Università
Ca'Foscari
Venezia

Corso di Laurea Magistrale
(Ordinamento ex D.M. 270/2004)
in Scienze Ambientali

Tesi di Laurea

Potenzialità dei rilievi LiDAR in ambiente GIS per l'identificazione di elementi seminaturali del paesaggio rurale:

un'applicazione nella bassa pianura veneta orientale

Relatore
Prof. Carlo Giupponi

Correlatore
Dott. Fabio Cian

Laureando
Alberto Callovi
Matricola 854686

Anno Accademico
2015 / 2016

“Fotografando il nostro pianeta ho scoperto la bellezza del mondo e nel contempo le minacce che incombono su di esso. Ho avvertito in me la trasformazione verso l’ecologista che sono oggi”

Yann Arthus-Bertrand

RIASSUNTO

La frammentazione dell'habitat è una delle principali cause della perdita di biodiversità, un fenomeno che sta colpendo la maggior parte degli ambienti terrestri, in particolar modo, quello rurale, oggetto dello studio.

Le cause si devono attribuire soprattutto alla crescente pressione antropica, che ha fatto in modo che il paesaggio rurale perdesse quegli elementi caratteristici della bassa pianura veneta, eliminati dall'uomo in seguito al continuo utilizzo di pratiche intensive.

Quindi la conservazione, oppure, in casi più critici, il ripristino di un habitat e degli elementi del paesaggio è un fattore cruciale per combattere la frammentazione. Il monitoraggio degli habitat e dei suoi elementi caratteristici è fondamentale, affinché una gestione del paesaggio abbia successo, con la necessità di concentrarsi sugli "*small biotopes"* (o micro-habitat), che, insieme alle zone di transizione e ai margini, sono elementi chiave nella struttura e nel network di un paesaggio.

L'area oggetto di studio è la bassa pianura veneta compresa tra i fiumi Piave e Livenza, la quale un tempo era occupata dal bosco planiziale *Quercus-carpinetum*, mentre oggi si trova in una matrice prettamente agricola con alcune *patches* residuali di vegetazione originaria.

Con lo scopo primario di salvaguardare e valorizzare la biodiversità del territorio rurale, l'obiettivo è quello di effettuare un'analisi e una valutazione degli elementi di tale ambiente servendosi di dati telerilevati, come i dati LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e indici di vegetazione in modo da individuare la presenza di elementi semi-naturali come alberi isolati, filari alberati, siepi e boschi. Questi dati vengono visualizzati, interpretati, analizzati e rappresentati su cartografia in ambiente GIS e permetteranno di effettuare considerazioni sullo stato dell'arte del paesaggio rurale di una zona abbastanza vasta che avrebbe richiesto un consumo troppo elevato di risorse ed energie se fosse stato effettuato in campagna. Lo studio permetterà anche di fare una valutazione della presenza di connessioni tra gli elementi semi-naturali, di corridoi ecologici lungo i corsi d'acqua, della presenza di aree ad alto valore naturalistico oppure, in caso di mancanza di essi, della possibilità di progettarne alcuni.

ABSTRACT

The habitat's fragmentation is one of the main cause for the loss of biodiversity, a phenomenon that affects almost all the environments, especially the rural one, which is the subject of the present study.

The increasing human activity has provoked damages by repeatedly using intensive farming in Veneto's rural areas, with the consequent destruction of the latter's distinctive features.

The preservation or, in the most critical cases, the restoration of a habitat and its elements proves to be pivotal in order to defeat fragmentation.

Supervising the habitats is certainly fundamental to achieve a successful environment management: the monitoring should focus on "small biotopes" that are key elements within transition and marginal zones in an environment's structure and network.

The area under investigation corresponds to rural territories between Piave and Livenza rivers, which were initially taken up by a *Quercus-carpinetum* wood and are now being employed as agricultural areas with some remaining parts of original vegetation.

Besides protecting and promoting rural biodiversity, the main purpose of this study is analysing and evaluating the key components of this specific environment by using Remote Sensing data such as LiDAR (Light Detection and Ranging) and vegetation index in order to identify semi-natural elements (isolated trees, tree rows, hedges, woods).

These data are displayed, understood, analysed and depicted through GIS cartography and they allow to reflect on the condition of an extended area of the rural environment: if this kind of valuation had been carried in a ground-based way, it would have required too many resources and energies to be fulfilled.

This work permits to underscore the connection between semi-natural elements, the presence of ecological paths next to rivers and highly-valuated naturalist areas or it can help planning them.

Sommario

Introduzione 1
1. La biodiversità a rischio negli ambienti rurali 3
1.1 Biodiversità e servizi ecosistemici 3
1.2 La frammentazione e le altre cause di perdita di biodiversità 4
1.3 Testimonianze del passato 6
1.4 La connettività e le reti ecologiche 8
1.5 Alto Valore Naturalistico 10
1.6 Ruolo degli elementi seminaturali nell'identificazione delle aree ad alto valore naturale 11
2. Inquadramento del territorio 13
3. Materiali e metodi 18
3.1 Presupposti teorici 18
3.2 Indici di vegetazione 20
3.3 L'analisi spaziale 22
3.4 Pixel-Based Image Analysis 24
3.5 Object-Based Image Analysis 31
3.6 Strumentazione Remote Sensing 39
3.7 GIS (Geographic Information System) 46
4. Risultati e discussione 50
4.1 Presentazione risultati 50
4.2 Criticità del metodo 62
5. Conclusioni 66
Bibliografia 68
Allegati 73
Allegato I 73
Allegato II 75
Allegato III 76

Introduzione

Il paesaggio rurale è definito come "quella forma che l'uomo, nel corso ed ai fini delle attività produttive agricole, coscientemente e sistematicamente imprime al paesaggio naturale" (Di Somma, 2013). Si tratta quindi di un ambiente largamente sfruttato dall'uomo, che imprime forti pressioni e input fisici, chimici e biologici al suo interno. La conseguenza dell'intensificazione e meccanizzazione dell'agricoltura è una evidente perdita di biodiversità con la scomparsa dei biotopi naturali o di origine antropica tipici della campagna della bassa pianura veneta, in particolare quella compresa tra i fiumi Piave e Livenza, area dello studio. Questi biotopi caratteristici sono elementi di vegetazione seminaturale di piccole dimensioni, residui della vegetazione arborea che un tempo ricopriva la pianura: piccoli boschi, filari alberati, siepi, alberi isolati dispersi, che vengono chiamati "*small biotopes*" (Sheeren, 2009). Nonostante la loro ridotta dimensione, svolgono funzioni importantissime a livello ecologico e di paesaggio. Infatti possono fungere da aree di ristoro, rifugio e attraversamento per animali formando corridoi all'interno della matrice agricola, mentre ai lati dei campi svolgono l'importante funzione tampone evitando che una possibile fonte di inquinamento diffuso, come l'immissione di nutrienti nei campi coltivati, si riversi all'interno dei corpi idrici superficiali (scoline, fossi, canali, fiumi). Oltre a questa funzione di ritenzione e rimozione dei nutrienti, lungo i corsi d'acqua svolgono un'azione ripariale e consolidano le sponde evitandone l'erosione.

L'importanza della vegetazione seminaturale è anche data dal fatto che è considerata come parametro fondamentale per la determinazione delle aree ad alto valore naturalistico (HNVf, *High Nature Value farmland*), la cui definizione è volta a preservare la biodiversità delle aree agricole e a contrastare gli effetti delle pratiche di agricoltura intensiva.

Questa tesi si prefigge l'obiettivo di individuare e classificare gli *small biotopes* presenti nell'area di studio attraverso l'integrazione di strumenti *Remote Sensing* e GIS (*Geographic Information System*). La carenza di studi di tale genere è data dalla difficoltà degli strumenti di telerilevamento nell'individuare con precisione tali elementi di vegetazione di piccole dimensioni. Infatti una risoluzione spaziale medio alta di questi strumenti (10 - 30 metri) può risultare insufficiente (Sheeren, 2009). Per questo motivo si è scelto di svolgere questa analisi e valutazione con la strumentazione LiDAR (*Light Detection and Ranging*) con

risoluzioni fino ad 1 metro. L'analisi delle immagini LiDAR è affrontata attraverso un approccio ibrido PBIA (*Pixel-Based Image Analysis*) e OBIA (*Object-Based Image Analysis*), ossia di dati raster e vettoriali all'interno del software GIS.

