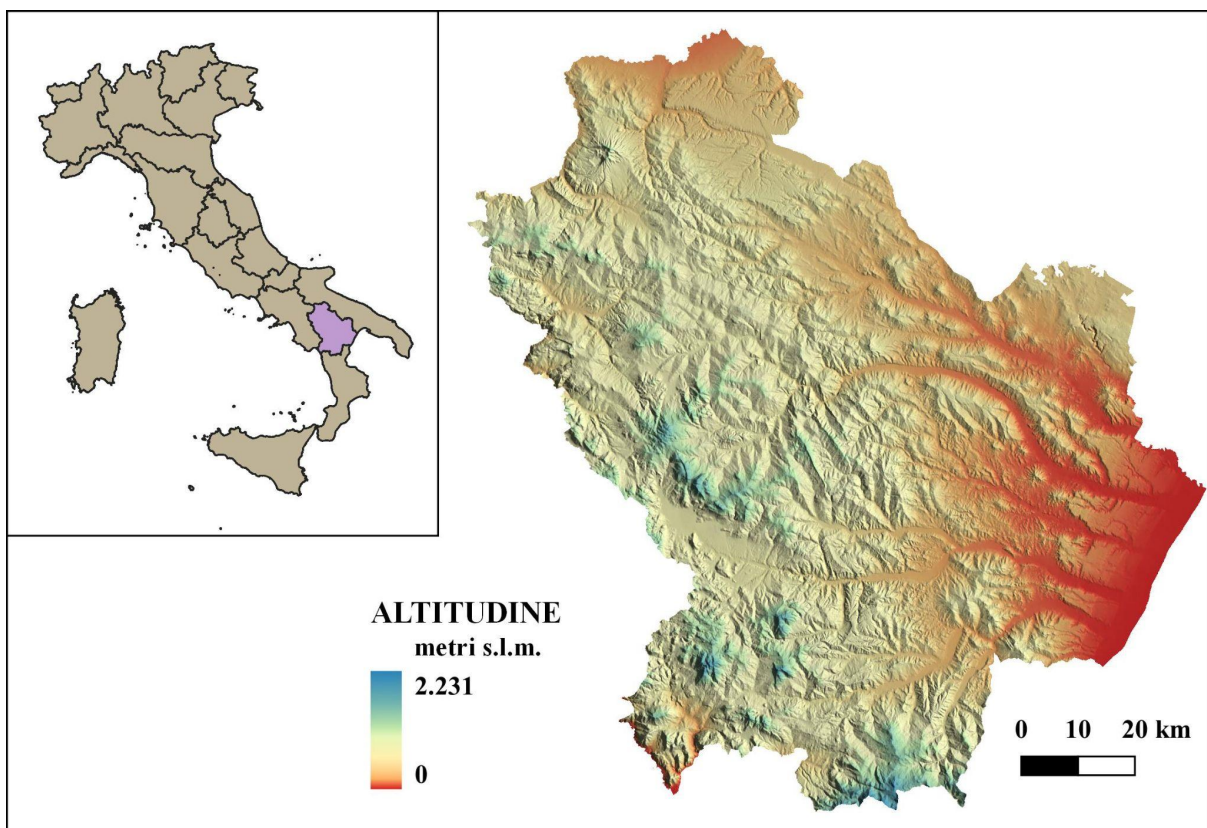


Figura 1: Localizzazione della Regione Basilicata e tematizzazione dell'altitudine.

Da un punto di vista biogeografico, l'intera regione rientra nell'area mediterranea ed è presente una variabilità climatica determinata dall'estrema variabilità orografica e morfologica del territorio. Infatti l'area occidentale presenta dalle caratteristiche climatiche

oceaniche / sub-oceaniche con valori di precipitazione superiori ai 1500 mm di pioggia annua che scende quasi a 300mm andando verso le aree interne e orientali che presentano delle caratteristiche continentali con aree classificabili anche come sub-aride.

L'attuale configurazione territoriale può essere ricondotta alla presenza di differenti domini paleogeografici la cui evoluzione geologica e geodinamica, registrata a partire dal triassico e proseguita in maniera discontinua sino ai nostri giorni, ha contribuito alla forte differenziazione del paesaggio, rendendolo un unicum nell'ambito dell'intera catena appenninica.

Questa enorme varietà geomorfologica e climatica ha determinato la creazione di una importante diversificazione degli ecosistemi sia in termini di specie che di habitat infatti è possibile trovare sia habitat costieri che sub-alpini nel raggio di pochi chilometri di distanza. Anche le foreste risentono di questa diversità anche se sono poche le aree in cui sono riscontrabili foreste con caratteri di vetustà. L'elevata biodiversità e la bassa pressione antropica (tranne che in poche aree industriali) rendono la regione Basilicata un hotspot per la biodiversità mediterranea.

1.2. DATASET E STRUMENTI

L'utilizzo di nuove tecnologie e l'integrazione dei diversi dataset di dati territoriali, offrono la possibilità di studiare e monitorare l'evoluzione del territorio a una ampia scala temporale e spaziale. L'efficienza sempre maggiore delle tecniche di analisi e l'interoperabilità dei diversi dati, rappresentano un punto di forza per il pianificatore in termini di definizione di piani e strategie coerenti con le reali esigenze e problematiche ambientali. L'intera procedura è stata realizzata con software open source QGIS e relativi plugins. QGIS è un software GIS (Geographic Information System) che permette di analizzare ed editare dati spaziali e supportare sia dati vettoriali che raster; inoltre, integra al suo interno altri algoritmi di processing di altri software open source come GRASS GIS e SAGA GIS. In questo lavoro, gli strumenti utilizzati sono tutti open source e le analisi spaziali effettuate hanno riguardato l'uso contemporaneo di diverse tipologie di dati *free of charge*. Questo permette di adottare le stesse tecniche in altri contesti territoriali. I risultati ottenuti sono disponibili sul sito MEV CSU (<https://sites.google.com/unibas.it/mevcsu>).

Di seguito vengono elencati e descritti i dati utilizzati in questa prima parte del report.

1.2.1. Land Monitoring Service: CORINE LAND COVER

Come riportato nel sito ufficiale (Copernicus Land Monitoring Service, 2021), la prima strutturazione del progetto CORINE Land Cover (CLC) risale al 1985 (anno di riferimento 1990). Gli aggiornamenti sono stati prodotti nel 2000, 2006, 2012 e 2018. Consiste in un inventario della copertura del suolo in 44 classi. CLC utilizza un'unità minima di mappatura (MMU) di 25 ettari (ha) per i fenomeni areali e una larghezza minima di 100 m per i fenomeni lineari. Le serie temporali sono completate da *changes layers*, che evidenziano i

cambiamenti nella copertura del suolo con una MMU di 5 ettari. MMU diverse significano che il *change layer* ha una risoluzione maggiore rispetto al layer di partenza. A causa delle differenze nelle MMU, la differenza tra due layer di partenza non sarà uguale al corrispondente layer CLC-Changes.

La rete Eionet National Reference Centres Land Cover (NRC/LC) produce i database nazionali CLC, che sono coordinati e integrati dall'EEA. Il CLC è prodotto dalla maggior parte dei paesi attraverso l'interpretazione visiva di immagini satellitari ad alta risoluzione. In alcuni paesi vengono applicate soluzioni semi-automatiche, utilizzando dati nazionali in situ, elaborazione di immagini satellitari, integrazione e generalizzazione GIS. La versione 2012 del CLC è stata la prima a incorporare le serie temporali del CLC nel programma Copernicus, garantendo così un finanziamento sostenibile per il futuro. La versione 2018, anch'essa finanziata da Copernicus, è stata prodotta in meno di 1 anno.

La CLC ha una grande varietà di applicazioni, a sostegno di varie politiche comunitarie nei settori dell'ambiente, ma anche dell'agricoltura, dei trasporti, della pianificazione territoriale, ecc.

Tabella 1: Caratteristiche dei singoli CLC forniti dal servizio Land Monitoring Serveci. Fonte: rielaborazione tabella ufficiale

	CLC1990	CLC2000	CLC2006	CLC2012	CLC2018
Dato satellitare	Landsat-5 MSS/TM (data singola)	Landsat-7 ETM (data singola)	SPOT-4/5 e IRS P6 LISS III (doppia data)	IRS P6 LISS III e RapidEye (doppia data)	Sentinel-2 and Landsat-8 per riempire i gaps
Consistenza temporale	1986-1998	2000 +/- 1 anno	2006 +/- 1 anno	2011/2012	2017-2018
Accuratezza geometrica (Satellite)	≤ 50 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 25 m	≤ 10 m
Unità minima di mappatura	25 ha / 100m	25 ha / 100m	25 ha / 100m	25 ha / 100m	25 ha / 100m
Accuratezza geometrica CLC	100 m	migliore di 100 m	migliore di 100 m	migliore di 100 m	migliore di 100 m
Accuratezza tematica CLC	≥ 85% (probably not achieved)	≥ 85%	≥ 85%	≥ 85%	≥ 85%
Mappatura cambiamenti	Non realizzata	spostamento di confine min.100 m; area di cambiamento per poligoni esistenti ≥ 5 ha; per cambiamenti isolati ≥ 25 ha	spostamento di confine min.100 m; mappati tutti i cambiamenti >= 5ha	spostamento di confine min.100 m; mappati tutti i cambiamenti >= 5ha	spostamento di confine min.100 m; mappati tutti i cambiamenti >= 5ha
Metadati	Incompleti	Standard	Standard	Standard	Standard
Accesso ai dati	politica di divulgazione poco chiara	politica di divulgazione concordata fin dall'inizio	Accesso libero per tutti gli utenti	Accesso libero per tutti gli utenti	Accesso libero per tutti gli utenti

I dati vengono forniti in formato vettoriale o raster per l'intera Europa.

1.2.2. Land Monitoring Service: HIGH RESOLUTION LAYERS GRASSLANDS

I Pan-European High Resolution Layers (HRL) forniscono informazioni su specifiche caratteristiche di copertura del suolo e sono complementari alla mappatura della copertura/uso del suolo dei dataset CORINE land cover (CLC). Gli HRL sono ottenuti da immagini satellitari attraverso una combinazione automatica e classificazione interattiva basata su regole specifiche. Dall'anno di riferimento 2015, la produzione viene ottenuta da serie temporali d'immagini satellitari da sensori diversi, compresa la combinazione di dati ottici e radar. Le fonti principali sono ora (dall'anno di riferimento 2018) i satelliti Sentinel (in particolare Sentinel-2 e Sentinel-1). Dal 2018, i prodotti hanno aumentato la risoluzione a 10 metri, seguendo così la risoluzione della fonte delle immagini Sentinel-2.

Uno dei 5 HRL è quello relativo alle prati (Grasslands) i quali sono stati mappati al 2015 ed al 2018 fornendo anche il layer dei cambiamenti (<https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/hrl-grassland-technical-document-product-2015>).

Lo strato informativo definisce le praterie come:

- vegetazione erbacea con almeno il 30% di copertura del suolo, di cui almeno il 30% di graminoidi (specie come Poaceae, Cyperaceae e Juncaceae);
- può includere ulteriori piante non legnose come licheni, muschi e felci;
- possono essere presenti alberi e arbusti sparsi che coprono al massimo il 10%.

Come da report tecnico, sono inclusi in questo strato informativo:

- Superfici naturali, seminaturali, agricole / gestite ricoperte di erba;
- Praterie con alberi e arbusti sparsi che coprono al massimo il 10 %;
- Brughiere con alta copertura erbosa, massimo 10 % di copertura non erbosa;
- Praterie costiere, come dune grigie e prati salati situati in zone piane intertidali con almeno il 30 % di copertura vegetale di specie graminoidi;
- Praterie scarsamente vegetate (> 30% di copertura vegetale - vedi commento qui sotto);
- Praterie in aree urbane: parchi, spazi verdi urbani in aree residenziali e industriali;
- Steppe semi-aride con macchia di Artemisia sparsa;
- Prati: prati che non sono regolarmente pascolati dal bestiame domestico, ma piuttosto lasciati crescere senza controllo per produrre fieno;
- Praterie in aree urbane: campi sportivi, campi da golf;
- Praterie su terreni inutilizzati;
- Praterie naturali su siti militari;

1.2.3. Carta della Natura ISPRA

Il Progetto Carta della Natura del 2013 in scala 1:50.000, in formato liberamente consultabile dalla repository ISPRA sotto forma di shapefile, è nato per conoscere e rappresentare a diverse scale la tipologia e la distribuzione degli ecosistemi terrestri italiani su tutto il territorio nazionale, dentro e fuori le aree naturali già protette. A livello regionale e locale

sono stati cartografati gli habitat secondo la nomenclatura standard della CORINE Biotopes attraverso fotointerpretazione e rilievo in campo. Inoltre, nel dataset sono presenti ulteriori informazioni che possono tornare utili per valutazioni di carattere ecologico.

La Carta della Natura, qui solamente riportata in maniera descrittiva, è stata sfruttata per realizzare la mappatura di dettaglio dei seminativi e delle aree con vegetazione post-culturale per le metodologie implementate nel WP4 (<https://sites.google.com/unibas.it/mev-csu/land-degradation?authuser=0>).

L'utilizzo di questo database per la copertura del suolo presenta delle problematiche in quanto è stata realizzata 8 anni fa. Ma considerato il livello di dettaglio delle classi, la mancanza di dataset liberamente disponibili con la stessa accuratezza e presupponendo che le trasformazioni avvenute dal 2013 al 2021 non siano molto nette, si è deciso di comunque di utilizzarla tenendo ben presente, appunto, i margini di errore che possono esserci. Per i risultati e le elaborazioni, far riferimento a quanto prodotto all'interno del WP4.

1.2.4. Dataset MODIS

MODIS è la prima missione della NASA a fornire una copertura globale giornaliera a una risoluzione variabile a partire da 250 metri. L'acronimo MODIS **Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer** è formato da due satelliti Terra e Acqua. I satelliti sono composti da un sensore multispettrale a 36 bande (Tabella 2) e forniscono le immagini di tutta la superficie terrestre ogni 1 e 2 giorni a diverse risoluzioni spaziali 250 m, 500 m, 1 km, in funzione del tipo di elaborazione necessaria e del livello di correzione necessaria. I due satelliti Terra e Acqua sono stati lanciati a Dicembre del 1999 e Maggio del 2002 rispettivamente. La risoluzione spettrale è compresa tra i 0.4 e 14.385 μm . Per questa analisi si è utilizzato il prodotto "MODIS Land Cover Type Combined" Terra+Acqua collection V6, per il monitoraggio speditivo della copertura del suolo a scala globale con intervalli di tempi di osservazione annuali, dal 2001 al 2019 e con risoluzione spaziale di circa 500 metri. All'interno del prodotto si trovano più layer, ciascuno descrive la classificazione della copertura e uso del suolo in base a diversi schemi metodologici. In particolare per questo lavoro sono state utilizzate le classificazioni FAO Land Cover Classification System land cover (LCCS1) e FAO Land Cover Classification System land use (LCCS2) (2005, Di Gregorio) di recente introduzione nel prodotto MCD12Q1. I dati sono liberamente scaricabili tramite registrazione dal sito <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>.

Per ogni anno di osservazione è stato necessario il download di due tiles v04 e v05 al fine di ricoprire tutto il territorio regionale (Figura 2).

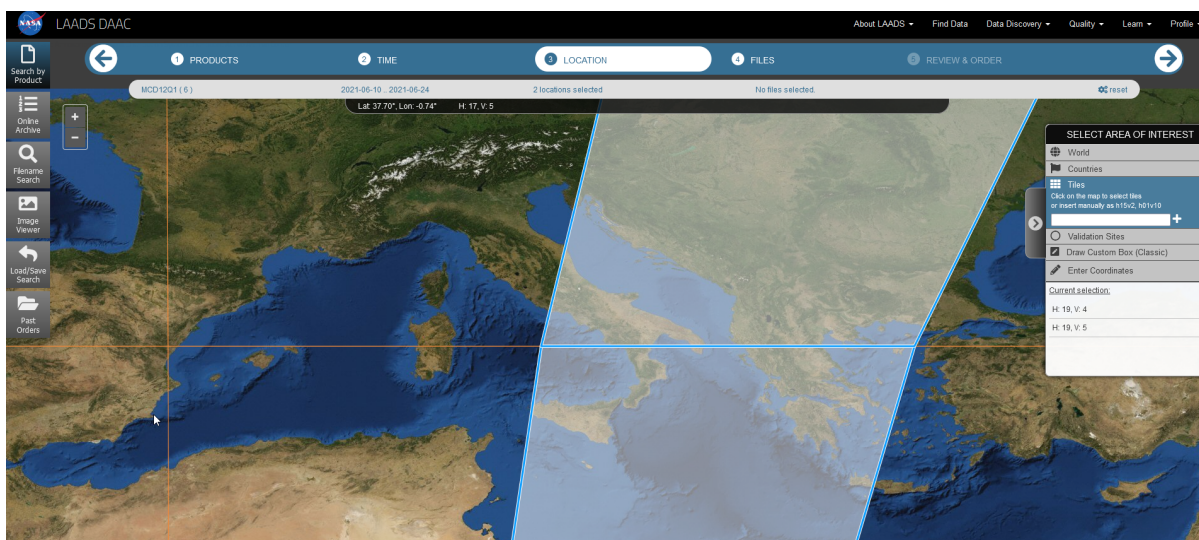


Figura 2: Webviewer LAADS DAAC per il download delle immagini Modis MCD12Q1 tile v04 e v05 sulla Regione Basilicata

Tabella 2: Bande spettrali e risoluzione dei Satelliti MODIS Acqua e Terra

Band	(nm)	(m)	Primary use
1	620–670	250	Land/cloud/aerosols
2	841–876	250	boundaries
3	459–479	500	Land/cloud/aerosols
4	545–565	500	properties
5	1230–1250	500	
6	1628–1652	500	
7	2105–2155	500	
8	405–420	1000	Ocean color/
9	438–448	1000	phytoplankton/
10	483–493	1000	biogeochemistry
11	526–536	1000	
12	546–556	1000	
13	662–672	1000	

14	673–683	1000	
15	743–753	1000	
16	862–877	1000	
17	890–920	1000	Atmospheric
18	931–941	1000	water vapor
19	915–965	1000	
20	3.660–3.840	1000	Surface/cloud
21	3.929–3.989	1000	temperature
22	3.929–3.989	1000	
23	4.020–4.080	1000	
24	4.433–4.498	1000	Atmospheric
25	4.482–4.549	1000	temperature
26	1.360–1.390	1000	Cirrus clouds
27	6.535–6.895	1000	water vapor
28	7.175–7.475	1000	
29	8.400–8.700	1000	Cloud properties
30	9.580–9.880	1000	Ozone
31	10.780–11.280	1000	Surface/cloud
32	11.770–12.270	1000	temperature
33	13.185–13.485	1000	Cloud top
34	13.485–13.785	1000	altitude
35	13.785–14.085	1000	
36	14.085–14.385	1000	

In via speditiva è possibile utilizzare il dato modis per monitorare porzioni di territorio su larga scala. L'accuratezza dei dati attualmente è 73.6 %, ma la possibilità di avere a disposizione un'analisi omogenea per la durata di un ventennio fa sì che questo prodotto possa essere spesso utilizzato come analisi comparativa per il monitoraggio su piccola scala. La LCCS è stata definita per uniformare a livello globale le classi della copertura del suolo e dell'uso del suolo. Si basa su una classificazione supervisionata e l'utilizzo di dati ancillari per la post classificazione. Di seguito sono state riportate la legenda relativa alla classificazione di primo livello LCCS1 (Tabella 3) che individua la copertura del suolo e la legenda relativa alla classificazione dell'uso del suolo conseguente l'analisi di primo livello (Tabella 4).

Tabella 3: Legenda Classificazione FAO LCCS 1 Coperura del suolo
https://lpdaac.usgs.gov/documents/101/MCD12_User_Guide_V6.pdf

Name	Value	Description
Barren	1	At least of area 60% is non-vegetated barren (sand, rock, soil) or permanent snow/ice with less than 10% vegetation.
Permanent Snow and Ice	2	At least of area 60% is covered by snow and ice for at least 10 months of the year.
Water Bodies	3	At least 60% of area is covered by permanent water bodies.
Evergreen Needleleaf Forests	11	Dominated by evergreen conifer trees (>2m). Tree cover >60%.
Evergreen Broadleaf Forests	12	Dominated by evergreen broadleaf and palmate trees (>2m). Tree cover >60%.
Deciduous Needleleaf Forests	13	Dominated by deciduous needleleaf (larch) trees (>2m). Tree cover >60%.
Deciduous Broadleaf Forests	14	Dominated by deciduous broadleaf trees (>2m). Tree cover >60%.
Mixed Broadleaf/Needleleaf Forests	15	Co-dominated (40-60%) by broadleaf deciduous and evergreen needleleaf tree (>2m) types. Tree cover >60%.
Mixed Broadleaf Evergreen/Deciduous Forests	16	Co-dominated (40-60%) by broadleaf evergreen and deciduous tree (>2m) types. Tree cover >60%.
Open Forests	21	Tree cover 30-60% (canopy >2m).
Sparse Forests	22	Tree cover 10-30% (canopy >2m).
Dense Herbaceous	31	Dominated by herbaceous annuals (<2m) at least 60% cover.
Sparse Herbaceous	32	Dominated by herbaceous annuals (<2m) 10-60% cover.
Dense Shrublands	41	Dominated by woody perennials (1-2m) >60% cover.
Shrubland/Grassland Mosaics	42	Dominated by woody perennials (1-2m) 10-60% cover with dense herbaceous annual understory.
Sparse Shrublands	43	Dominated by woody perennials (1-2m) 10-60% cover with minimal herbaceous understory.
Unclassified	255	Has not received a map label because of missing inputs.

Tabella 4: Legenda Classificazione FAO LCCS 2 Uso del suolo
https://lpdaac.usgs.gov/documents/101/MCD12_User_Guide_V6.pdf

Name	Value	Description
Barren	1	At least 60% of area is non-vegetated barren (sand, rock, soil) or permanent snow/ice with less than 10% vegetation.
Permanent Snow and Ice	2	At least 60% of area is covered by snow and ice for at least 10 months of the year.
Water Bodies	3	At least 60% of area is covered by permanent water bodies.
Urban and Built-up Lands	9	At least 30% of area is made up of impervious surfaces including building materials, asphalt, and vehicles.
Dense Forests	10	Tree cover >60% (canopy >2m).
Open Forests	20	Tree cover 10-60% (canopy >2m).
Forest/Cropland Mosaics	25	Mosaics of small-scale cultivation 40-60% with >10% natural tree cover.
Natural Herbaceous	30	Dominated by herbaceous annuals (<2m). At least 10% cover.
Natural Herbaceous/Croplands Mosaics	35	Mosaics of small-scale cultivation 40-60% with natural shrub or herbaceous vegetation.
Herbaceous Croplands	36	Dominated by herbaceous annuals (<2m). At least 60% cover. Cultivated fraction >60%.
Shrublands	40	Shrub cover >60% (1-2m).
Unclassified	255	Has not received a map label because of missing inputs.

2. ANALISI DEI CAMBIAMENTI DI COPERTURA DEL SUOLO CON DATASET LAND MONITORING SERVICE DI COPERNICUS

L'utilizzo dei dati forniti dal Land Monitoring Service di Copernicus è sicuramente una delle metodologie più utilizzate in ambito scientifico per definire a livello regionale, nazionale ed europeo i trend di trasformazione del territorio sulla base di una classificazione standardizzata e ripetuta nel tempo. I dati si basano sulla Corine Land Cover (CLC) la quale è nata a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela. La prima strutturazione del progetto CLC risale al 1985 quando il Consiglio delle Comunità Europee, con la Decisione 85/338/EEC, vara il programma CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) per dotare l'Unione Europea, gli Stati associati e i paesi limitrofi dell'area mediterranea e balcanica d'informazioni territoriali omogenee sullo stato dell'ambiente (ISPRA, 2021).

I dati, liberamente disponibili online, forniscono un dataset organizzato per classi di copertura del suolo sulla base di tre livelli espressi attraverso una legenda specifica e uniforme. In questa parte del lavoro, al fine di valutare la qualità e le caratteristiche dei dati, è stato realizzato un ritaglio dei dati CLC 1990-2000-2006-2012-2018 sulla base dei confini della Regione Basilicata. Questo ha permesso di realizzare delle mappe (Figura 3) e delle tabelle associate che hanno permesso di valutare nel tempo e in un anno specifico com'è cambiato il territorio lucano nel corso di questi 28 anni. La mappatura è stata fatta al III livello utilizzando i codici associati. A ogni codice corrisponde una specifica classe di copertura del suolo come mostrato in Tabella 5.

Grazie alla libertà di accesso ai dati e agli strumenti GIS, è possibile effettuare analisi statistiche e spaziali in maniera rapida. Considerato lo scopo del presente lavoro, le

mappature sono state utilizzate per una valutazione statistica in termini di variazioni di superficie coperta dalle diverse classi di copertura del suolo.

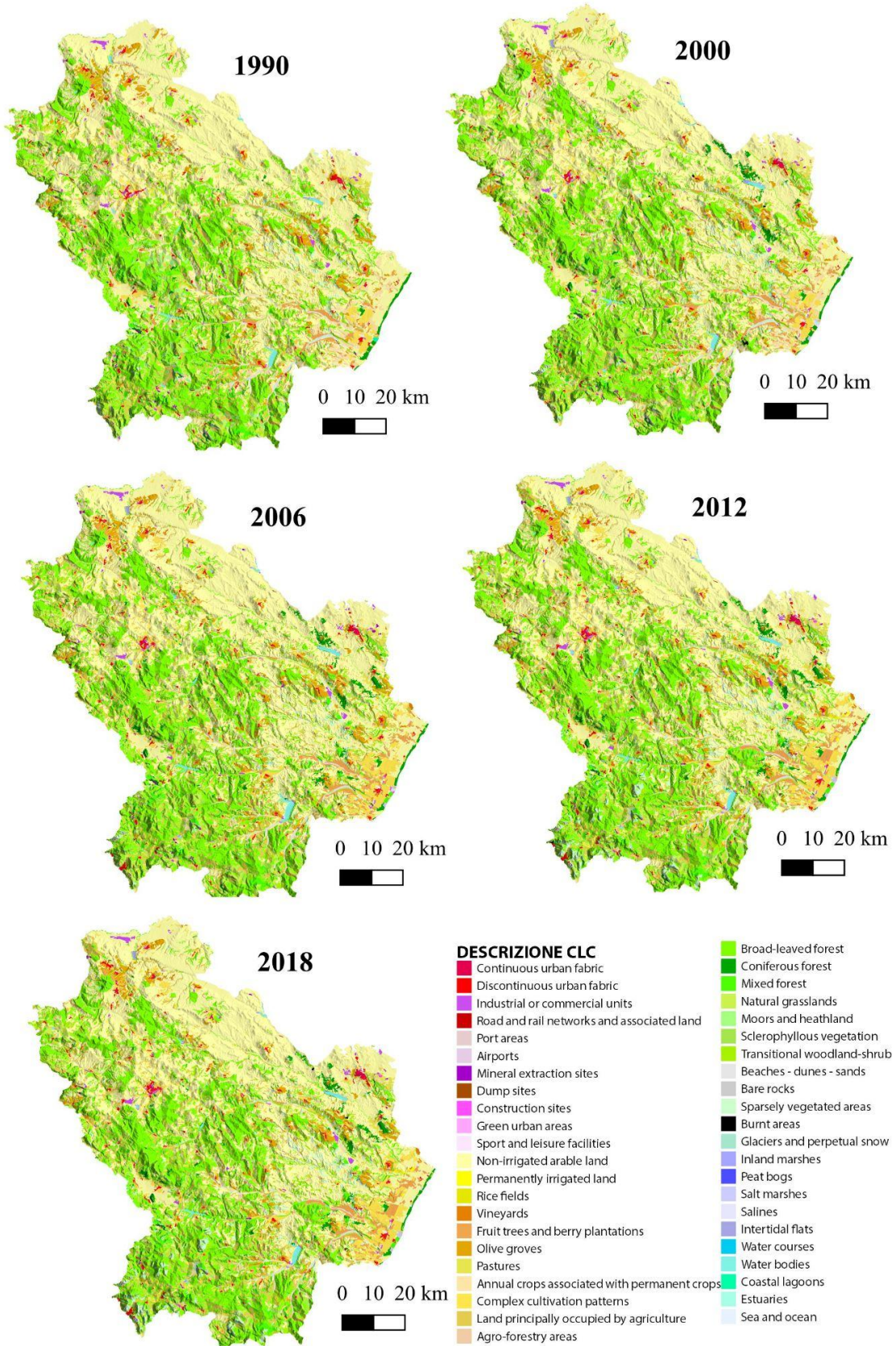


Figura 3: Mappa della copertura del suolo per gli anni 1990-2000-2006-2012-2018. La legenda è riportata in inglese come fornita dal dataset ufficiale.

Tabella 5: Decodifica dei codici CLC al terzo livello con relativa descrizione.

CODICE CLC	DESCRIZIONE
111	Zone residenziali a tessuto continuo
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche
123	Aree portuali
124	Aeroporti
131	Aree estrattive
132	Discariche
133	Cantieri
141	Aree verdi urbane
142	Aree ricreative e sportive
211	Seminativi in aree non irrigue
212	Seminativi in aree irrigue
213	Risaie
221	Vigneti
222	Frutteti e frutti minori
223	Oliveti
231	Prati stabili (foraggiere permanenti)
241	Colture temporanee associate a colture permanenti
242	Sistemi colturali e particellari complessi
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
244	Aree agroforestali
311	Boschi di latifoglie
312	Boschi di conifere
313	Boschi misti di conifere e latifoglie
321	Aree a pascolo naturale e praterie
322	Brughiere e cespuglieti
323	Aree a vegetazione sclerofilla
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
331	Spiagge, dune e sabbie
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
333	Aree con vegetazione rada
334	Aree percorse da incendi
335	Ghiacciai e nevi perenni
411	Paludi interne
412	Torbiere
421	Paludi salmastre
422	Saline
423	Zone intertidali
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie
512	Bacini d'acqua
521	Lagune
522	Estuari
523	Mari e oceani

Tabella 6: Superficie in ettari ed in percentuale (rispetto alla superficie regionale) per ogni classe CLC III Livello

III Livello	1990		2000		2006		2012		2018	
	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari(ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%
111	738.274	0.073	1365.785	0.136	1392.174	0.138	2112.267	0.210	2112.267	0.210
112	7219.125	0.717	6997.363	0.695	7676.371	0.762	8176.358	0.812	8236.142	0.818
121	3192.746	0.317	3573.458	0.355	3812.518	0.378	3791.304	0.376	3960.659	0.393
122	32.369	0.003	108.021	0.011	145.461	0.014	151.122	0.015	151.122	0.015
123	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	59.844	0.006	59.844	0.006
124	0.000	0.000	44.981	0.004	44.982	0.004	31.365	0.003	31.365	0.003
131	968.188	0.096	947.776	0.094	1101.142	0.109	613.531	0.061	599.307	0.059
132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.033	0.003	0.000	0.000
133	85.946	0.009	166.156	0.016	153.750	0.015	157.337	0.016	126.618	0.013
142	161.334	0.016	374.061	0.037	438.216	0.044	468.401	0.047	468.401	0.047
211	360261.891	35.765	370644.829	36.795	378292.310	37.555	381582.893	37.881	381110.935	37.834
212	158.566	0.016	222.143	0.022	0.000	0.000	682.479	0.068	728.725	0.072
221	691.590	0.069	952.863	0.095	1224.665	0.122	1342.821	0.133	1528.062	0.152
222	7719.993	0.766	10048.149	0.998	11366.842	1.128	12359.204	1.227	12389.491	1.230
223	34249.048	3.400	27811.499	2.761	28171.879	2.797	27377.984	2.718	27377.984	2.718
231	13228.603	1.313	12716.833	1.262	12445.869	1.236	7696.499	0.764	7696.499	0.764
241	72806.908	7.228	59139.340	5.871	630.916	0.063	829.873	0.082	829.873	0.082
242	23123.516	2.296	33730.701	3.349	51988.275	5.161	52950.349	5.257	52919.300	5.254
243	69861.880	6.935	56275.022	5.587	88404.623	8.776	84353.668	8.374	84308.495	8.370
244	0.000	0.000	0.000	0.000	367.399	0.036	190.310	0.019	190.310	0.019
311	284425.244	28.236	273077.526	27.110	262803.869	26.090	257758.724	25.589	257502.002	25.563
312	4296.543	0.427	9647.405	0.958	12897.174	1.280	12351.187	1.226	12351.187	1.226
313	11463.072	1.138	13772.534	1.367	17956.552	1.783	17811.533	1.768	17811.533	1.768
321	39121.812	3.884	40991.322	4.069	43175.897	4.286	28773.642	2.856	28601.112	2.839
322	11867.555	1.178	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
323	8439.157	0.838	17745.792	1.762	14262.481	1.416	11927.726	1.184	11879.892	1.179
324	34838.921	3.459	42156.884	4.185	49354.563	4.900	60562.789	6.012	61151.253	6.071
331	6250.081	0.620	7623.473	0.757	7480.454	0.743	6995.203	0.694	6995.203	0.694
332	714.764	0.071	1145.589	0.114	758.743	0.075	925.088	0.092	925.088	0.092
333	8114.458	0.806	11797.583	1.171	6048.095	0.600	20689.586	2.054	20689.586	2.054
334	0.000	0.000	329.014	0.033	0.000	0.000	82.746	0.008	102.611	0.010
411	204.566	0.020	770.182	0.076	576.291	0.057	599.960	0.060	599.960	0.060
421	0.000	0.000	143.920	0.014	163.432	0.016	297.925	0.030	297.925	0.030
422	0.000	0.000	256.860	0.025	119.596	0.012	31.041	0.003	31.041	0.003
511	0.000	0.000	63.350	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
512	2806.326	0.279	2604.700	0.259	3989.401	0.396	3467.250	0.344	3467.250	0.344
521	202.886	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
523	65.684	0.007	65.933	0.007	67.108	0.007	80.006	0.008	80.006	0.008

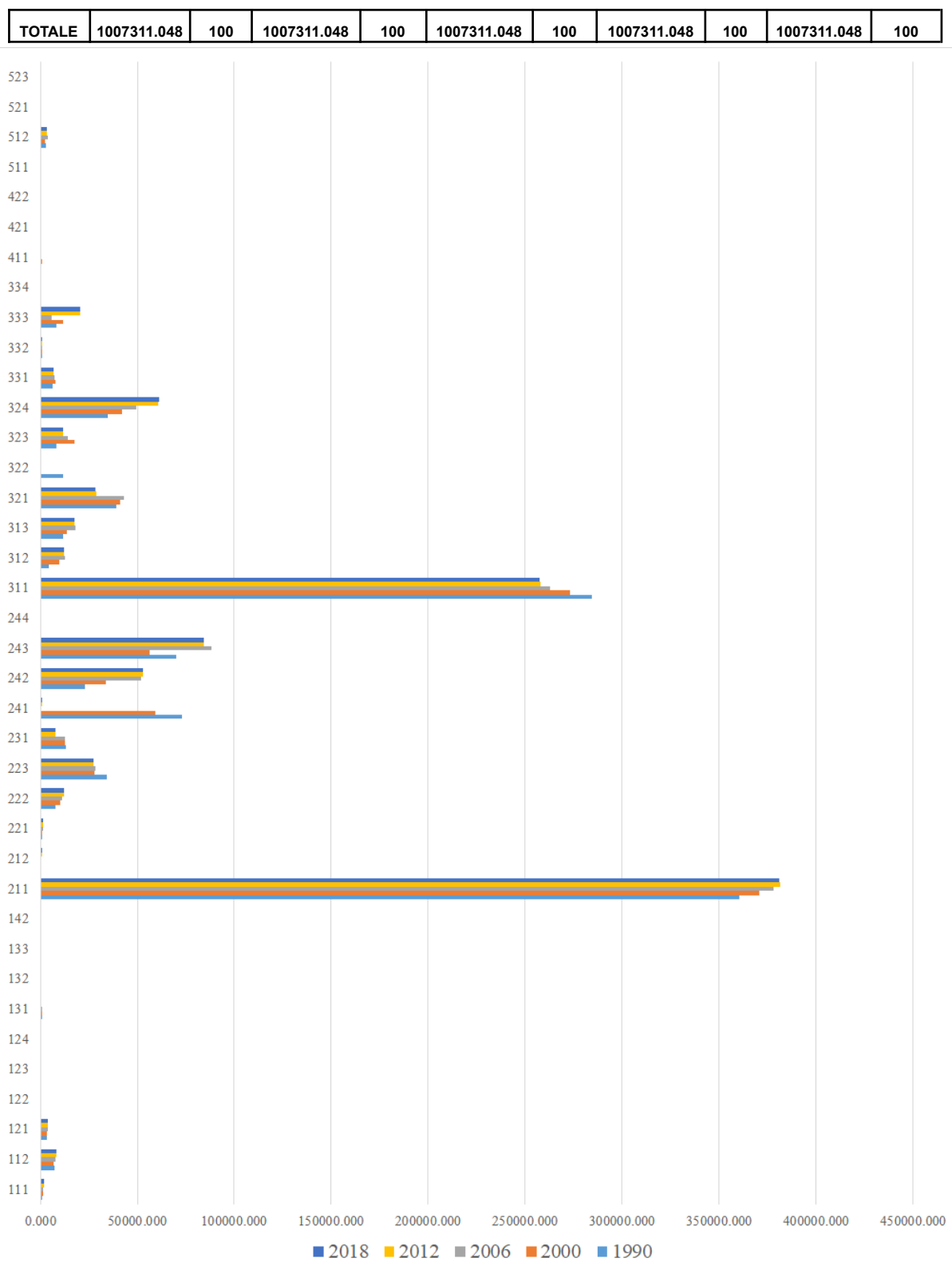


Figura 4. Istogramma a barre della superficie in ettari per ogni classe di copertura al III livello per i 5 anni di analisi.

I dati mostrati in Tabella 6 e Figura 4 mostrano in maniera sintetica la situazione del territorio della Basilicata nei 5 anni di analisi sulla base di quello che presente dei database Copernicus.

Le due classi di LC maggiormente rappresentative in tutti gli anni di analisi sono quelle dei *Seminativi in aree non irrigue* ed i *Boschi di Latifoglie*. Le due tipologie, inoltre, risultano spazialmente e geograficamente ben definite all'interno del territorio in quanto i seminativi riguardano soprattutto la parte orientale e i boschi quella occidentale. Questo è dovuto soprattutto alle caratteristiche morfologiche e climatiche presenti in Basilicata.

In termini di superficie e percentuali, i seminativi sono quelli che occupano la maggior parte del territorio (con valori superiori al 35%). L'utilizzo della copertura al III livello di dettaglio fornisce certamente una classificazione più dettagliata del territorio ma quando l'accuratezza non è elevata e la scala è piccola, possono esserci anche degli errori evidenti. Per ovviare a ciò, può essere utile considerare la classificazione al II livello (o meglio ancora al I) la quale permette comunque di classificare comunque il territorio in maniera adeguata in quanto può rappresentare un giusto compromesso tra livello di dettaglio e accuratezza.

Partendo dal dataset iniziale è stato possibile effettuare aggregazioni e calcoli come mostrato in Tabella 7. Inoltre l'utilizzo del II livello permette una più speditiva e rapida interpretazione dei dati.