La segmentazione in poligoni della vegetazione permetterà di eseguire la classificazione attraverso parametri già utilizzati in letteratura per scopi simili, servendosi di statistiche di base, indici di forma e indici di vegetazione (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*). L'NDVI viene ottenuto grazie alle immagini satellitari del Landsat 8 e del Sentinel 2. Poiché queste ultime sono immagini più recenti rispetto a quelle del LiDAR, esse permetteranno di effettuare una *change detection* iniziale sull'eventuale cambiamento di copertura del suolo, che andrebbe approfondita mediante ulteriori studi. Alle immagini LiDAR vengono affiancate anche le informazioni provenienti dall'Infrastruttura dei dati territoriali del Veneto, in particolare quelle sull'uso del suolo proveniente dal progetto europeo Corine *Land Cover*. La vegetazione risultante dalle immagini LiDAR è stata suddivisa per le varie tipologie di Superficie Agricola Utilizzata (S.A.U.) per avere una panoramica più dettagliata sugli *small biotopes* presenti su ciascuna copertura di suolo.

La classificazione dei vari elementi seminaturali darebbe spazio anche ad una successiva analisi di *landscape ecology* con l'utilizzo di indicatori, come quelli di (bio)diversità, di connettività o frammentazione, di copertura del suolo e di superficie lasciata ad habitat seminaturali (ISPRA, 2010). Infine questi indicatori permetterebbero di trovare risposte e soluzioni più precise agli impatti dovuti alle attività dell'uomo in ambiente rurale.

1. La biodiversità a rischio negli ambienti rurali

1.1 Biodiversità e servizi ecosistemici

Il termine biodiversità è stato coniato la prima volta nel 1988 dall'entomologo americano Edward O. Wilson e può essere definita come la ricchezza di vita sulla terra: le piante, gli animali, i microorganismi e i geni che essi contengono e i complessi ecosistemi che essi costituiscono nella biosfera. Nel 1992 durante la *Convention on Biological Diversity* (CBD)1 tenutasi a Rio de Janeiro la biodiversità è stata definita come "*la varietà e variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono; essa comprende la diversità a livello genetico, specifico ed ecosistemico*". Questa varietà non si riferisce solo alla forma e alla struttura degli esseri viventi, ma include anche la diversità in termini di abbondanza, distribuzione e interazioni tra le diverse componenti del sistema.

La biodiversità garantisce l'esistenza dei servizi ecosistemici, che sono "*i benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano*" (dal *Millenium Ecosystem Assessment*, 2005). Questi servizi svolgono funzioni ambientali imprescindibili come quelle di supporto alla vita, (ciclo dei nutrienti, formazione del suolo, produzione primaria), di regolazione per la funzione degli ecosistemi stessi (regolazione del clima, delle maree, depurazione dell'acqua, impollinazione e controllo dei patogeni), di approvvigionamento (produzione di cibo, acqua potabile, materiali e combustibili) e rappresentano valori culturali, estetici, spirituali, educativi e ricreativi. Di conseguenza, la protezione della biodiversità è l'impegno da parte di tutti di soddisfare i bisogni e le attività del presente, garantendone lo stesso sfruttamento anche alle generazioni future.

Gli scienziati non si sono ancora fatti un'idea chiara di quante specie esistano sulla Terra. Diversi studi riportano che il numero di specie viventi sul pianeta potrebbe variare da 4 a 100 milioni. Solo una parte di esse è attualmente conosciuta (1,5-1,8 milioni) e si ritiene che molte specie vegetali e animali di ambienti tropicali e marini non siano mai state osservate e che meno dell'1% dei batteri sia stato catalogato. Quindi se da un lato la biodiversità è ancora da scoprire, dall'altro è appurato che la biodiversità sta diminuendo: si stima che ogni giorno scompaiano circa 50 specie viventi. L'estinzione è un fatto da sempre esistito; il

problema, però, è il ritmo con cui si sta riducendo la biodiversità, ossia da 100 a 1000 volte più elevato rispetto al ritmo 'naturale' (da isprambiente.gov.it)

1.2 La frammentazione e le altre cause di perdita di biodiversità

Una delle principali cause della perdita di biodiversità è la frammentazione, ossia la suddivisione del territorio in frammenti più piccoli, separati e distanziati tra di loro, la quale può portare, come conseguenza, ad un processo di perdita generale di spazi naturali, fino al cambiamento di habitat (*habitat change*). Più piccoli e isolati sono gli habitat, più ridotte e isolate saranno le loro popolazioni di specie animali e vegetali.

Le cause della frammentazione possono essere processi che avvengono molto lentamente, come quelli geologici, che danno la possibilità alle specie di adattarsi (speciazione), oppure i cambiamenti dell'uso del suolo di natura antropica, che, al contrario, sono molto più repentini e possono portare all'estinzione di una popolazione a livello locale, poiché essa non è in grado di rispondere e reagire ai cambiamenti ambientali. Gli elementi di frammentazione possono essere fisici e visibili, oppure immateriali e non visibili, come nel caso del dragaggio di un fiume, dopo il quale, il fiume si trova ancora nella posizione precedente, ma al suo interno gran parte dei processi fisici non sono più gli stessi, oppure l'inquinamento, l'abbandono della gestione del territorio da parte dell'uomo o un suo cambiamento d'uso. Le componenti del processo di frammentazione possono essere la scomparsa o la riduzione in superficie dell'habitat, l'insularizzazione o l'isolamento, tipologie ecosistemiche di origine diversa da quelle precedenti, aumento dell'effetto margine e molti altri.

Tutto ciò che non viene individuato come habitat è occupato da tipologie ecosistemiche diverse e viene chiamato matrice, la quale esercita una pressione sui frammenti residui di habitat (effetto margine). Semplificando, si può suddividere il paesaggio in un ecomosaico dove è presente la matrice, cioè la tipologia ecosistemica dominante, che in genere è di origine antropica, i frammenti di habitat naturale, chiamati *patches* (o macchie) e gli ambienti di margine.

Le conseguenze della frammentazione si verificano a livello di singoli individui poiché diminuiscono lo spazio vitale e le risorse (le piante, per esempio, competono per lo spazio

che è una risorsa). E così aumentano i fenomeni di competizione, si modificano i rapporti di predazione, aumenta la possibilità di *inbreeding* tra individui della stessa specie con un successivo impoverimento del patrimonio genetico, che porta gli individui ad essere maggiormente vulnerabili di fronte agli effetti stocastici.

Altri fattori, che influenzano negativamente la biodiversità, sono le invasioni di specie alloctone con il trasporto più o meno intenzionale di organismi in aree dove non potrebbero mai arrivare per la presenza di barriere geografiche; l'uomo è il vettore principale per superare queste barriere (si pensi alle acque di sentina delle grandi navi commerciali, all'apertura del Canale di Suez che ha messo in collegamento le acque dell'Oceano Indiano con quelle del Mare Mediterraneo). I cambiamenti climatici sono un altro fattore, con la temperatura media globale in aumento, che stanno modificando il corso delle stagioni, l'andamento delle precipitazioni, le quali si verificano con eventi più isolati, ma più intensi, stanno facendo crescere il livello del mare, modificando quindi la fenologia di molte specie biologiche, causando dissesto idrogeologico con conseguenze immediate a livello strutturale e funzionale sugli habitat.

Nel caso della pianura veneta, lo stadio finale e stabile di successione vegetazionale è rappresentato dal *Querco-carpineto*, cioè un bosco meso-igrofilo costituito da specie di farnia e carpino, non del tutto umido, che necessita di una falda piuttosto superficiale. Con l'arrivo dell'uomo questo tipo di paesaggio è diminuito del 99,85% (Buffa, 2015) ed oggi è inserito all'interno di una matrice antropica agricola, dove domina la coltivazione del mais, che è una coltura molto esigente dal punto di vista idrico; così col tempo si è assistito ad un netto abbassamento del livello della falda acquifera. Il progressivo abbassamento della falda sta causando la scomparsa delle specie vegetali legate ai suoli umidi, che vengono sostituite da specie indicatrici di aridità edafica. Rimangono pochi lembi di vegetazione igrofila nella pianura veneta: si tratta di poche decine di ettari frammentati e isolati. La frammentarietà e l'esigua estensione delle *patches* possono portare alla completa scomparsa della "*core*

area"[1] in quanto questi habitat sono completamente immersi nella matrice antropica agricola. Con la frammentazione vengono favorite quelle specie ecotonali (o di margine) che non sono specifiche del vero e proprio habitat presente nella *core area* (specie nemorali, adattate all'umidità, temperatura e bassa luminosità del bosco) con una conseguente perdita di biodiversità.

La pianura veneta ha subito un processo con cui, nel tempo, dall'iniziale matrice forestale si è passati alla presenza di *patches* agricole, che si sono ingrandite sempre di più fino ad unirsi e a formare la matrice agricola di oggi, in cui le rarissime *patches* sono quelle della foresta iniziale (Figura 1.1).

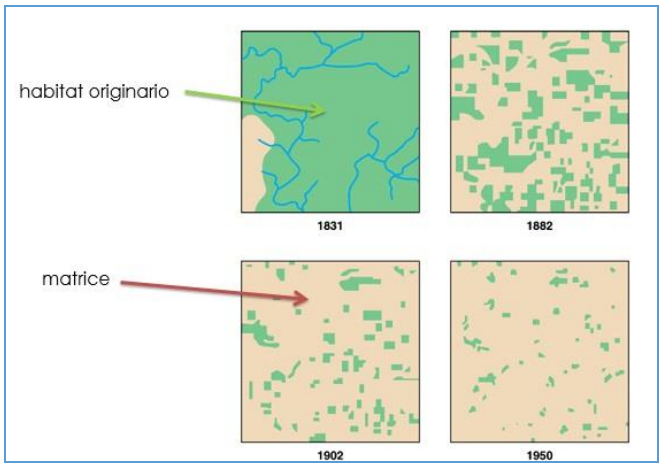


Figura1.1: da Buffa, 2015.

1.3 Testimonianze del passato

Uno scorcio sul passato è mostrato dalle opere di vari artisti, in particolare pittori, che hanno avuto la possibilità di "fotografare" il paesaggio della campagna veneta a cavallo tra diciannovesimo e ventesimo secolo. Uno di questi è Guglielmo Ciardi (Venezia 1842 - 1917), pittore che si dedicò a scene di paesaggio rinnovando la corrente del vedutismo veneto. Basta un veloce confronto tra le scene di campagna illustrate dall'autore con quelle che si è abituati a vedere oggi per rendersi conto della trasformazione che ha subito il paesaggio rurale nell'ultimo secolo: l'espansione urbana, la meccanicizzazione dell'agricoltura, l'uso

[1] La porzione centrale, più interna e protetta, della patch che contiene le specie vegetali e caratteristiche principali. La componente vegetale è protagonista centrale della biodiversità, in termini sia strutturali che funzionali, e consente di classificare le *patches* in differenti habitat (Ferrari, 2013).

sempre più diffuso di fertilizzanti e pesticidi hanno impoverito questo ambiente degli elementi che lo contraddistinguevano.

Nel dipinto 'Estate' del 1879, Ciardi ritrae una scena in un campo assolato di una calda giornata d'estate, dove un uomo si riposa all'ombra di uno dei covoni in fila sul terreno e un altro si disseta con un po' di acqua. La distesa del campo è interrotta ai lati dalla presenza di vegetazione seminaturale che ne delimita i confini, mentre oggi le estensioni dei campi arrivano fino all'orizzonte.

Figura 1.2: 'Estate', Guglielmo Ciardi, 1879

Nel 'Mulino sul Sile' viene nuovamente ripresa una scena quotidiana con un barcaiolo che accosta la sua barca sul ciglio della sponda e sullo sfondo viene descritta la campagna veneta fatta dai granai, dalle case coloniche e dalla vegetazione lussureggiante di boschi e vegetazione ripariale.

Figura 1.3: 'Mulino sul Sile', Guglielmo Ciardi, 1875.

1.4 La connettività e le reti ecologiche

L'opposto dell'isolamento è la connettività, che è la misura del grado con il quale il paesaggio e i suoi elementi facilitano il movimento e le relazioni funzionali degli individui fra le *patches*, la dinamica delle metapopolazioni e i processi ecologici (Ferrari, 2013). La connettività, intesa dal punto di vista strutturale, è determinata dall'arrangiamento spaziale dei differenti tipi di habitat e dipende dalla continuità di un habitat idoneo, dalla rete di connessioni, oppure dalla distanza che deve essere percorsa. Una particolare importanza, quindi, è assunta dai corridoi, che possono garantire una continuità fisica tra le *patches* di habitat. I corridoi sono definibili come spazi dove una risorsa è distribuita all'interno di una stretta fascia che si differenzia dal contesto in cui è collocata. Tali spazi possono costituire collegamenti che permeano il paesaggio, mantenendo o ristabilendo la connettività naturale, di geni, individui, processi ecologici tra *patches* di habitat altrimenti non contigue. I corridoi possono provvedere alla sopravvivenza delle specie, fornire un habitat, costituire un rifugio, modificare i flussi di energia e di nutrienti dalla matrice circostante e, di conseguenza, influenzare la matrice stessa.

Nella pianura veneta questi elementi di connessione dal punto di vista funzionale sono corridoi ecologici e *stepping stones*, ma nella struttura sono principalmente alberi, filari di

alberi, siepi, boschetti, ossia tutti elementi residuali, che conservano la composizione in specie vegetali della foresta originaria. L'interesse per questi elementi è cresciuto a partire dagli anni '50 e '60 del secolo scorso quando, per i cambiamenti delle tecniche agricole, la maggior parte di essi è stata rimossa. Molte siepi e filari di antica origine, che delimitavano aree agricole, derivavano da disboscamenti seguiti dalla conservazione di una sottile fascia perimetrale del bosco. Questi antichi elementi conservavano la composizione in specie vegetali che era propria del bosco preesistente, dando loro una caratteristica seminaturale.

Leggermente diversa, ma sempre con la caratteristica di corridoi ecologici, è la vegetazione ripariale che si trova lungo le sponde di fiumi e canali. Questi corridoi fluviali sono sistemi altamente dinamici caratterizzati da alveo, sponde e vegetazione ripariale. Anche questo tipo di corridoi consente il movimento di specie animali e vegetali, produce scambi di energia e materiale che attraggono molte specie, consolida le sponde prevenendo l'erosione e controlla il flusso dell'acqua e dei nutrienti fungendo così da tampone.

Gli effetti della frammentazione si manifestano con la riduzione della superficie degli habitat, l'isolamento degli stessi e delle popolazioni, che vivono in essi, e la riduzione della loro qualità. Per contrastare questo fenomeno si può intervenire con la creazione oppure la gestione di aree protette (Buffa, 2015). Si possono seguire due linee evolutive, la prima che riguarda i parchi e le aree protette, pianificate nel quadro nazionale, regionale e internazionale, gestite come reti ecologiche (aree di stretta protezione, buffer e connessioni verdi), istituite per scopi scientifici, economici e culturali e pensate anche per il restauro e la riqualificazione. La seconda, invece, riguarda l'estensione di politiche di tutela al di fuori dei confini dei parchi con la necessità di superare la "insularizzazione" delle aree protette, cercando di gestire il paesaggio al di fuori in modo sostenibile, cosicché le specie possano attraversare il territorio e muoversi al suo interno, tra aree protette e zone cuscinetto. Il superamento dell'insularizzazione si può ottenere attraverso reti di connessione collegando le aree protette tra di loro mediante corridoi ecologici o *stepping stones*. La pianificazione del territorio deve mirare al mantenimento, o al recupero, delle condizioni di connettività e continuità dei territori naturali e semi-naturali, che è il presupposto necessario per il mantenimento dei processi biologici ed ecologici che sono alla base della biodiversità.

La connettività di cui si parla può essere strutturale, cioè tiene conto della disposizione spaziale, della continuità fisica e della tipologia, della presenza e dimensione degli elementi

paesaggistici, oppure funzionale, ossia relativa alla scala di percezione della specie, ai requisiti ecologici e comportamentali.