Tabella 7: Superficie in ettari ed in percentuale rispetto al totale per ogni classe CLC II livello. I cinque colori permettono di effettuare una aggregazione al I livello per macroclassi (Aree artificiali, Aree Agricole, Zone Umide, Corpi idrici)

II Livello	1990		2000		2006		2012		2018	
	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%
1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale	7957.399	0.790	8363.148	0.830	9068.545	0.900	10288.625	1.021	10348.409	1.027
1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	3225.115	0.320	3726.461	0.370	4002.961	0.397	4033.635	0.400	4202.990	0.417
1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati	1054.134	0.105	1113.932	0.111	1254.892	0.125	799.901	0.079	725.925	0.072
1.4. Zone verdi artificiali non agricole	161.334	0.016	374.061	0.037	438.216	0.044	468.401	0.047	468.401	0.047
2.1. Seminativi	360420.457	35.780	370866.972	36.818	378292.310	37.555	382265.372	37.949	381839.660	37.907
2.2. Colture permanenti	42660.632	4.235	38812.510	3.853	40763.386	4.047	41080.009	4.078	41295.537	4.100
2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)	13228.603	1.313	12716.833	1.262	12445.869	1.236	7696.499	0.764	7696.499	0.764
2.4. Zone agricole eterogenee	165792.304	16.459	149145.063	14.806	141391.213	14.036	138324.200	13.732	138247.978	13.724
3.1. Zone boscate	300184.858	29.801	296497.465	29.435	293657.594	29.153	287921.444	28.583	287664.722	28.558
3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	94267.445	9.358	100893.998	10.016	106792.941	10.602	101264.157	10.053	101632.257	10.089
3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente	15079.303	1.497	20895.659	2.074	14287.293	1.418	28692.623	2.848	28712.488	2.850
4.1. Zone umide interne	204.566	0.020	770.182	0.076	576.291	0.057	599.960	0.060	599.960	0.060
4.2. Zone umide marittime	0.000	0.000	2668.050	0.265	3989.401	0.396	3467.250	0.344	3467.250	0.344
5.1. Acque continentali	2806.326	0.279	400.780	0.040	283.028	0.028	328.966	0.033	328.966	0.033
5.2. Acque marittime	268.570	0.027	65.933	0.007	67.108	0.007	80.006	0.008	80.006	0.008

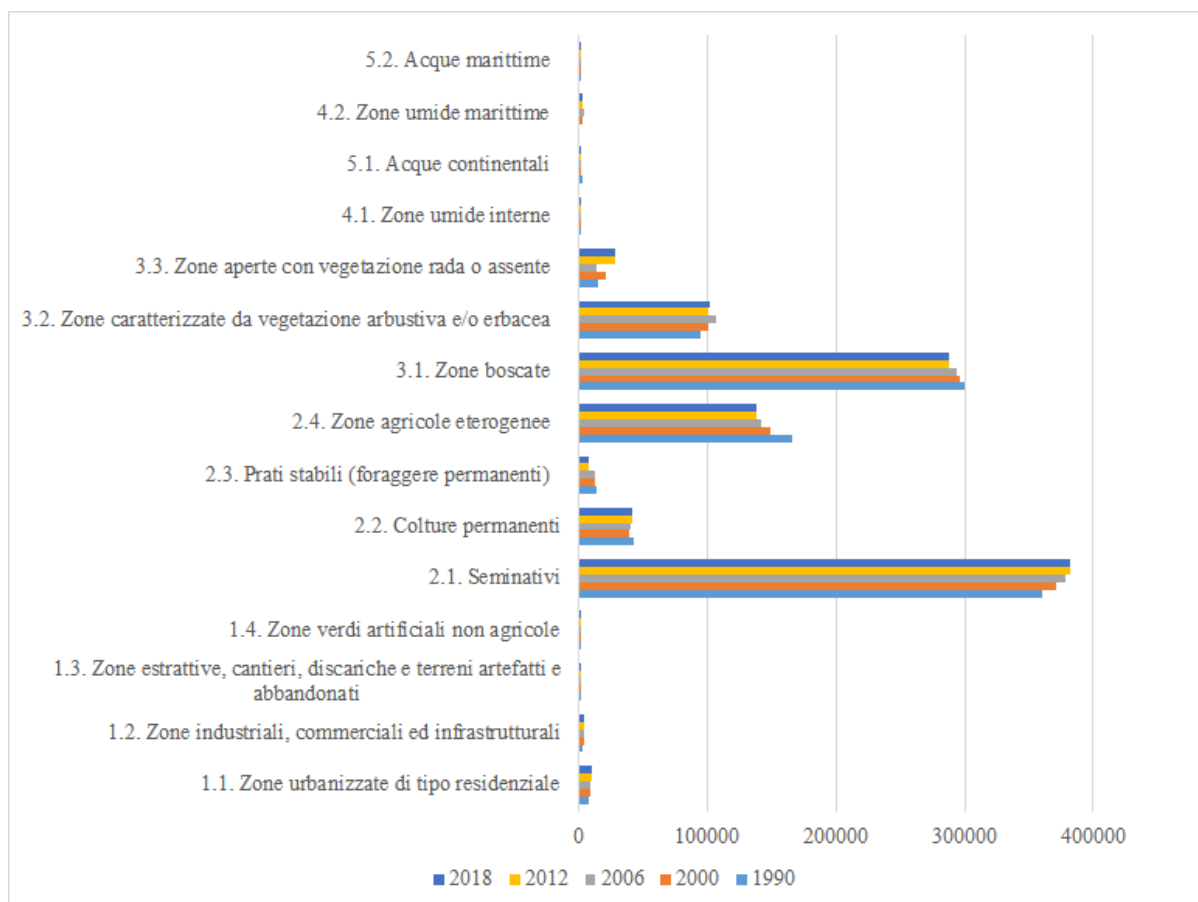


Figura 5: Istogramma delle superfici secondo la classificazione al II livello.

Oltre alle due classi prominenti (in questo caso identificate dai *Seminativi* e dalle *Zone boscate*) e alle variazioni durante gli anni, da questa analisi emerge che il territorio risulta interessato anche dal 16.45% e 9.36% rispettivamente da *Zone agricole eterogenee* e *Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea*.

Le caratteristiche di queste classi, insieme alla scala di rappresentazione e all'accuratezza della classificazione spiegano le differenze delle dinamiche che emergono dall'analisi dei dati CLC a livello regionale rispetto a quanto espresso in indagini e lavori scientifici effettuati con maggiore grado di dettaglio a scala sub-regionale o locale (vedi paragrafo 3. Discussione).

La classe *Zone agricole eterogenee* comprende superfici con coltivazioni annuali associate a coltivazioni permanenti sulla stessa parcella, coltivazioni annuali coltivate sotto alberi forestali, aree di coltivazioni annuali, prati e/o coltivazioni permanenti che sono affiancate, paesaggi in cui le coltivazioni e i pascoli sono intimamente mescolati con la vegetazione naturale o aree naturali. Infatti le classi al III livello che comprende sono: *Colture temporanee associate a colture permanenti*, *Sistemi colturali e particellari complessi*, *Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti e Aree agroforestali*. Per cui questa classe risulta estremamente variegata e può comprendere ed essere ulteriormente suddivisa sulla base della scala di lavoro. Infatti un'area (poligono) agroforestale può essere suddiviso, ad esempio, in *seminativi* e *boschi*. Un esempio è mostrato per il territorio di Melfi (PZ) in Figura 6. Questo ha un peso importante nel computo totale e rappresenta sicuramente una delle criticità più importanti della CLC fornita dal Land Monitoring Service di Copernicus.

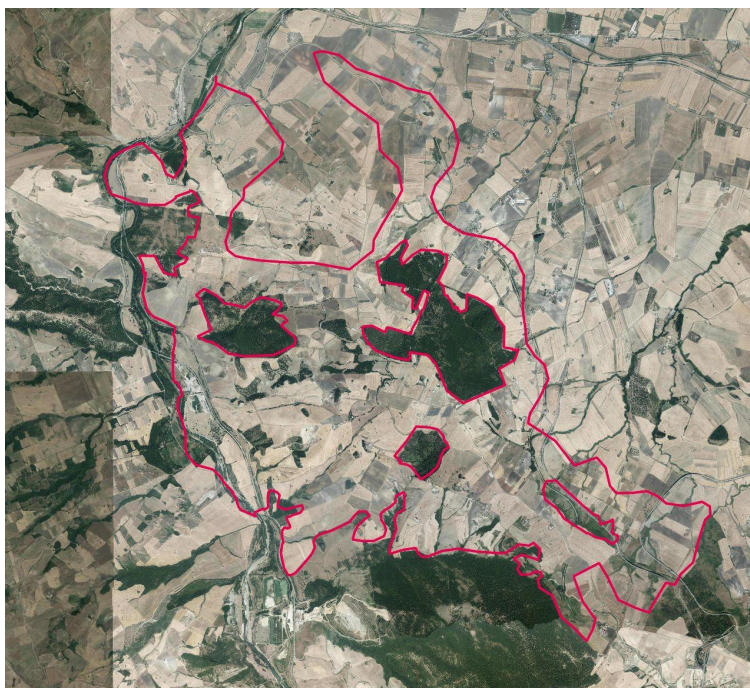


Figura 6: Esempio di classe 2.4. CLC2018 di 1900 ettari in cui è evidente l'inclusione di parcelle forestali nonché altre classi ascrivibili a categorie legate ad ambienti naturali.

Ragionamento simile può essere fatto per la classe 3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea. In questo caso le problematiche riguardano soprattutto una sotto classe che è quella rappresentata dal codice 324 "Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione" che può determinare importanti problematiche di classificazione. All'interno di questa classe rientrano tutte quelle aree con vegetazione di transizione arbustiva ed erbacea con alberi occasionali sparsi. Può rappresentare la degradazione del bosco, la rigenerazione/ricolonizzazione della foresta o la successione naturale. Come chiarimento, il manuale per la nomenclatura della copertura del suolo (EAA, 2019) riporta che in queste aree sono quelle che rappresentano lo sviluppo naturale di formazioni forestali, costituite da giovani piante di latifoglie e conifere, con vegetazione erbacea e alberi adulti solitari dispersi. Il processo di transizione può essere per esempio la successione naturale su terreni agricoli abbandonati, la rigenerazione della foresta dopo danni di varia origine (per esempio tempesta o valanga), stadi di degenerazione della foresta causati da fattori di stress naturali o antropogenici (per esempio siccità, inquinamento), la riforestazione dopo il taglio raso, rimboschimento su aree naturali o seminaturali precedentemente non boschive ecc. Una classe di copertura molto importante da un punto di vista ecologico ma anche molto eterogenea nelle patch elementari che le costituiscono che appunto possono essere incluse in una classe o in un'altra sulla base della tipologia di classificazione e dalla scala. Anche in questo caso si riporta in Figura 7 un esempio di classe 32 [324].



Figura 7: Esempio di classe 3.2. CLC2018 di 1280 ettari in cui è evidente l'inclusione di parcelle forestali nonché altre classi ascrivibili a categorie legate ad ambienti naturali.

2.1. CAMBIAMENTI DI COPERTURA DEL SUOLO UTILIZZANDO CLC 1990-2018

Sulla base dei dati di ogni singolo anno di analisi, è possibile decifrare meglio le transizioni effettuando una differenza tra le superfici di due anni successivi per ogni classe (Tabella 8). Questi possono essere anche rappresentati come in figura 8.

Tabella 8: Superficie in ettari dei cambiamenti di copertura del suolo per coppie di anni successive

	1990-2000	2000-2006	2006-2012	2012-2018
	Ettari (ha)	Ettari (ha)	Ettari (ha)	Ettari (ha)
1.1. Zone urbanizzate di tipo residenziale	405.749	705.397	1220.080	59.784
1.2. Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	501.346	276.500	30.674	169.355
1.3. Zone estrattive, cantieri, discariche e terreni artefatti e abbandonati	59.798	140.959	-454.991	-73.976
1.4. Zone verdi artificiali non agricole	212.727	64.155	30.185	0.000
2.1. Seminativi	10446.515	7425.338	3973.062	-425.712
2.2. Colture permanenti	-3848.121	1950.875	316.623	215.528
2.3. Prati stabili (foraggiere permanenti)	-511.771	-270.964	-4749.370	0.000
2.4. Zone agricole eterogenee	-16647.241	-7753.850	-3067.013	-76.222
3.1. Zone boscate	-3687.394	-2839.871	-5736.150	-256.722
3.2. Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	6626.553	5898.943	-5528.784	368.100
3.3. Zone aperte con vegetazione rada o assente	5816.356	-6608.366	14405.330	19.865
4.1. Zone umide interne	565.615	-193.890	23.669	0.000

5.1. Acque continentali	-2405.546	-117.753	45.938	0.000
4.2. Zone umide marittime	2668.050	1321.352	-522.151	0.000
5.2. Acque marittime	-202.637	1.175	12.898	0.000

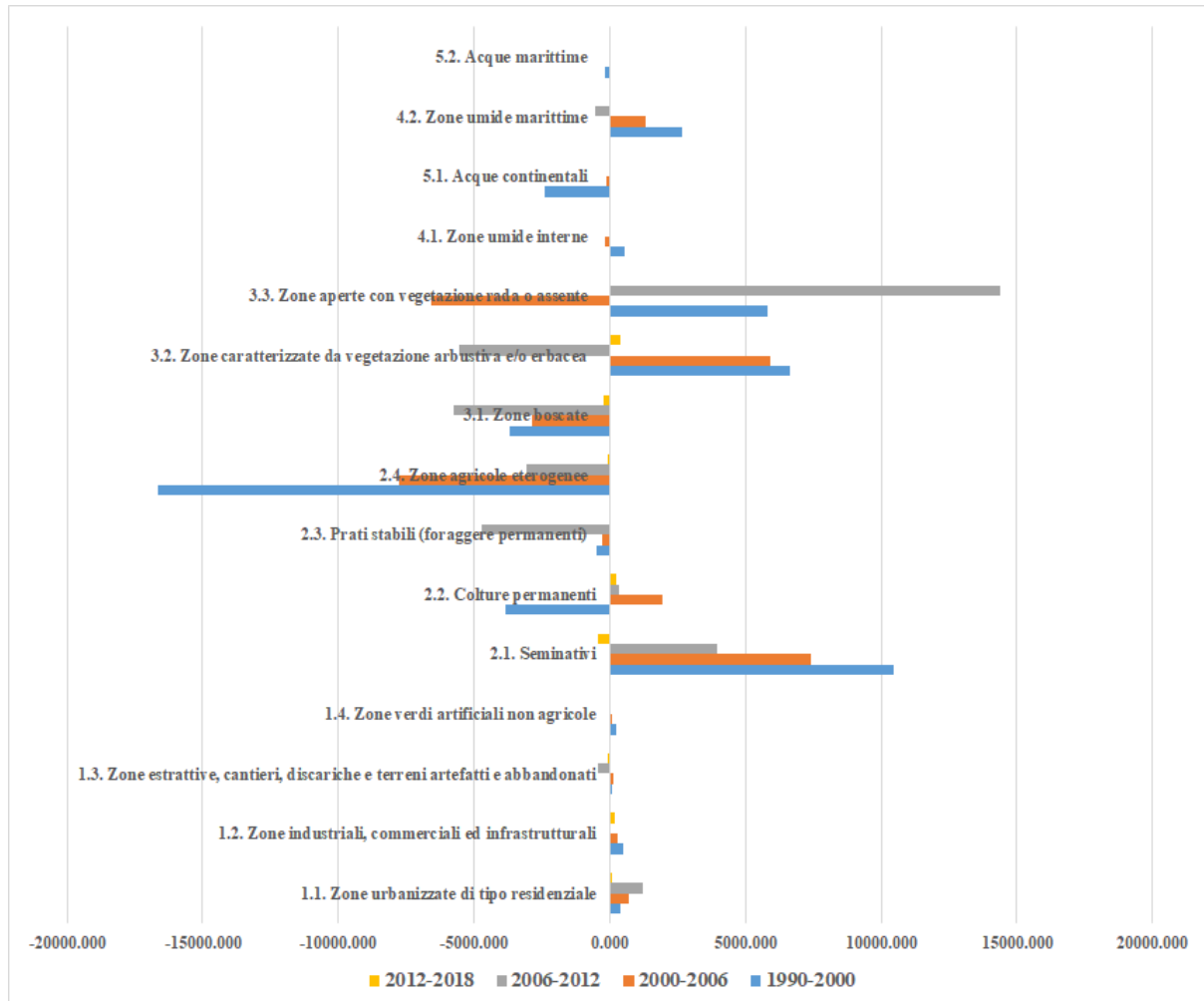


Figura 8: Istogramma dei cambiamenti in termini di superficie per ogni classe e per ogni coppia di anni successiva.

Ma il Land Monitoring Service, come riportato in precedenza, riporta anche i dataset dei cambiamenti di copertura del suolo in formato vettoriale per le coppie di anni 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012, 2012-2018.

Questi dataset sono costituiti da elementi poligonali i quali, all'interno della tabella attributi, riportano due classi di CLC al III livello ognuna relativa a un anno differente.

Per rendere più leggibili e interpretabili i dati, le tipologie di cambiamento sono state accorpate secondo quanto proposto dall'Agenzia Europea dell'Ambiente con la Land Cover Flow (come spiegato in Tabella 9).

Tabella 9: Decodifica dei codici della Land Cover Flow come da documento-tecnico ufficiale dell' Agenzia Europea per l'ambiente [FONTE:

https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/land-cover-flows-based-on-corine-land-cover-changes-database-1990-2000-1/dataservice-sharedfiles-downloads-rad4e5ec-english_v2-download-landcoverflows_060701.pdf/landcoverflows_060701.pdf]

Land Cover Flow CODICE	Descrizione
LCF1	Urban land management
LCF2	Urban residential sprawl
LCF3	Sprawl of economic sites and infrastructures
LCF4	Agriculture internal conversions
LCF5	Conversion from forested & natural land to agriculture
LCF6	Withdrawal of farming
LCF7	Forests creation and management
LCF8	Water bodies creation and management
LCF9	Changes of Land Cover due to natural and multiple causes
LCF92	Forests and shrubs fires

Una volta aggregati i cambiamenti per ogni dataset, sono stati mappati (Figura 9). Essendo riportati cambiamenti molto ridotti in termini dimensionali, la Figura 9 risulta poco esplicitiva per cui anche in questo caso sono state calcolate le variazioni in ettari (Tabella 10) e i risultati espressi in un istogramma (Figura 10).

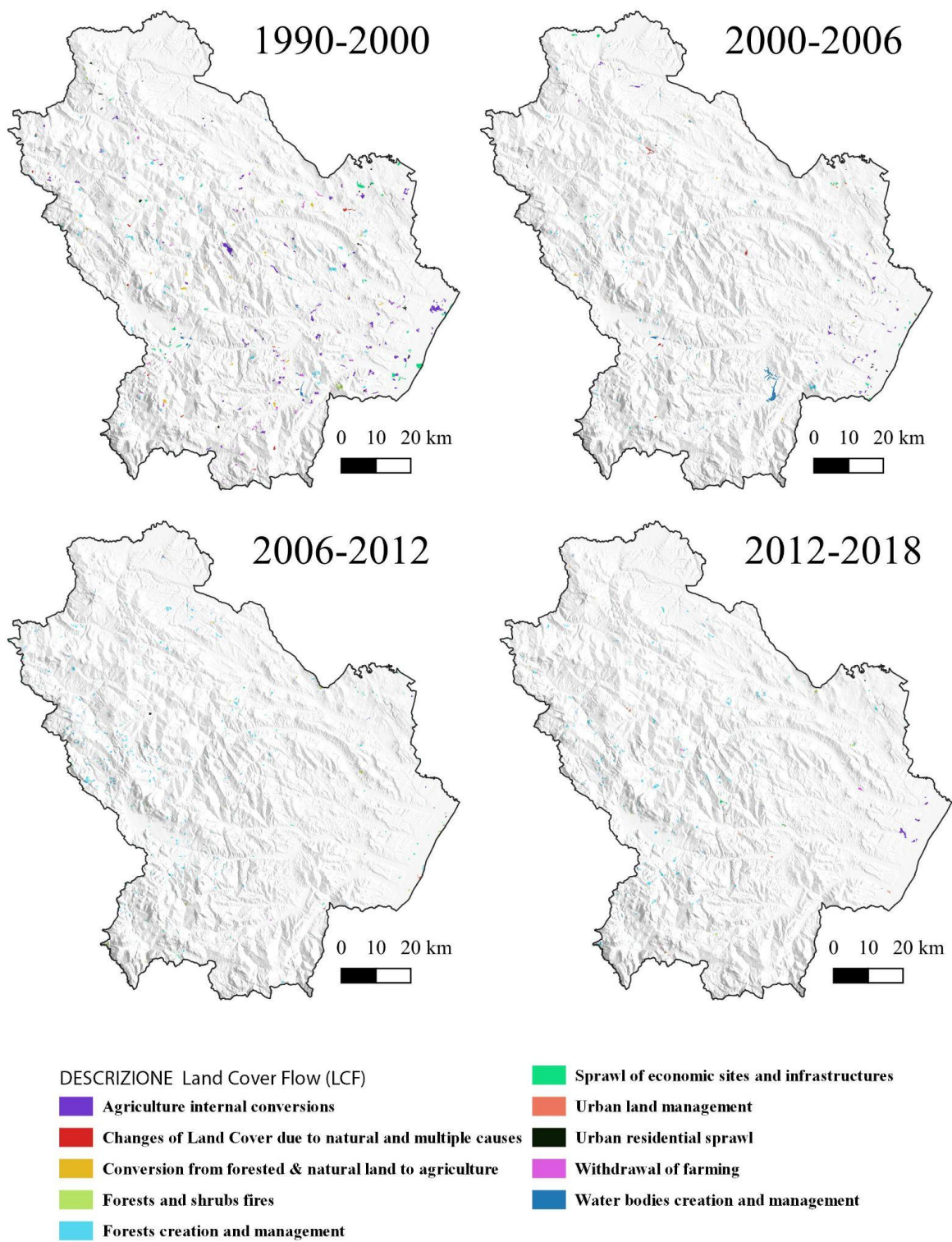


Figura 9: Mappatura dei cambiamenti di copertura del suolo per gli anni 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 e 2012-2018 aggregati secondo la classificazione Land Cover Flow (LCF) dell'Agenzia Europea per l'Ambiente.

Tabella 10: Cambiamenti in ettari per ogni periodo di analisi. Per la decodifica del codice LCF, far riferimento alla tabella 6.