Il concetto di rete ecologica rappresenta un'autentica rivoluzione nel campo delle politiche ambientali con definizione di nuovi modelli di pianificazione urbana e territoriale: due importanti strumenti di pianificazione sono la Direttiva "Uccelli" (1979) e la Direttiva "Habitat" (1992). La prima ha permesso l'istituzione di zone di protezione, il ripristino di biotopi distrutti e la creazione di nuovi; la seconda ha posto l'impegno a mantenere o ripristinare alcuni habitat e specie in uno stato di conservazione soddisfacente cercando di costituire una "rete coerente", ossia funzionale alla conservazione dell'insieme di habitat e specie che li caratterizzano. Nel 2000 è stata istituita la 'Convenzione europea del Paesaggio', che riguarda gli spazi naturali, periurbani e urbani, comprendenti di paesaggi terrestri, marini ed acque interne, che possono essere considerati eccezionali, della vita quotidiana o degradati; quest'ultima convenzione ha come obiettivo uno sviluppo sostenibile dove deve esistere un collegamento funzionale tra i sistemi insediativi e produttivi e i caratteri fisici dell'ambiente naturale. I principi innovativi derivati dalla normativa riguardano le azioni di tutela, che devono essere rivolte a tutta la diversità biologica nelle sue componenti genetica, di specie e di ecosistemi, devono seguire un approccio ad ampia scala geografica (di paesaggio), con attenzione rivolta alla valorizzazione delle funzionalità degli habitat e dei sistemi naturali ed alla connettività ecologica tra le aree.

1.5 Alto Valore Naturalistico

La conservazione del paesaggio rurale seminaturale è uno di quei fattori che determina un *High Nature Value farmland* (HNVf), un concetto, pensato la prima volta nel 1993 da Baldock *et al.,* che mette in relazione la biodiversità del paesaggio agricolo con i vari input che derivano dalla coltivazione dei campi. Gli studi sulla naturalità del paesaggio sono ancora recenti e parzialmente incompleti poiché, come detto, la sua definizione ha poco più di vent'anni. L'Unione Europea in questi anni si sta impegnando a completare l'identificazione di tutte le aree ad alto valore naturalistico degli ecosistemi rurali della regione europea e a sottoporre queste aree ad una gestione sensibile alla biodiversità servendosi di strumenti

efficaci, come strumenti di sviluppo rurale, programmi e guide agroambientali con supporti economici ed incentivi per chi conduce una gestione sostenibile di tali ecosistemi.

Per questioni puramente geografiche e socioeconomiche l'HNVf prevale nelle regioni meno produttive, in quelle del sud Europa e in quelle montane.

Le aree ad alto valore naturalistico sono minacciate soprattutto da due fattori:

- l'intensificazione delle pratiche agricole;
- l'abbandono delle terre coltivate.

Si ha intensificazione laddove le condizioni naturali ed economiche lo permettono. Ciò è avvenuto per decenni in gran parte dell'Europa occidentale con incremento di input di fertilizzanti e dove adesso si stanno sperimentando tecniche per diminuire gli impatti sull'ambiente rurale, mentre nei Paesi dell'Europa orientale si è avuto un incremento dell'intensificazione solo a partire dalla fine del secolo, dopo la fine delle varie instabilità politiche, ed oggi non è previsto un rallentamento delle pratiche agricole intensive. Le condizioni socioeconomiche nelle aree rurali sono spesso sfavorevoli: scarsi guadagni contrapposti a condizioni di lavoro dure e ad una mancanza di servizi rendono questo ambiente poco attraente come opzione lavorativa per le nuove generazioni e spingono chi vi abita a trasferirsi in città. Questa situazione si può verificare soprattutto nelle regioni a più bassa produttività.

La situazione attuale del paesaggio rurale in Italia mostra una matrice agricola derivata da una coltivazione intensiva che, per soddisfare i bisogni di una popolazione in crescita, è andata a sostituire il precedente habitat di foresta planiziale. Per rimediare a questa condizione di declino di biodiversità e aumentare la sensibilità su questo problema, bisogna incrementare la partecipazione dei portatori d'interesse. Lo studio di Viaggi *et al.* (2015) ha dimostrato l'aspetto positivo della partecipazione al Programma di Sviluppo Rurale in Emilia Romagna con lo sviluppo dell'indice *Biodiversity Friendly Farming Pratices* (BFFP).

1.6 Ruolo degli elementi seminaturali nell'identificazione delle aree ad alto valore naturale

Le aree ad alto valore naturale rappresentano l'opportunità di completare la strategia di conservazione degli habitat, avviata con l'istituzione della rete Natura 2000, e di promuovere

l'adozione e l'ulteriore estensione di pratiche agricole sostenibili, in grado di valorizzare esempi e testimonianze di notevole interesse, anche dal punto di vista storico e culturale, nell'ambito del territorio agricolo.

Paracchini (2008) ha stimato che la superficie italiana di aree agricole ad alto valore naturale, risulta essere del 33,4% rispetto alla superficie agricola totale (media europea 31,9%). Da questo dato si evince che l'aggiornare un Sistema Informativo Territoriale contenente la cartografia relativa alle HNVf e tutti gli indicatori, che concorrono alla determinazione dell'alto valore naturalistico, possa rappresentare un importante strumento operativo per qualsiasi programmazione rurale e naturalistica, consentendo il supporto necessario per ogni piano di incentivazione allo sviluppo sostenibile del mondo rurale.

Andersen (2003) ha identificato le seguenti 3 tipologie di territori agricoli ad elevato valore naturalistico:

- Tipo 1: Terreno agricolo con un'elevata copertura di vegetazione semi-naturale;
- Tipo 2: Terreno agricolo dominato da agricoltura a bassa intensità o da un mosaico di territori seminaturali e coltivati;
- Tipo 3: Terreno agricolo sul quale sono presenti specie rare o un'elevata proporzione di una popolazione di specie animali e/o vegetali europee o mondiali.

Alla base di tutto quindi ci sono gli elementi seminaturali del paesaggio naturale, oggetto di studio di questa tesi. La loro individuazione viene effettuata esplorando le potenzialità degli strumenti *remote sensing* e GIS. Siccome sono elementi di vegetazione di non grandi dimensioni, sono stati definiti da Sheeren (2009) "piccoli biotopi" (*Small Biotopes*), ben distinti dalle *patches* di foresta.

2. Inquadramento del territorio

L'area dello studio si trova nella parte orientale della provincia di Venezia all'interno del territorio di cinque comuni: San Donà di Piave, Eraclea, Caorle, Torre di Mosto e San Stino di Livenza. È localizzata nella bassa pianura veneta a ridosso del mare Adriatico tra i fiumi Piave e Livenza (Figura 2.1).

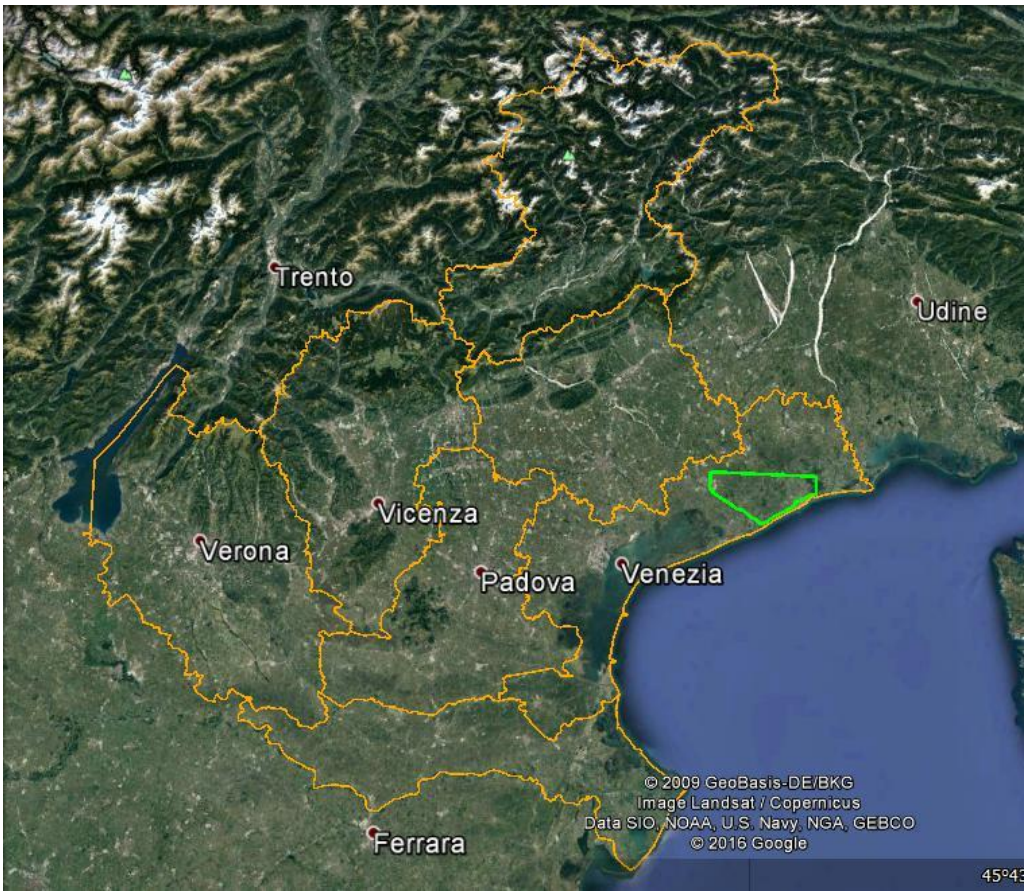


Figura 2.1: Inquadramento dell'area di studio nella parte orientale della provincia di Venezia.

L'aspetto della pianura veneta è fortemente legato dall'evoluzione tardo pleistocenica e olocenica dei fiumi Tagliamento, Piave, Brenta e Adige, ma negli ultimi secoli è stata soggetta anche a forti interventi da parte dell'uomo. Questi fiumi alpini hanno mutato ripetutamente il proprio percorso a valle del loro sbocco montano, interessando aree molto ampie, fino a coprire migliaia di km^2. Si sono così formati sistemi sedimentari, che si originano dallo sbocco vallivo in alta pianura e che si allungano fino al mare. Visti dall'alto questi sistemi presentano

una morfologia a “ventaglio” e sono stati denominati *megafan* alluvionali visibili in Figura 2.2.

I *megafan* alluvionali presentano una differenziazione longitudinale e trasversale. Nella differenziazione longitudinale i primi chilometri, dallo sbocco vallivo alla linea delle risorgive, sono caratterizzati da depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi e i corsi d’acqua caratterizzati da un letto ghiaioso molto ampio a canali intrecciati (*braided*) con profondità massima di 1-2 metri. Poco più a sud delle risorgive l’alveo diventa monocursale, prima di tipo *wandering* o a isole fluviali, poi a meandri. L’acqua scorre in un canale profondo vari metri con un’ampia zona di esondazione (golena), in cui il fiume deposita sedimenti fini. Nel tratto terminale di bassa pianura l’alveo diventa pensile e si ha la formazione di dossi fluviali. L’estensione e la morfologia dei *megafan* sono suscettibili a cambiamenti spaziali e temporali, in funzione del variare dei principali fattori che regolano il sistema sedimentario: clima, gradiente topografico, rapporto tra portata liquida e portata solida.

Nella differenziazione trasversale si nota che in un certo periodo un sistema fluviale è attivo solo in una limitata fascia, mentre le zone contigue non vengono interessate dai processi di sedimentazione; le differenze più evidenti sono quelle tra le aree pleistoceniche e quella olocenica recente.

La pianura ha subito una delle più importanti fasi evolutive durante l’Ultimo Massimo Glaciale (LGM) in un periodo compreso tra 30.000 e 17.000 anni fa circa. Durante tale periodo le condizioni glaciali e crionivali favorirono una notevole produzione di detriti nell’area alpina e prealpina, mentre il movimento dei ghiacciai garantiva un efficace trasporto di tali materiali fino alle fronti glaciali, alimentando poi i sistemi fluvioglaciali con una notevole portata liquida e solida. L’abbondante deposizione favorì un rapido e diffuso sviluppo areale e verticale dei *megafan* alluvionali, che, durante il LGM, raggiunsero la loro massima estensione arrivando fino all’altezza di Ancona a 400 km dalle attuali coste veneto-friulane.

Nel periodo post-LGM (ultimi 17.000 anni) si assiste ad una stasi sedimentaria e alla formazione delle incisioni fluviali: l’evoluzione della bassa pianura è controllata dai sistemi fluvioglaciali e fluviali, dall’attività del mare, dai fiumi di risorgiva e dall’uomo. Nel tardo glaciale (17.000-9.500 B. P.) inizia la fase di mancanza di deposizione per la pianura connessa al ritiro dei ghiacciai e di formazione di incisioni fluviali; le condizioni di biostasia che si

stabilirono sui rilievi in seguito al miglioramento climatico determinarono minore erosione, mentre la fusione dei ghiacci portò ad un progressivo innalzamento marino (ritmo di 15 mm/anno) ed alla conseguente regressione marina (Fontana A., da *Le unità geologiche della provincia di Venezia,* 2008)

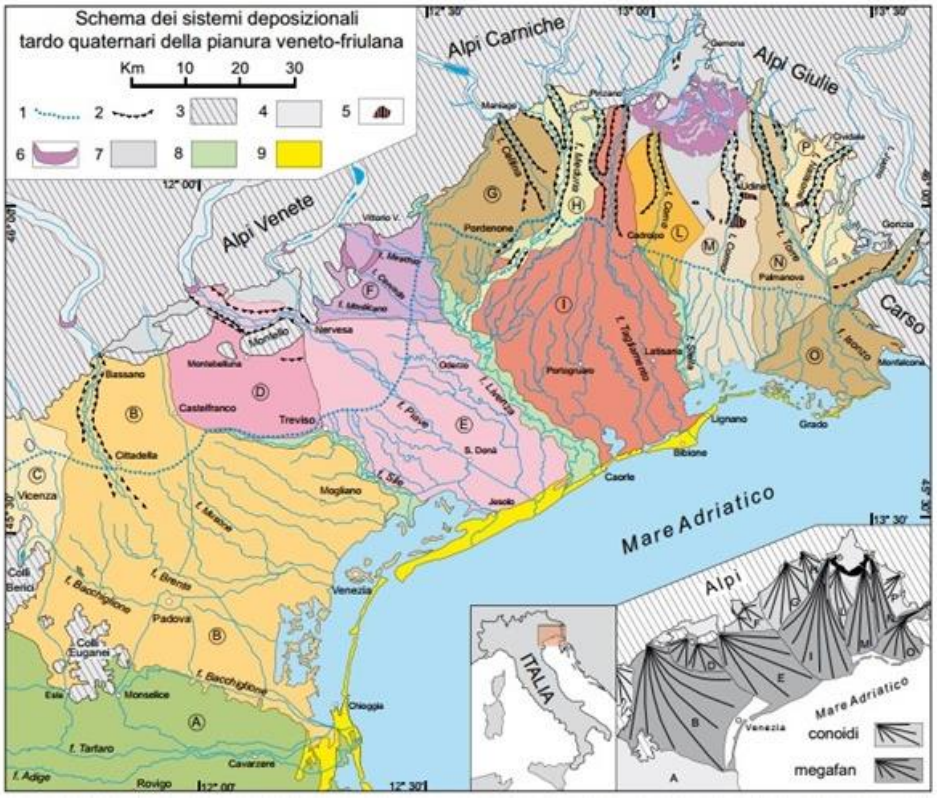


Figura 2.2: Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana (modificato da Fontana et al., 2008). Nel riquadro in basso a destra uno schizzo semplificato dei conoidi e megafan. Simboli: 1) limite superiore delle risorgive; 2) orlo di terrazzo fluviale; 3) aree montuose e collinari; 4) principali vali alpine; 5) terrazzi tettonici; 6) cordoni morenici; 7) depositi di interconoide e delle zone intermoreniche; 8) depositi dei principali fiumi di risorgiva; 9) sistemi costieri e deltizi. Lettere: A) pianura dell'Adige, B) megafan del Brenta, C) conoide dell'Astico, D) megafan di Montebelluna, E) megafan di Nervesa, F) conoide del Monticano-Cervada-Meschio, G) conoide del Cellina, H) conoide del Meduna, I) megafan del Tagliamento, L) conoide del Corno, M) megafan del Cormor, N) megafan del Torre, O) megafan dell'Isonzo, P) conoide del Natisone.