	1990-2000	2000-2006	2006 2012	2012-2018
LCF1	57.95	114.47	62.30	173.65
LCF2	536.30	161.10	69.30	32.22
LCF3	1477.88	737.29	590.70	131.62
LCF4	4417.24	1012.91	68.04	361.08
LCF5	665.43	165.85	22.36	29.62
LCF6	1221.80	6.85	12.93	88.60
LCF7	2219.32	1434.03	3716.90	2907.37
LCF8	408.88	960.50	24.67	0.00
LCF9	377.30	219.12	32.42	7.24
LCF92	368.22	0.00	424.68	172.40
TOTALE	11750.33	4812.13	5024.30	3903.81

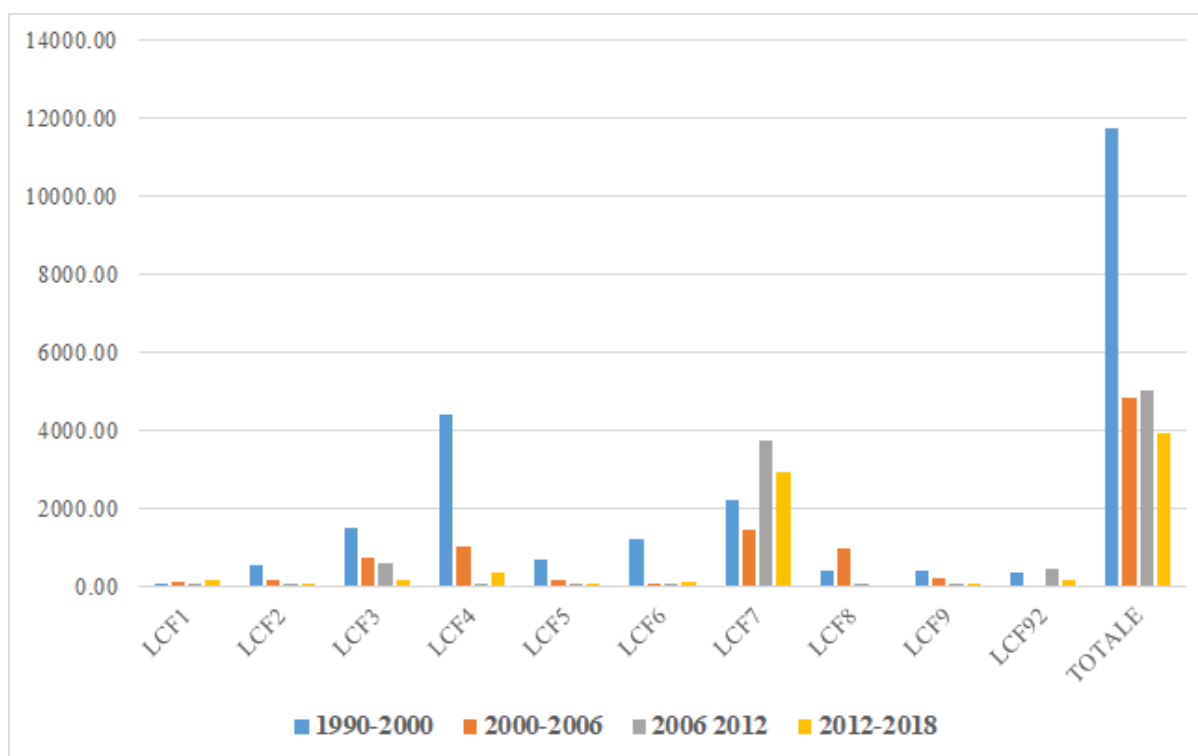


Figura 10: Istogramma delle superfici per ogni classe LCF.

Dall'analisi si evince che, le trasformazioni e i cambiamenti in termini di copertura del suolo sono avvenuti soprattutto nella prima decade di analisi. Anche se, date le caratteristiche del dataset in questione, questo dato è da verificare con maggiore attenzione.

In termini di cambiamenti, la traiettoria con un maggior impatto in termini di ettari in tutte le fasi di analisi è stata quella definita dal codice LCF7 cioè creazione e cambiamenti interni alle classi relative alle foreste. Le altre dinamiche sono molto variabili da anno ad anno e da classe a classe. Un'altra dinamica rilevante e presente con una certa percentuale in tutti e 4 i periodi è quella legata allo sprawl di siti industriali in genere.

Ma come illustrato e come si leggerà nei paragrafi successivi, i dataset di LC changes disponibili online sottostimano di molto i cambiamenti effettivi che ci sono stati all'interno del territorio ed in molti casi sono di difficile interpretazione se non quasi totalmente inutilizzabili (anno 1990 come riportato anche nei manuali tecnici).

Per ovviare a quanto detto, oltre che le metodologie che verranno considerate nella Parte II, può essere utile stimare il tasso di cambiamento totale che è avvenuto nel territorio così da individuare delle aree da osservare in quanto presentano un elevato tasso di cambiamento negli anni. Una metodologia utile anche a livello di pianificazione.

Per fare ciò, si propone la metodologia che segue basata sul distribuire i cambiamenti di copertura su una maglia quadrata regolare per individuare degli "hot spot di cambiamenti" così da attenzionarle maggiormente ed effettuare analisi di dettaglio a scala locale.

Il primo step è stato quello di definire la maglia quadrata regolare. Si è scelto come dimensione un lato di misura 1 km così come proposto Zhou et al. (2018; O'Neil et al., 1996). Questa misura deriva dal fatto che gli stessi autori propongono, per questo tipo di analisi, di usare una dimensione 2-5 volte superiore alla dimensione media della patch minima rappresentata.

Attraverso diverse operazioni spaziali realizzate con QGIS, è stato possibile riportare all'interno delle maglie quadrate, i cambiamenti di copertura. Per cui sono stati realizzate 4 mappa che mostrano (Figura 11) le aree che hanno subito in termini percentuali, maggiori cambiamenti. Ad esempio, la classe 80%-100% individua quei quadrati (rappresentativi di una certa porzione di territorio) in cui in un certo periodo temporale c'è stato un cambiamento che in termini percentuali occupa l'80%-100% dello stesso.

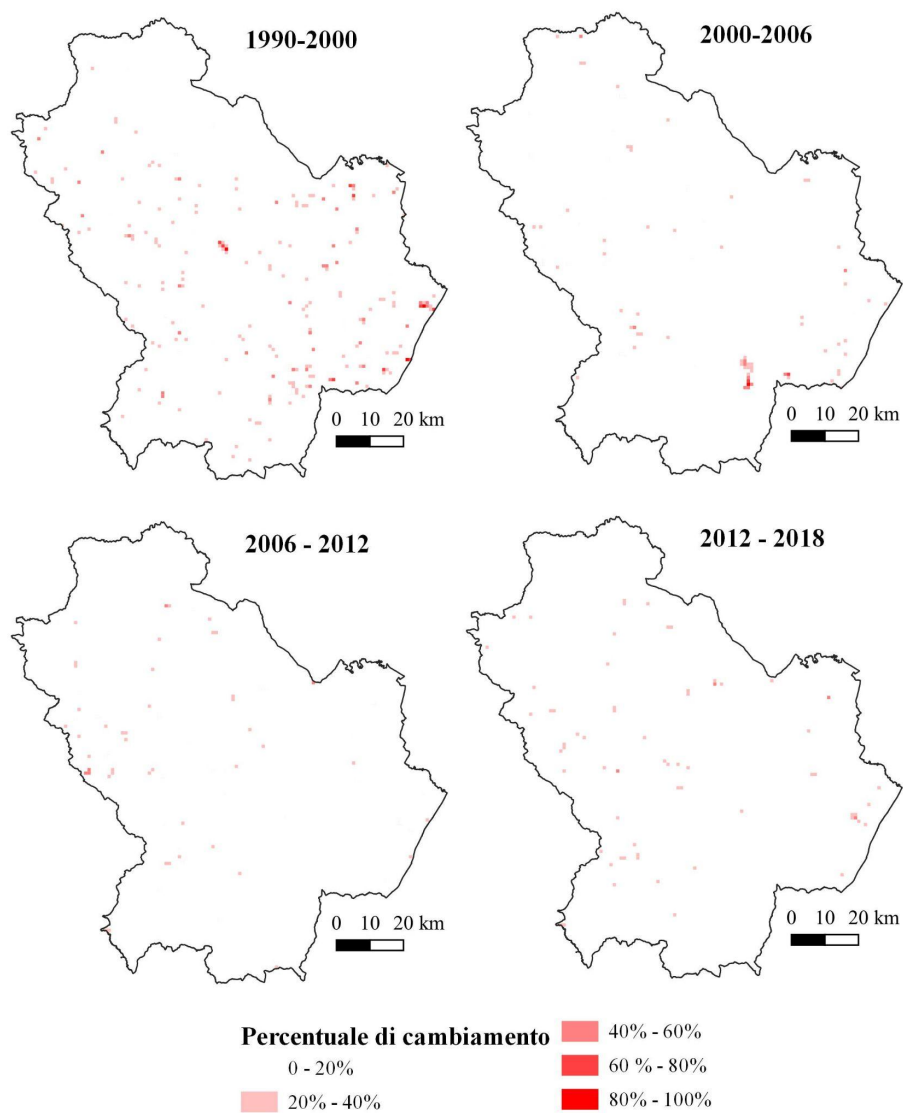


Figura 11: Maglia quadrata dei cambiamenti in termini percentuali per ogni periodo di analisi.

La percentuale è stata calcolata semplicemente come rapporto tra la superficie della patch quadrata e quella di ogni singolo quadrato di 1km di lato. Infine queste maglie regolari dei cambiamenti sono state sommate così da avere una mappa complessiva dei cambiamenti ponderati per il periodo complessivo tra il 1990-2018 (Figura 12).

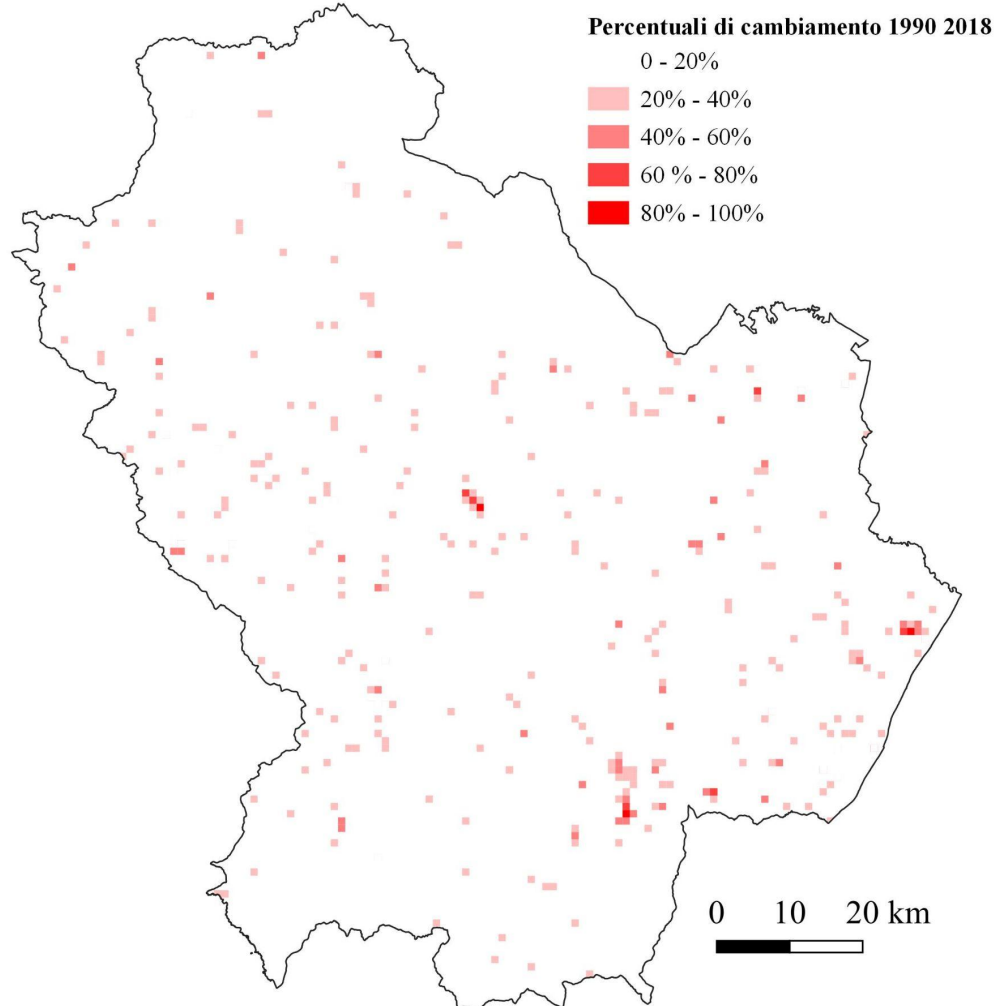


Figura 12: Maglia quadrata dei cambiamenti in termini percentuali complessiva per il periodo 1990-2018

In questo modo è possibile valutare le aree che hanno subito maggiori cambiamenti senza distinzioni in termini di LC e quindi per ovviare a problemi d'interpretazione e classificazione insiti nella CLC. Inoltre la definizione della maglia quadrata permette d'individuare anche dei "cluster" su cui porre l'attenzione ed effettuare quindi indagini più specifiche.

Questa metodologia può essere usata come base o come sistema di supporto alle decisioni a livello di pianificazione territoriale e paesaggistica.

3. DINAMICHE DI TRASFORMAZIONE DELLE PRATERIE PER IL PERIODO 2015-2018

Un altro layer interessante messo a disposizione dal Land Monitoring Service è quello dei "Grasslands".

Le praterie coprono parti significative della superficie agricola europea, ma sono molto diverse per quanto riguarda la loro distribuzione, l'intensità e il tipo di utilizzo, la composizione delle specie, la produttività e i sistemi di gestione. Le praterie hanno molteplici funzioni e valori, forniscono pascolo per gli animali domestici e selvatici, proteggono il suolo dall'erosione, sostengono la biodiversità e la fauna, proteggono il suolo dall'erosione, sostengono la biodiversità e alcuni tipi di pascoli estensivi hanno un valore naturale molto alto. Inoltre, svolgono una varietà di funzioni culturali e ricreative.

In generale, le praterie, in particolare le praterie estensive di alto valore naturale, sono minacciate da pratiche di tipo intensivo e dall'abbandono agricolo.

La distribuzione e la dinamica dei pascoli (e in definitiva anche le condizioni dei pascoli e l'intensità d'uso) è quindi importante per una serie di politiche europee, ma anche per applicazioni nazionali e regionali. Il prodotto CLMS per i pascoli può essere un set di dati rilevante per aiutare a monitorare i pascoli distribuzione, l'estensione e il cambiamento.

Fornendo una panoramica sinottica della distribuzione, dell'estensione e del cambiamento dei pascoli, i prodotti HRL GRA sono di grande interesse per tutti gli utenti a livello europeo, nazionale e regionale che si occupano della conservazione delle risorse naturali e della biodiversità o lavorano all'interfaccia tra natura, società ed economia. A questo proposito, entrambi gli strati di stato HRL GRA e lo strato di cambiamento permettono di recuperare informazioni sullo stato della vegetazione per un certo anno di riferimento e per monitorare le dinamiche dell'uso del suolo e della copertura del suolo. Possono integrare prodotti più orientati a livello locale come Natura2000 e Riparian Zones, ma potrebbero anche supportare la precisione e la rilevanza di altri prodotti paneuropei o addirittura globali come CORINE, LUCAS o i dati del Farm Structure Survey.

Per questo studio, si è iniziato a esplorare la potenzialità di questi strati informativi in quanto sono molto collegati alle questioni di consumo di suolo, erosione e land degradation.

I HRL sono stati scaricati in formato raster con risoluzione 20 metri, mosaicati e clippati come mostrato in Figura 13.

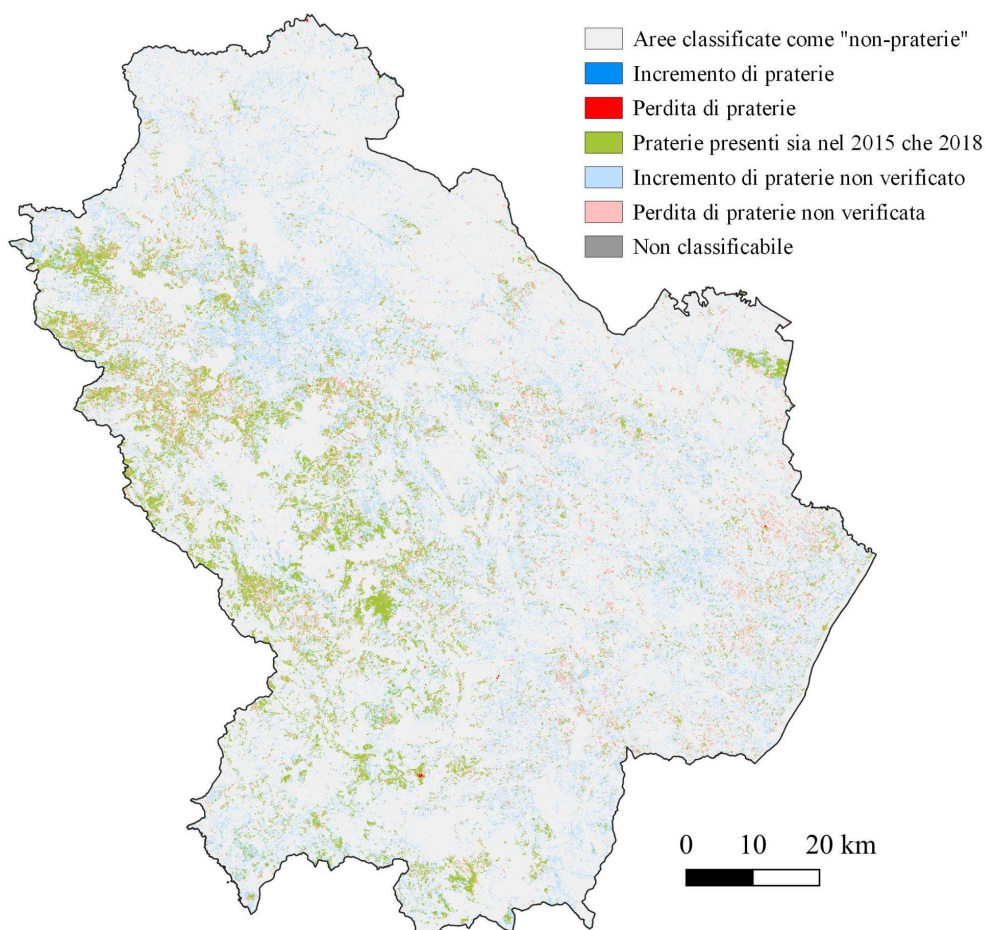


Figura 13: Dinamiche delle praterie tra il 2015 e il 2018.

Questo ha permesso, attraverso la valutazione delle statistiche sul raster con r.stat di GRASS GIS, di calcolare l'estensione superficiale di ogni classe presente nel dataset (Tabella 11).

Tabella 11: Superficie in ettari e in percentuale rispetto al totale per ogni classe. Le differenza della superficie totale rispetto agli altri dataset dipende dalla differente risoluzione dei dati utilizzati e dal successivo clip.

Classe	Ettari (ha)	%
Aree classificate come " non praterie"	754005,32	75,46
Perdita di praterie	102,12	0,015
Praterie presenti sia nel 2015 che 2018	62833,56	6,29
Incremento di praterie non verificato	140588,6	14,07
Perdita di praterie non verificato	41667,64	4,17
Non classificabile	1,4	0,00014
	999198,64	100

Il valore maggiore si registra per le praterie non verificate a dimostrazione di un aumento dell'abbandono agricolo il quale però andrebbe verificato più nel dettaglio. Infatti lo stesso dataset riporta la dicitura "non verificato" per cui presuppone delle indagini successive più specifiche.

Anche se il dataset risulta a una risoluzione spaziale molto buona, la qualità del dato va verificata nel caso si vogliano applicare analisi spaziali o per utilizzarlo nelle attività di pianificazione. Per cui il suo utilizzo è da valutare con attenzione e soprattutto utilizzarlo insieme ad altri dati in modo tale da verificarne la qualità.

La questione delle praterie e dei prati in genere è molto all'attenzione di chi si occupano di abbandono agricolo e land degradation. Alcuni aspetti sono stati trattati con maggiore attenzione

del

WP4

(<https://sites.google.com/unibas.it/mev-csu/land-degradation?authuser=0>).

4. ANALISI DEI DATI OPEN PROCESSATI CON MODIS

L'analisi dei dati MODIS ha messo in risalto delle differenze rispetto all'utilizzo della CLC. Le motivazioni possono essere differenti e necessitano di una ulteriore valutazione. Un motivo è sicuramente la differente tipologia di classificazione e nomenclatura utilizzata dai due sistemi. Infatti LCCS 1 e 2 (che utilizza quella proposta dalla FAO), è caratterizzata da classi più ampie. Inoltre i due sistemi di classificazione si basano su satelliti e tecniche di detection differenti.