Durante l'Olocene la rete idrografica ha probabilmente presentato un assetto simile all'attuale: grandi corsi d'acqua alpini di tipo *braided* e con letti incisi nei primi chilometri del loro tratto di pianura, alvei meandriformi a livello della bassa pianura o aggradanti su essa nel tratto inferiore. Esattamente in questo modo si trovano gli alvei dell'area di studio con gli alvei del fiume Livenza che si attorcigliano verso il mare. Il Piave, invece, nel suo tratto compreso tra San Donà di Piave ed Eraclea si presenta canalizzato per la rettificazione

operata dalla Serenissima di Venezia durante il seicento. L'area è interamente compresa nell'ala sinistra del grande *megafan* di Nervesa. La sua genesi è connessa con le vicende del Piave e gli unici apporti estranei alla dinamica plavense sono dovuti alla alle diramazioni del Livenza che si distaccano dall'asta principale e che formano blandi dossi fluviali sia in destra che in sinistra idrografica. Nonostante le pendenze e i dislivelli siano modesti, essi non sono da trascurare in un territorio ad alta subsidenza, sotto il livello del mare e con una importante serie storica di eventi alluvionali. In prossimità di San Stino di Livenza, località dalla quale il Livenza entra nel territorio della provincia di Venezia, si osserva un dosso fluviale poco pronunciato, ampio fino a un chilometro, che si dirige verso Torre di Mosto, dove si fonde con il dosso del Piavon, che invece si sviluppa in provincia di Treviso a partire da Oderzo. Da questo punto di confluenza si dirama verso sud un dosso ampio circa un chilometro, a larghe anse, sul quale scorre il tracciato di un paleoalveo. Dal dosso del Livenza, che prosegue verso Caorle, a metà strada tra Torre di Mosto e La Salute di Livenza si diparte in destra idrografica il dosso di Boccafossa. La sua presenza è enfatizzata dalla distribuzione delle sabbie, dalla presenza di tracce sinuose del paleoalveo, dall'attuale canale e dal suo rilievo sulle aree depresse circostanti. Tra La Salute e Ottava Presa l'assetto altimetrico è fortemente influenzato dalle deviazioni artificiali operate dalla Serenissima nel XVIII secolo. L'intervento più importante è stato quello del Taglio di San Giorgio che ha determinato l'abbandono del principale ramo del fiume, denominato ora Livenza Morta, la quale oggi mantiene un deflusso attivo, ma che è separato dal corso del Livenza. Il Livenza Morta va a formare un prolungamento del canale Brian, mentre il corso attuale del Livenza va a sfociare presso Porto Santa Margherita. Nei pressi della Laguna di Caorle molti alvei e paleoalvei si confondono con canali lagunari, comprese le immissioni dei fiumi Loncon e Lemene.

Il dosso originatosi dal corso del fiume Piave è il più grande della provincia di Venezia e raggiunto l'abitato di San Donà di Piave si dirama in più tracciati. Il Piave entra in provincia di Venezia con un andamento sinuoso nei pressi di Noventa di Piave, dopodiché scorre rettilineo fino ad Eraclea e poi nuovamente ad anse fino alla foce di Cortellazzo (intervento della Serenissima di Venezia, terminato nel 1664). Si tratta di un dosso largo fino a 2-3 km e alto 3 m sopra le campagne circostanti. A est di San Donà si dirama il dosso del Piovan (o

Piveran), ampio circa due chilometri, poco rilevato, sul quale è presente una traccia di paleoalveo molto evidente, che va a confluire con il canale Grassaga nei pressi di Calvecchia.
Tra l'idrografia minore è necessario citare la presenza del canale Revedoli, oggi ampiamente rettificato, che in passato collegava la zona della foce del Piave con Porto Santa Margherita attraverso un percorso a meandri che passava alle spalle del paleodelta di Torre di Fine.
Tra gli altri interventi antropici che hanno modellato questo territorio ci sono l'innalzamento degli argini, lo spostamento delle foci dei fiumi alpini al di fuori della laguna di Venezia, le opere di bonifica di inizio ventesimo secolo. Queste ultime hanno permesso l'amplificarsi di un fenomeno che già naturalmente si verificava in questa area per la presenza dei sedimenti fini nelle zone vallive tra i dossi fluviali, ossia la subsidenza. Questo fenomeno accelera lo sprofondamento di un territorio che già si trova al di sotto del livello del mare.

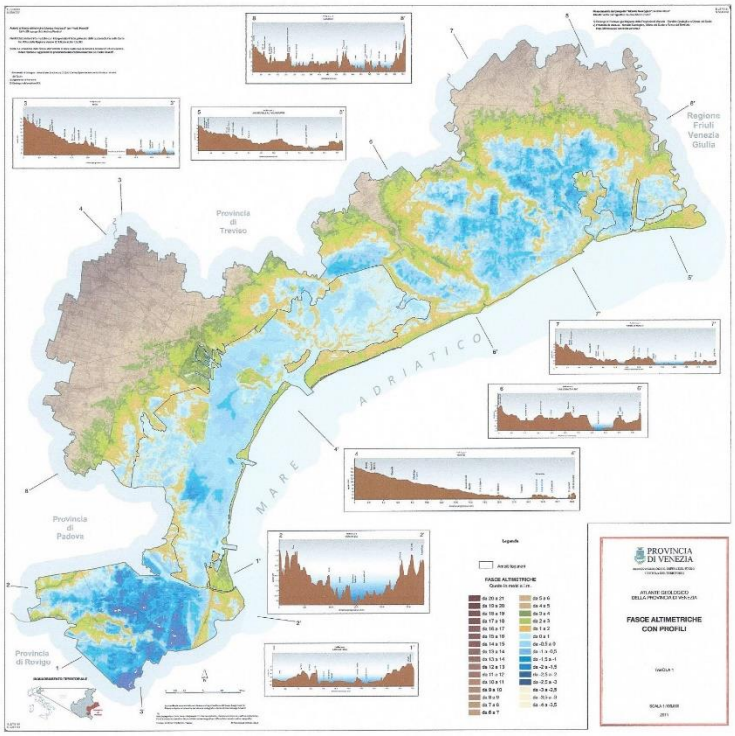


Figura 2.3: Fasce altimetriche con profili della provincia di Venezia.

3. Materiali e metodi

3.1 Presupposti teorici

Il LiDAR è una tecnologia di telerilevamento di recente acquisizione e in continuo sviluppo per gli studi nel campo ambientale. Molti lavori, in particolare, vengono effettuati in Asia, dove è forte e di attualità la problematica ambientale a causa delle forti pressioni antropiche e dei cambiamenti climatici.

Nella fase di documentazione per l'applicazione del metodo sono stati presi in considerazione numerosi studi di questo tipo. Ne sono state raccolte informazioni, parametri e metodi, che sono stati integrati, sviluppati oppure scartati per lo svolgimento di questa tesi e il raggiungimento dei suoi obiettivi.

Nello studio di Seung del 2016 è stata effettuata un'integrazione di dati LiDAR, di dati raccolti in campagna e di indici di vegetazione per studiare la vegetazione riparia. Il LiDAR ha fornito informazioni sugli strati di vegetazione esplicitando caratteristiche fisiche come l'altezza, la biomassa degli alberi e la copertura delle chiome (*canopy*). È da questo termine che deriva il primo e fondamentale passaggio per poter studiare la vegetazione del paesaggio rurale, ossia il *Canopy Height Model* (CHM). In molti studi (Huang, Seung, Wei Hou, Camaretta) il CHM prevede che i valori di altezza del DTM vengano sottratti al DSM. Il risultato è un layer raffigurante tutti gli oggetti che si trovano sulla superficie topografica, come gli elementi antropici e la vegetazione arborea. Il LiDAR usato in questa tesi invece si distingue dagli altri studi perché contiene il DSM Last, il layer in cui sono visibili solo gli elementi antropici e dove la vegetazione arborea è stata filtrata ed eliminata.

Canopy Height Model = DSM First - DSM Last

Huang (2012) utilizza il LiDAR per individuare e distinguere i vari tipi di elementi di vegetazione di un'area urbana, dai singoli alberi ai prati, per assegnare a ciascuno di essi un'equazione di '*green volume*'. Per estrarre la vegetazione viene eseguita la stessa operazione di Seung, pur chiamando il risultato finale nDSM (*normalized Digital Surface*

Model). Inoltre, come nel precedente caso, non sono sufficienti le informazioni di altezza (h), che il LiDAR mette a disposizione, ma è necessaria un'informazione spettrale di immagini telerilevate, vicine all'infrarosso, che permettono di distinguere ulteriormente la vegetazione: viene quindi calcolato l'indice di vegetazione NDVI, il cui valore maggiore di zero indica presenza di vegetazione. L'autore, una volta individuati i pattern di vegetazione, effettua una localizzazione dei punti massimi locali: se un pixel ha il valore di altezza più alto rispetto ai suoi vicini, esso sarà individuato e interpretato come la punta dell'albero.

Nello studio di Wei Hou (2014) invece l'attenzione è posta sui piccoli biotopi e gli ecotoni. L'autore propone una classificazione di questi elementi mediante un approccio ibrido tra l'OBIA (*Object-Based Image Anlaysis*) e il PBIA (*Pixel-Based Image Analysis*), che, come già introdotto, verrà applicato anche in questa tesi. Oltre al LiDAR le immagini multispettrali, utilizzate dall'autore, derivano dalla costellazione di satelliti tedeschi "Rapid Eye", grazie alla quale Wei Hou calcola sia l'indice REVI (*Red Edge Vegetation Index*) per la distinzione tra foresta e pascoli (*grassland*), che l'NDVI per classificare le sottoclassi forestali. Egli effettua una segmentazione delle immagini ('*image segmentation*'), cioè l'estrazione di oggetti da un'immagine (Ferrari, 2013) con eventuali ulteriori operazioni che ne modificano la morfologia. Dalla mappa principale del suo studio, ricavata dalle immagini satellitari, vengono selezionate le sottoclassi della foresta, dei pascoli e degli insediamenti urbani ottenendo una mappa di dettaglio con tutte queste sottoclassi divise in tematismi diversi. Per fare questo tipo di lavoro è stato utilizzato un approccio top-down (vedi figura 3.1), che verrà applicato anche in questa tesi.

Wei Hou fissa dei valori soglia per la classificazione degli *small biotopes* del suo studio: fissa un'altezza media della foresta (Hr), un'area minima per la definizione di alberi singoli (20 m^2) e un rapporto lunghezza/larghezza maggiore di 3 per stabilire se un biotopo è un filare.

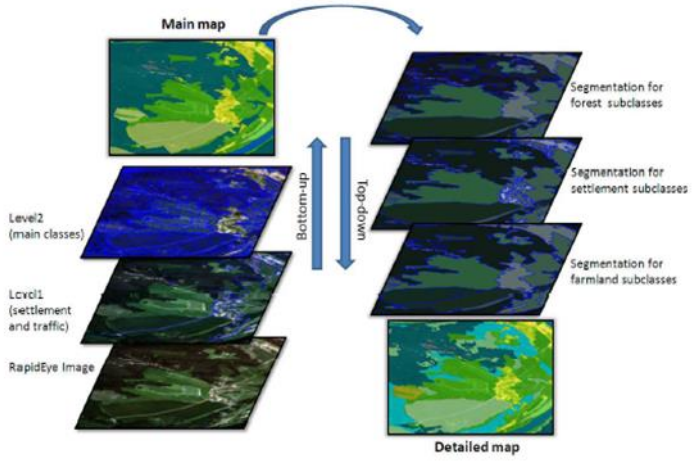


Figura 3.1: Approccio top-down e bottom-up per la segmentazione e la caratterizzazione della copertura del suolo, Wei Hou, (2014).

3.2 Indici di vegetazione

Come detto, gli indici di vegetazione sono fondamentali per classificare la presenza di vegetazione sulla superficie terrestre. La clorofilla, contenuta nelle piante, è in grado di riflettere le bande dell'infrarosso; di conseguenza dalle immagini satellitari la vegetazione appare di colore rosso. Per il calcolo dell'NDVI vengono sfruttate le seguenti due bande spettrali:

- Infrarosso vicino (Near InfraRed, NIR)
- Rosso (Red)

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

I valori di NDVI hanno un *range* che va da -1 a +1, dove i valori positivi indicano la presenza di vegetazione. Su un raster i valori positivi vengono rappresentati da aree luminose, mentre i valori negativi con pixel di colore scuro come si può vedere nella Figura 3.2.

Per lo svolgimento di questa tesi sono stati presi in considerazione alcuni studi, che all'interno della loro metodologia inserivano i parametri di NDVI. Tapsall (2010) ne fa uso per valutare quali aree agricole della Bulgaria si possono considerare in "buone condizioni", riuscendo a distinguere le aree residenziali, le infrastrutture stradali, le aree umide, le aree di

foresta e le *grasslands* adibite a pascolo. Le immagini con comportamento simile vengono aggregate negli stessi oggetti. Egli afferma che, a causa delle risoluzioni medio-alte dell'NDVI, il suo utilizzo è più pratico per lo studio di vaste aree come foreste e praterie; questo sarà un limite da tenere presente per la classificazione di oggetti più piccoli come gli *small biotopes*.
Grazie all'applicazione di filtri temporali e alla reperibilità di immagini satellitari, sia recenti che storiche, c'è la possibilità di studiare la copertura vegetazionale in determinati periodi dell'anno e di fare valutazioni su eventuali cambiamenti d'uso del suolo nell'arco di più anni. Uno studio di questo tipo è stato svolto nel 2016 in Arabia Saudita da Aly, che ha raccolto tre immagini satellitari che percorrono un arco temporale di 26 anni:
- 27 novembre 1987: Landsat 4 TM con sette bande spettrali con risoluzione a 30 m e 120 m per le bande termiche;
- 16 dicembre 2000: Landsat 7 ETM+ con otto bande spettrali ed una risoluzione di 15 m per la banda pancromatica e di 60 m per le bande termiche;
- 28 dicembre 2013: Landsat8 con undici bande, le bande multispettrali a 30 m, la banda pancromatica a 15 metri.
L'autore ha acquisito immagini invernali per non avere risultati alterati dalle differenze stagionali. Sono stati definiti i seguenti valori soglia di NDVI:
- NDVI > 0.5: densa copertura di vegetazione;
- NDVI = 0.25 – 0.5: moderata copertura di vegetazione;
- NDVI < 0.25: scarsa copertura di vegetazione e vegetazione sparsa.
L'uso di questo indice di vegetazione è sempre accompagnato ad altri dati perché è un indicatore sensibile per conoscere e monitorare le condizioni ed i cambiamenti spazio-temporali della vegetazione alla superficie, come la biomassa, ma non è sufficiente per avere delle connessioni dirette con le attività umane e la gestione delle risorse terrestri (Li, 2016).
Secondo l'autore questo tipo di analisi, basata su dati telerilevati, permette di affrontare lo studio dei fenomeni terrestri attraverso un approccio multi-temporale e risulta più accurata ed efficiente in termini di tempo rispetto ai metodi di misura da terra (*ground-based*), sia a grande che a piccola scala.

Per ottenere i layer raster dell'NDVI è stato utilizzato il software *open source* 'Google Earth Engine'. Vi sono stati caricati i set di immagini satellitari del Landsat 8 e del Sentinel 2,

liberamente scaricabili. Attraverso degli opportuni *script* sono stati eseguiti dei filtraggi sulle immagini, che hanno rimosso nuvole e ombre. C'è la possibilità di costruire poligoni per ritagliare l'immagine satellitare sull'area dello studio, di operare dei filtri temporali su periodi dell'anno o lungo l'arco di più anni. Si possono eseguire operazioni aritmetiche tra le varie bande dell'immagine satellitare tra cui quella che permette di ottenere l'NDVI (vedi Allegato I).