Dall'analisi dei dati ricavati dalla classificazione di livello 1 che riguarda la copertura del suolo (Tabella 12), si evidenzia in particolare che la classe Dense Herbaceous dove è dominante una copertura vegetazionale con copertura annuale pari al 60% ha subito una consistente perdita dal 2001 al 2019 di 110000 ettari mentre la classe Deciduous Broadleaf Forest boschi di latifoglie è quella che ha mostrato una crescita sostanziale dal 2001 al 2019 pari a 26300 ettari.

Tabella 12: Classificazione della copertura del suolo LCCS1 in ettari (ha) dal 2001 al 2019

LCCS1 FAO Land cover Classification (ha)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019-2001
Barren	112,68	94,2	74,84	37	55,48	55,48	55,48	55,48	37	37	37	0	0	0	0	0	72,24	36,96	18,12	-94,56
Water Bodies	948,32	948,32	1359,4	1472,96	1529,28	1548,64	1492,28	1416,6	1472,92	1546,88	154,688	1546,88	1546,88	1565,4	1546,04	1546,04	1417,48	1360,28	1398,12	449,8
Evergreen Needleleaf Forests	1954,52	2100,72	2416,2	2527,72	2547,08	2750,48	3008,48	3174,04	3438	3480,12	340,272	3290,2	3721,84	3922,04	3939,72	4219,6	3240	3310,52	2857,68	903,16
Evergreen Needleleaf Forests	578,92	559,56	502,36	546,56	528,92	621,36	639	733,2	770,16	915,44	933,08	861,68	857,72	819,04	966,96	1044,4	725,48	804,04	737,48	158,56
Deciduous Broadleaf Forests	58543,2	62770	64121	66232,8	66616	67664,88	66682,28	68883,44	71472,32	73946,84	74658,72	75213,92	78732	80920,08	83260,76	84433,44	75394,12	82626,64	84858,88	26315,68
Mixed Broadleaf/Needleleaf Forests	1351,88	1517,4	1498,96	1613,36	1637,4	1618,04	1686,44	1785,28	1955,12	2138,28	2157,6	2176,92	2325,68	2399,64	2437,48	2531,68	2587,16	2817,68	3043	1691,12
Mixed Broadleaf Evergreen/Deciduous Forests	0	18,48	18,48	18,48	18,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Open Forests	11253,156	113215,24	111717,92	111412,64	109913,88	109603,64	107447,32	106280,16	107327,36	108107,72	108750,2	106949,32	107226,92	107991,04	107975,6	110473,04	113571,16	123155,4	115352,84	2821,28
Sparse Forests	200917,56	205488,64	210025,24	208493,68	215132,32	218783,2	225841,48	235837,12	246447,52	252090,48	255866,2	257172,92	258011,44	261518,92	271047,52	274272,2	287065,64	280804,24	280479,76	79562,2
Dense Herbaceous	618775,36	608930,76	603828,8	603152,56	597643,36	592977,04	588996,36	577810,64	563009,52	553835,08	548699,32	548881,24	543763,8	537078,08	525169,84	517828	512387,72	501595,2	507961,16	-110814,2

Sparse Herbaceous	2541,88	2626,48	2661,48	2753,04	2656,24	2655,68	2391,66	2338,72	2509,24	2378,28	2426,12	2385,64	2270,96	2260,64	2117,16	2130,32	2019,44	1948,4	1752,32	-789,56
Dense Shrublands	19,36	19,36	124,48	124,48	124,48	124,48	162,32	126,2	58,04	39,56	37,84	18,48	22,32	22,32	18,48	18,48	18,48	18,48	18,48	-0,88
Shrubland/Grassland Mosaics	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sparse Shrublands	352,28	338,32	278,32	242,2	224,56	224,56	224,44	186,6	130,28	111,8	111,8	130,28	147,92	130,28	147,92	130,48	128,56	149,64	149,64	-202,64

Nel grafico mostrato in Figura 14 è riportato l'andamento di tutte le classi definite nella LCCS1 e un grafico (Figura 15) di confronto tra il 2001 e il 2019 volto soprattutto a porre in risalto le differenze..

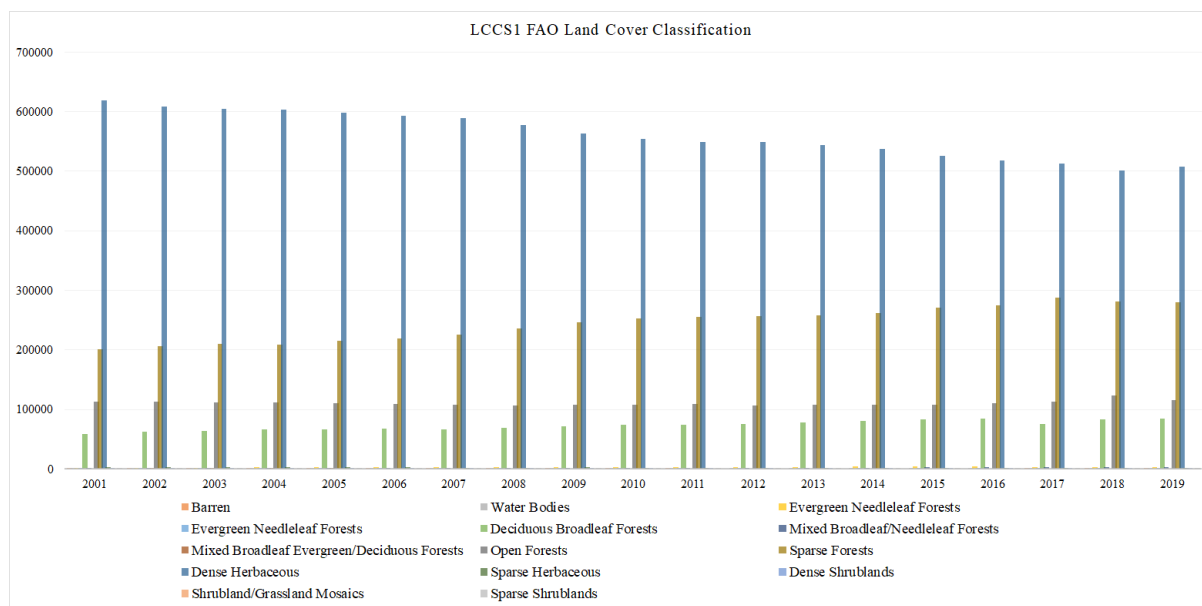


Figura 14: Andamento delle aree in (ha) relative alla Classificazione della copertura del suolo LCCS1 2001-2019

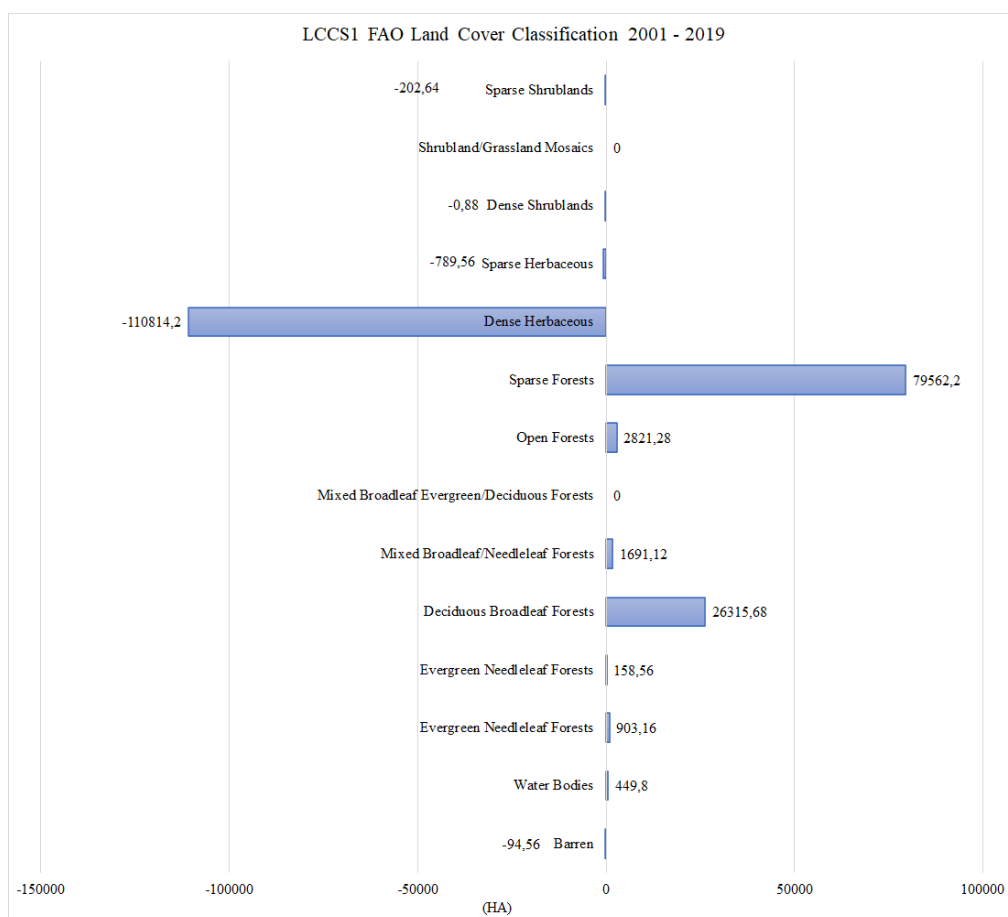


Figura 15: Differenza tra le aree di LCCS1 di copertura del suolo 2019 e 2001

Successivamente è stata elaborata la classificazione FAO di secondo livello LCCS2 sull'uso del suolo di cui sono stati riportati i valori per tutta la serie storica in Tabella 13.

Tabella 13: Classificazione della copertura del suolo LCCS1 in ettari (ha) dal 2001 al 2019

LCCS2 FAO Land use Classification (ha)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2001-2019
Barren	112,68	94,2	74,84	37	55,48	55,48	55,48	55,48	37	37	37	0	0	0	0	0	72,24	36,96	18,12	-94,56
Water Bodies	948,32	948,32	1359,4	1472,9	1529,28	1548,64	1492,28	1416,6	1472,92	1546,88	1546,88	1546,88	1546,88	1565,4	1546,04	1546,04	1417,48	1360,28	1398,12	449,8
Urban and Built-up Lands	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13853,84	13873,2	13892,56	13892,56	13892,56	13892,56	13892,56	13911,04	13911,04	57,2
Dense Forests	62428,52	66966,16	68557,92	70938,88	71347,12	72637,56	71998,32	74558,32	77617,96	80463,04	81134,48	81525,08	85619,6	88043,16	90587,28	92211,48	81929,12	89541,24	91479,4	29050,88
Open Forests	304700,2	309294,2	31194,884	309318,04	31391,432	31605,296	31991,376	32738,66	33794,78	34313,648	34682,524	34544,824	34539,948	34881,644	35691,004	36054,74	37651,66	37356,332	36482,42	60124
Forest/Cropland Mosaics	1816,48	2061,24	2276,36	2998,96	3487,92	4690,84	5685,92	6778,44	7689,12	8701,08	9336,56	10219,4	11327,92	12086,68	13172,68	15039,88	14506,24	20847,52	21572,16	19755,68
Natural Herbaceous	114761,64	119396,64	12798,732	127534,96	13343,576	13377,644	13161,128	12701,756	12311,968	12177,744	12353,492	12569,744	12395,376	12198,46	12009,872	11576,384	11901,288	10785,16	10448,36	-10278,04
Herbaceous Croplands	499838,76	485859,44	47233,52	472274,24	46080,444	45581,36	45378,008	44736,048	43675,716	42899,82	42224,676	42020,632	41677,252	41212,388	40230,924	39951,536	39118,88	39138,612	40082,992	-99008,84
Shrublands	167,4	153,44	234,68	198,56	198,56	198,56	236,28	200,16	132	113,52	111,8	110,92	114,76	114,76	110,92	110,92	91,56	129,4	110,92	-56,48

Analizzando i grafici riportati in Figura 16 e 17, risalta subito il decremento della classe Herbaceous Cropland che individua sostanzialmente prati e zone coltivate con un'area persa di circa 100000 ettari negli ultimi 20 anni e una crescita delle aree boscate individuate dalle classi Dense Forests e Open Forests.

Questi dati seppur di tipo speditivo confermano le ultime analisi sull'andamento delle aree coltivate probabilmente in abbandono e le aree boscate invece in crescita sul tutto il territorio nazionale ed in particolare nella nostra regione.

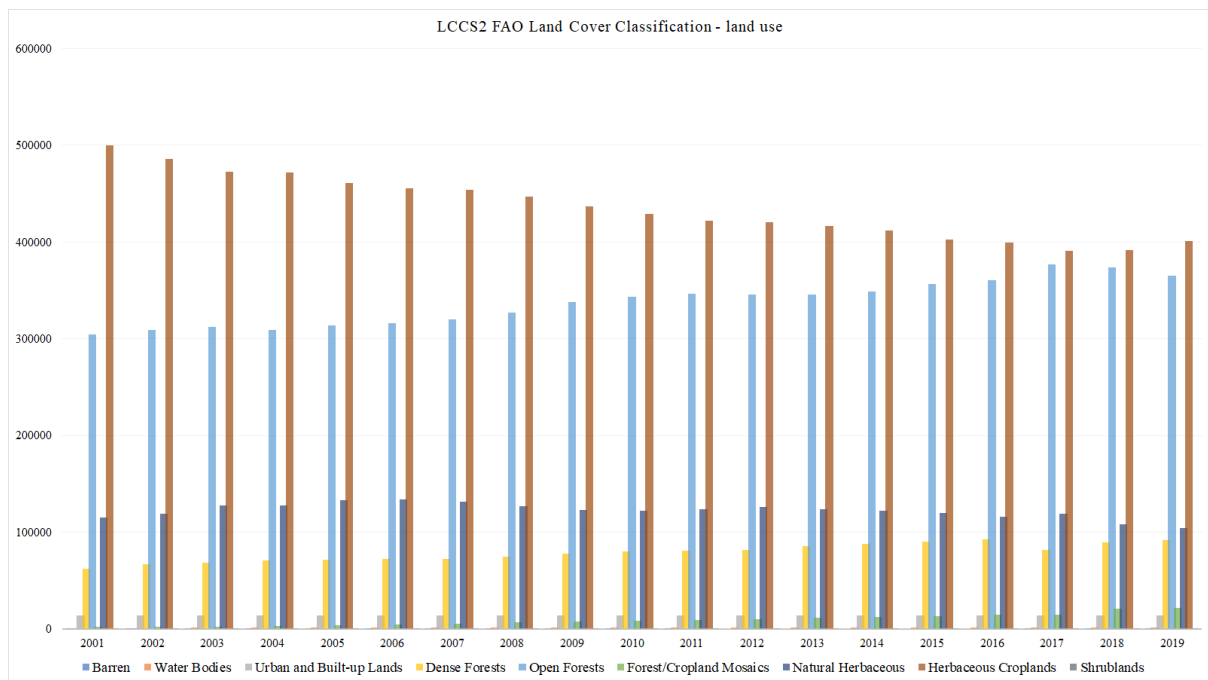


Figura 16: Andamento delle aree in (ha) relative alla Classificazione della copertura del suolo LCCS2 2001-2019

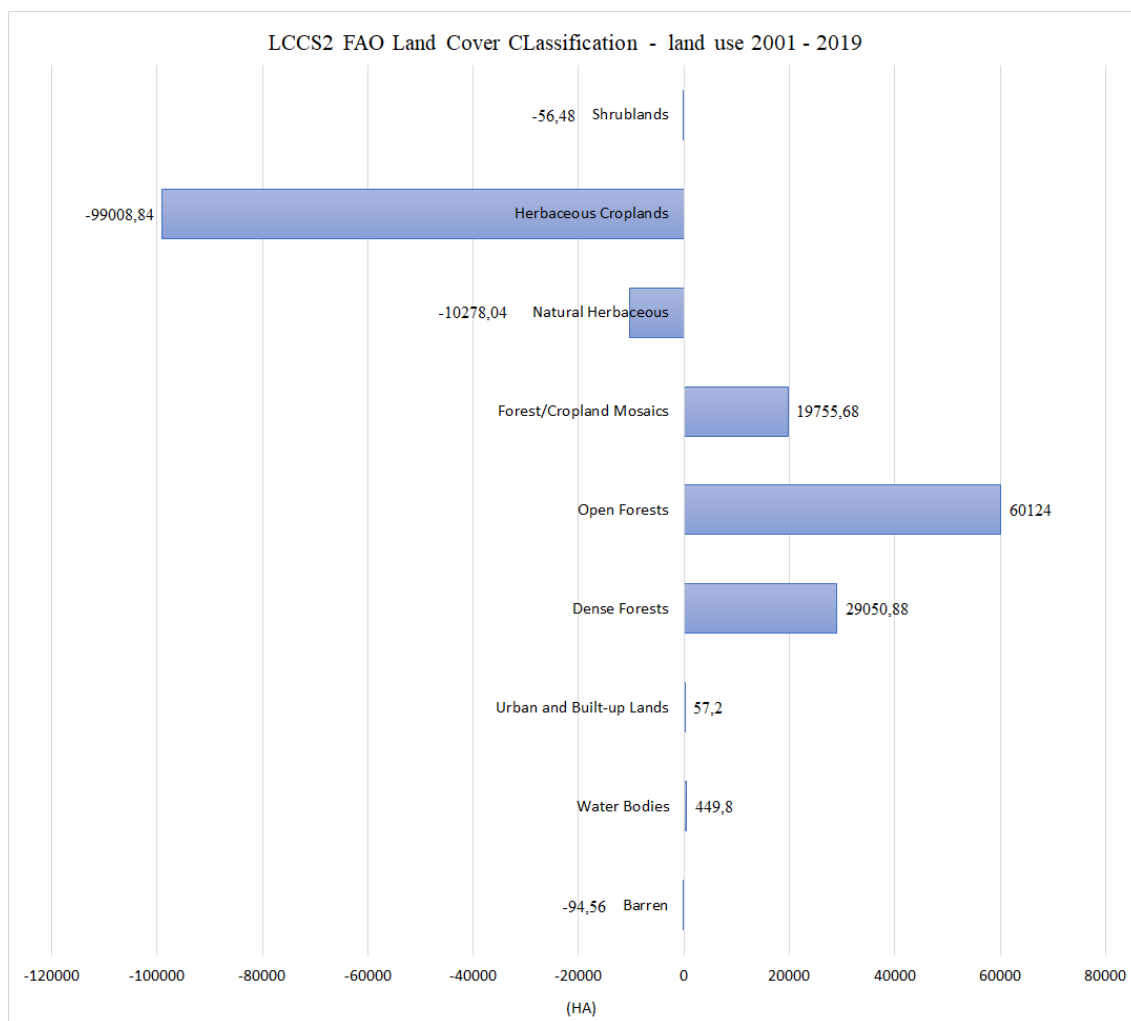


Figura 17: Differenza tra le aree in (ha) delle classi di uso del suolo LCCS2 2019 e 2001

Nelle Figure 18 e 19 sono state riportate le mappe relative alla classificazione LCCS1 e LCCS2 rispettivamente, per un confronto visivo delle differenze tra il 2001 e il 2019.

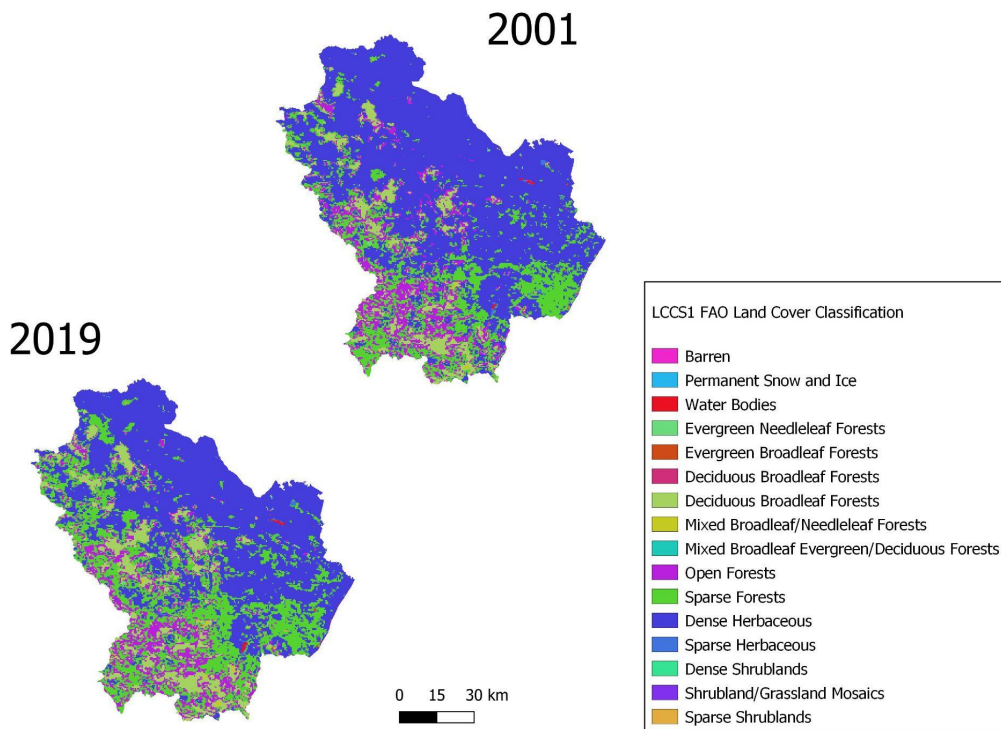


Figura 18: Mappa della copertura del suolo secondo il sistema di Classificazione LCCS1 2001- 2019

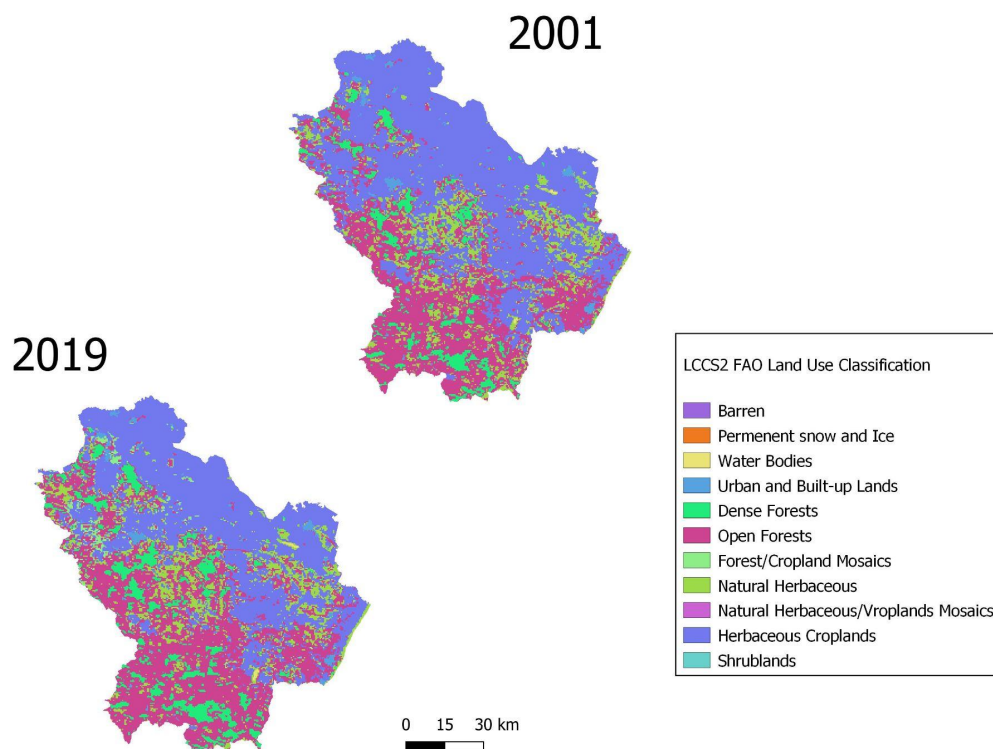


Figura 19: Mappa dell'uso del suolo secondo il sistema di Classificazione LCCS2 2001- 2019

5. DISCUSSIONE

L'utilizzo di dataset disponibili online basati sul telerilevamento rappresenta sicuramente una fonte di dati importanti e che permette di effettuare analisi sulle caratteristiche territoriali e paesaggistiche e valutazioni sulle dinamiche di trasformazione in maniera rapida e per grosse porzioni di territorio. Quelli comunemente utilizzati in ambito scientifico e che sono stati indagati in questo lavoro, hanno il vantaggio di garantire la possibilità di realizzare analisi spaziali a livello regionale e nazionale in maniera davvero semplice e immediata utilizzando solamente alcune operazioni spaziali all'interno di un software GIS.

Ma le caratteristiche del dato permettono sicuramente di avere uno sguardo complessivo sul territorio, ma allo stesso tempo non tiene conto di dinamiche locali e specifiche che necessitano d'indagini più accurate utilizzando tecniche e dati di base che garantiscono una scala di rappresentazione molto grande. Infatti, analizzando quello che emerge dalle elaborazioni delle mappe di CLC, le dinamiche non sono chiare e ben definite. Questo dipende sia dal dato utilizzato ma anche dal livello di aggregazione, infatti utilizzando delle macro classi, queste divergenze si riducono e in parte rientrano con quanto si può leggere sui vari report nazionali. Un esempio legato alla classificazione è stato riportato nei paragrafi precedenti. Detto ciò, c'è una differenza sostanziale tra i primi dataset (1990 e 2000) e quelli più recenti (2006-2018) in virtù dei miglioramenti delle tecniche e delle immagini satellitari utilizzate e considerato che l'ISPRA ha preso parte alla verifica. Questo è riscontrabile anche in pubblicazioni scientifiche che trattano questi temi. Sicuramente utilizzare i dataset CLC va valutato con attenzione e ponderato in relazione agli obiettivi specifici. Inoltre c'è da considerare che, anche se l'accuratezza globale è stimata intorno all'85%, ci sono della variabilità da regione e regione.

Tra i vari dataset messi a disposizione dal Land Monitoring Service di Copernicus, sono presenti quelli definiti High Resolution Layers e che tengono in considerazione alcune classi di copertura specifica del territorio e che necessitano di maggior attenzione. In questo lavoro è stato valutato quello relativo alle praterie (Grasslands) e che sicuramente può rappresentare un ottimo strato informativo di base da approfondire e utilizzare per indagini più specifiche o come supporto a ulteriori metodologie di detection.

Per valutazioni di carattere ecologico, vegetazionale e naturalistico, è molto utile far affidamento sulla Carta della Natura 2013 la quale permette anche d'identificare alcune dinamiche di trasformazione in quanto sono presenti informazioni relative alla vegetazione post colturale e che quindi può essere utilizzata per analisi sui trend di abbandono agricolo e relativi impatti. Tra i dataset a copertura sovranazionale sono stati analizzati anche quelli realizzati a partire dai satelliti MODIS i quali anche se a una accuratezza stimata inferiore rispetto a quella indicata dalla CLC di Copernicus, sembrano fornire un quadro più definito e in linea con quanto presente in letteratura scientifica. In questo caso però, oltre alle differenti tecniche e immagini utilizzate, è stata utilizzata anche una nomenclatura differente (FAO). In conclusione, dalla review di alcuni database di LULC presenti online è emerso che è necessario affrontare il tema della classificazione del territorio sia con nuove metodologie che permettano una più accurata detection del territorio, sia con degli approcci sub-regionali o locali così da poter utilizzare una scala inferiore e sfruttare le conoscenze del territorio in modo tale da realizzare mappe di copertura e uso del suolo che meglio possano essere utilizzate per affrontare temi importanti come il consumo di suolo e land degradation.

In questo contesto si inserisce la Parte II di questo lavoro.

PARTE II - APPROCCIO A SCALA LOCALE E METODOLOGIE INNOVATIVE PER LA CLASSIFICAZIONE DELLA COPERTURA DEL SUOLO

In considerazione dei risultati e delle discussioni presentate nella parte I, è chiaro che per realizzare una banca dati che consenta d'individuare delle tendenze in atto sul territorio e di valutare la sostenibilità delle scelte della pianificazione, è necessario creare dei dataset ex-novo e che tengano conto di una scala locale e/o sub-regionale; in modo tale da avere un maggior livello di dettaglio così da poter evidenziare dinamiche territoriali specifiche che altrimenti non emergono dagli studi a scale più piccole con i dataset disponibili online.

Ma per realizzare questo approccio, è necessario anche implementare metodologie alternative basate su tecniche GIS e remote sensing che integrano differenti tipi di dati (da quello cartografico a quello telerilevato).

Qui di seguito vengono illustrati diversi casi di studio su cui sono state fatte delle indagini preliminari e in corso di approfondimento ma che hanno già fornito delle indicazioni importanti sia sulle dinamiche locali in alcune aree del territorio lucano, sia sulle metodologie innovative che possono essere replicate in diversi altri contesti.

1. CASO DI STUDIO “PARCO REGIONALE GALLIPOLI COGNATO PICCOLE DOLOMITI LUCANE

1.1. AREA DI STUDIO

L'area di studio interessa il Parco Regionale Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane. Il parco si estende a cavallo delle province di Matera e di Potenza (Figura 20).

Le cime più importanti fanno parte, dell'Appennino lucano e sono, per il versante materano, il monte dell'Impiso (1319 m s.l.m.) ed il Monte Croccia (1149 m s.l.m.). I corsi d'acqua che scorrono negli impluvi di questo versante fanno parte del bacino imbrifero del fiume Cavone e tra di essi il principale è il torrente Salandrella. Tra le Dolomiti lucane ed i versanti coperti dalla foresta di Gallipoli-Cognato in una profonda gola scorre il Rio di Caperrino, affluente di destra del Basento. Infatti nei pressi della confluenza tra questi due corsi d'acqua si trova lo svincolo che dalla Basentana porta, seguendo le relative indicazioni, sia ad Accettura che al cuore delle Dolomiti Lucane (Castelmezzano e Pietrapertosa).

Sui territori dei tre comuni della provincia di Matera (Accettura, Calciano ed Oliveto Lucano), si estende per circa 4200 ettari la foresta di Gallipoli Cognato, che parte dai fondovalle del Basento per arrivare ai 1319 m s.l.m. del monte Croccia, la sua cima più alta. In territorio di Accettura vi è anche il bosco di Montepiano, un'antica cerreta coltivata a bosco deciduo, che si estende per circa 800 ettari.

Alla provincia di Potenza, invece, appartengono le Dolomiti lucane, montagne costituite da rocce di arenaria quarzifera appartenenti alla serie del flysch di Gorgoglione, modellate profondamente dagli agenti atmosferici e dagli eventi che contraddistinguono la storia geologica di questa porzione della Basilicata. Gli stessi centri abitati di Castelmezzano e Pietrapertosa sono straordinariamente pittoreschi, essendo aggrappati alle pareti rocciose delle montagne che li circondano e che con le loro forme danno luogo a scenari suggestivi ed a paesaggi mozzafiato. Le vette più elevate delle Dolomiti Lucane, che appartengono alla provincia di Potenza, sono il monte Caperrino, che raggiunge i 1455 m s.l.m., la Serra della Rossa (1179 m s.l.m.) che è la cima maggiore della catena montuosa detta Costa la Rossa (visibile per lunghi tratti dalla strada che porta ad Accettura e dal bosco di Gallipoli-Cognato) e il monte Murge, di 1004 m.

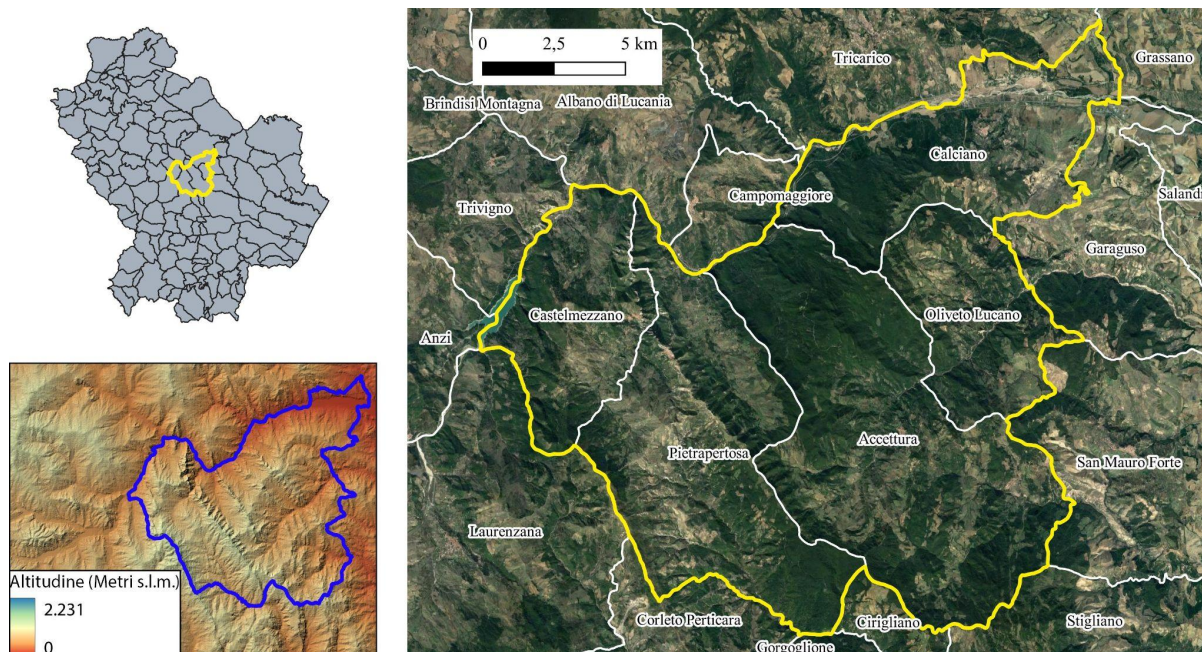


Figura 20: Localizzazione del Parco Regionale Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane

1.2. DATASET E STRUMENTI

Il lavoro si è basato sull'integrazione di tecniche di telerilevamento e Sistemi Informativi Geografici (GIS) con tecnologie FoSS (Free and Open Source Software) e dataset aperti e liberamente disponibili. L'utilizzo di nuove tecnologie e l'integrazione dei diversi dataset di dati territoriali, offrono la possibilità di studiare e monitorare l'evoluzione del territorio a una ampia scala temporale e spaziale. L'efficienza sempre maggiore delle tecniche di analisi e l'interoperabilità dei diversi dati, rappresentano un punto di forza per il pianificatore in termini di definizione di piani e strategie coerenti con le reali esigenze e problematiche ambientali. L'intera procedura è stata realizzata con software open source QGIS e relativi plugins. QGIS è un software GIS (Geographic Information System) che permette di analizzare ed editare dati spaziali e supportare sia dati vettoriali che raster; inoltre, integra al suo interno altri algoritmi di processing di altri software open source come GRASS GIS e SAGA GIS. In questo lavoro, gli strumenti utilizzati sono tutti open source e le analisi spaziali effettuate hanno riguardato l'uso contemporaneo di diverse tipologie di dati free of charge. Questo permette di adottare le stesse tecniche in altri contesti territoriali. I risultati ottenuti sono disponibili sul sito MEV CSU. In generale le metodologie individuate si basano sull'utilizzo di dati satellitari Sentinel e Landsat, ai quali sono state associate altre diverse fonti di geodati, basi cartografiche e ortofoto. Negli ultimi anni l'integrazione tra telerilevamento da satellite e GIS è sempre più efficiente e attuabile. Entrambi sono molto utili ai fini della costruzione di modelli di caratterizzazione del territorio e realizzazione di database di copertura e uso del suolo.

Sono state utilizzate per l'anno 1990 delle immagini di Landsat 5 TM e per il 2018 quelle di Sentinel L2A.

- Landsat 5

Dal 1984, Landsat 5 ha raccolto più di 700.000 immagini e ha osservato i cambiamenti climatici, le pratiche agricole, lo sviluppo e l'urbanizzazione delle città, l'evoluzione degli ecosistemi e la crescente domanda di risorse naturali.

Il sensore Landsat Thematic Mapper (TM) è stato portato su Landsat 4 e Landsat 5, e ha creato immagini composte da sei bande spettrali con una risoluzione spaziale di 30 metri per le bande 1-5 e 7, e una banda termica (banda 6). La dimensione approssimativa della scena è di 170 km nord-sud e 183 km est-ovest (Tabella 14).

Per il download si è fatto affidamento sul servizio di EarthExplorer.

Tabella 14: Caratteristiche delle bande di Landsat 5

Sensore	Num. Banda	Nome banda	Lunghezze d'onda (μm)	Risoluzione (m)
TM	1	Blue	0.45 - 0.52	30
TM	2	Verde	0.52 - 0.60	30
TM	3	Rosso	0.63 - 0.69	30
TM	4	NIR	0.76 - 0.90	30
TM	5	SWIR 1	1.55 - 1.75	30
TM	6	Termica	10.40 - 12.50	120
TM	7	SWIR 2	2.08 - 2.35	30

- Sentinel 2

Un valido contributo allo studio e al monitoraggio delle aree oggetto di studio è dato, ad esempio, dai prodotti Sentinel della Missione Copernicus. Copernicus è un complesso programma di osservazione satellitare della Terra lanciato nel 1998 dalla Commissione Europea e da un pool di agenzie spaziali, con l'obiettivo principale di garantire all'Europa una sostanziale indipendenza nell'osservazione del Pianeta. Copernicus fornisce informazioni accurate, tempestive e facilmente accessibili, ricopre un ruolo importantissimo nella gestione dei dati per il monitoraggio e la gestione dei disastri naturali, monitoraggio degli oceani e della vegetazione e cambiamenti climatici. La missione si basa su una serie di 6 tipologie di satelliti, chiamati Sentinelle, specializzati in precise applicazioni. Il programma

Sentinel-2, sviluppato dall'ESA, è in grado di monitorare lo sviluppo della vegetazione valutando i contenuti di acqua e le variazioni dei livelli di clorofilla ed è di supporto per le emergenze ambientali quali ad esempio eruzioni vulcaniche ed incendi. Si costituisce di due satelliti identici, Sentinel-2A e Sentinel-2B. I dati forniti dai satelliti gemelli sono appropriati per il monitoraggio ambientale in quanto forniscono immagini ottiche multispettrali ad elevata risoluzione utilizzando 13 bande spettrali con una risoluzione spaziale che va dai 10 m ai 60 m (Figura 21). Le immagini satellitari Sentinel sono state scaricate attraverso il servizio ufficiale di download dell'hub di Sentinel.

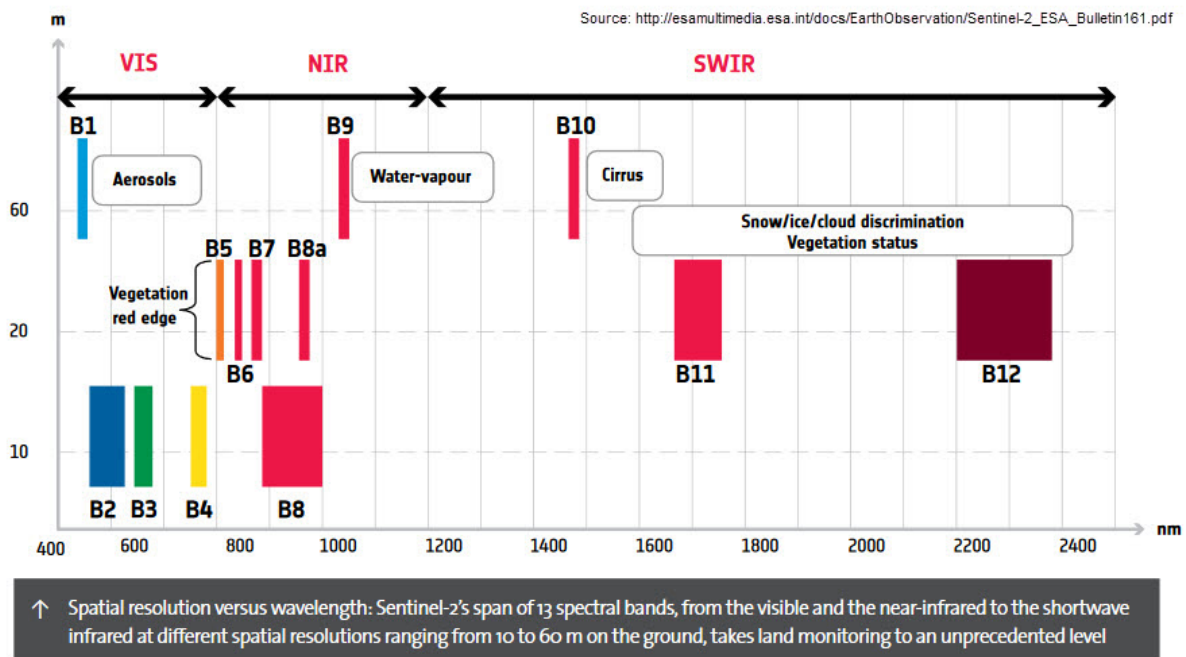


Figura 21: Risoluzione spaziale rispetto alla lunghezza d'onda - Il sensore multispettrale ha 13 bande a diversa risoluzione spaziale 10, 20, 60 e risoluzione spettrale che va dal visibile all'infrarosso a onde corte.

Per la classificazione delle immagini satellitari è stato utilizzato come software open SNAP ToolBox. SNAP è un tool open source messa a disposizione dell'Agenzia Spaziale Europea ideale per l'elaborazione dei dati di Osservazione della Terra.

1.3. ANALISI DELLA COPERTURA DEL SUOLO 1990-2018

In entrambi gli anni di studio è stata utilizzata una classificazione supervisionata.

Esistono vari algoritmi di classificazione supervisionata e la scelta può influenzare i risultati anche in maniera sostanziale. Qui è stato utilizzato l'algoritmo Random Forest più efficiente quando si tratta di classificare valori molto eterogenei tra loro.

Nella classificazione supervisionata, abbiamo una conoscenza preliminare di alcuni tipi di copertura del suolo attraverso, per esempio, lavoro sul campo, dati spaziali di riferimento o interpretazione d'immagini ad alta risoluzione (come quelle disponibili su Google Maps). Vengono identificati siti specifici nell'area di studio che rappresentano esempi omogenei di copertura del suolo. Queste aree sono comunemente chiamate siti di addestramento/ Region Of Interest (ROI) perché le proprietà spettrali di questi siti sono utilizzate per addestrare l'algoritmo di classificazione. In questo lavoro i dati spaziali di riferimento per

realizzare le aree di addestramento dell'algoritmo sono state estratte dalle ortofoto B/N 1988/1989 messe a disposizione dal Geoportale Nazionale e l'ortofoto AGEA 2017 della Regione Basilicata.

Random Forest (RF) è una tecnica di classificazione e regressione ad albero inventata da Breiman (2001; Breiman et al., 2006). Una RF campiona casualmente e iterativamente i dati e le variabili per generare un grande gruppo, o foresta, di alberi di classificazione e regressione. L'output di classificazione da RF rappresenta la modalità statistica di molti alberi di decisione, ottenendo un modello più robusto di un singolo albero di classificazione prodotto da una singola esecuzione del modello. L'output di regressione da RF rappresenta la media di tutti gli alberi di regressione cresciuti in parallelo senza tagli. Tre proprietà utili di RF sono le stime degli errori interni, la capacità di stimare l'importanza delle variabili e la capacità di gestire variabili esplicative deboli. La natura iterativa di RF gli conferisce un vantaggio distinto rispetto agli altri metodi, in quanto in questo modo i dati vengono effettivamente sottoposti a bootstrap (alimentando sottoinsiemi casuali di dati di formazione) per ottenere previsioni più robuste. Questo aiuta a ridurre la correlazione tra gli alberi. Sottoinsiemi casuali di variabili predittive permettono la derivazione delle misure d'importanza delle variabili e prevengono i problemi associati alle variabili correlate e all'over fitting.

L'utilizzo di questo algoritmo ha permesso di realizzare la mappatura della copertura del suolo sulla base di alcune macro classi. Considerando la diversa risoluzione spaziale delle immagini satellitari utilizzate, le immagini Sentinel 2 sono state ricampionate a 30 metri (Figura 22). Anche in questo caso sono state calcolate le superfici in ettari e in percentuale per i due anni di studio e i cambiamenti da un anno all'altro.

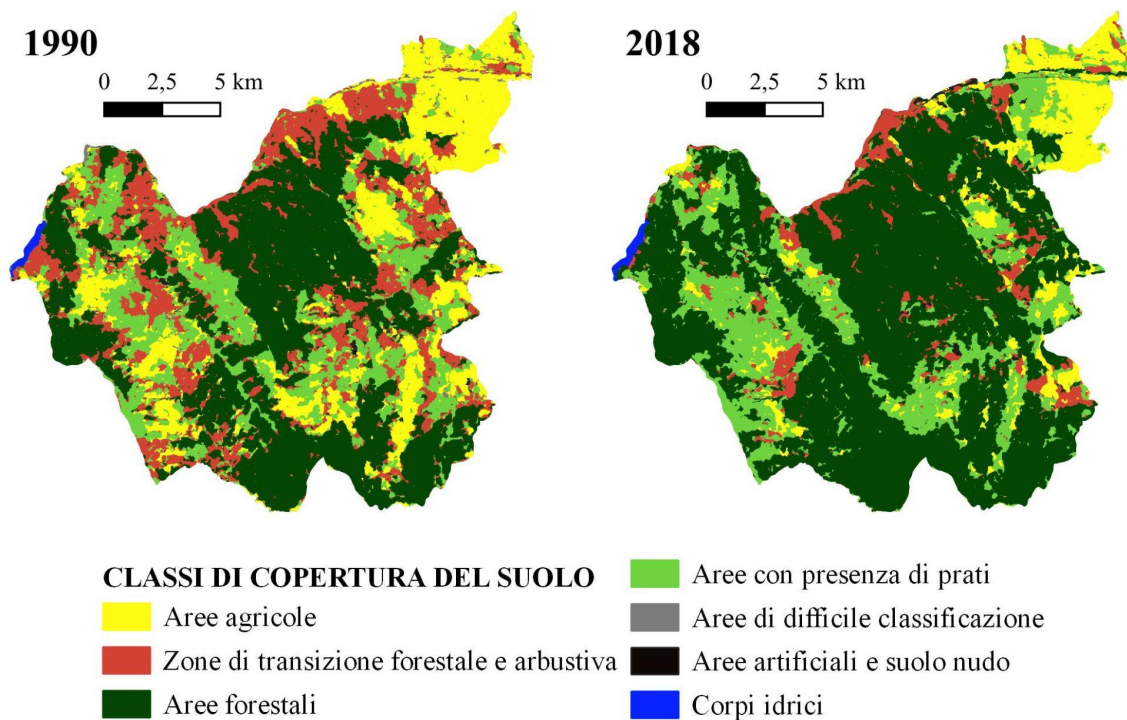


Figura 22: Mappatura della copertura del suolo per gli anni 1990 e 2018

La mappatura è stata realizzata per macro classi. Considerato che si tratta di uno studio preliminare, l'attenzione è ricaduta maggiormente sulle dinamiche che interessano le classi

agricole e naturali in virtù sia degli obiettivi del progetto sia per le caratteristiche dell'area di studio (essendo un Parco regionale a elevato valore ecologico e naturalistico).

Per queste classi sono stati definiti maggiori siti di addestramento ed è stata effettuata una valutazione dell'accuratezza più precisa e attenta. Alcune aree non sono state classificate e quelle artificiali e suolo nudo sono state accorpate dato che non è stata effettuata una classificazione di dettaglio ma solamente speditiva.

Le variazioni che emergono sono mostrate visivamente nella Figura 23 in cui si evince il maggior grado di frammentazione del territorio nel 1990 rispetto al 2018. Dall'analisi dei dati tabellari (Tabella 15) emergono importanti cambiamenti in termini superficiali che non emergevano dall'analisi dei LC changes forniti da Copernicus (Parte I).

Tabella 15: Superficie in ettari ed in percentuale rispetto alla superficie del Parco per i due anni di analisi.

	1990		2018		1990-2018
	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)	%	Ettari (ha)
Aree agricole	4998.00	18.47	3620.40	13.38	-1377.60
Zone di transizione forestale e arbustiva	6626.55	24.48	3213.69	11.87	-3412.86
Aree forestali	9072.78	33.52	13710.46	50.66	4637.68
Aree con presenza di prati	5881.64	21.73	6143.06	22.70	261.42
Aree di difficile classificazione	306.95	1.13	166.30	0.61	-140.65
Aree artificiali e suolo nudo	121.14	0.45	139.26	0.51	18.11
Corpi idrici	58.37	0.22	72.28	0.27	13.91
Totali	27065.444	100	27065.444	100	

Durante questi 28 anni di anni, si è assistito a una riduzione delle aree agricole e di un aumento importante delle aree forestali. Situazione che si riscontra in altre aree interne lucane ed extra regionali (Statuto et al.2019, Tortora et al., 2015 Agnoletti, 2014; Modica et al., 2012). Un'altra classe che necessita di una valutazione attenta è quella delle zone di transizione forestale e arbustiva la quale risulta ridotta di quasi 3500 ettari.

Queste dinamiche sono ascrivibili al fenomeno dell'abbandono del territorio e delle aree agricole (comune in molte aree interne montane e collinari dell'Appennino) che sta determinando un aumento delle aree forestali a sfavore di quelle agricole. Una riduzione delle aree agricole sia in termini di seminativi sia in termini di aree pascolo. Infatti in questo studio è stato dimostrato che molte aree di transizione con vegetazione forestale rada legate al pascolo allo stato brado, nel 2018 sono sparite (convertite in foreste per la maggior parte) in quanto c'è stata una forte riduzione del pascolo (dati ISTAT).

Entrando nel dettaglio delle dinamiche di cambiamento di copertura che hanno interessato le classi agricole e naturali / semi-naturali, è stata effettuata una change detection evidenziando solamente i cambiamenti intercorsi reciprocamente da una classe all'altra nel periodo 1990 e 2018. Infatti nella Figura 23 sono stati mappati i cambiamenti di copertura per le classi Aree agricole, Zone di transizione forestali e arbustive, Aree forestali e Aree con

presenza di prati considerando solamente le transizioni avvenute all'interno di queste.

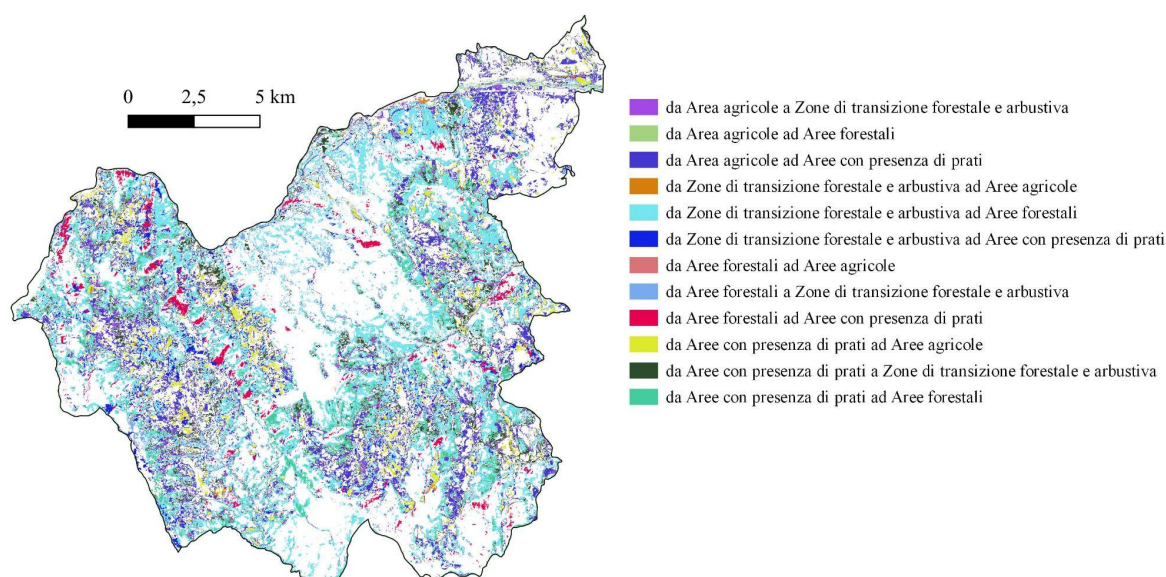


Figura 23: Transizione dall'anno 1990 al 2018 solamente per le classi riportate in legenda. Sono state escluse le aree che non presentavano cambiamenti e quelle caratterizzate dalle altre classi.

Le traiettorie di cambiamento sono state misurate in ettari (Tabella 16). Dall'analisi dei dati emerge che il maggior cambiamento ha riguardato il passaggio da zone di transizione ad aree arbustive come naturale successione ecologica a seguito dell'abbandono del territorio, la riduzione delle utilizzazioni forestali e di pratiche agricole tradizionali come il pascolo. Un altro sintomo del processo di abbandono riguarda i 1771,89 ettari di aree agricole che sono diventate aree con presenza di prati (incolti erbacei o zone a pascolo sporadico in alcuni casi). Tutte queste dinamiche, di notevole entità, emergono solamente attraverso un'analisi accurata e di dettaglio con l'elaborazione di classificazioni di copertura del suolo a una scala più grande rispetto a quella utilizzata nei dataset CLC.

Tabella 16: Traiettorie di cambiamento espresse in ettari.

Traiettoria di cambiamento dal 1990 al 2018	Ettari (ha)
da Zone di transizione forestale e arbustiva ad Aree forestali	3950.68
da Area agricole ad Aree con presenza di prati	1771.886
da Aree con presenza di prati ad Aree forestali	1327.382
da Aree con presenza di prati a Zone di transizione forestale e arbustiva	1232.623
da Zone di transizione forestale e arbustiva ad Aree con presenza di prati	1206.984
da Aree con presenza di prati ad Aree agricole	711.392
da Aree forestali ad Aree con presenza di prati	517.207
da Area agricole a Zone di transizione forestale e arbustiva	376.524
da Aree forestali a Zone di transizione forestale e arbustiva	283.36
da Area agricole ad Aree forestali	160.129
da Zone di transizione forestale e arbustiva ad Aree agricole	155.731
da Aree forestali ad Aree agricole	16.169

2. METODOLOGIE AVANZATE DI CLASSIFICAZIONE PER MIGLIORARE I DATABASE LUCL DELLA BASILICATA

In Basilicata, le dinamiche di land cover degli ultimi 30 anni sono legate ai cosiddetti processi di erosione rispetto alle aree agricole stabili, in cui la fase di transizione di tali aree verso l'urbanizzazione a bassa densità incide in misura molto marginale rispetto ai fenomeni di abbandono ed eventuale rinaturalizzazione che in alcuni casi sono correlati a processi di land degradation. Questa componente del fenomeno si manifesta in aree caratterizzate da forti perdite di superficie agricola utilizzata (e dunque, tendenzialmente, da un'agricoltura economicamente marginale).

Il telerilevamento viene utilizzato come fulcro di una metodologia di analisi dei cambi con lo scopo di determinare l'entità e la posizione delle principali trasformazioni della copertura del suolo nel periodo che va dal 1985 ai giorni nostri.

Remote sensing e GIS sono utilizzati in questo studio per soddisfare i seguenti obiettivi:

- 1) Identificare, mappare e analizzare il cambiamento della copertura del suolo in Basilicata;
- 2) Stabilire metodologie e tecniche per il monitoraggio continuo dei cambiamenti futuri;
- 3) Utilizzare diverse tecniche di trattamento delle immagini per migliorare i risultati di accuratezza delle classificazioni.

Si stanno sviluppando e mettendo a punto due tecniche di detection del territorio su cui si sta lavorando parallelamente così da avere uno sguardo più ampio e per una successiva integrazione futura.

Le due metodologie sono:

- Principal Component Analysis e classificazione non supervisionata
- Analisi sulle serie storiche di NDVI [Riportata nel WP4 <https://sites.google.com/unibas.it/mev-csu/land-degradation?authuser=0> per cui in questo report viene solamente citata]

2.1. L'UTILIZZO DELLA PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS e DELLA CLASSIFICAZIONE NON SUPERVISIONATA

2.1.1. Analisi di tessitura

Il territorio della Basilicata è principalmente costituito da terreni agricoli, aree non agricole (boschi, arbusteti, praterie) e aree urbanizzate. Questi diversi tipi di uso del suolo hanno differenti tessiture spaziali che possono essere usate come input in un processo di classificazione non supervisionata. Le aree urbane in genere hanno una tessitura significativa derivante da edifici e strade. In confronto, le aree omogenee, come i terreni agricoli hanno tessitura nulla o poco rilevante. Diversi parametri (media, dissimilarità, contrasto e omogeneità) e diverse dimensioni delle finestre (3x3, 5x5, 7x7) possono essere generate utilizzando la banda 2 o 3 di Landsat. La misura della tessitura media, uno dei

migliori parametri per applicazioni urbane, delinea il confine di diversi campi agricoli e superficie forestale, così come distingue l'urbano dal non urbano.

Per il presente lavoro le misure della tessitura sono state calcolate su una finestra di dimensioni 3x3 di pixel con una matrice di co-occorrenza, consistente in una matrice quadrata che include la frequenza relativa di ogni accoppiamento di pixel contigui. In base a questa matrice sono state calcolate le misure tessiturali nella banda 3 dell'immagine TM, relative all'omogeneità e al contrasto. In più, sempre sulla stessa finestra di dimensioni 3x3 di pixel, è stata calcolata la varianza a partire dalla matrice di occorrenza che usa il numero delle occorrenze di ogni livello di grigio all'interno della finestra di elaborazione per le misure di tessitura (Figura 24).

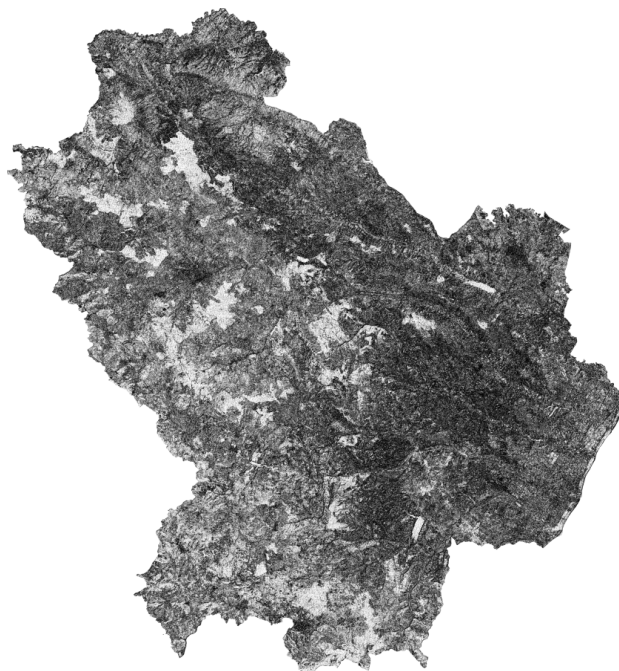


Figura 24: Esempio di tessitura dell'immagine TM (18 agosto 2011) calcolata con il metodo dell'omogeneità (a toni di grigio più chiari corrisponde un aumento dell'omogeneità)

2.1.2. Principal Component Analysis

La Principal Component Analysis (PCA) riduce la dimensionalità dell'immagine comprimendo i dati in un minor numero di bande. La PCA produce nuove componenti principali (PC 1, PC 2, PC 3...etc.), che sono non correlati tra loro e ordinati in termini di quantità di varianza che essi rappresentano rispetto all'insieme delle bande originali. Queste bande sono spesso più interpretabili rispetto ai dati di origine. PCA è ampiamente usata nel rilevare cambiamenti nei dati di serie temporali ed è diventato una delle tecniche più popolari per la sua semplicità e la capacità di migliorare l'informazione sui cambi.

Le prime tre componenti tipicamente rappresentano oltre il 95 per cento della varianza totale nei dati originali.

In questo studio è stato fatto uso di serie temporali di dati Landsat Thematic Mapper (TM) estesi su un periodo di circa 25 anni (1985-2011) per individuare e mappare anomalie della

vegetazione nella Regione Basilicata. In questa fase è stato effettuato solo su questo periodo e successivamente l'analisi sarà estesa anche dal 2011 ad oggi.

L'indice di vegetazione NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) è stato usato come input per l'applicazione di una procedura di Principal Component Analysis (PCA).

PC1 spiega la maggior parte della variazione di NDVI e rappresenta la media spaziale di NDVI. PC1 mostra l'NDVI tipico su tutta la serie. PC2 spiega la variazione massima residua non spiegata da PC1 e le componenti successive seguono la stessa logica. Pertanto, le componenti successive a PC1 (soprattutto PC2) tendono a riflettere eventi specifici come incendi, periodi di siccità e, in generale, i fenomeni di degrado del suolo legati alla vegetazione, piuttosto che rappresentare lo sviluppo generale durante il periodo. PCA viene qui utilizzato come strumento per la mappatura di aree che presentano un grado misurabile di variabilità inter-annuale, in grado di discriminare le modifiche unidirezionali.

Lo schema seguente (Figura 25) illustra la metodologia utilizzata:

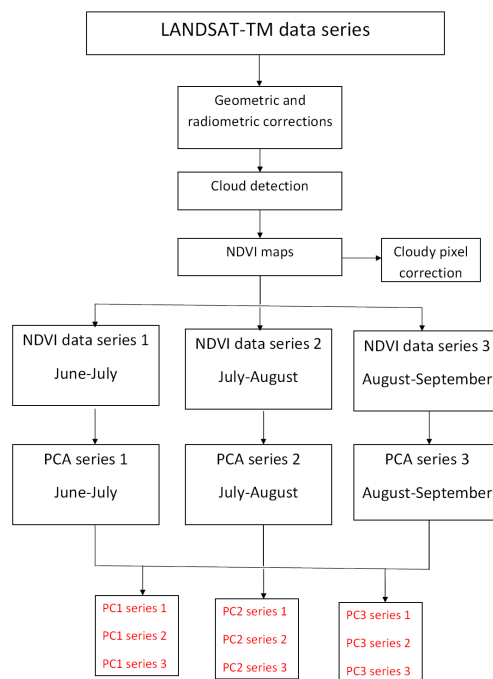


Figura 25: Schema a blocchi della metodologia

Le immagini LANDSAT-TM sono state selezionate sulla base della qualità del dato e della bassa percentuale di copertura nuvolosa nei mesi tra giugno e settembre (periodo 1985-2011). Su ogni immagine viene applicata una correzione radiometrica e geometrica e la detection dei pixel nuvolosi se necessario.

Dopo aver calcolato NDVI su ogni immagine vengono corretti i pixel nuvolosi sostituendoli con valori di NDVI calcolati da immagini TM cronologicamente precedenti o successive. A questo punto sono state create tre serie di dati NDVI corrispondenti ai periodi giugno-luglio, luglio-agosto e agosto-settembre. Ciò per evitare di applicare la PCA in periodi troppo differenti dal punto di vista fenologico. Per ognuna delle serie NDVI viene applicata la PCA. Infine le componenti (prima, seconda e terza) di ogni serie è stata combinata e analizzata separatamente.

2.1.3. Classificazione non supervisionata

Prima di implementare la classificazione delle immagini, la selezione di uno schema di classificazione adatto è importante. Attualmente la classificazione dell'uso del suolo è stata fatta mediante la classificazione non supervisionata. Questa non richiede la conoscenza a priori degli elementi da discriminare sulla scena, ma si basa solamente sui valori dei pixel dell'immagine, aggregando i dati in cluster.

Le date in esame sono il 10 agosto 1985 e il 18 agosto 2011. Le immagini sono state importate nel database di GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org/>).

Al fine di poter ottenere delle immagini landsat già pre-processate sono state utilizzate le Landsat Surface Reflectance Climate Data Records (CDR), che sono disponibili solo da alcuni mesi. La riflettanza espressa come surface reflectance derivata da Landsat 4-7 è generata da un software specializzato chiamato Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System (LEDAPS). Il software LEDAPS è stato originariamente sviluppato dalla National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Il set di dati CDR risultano molti utili in ambienti di ricerca (misure) di sovvenzione da parte della NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) e l'Università del Maryland (Masek et al., 2006). Il software applica Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) una routine di correzione atmosferica al livello-1 di LandsatTM o ETM+. Acqua vapore, ozono, altezza geopotenziale, spessore ottico di aerosol e modello digitale di elevazione, sono parametri in ingresso con i dati Landsat with Landsat usando il l'algoritmo 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum). I dati disponibili sono forniti con le maschere delle nuvole, dell'ombra delle stesse, delle nuvole adiacenti e l'acqua. L'immagine sarà disponibile come Landsat 4-7 Surface Reflectance (per approfondimenti:

http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf)

2.2. RISULTATI

Al fine di analizzare le varietà di uso del suolo della nostra Regione, in prima battuta, è stata applicata una classificazione non supervisionata valutando 10 classi di uso del suolo. Le immagini satellitari Landsat 5 scaricate sono entrambe a ridosso delle prima settimana di agosto, quindi con caratteristiche simili, e sono precisamente in data 10 agosto 1985 e 2 agosto 2011. L'algoritmo utilizzato (presente in GRASS GIS) è il maximum likelihood (massima verosimiglianza); Il metodo della massima verosimiglianza, in statistica, è un procedimento matematico per determinare uno stimatore. Caso particolare della più ampia classe di metodi di stima basata sugli stimatori d'estremo, il metodo consiste nel massimizzare la funzione di verosimiglianza, definita in base alla probabilità di osservare una data realizzazione campionaria, condizionatamente ai valori assunti dai parametri statistici oggetto di stima (https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_della_massima_verosimiglianza).

L'uso dei comandi `i.cluster` e `i.malik`, opportunamente settati, consentono quindi di avere in output una mappa di uso del suolo con una risoluzione spaziale di 30 per 30 metri e 10 classi. Le 10 classi così individuate rappresentano diversi usi del suolo e sono state sottoposte ad un processo di aggregazione poiché il fine ultimo è quello di concentrare l'attenzione sui suoli agricoli (Figura 26). La stessa procedura è stata effettuata sia per il 1985 sia per il 2011.

Legenda

LT5 10ago85 classi

- boschi
- vigneti oliveti frutteti
- prati arbusti
- agricolo

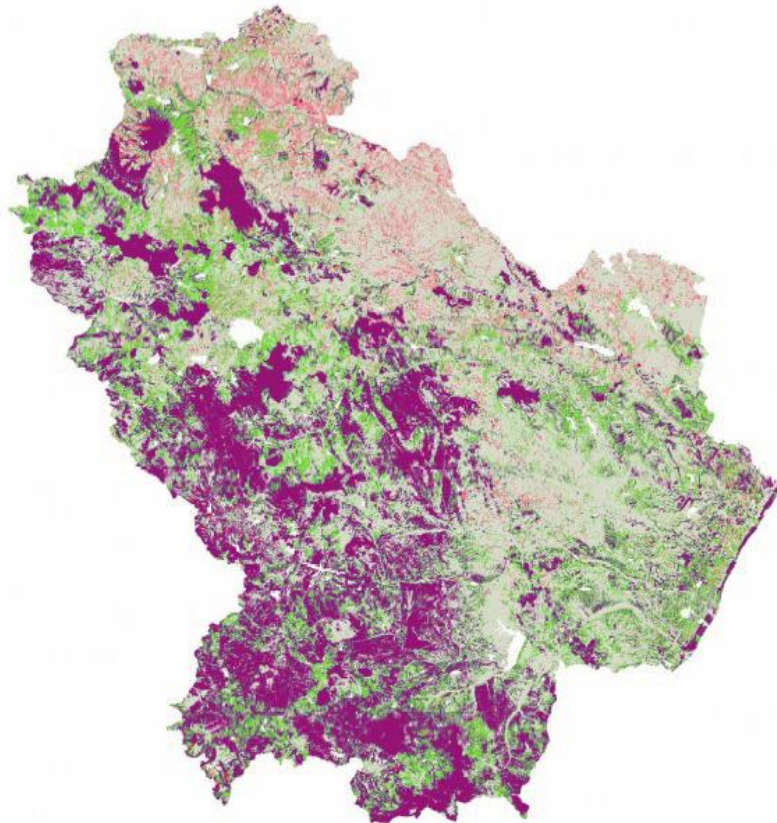


Figura 26: Riclassificazione: da 10 a 4 classi di uso del suolo (1985)

Analizzando i risultati, confrontandoli con aree campione prese a terra e con i parametri della matrice di confusione, sono stati subito evidenti delle differenze importanti tra le due date, segno che l'uso agricolo del suolo ha avuto notevoli modifiche nell'arco degli ultimi decenni. La change detection ha permesso di mettere in evidenza le aree nelle quali sono avvenuti i cambiamenti di uso del suolo agricolo. Nelle maggior parte dei casi c'è stata una riduzione delle aree agricole (ad esempio alcune volte i campi vicini agli altri sono stati abbandonati) ed in altri casi invece si è instaurato proprio un nuovo assetto territoriale.

I dati statistici indicano un valore della classe 4 (agricola) pari a circa 421000 ettari nel 1985 che sono passati a circa 365000 ettari nel 2011, registrando una perdita di circa 55000 ettari.

Una volta quantificate le aree che hanno perso nel tempo la vocazione agricola, lo studio si è rivolto nel comprendere quali fossero le trasformazioni avvenute e quindi capire quale tipologia di uso del suolo ha preso il posto di quello agricolo.

Le trasformazioni avvenute presentano delle diversità a seconda dei contesti locali. In alcuni casi i terreni agricoli hanno lasciato più spazio ai terreni con arbusti, in altri invece ai terreni boscati etc. (Figura 27). In linea generale, le statistiche sull'intera regione danno una prevalenza di un nuovo uso del suolo (che nel 1985 era agricolo) di aree con arbusti (circa il 70%). Come detto però le aree hanno subito trasformazioni differenti e nel territorio

comunale di Matera, ad esempio, si nota una perdita di tessuti agricoli a favore soprattutto di prati. Nella zona del pollino invece sono prevalenti arbusteti e aree boscate.

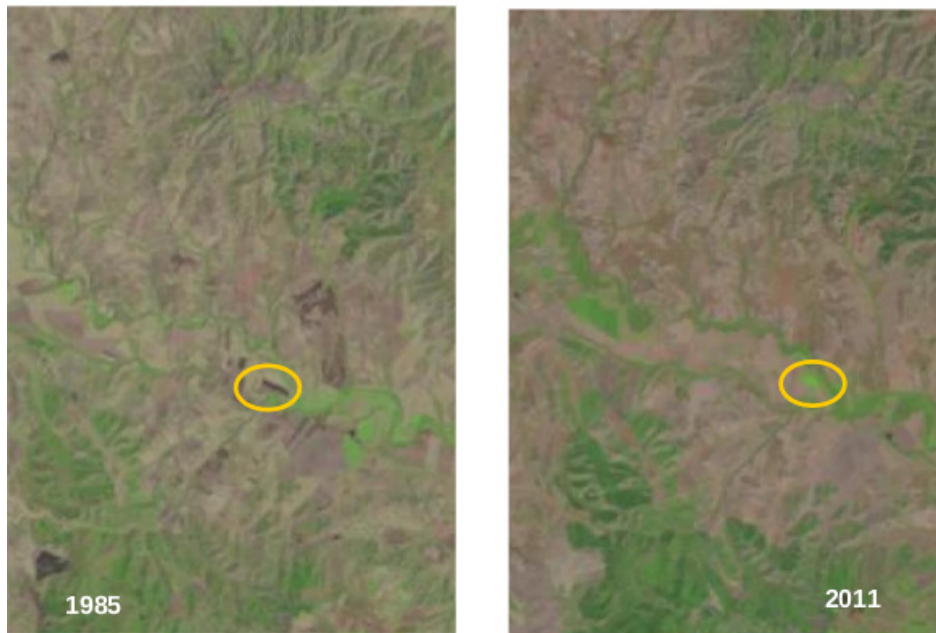


Figura 27: Esempio di perdita della funzione antropica sui suoli

3. DISCUSSIONE

Le analisi a scala ridotta, anche se necessitano di maggior tempo e maggiore conoscenza del territorio, garantiscono sicuramente una migliore accuratezza e specificità del dato. Così facendo, è possibile utilizzare queste tecniche (in genere utilizzate solo per scopi scientifici) anche per supporto alle attività decisionali e di pianificazione dei vari enti. Inoltre, dato il sempre maggior numero di tecniche e strumenti open utilizzabili, è possibile automatizzare o comunque rendere più accessibili le metodologie di classificazione del territorio.

Infatti utilizzare un'analisi a scala regionale ma con tecniche più specifiche e con una conoscenza più attenta del territorio permette di avere un livello di accuratezza maggiore rispetto a quello presente nei dataset CLC. Infatti con la metodologia applicata si registra che, in un periodo di riferimento comparabile ma non identico, c'è stata una riduzione delle aree agricole e non un aumento come invece riportano i dataset CLC (Tabella 5 e Tabella 6). Inoltre, la possibilità di accedere a dati ancillari di diverso tipo per implementare classificazioni supervisionate è fondamentale per migliorare e dettagliare le classi di copertura del suolo. Sicuramente, la sfida principale di questo campo di ricerca è capire i metodi per estrarre informazioni utili dai dati, così come interpretare correttamente i segnali delle serie temporali, in modo da poter comprendere sia le variazioni lente, causate da cambiamenti graduali nell'ecosistema, sia le variazioni più veloci dovute a disturbi esterni o altri eventi. I casi di studio sopra menzionati si inseriscono in questo filone di ricerca.

L'uso di strumenti GIS e il telerilevamento basato sull'approccio FoSS è certamente il metodo più economico e più efficiente in termini di tempo per monitorare la copertura del suolo e l'evoluzione del paesaggio nel corso degli anni. Per questo motivo, tutte le analisi si

sono basate su questa metodologia. In particolare, i FoSS stanno diventando sempre più gli strumenti più utilizzati in questo campo di ricerca, grazie alla loro facilità d'uso, all'interoperabilità con altri tipi di software e all'assenza di costi legati all'acquisto di licenze. Ma i FoSS sono utilizzati principalmente dai ricercatori e scarsamente da chi si occupa di pianificazione e monitoraggio negli uffici pubblici, a causa della mancanza di applicazioni e linee guida per l'uso applicato di questi sistemi. Ma in questo progetto di ricerca e nello specifico in questo WP si è visto che è possibile utilizzare metodologie FoSS anche nell'ambito della pianificazione territoriali per facilitare il compito di enti pubblici in quanto i tools che giorno dopo giorno vengono sviluppati permettono di automatizzare molte fasi del processo di creazione dei dataset specifici di copertura del suolo.

CONCLUSIONI

La maggior parte dei lavori basati sulla valutazione del consumo di suolo sono legati al problema dell'uso dei dati territoriali, che possono essere disomogenei e non replicabili nel tempo. Questo perché i dati considerati sono spesso cartografie raster o vettoriali di diverse provenienze, scale, sistemi di riferimento etc. Sono cartografie che spesso non coprono l'intero territorio di studio e presentano valori di scala nominale diversi.

In più, replicare lo studio, anche per l'interesse del monitoraggio del fenomeno, diventa problematico visto che i dati usati non sono disponibili nel tempo e con le stesse modalità.

Per tutti questi punti di debolezza, per il progresso tecnologico avvenuto nel campo della gestione dei dati di Remote Sensing, per l'utilizzo gratuito dei dati e per un innovativo studio sul consumo di suolo, in questo progetto di ricerca la base informativa è determinata da dati satellitari. Questo garantisce di poter fare un monitoraggio del fenomeno e di replicare gli studi nel corso del tempo e in diversi contesti territoriali. In particolare, gli strumenti FoSS qui discussi possono essere utilizzati per supportare l'implementazione di tecniche appropriate per rappresentare le dinamiche di trasformazione del territorio e allo stesso tempo essere utilizzati per il monitoraggio e la pianificazione del paesaggio. È essenziale implementare strumenti che possano permettere una visione d'insieme del territorio e che possano garantire un sistema di supporto alle decisioni efficace e dinamico, rispondendo così alle esigenze dei decisori pubblici per verificare le politiche di gestione del passato e per sviluppare nuove strategie.

BIBLIOGRAFIA

- Aalders, I.H., Aitkenhead, M.J. (2006). Agricultural census data and land use modelling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, 6, 799-814, <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2005.06.003>
- Agnoletti, M. (2014). Rural landscape, nature conservation and culture: Some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective. *Landscape and Urban Planning*, 126, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.012>.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning* 45: 5-32.
- Breiman, L., Cutler, A., Liaw, A. and Wiener, M. 2006. Breiman and Cutler's Random forests for classification and regression. CRAN Project.
- Coetzee, S., Ivánová, I., Mitasova, H., Brovelli, M.A. (2020). Open Geospatial Software and Data: A Review of the Current State and A Perspective into the Future. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9, 90.
- Comber, A., Fisher, P., Wadsworth, R. (2005). What is Land Cover? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(2), 199–209. <https://doi.org/10.1068/b31135>
- Copernicus Land Monitoring Service (2021). Available online: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Di Gregorio, A. (2005). Land cover classification system: classification concepts and user manual: LCCS.Number 8. Food & Agriculture Organization, Rome, Italy.

- EEA (2019). Available online: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html/index.html>
- FAO (1998). Land Cover Classification System (LCCS). SD Dimensions electronic publication. FAO Sustainable Development Department. Rome, Italy. 3p.
- FAO and UNEP (1999). The Future of Our Land. Facing the Challenge. FAO and UNEP guidelines for integrated planning for sustainable management of land resources. FAO Lands and Water Development Division. Rome, Italy. 71p.
- Foody, G.M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185–201.
- Foody, G., Fritz, S., Fonte, C.C., Bastin, L., Olteanu-Raimond, A.M., Mooney, P., See, L., Antoniou, V., Liu, H.Y., Minghini, M., Vatsseva, R. (2017). Mapping and the citizen sensor. In: Foody G, See L, Fritz S, Mooney P, Olteanu-Raimond A-M, Fonte CC, Antoniou V, editors. Mapping and the citizen sensor. London: Ubiquity Press; 2017. p. 1–12.
- Fisher, P., Comber, A.J., Wadsworth, R. (2005). Land use and land cover: contradiction or complement. *Re-presenting GIS* 85–98
- Heymann, Y., Steenmans, C., Croisille, G., Bossard, M. (1994). Corine land cover technical guide. Luxembourg: European Commission. Lambin, E. F.; Rounsevell, M. D. A.; Geist, H. J. 2000. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 82, p. 321-331.
- Kain, R. J. P. (2002). The Role of Cadastral Surveys and Maps in Land Settlement from England. *Landscape Research*, 27:1, 11-24, DOI: 10.1080/01426390220110739
- Lambin, E. F. Linderman, M. (2006). Time series of remote sensing data for land change science. *Geoscience and Remote Sensing. IEEE Transactions*, v. 44, n. 7, p. 1926-1928.
- Larrain, A., McCall, M.K. (2019). Participatory Mapping and Participatory GIS for Historical and Archaeological Landscape Studies: a Critical Review. *J Archaeol Method Theory* 26, 643–678. <https://doi.org/10.1007/s10816-018-9385-z>
- LP DAAC Land Processes Distributed Active Archive Center Available online: <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>
- O'Neill, R.V., C.T. Hunsaker, S.P. Timmins, B.L. Jackson, K.B. Jones, K.H. Riitters, J.D. Wickham (1996). Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale-*Landscape Ecol.*, 11 (3) (1996), pp. 169-180
- Modica, G., Vizzari, M., Pollino, M., Fichera, C. R., Zoccali, P., & Di Fazio, S. (2012). Spatio-temporal analysis of the urban-rural gradient structure: An application in a Mediterranean mountainous landscape (Serra San Bruno, Italy). *Earth System Dynamics*, 3, 263–279. <https://doi.org/10.5194/esd-3-263-2012>.
- MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd12q1v006/>
- Open Definition 2.1 (2019) <http://opendefinition.org/od/2.1/en>. Accessed 2 January 2019
- Open Source Initiative (2019). The Open Source Definition. 2007. <https://opensource.org/osd>. Accessed 2 January 2019.
- PCN – Geoportale Nazionale (2020). <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>. Accessed 15 June 2020
- Richards, J.A., Jia, X.P. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis; An Introduction. Springer, Berlin

- RSDI - Infrastruttura Regionale dei Dati Spaziali della Regione Basilicata (2020). Available online: <https://rsdi.regione.basilicata.it/> (accessed on 29 January 2020).
- Science Base Catalog (2020). Available online: <https://www.sciencebase.gov/catalog/> (accessed on 8 February 2020).
- Siren, A.H., Brondizio, E.S. (2009). Detecting subtle land use change in tropical forests. *Applied Geography*, 29, 201–211.
- Stall, S., Yarmey, L., Cutcher-Gershenfeld, J., Hanson, B., Lehnert, K., Nosek, B., Parsons, M., Robinson, E., Wyborn, L. (2019). Make scientific data FAIR. *Nature* 2019, 570, 27–29.
- Statuto, D., Cillis, G. & Picuno, P. GIS-based Analysis of Temporal Evolution of Rural Landscape: A Case Study in Southern Italy. *Nat Resour Res* 28, 61–75 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9402-7>
- Tortora A., Statuto D., Picuno P. (2015). Rural landscape planning through spatial modelling and image processing of historical maps. *Land Use Policy*, 42:71-82
- Turner W., Rondinini C., Pettorelli N., Mora B., Leidner A., Szantoi Z., Buchanan G., Dech S., Dwyer J., Herold M., Koh L.P., Leimgruber P., Taubenboeck H., Wegmann M., Wikelski M., Woodcock C. (2015). Free and open access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biol. Conserv.*, 182 (2015), pp. 173-176
- Turner, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., Leemans, R. (1995). *Land-Use and Land-Cover Change: science/research plan*.
- United Nations, 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (01 March 2021)
- Veldkamp, A., Verburg, P. H., Kok, K., Koning, G. H. J., Priess, J., Bergsma, A. R. (2001). The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modeling. *Environmental Modeling and Assessment*, v. 6, p. 111-121.
- Zhou, Y., Ning, L., Bai, X. (2018). Spatial and temporal changes of human disturbances and their effects on landscape patterns in the Jiangsu coastal zone, China. *Ecological Indicators*, 93, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.076>
- Verburg, P.H., Neumann, k., Nol, L. (2011). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Glob. Chang. Biol.*, 17, pp. 974-989.
- Wagle, N., Acharya, T.D. (2020). Past and Present Practices of Topographic Base Map Database Update in Nepal. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9, 397.
- Wright, J. (1982). *Ground and air survey for field scientists*. Oxford: Clarendon Press