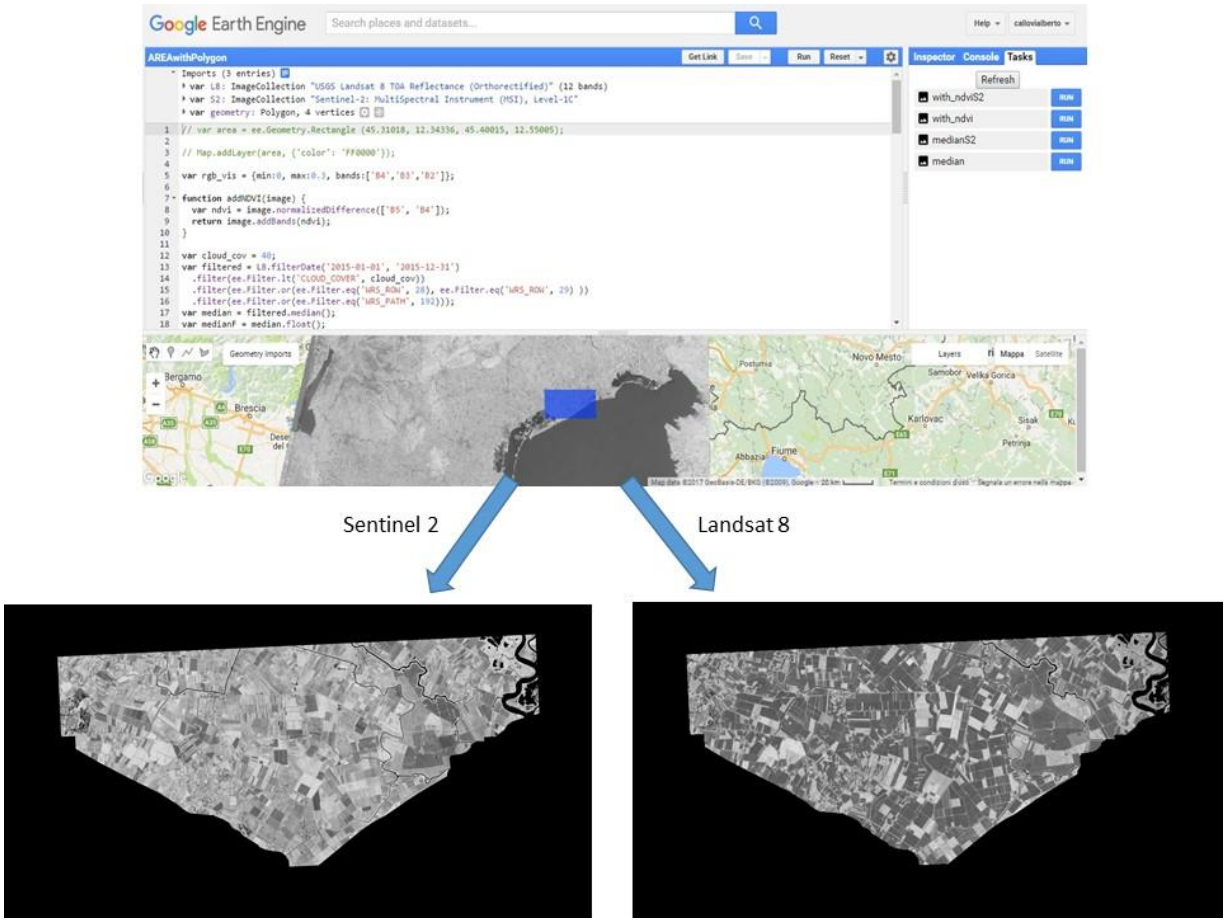


Figura 3.2: Script di Google Earth Engine con cui sono stati ricavati i raster di NDVI del Sentinel 2 e del Landsat 8.

3.3 L'analisi spaziale

L'analisi spaziale è il processo di manipolazione dell'informazione spaziale per estrarre nuove informazioni e significati dall'informazione originale. L'analisi spaziale può essere effettuata

attraverso l'uso di filtri che possono eliminare parte dell'informazione per esplicitarne dell'altra a seconda delle esigenze di ciascun utente.

Le analisi spaziali possono essere:

-locali: prendono in considerazione una cella alla volta;

-focali: elaborano il valore di una cella insieme al valore delle celle vicine;

-globali: prendono in considerazione le celle di un intero layer;

-zonali: prendono in considerazione blocchi di celle adiacenti tra loro ed il risultato viene associato al blocco.

Un filtro spaziale funziona attraverso una finestra di analisi (*kernel*) che scorre su tutto lo strato informativo. La dimensione della finestra avrà un effetto sui risultati: più piccola sarà più gradualità e stabilità si ottengono. Utilizzare questi filtri permette di lisciare le superfici poiché si avranno valori via via più simili; quindi si ottengono immagini più sintetiche, ma con perdita parziale dell'informazione originale.

Nell'analisi spaziale uno dei problemi più ricorrenti è la presenza di dati outlier, cioè dati contenenti valori numericamente distanti dalla media, oppure rappresentanti un'informazione distante dalla realtà. Per esempio, il LiDAR dà la possibilità di riconoscere gli oggetti telerilevati grazie alla sua altissima risoluzione spaziale, ma può mostrare anche oggetti indecifrabili della grandezza di un pixel, che hanno un'area di 0.66 m^2. Questi oggetti, essendo numerosi, creano il cosiddetto effetto "*salt and pepper*". In letteratura sono numerosi i casi in cui gli autori hanno affrontato questo tipo di problema, ma c'è una carenza di descrizioni dei metodi e filtri utilizzati. Hermosilla *et al*. (2011), per esempio, spiega che le immagini sono state lisciate da dei filtri morfologici di apertura e chiusura ("*morphological opening and closing filters"*) e gli oggetti piccoli sono stati eliminati per ridurre il rumore. Il software QGIS possiede numerosi algoritmi che fungono da filtri, ma non tutti hanno reso al meglio per le necessità della tesi: 'sieve', 'dilation', 'majority', 'proximity', 'r.neighbors'.

Un'ulteriore semplificazione si può ottenere seguendo un passaggio analogo alla metodologia di Huang, il quale ha eliminato tutta la vegetazione al di sotto del metro di altezza considerandola prato (*grassland*) ai fini del suo studio. Questo passaggio permette di effettuare una pulizia aggiuntiva, che però comprende un'altra perdita di informazione.

3.4 Pixel-Based Image Analysis

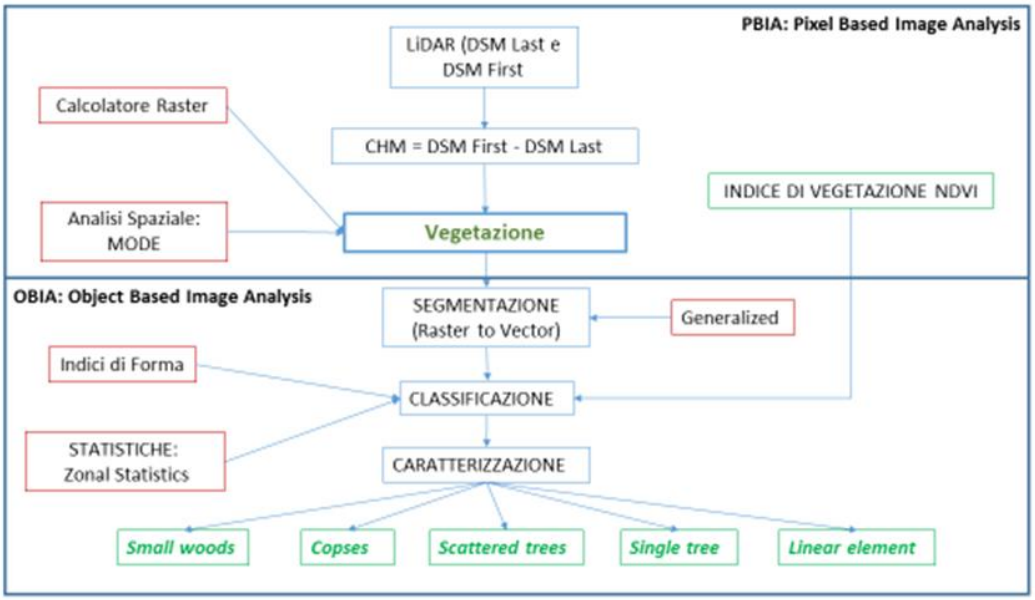


Figura 3.3: schema di tutti i passaggi cardine della fase analitica, divisa in PBIA e OBIA.

La fase analitica segue un approccio ibrido con il quale nella prima parte si effettua un'analisi dei dati raster, a cui segue la segmentazione e lo studio dei poligoni vettoriali con l'applicazione degli indici di forma e delle statistiche zonali, che andranno a caratterizzare gli oggetti poligonizzati.

Vengono caricati sul software QGIS i dati LiDAR in formato .asc e costituiti da pixel con risoluzione di 0.81 metri. Questi dati, ricevuti dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare, ricoprono gran parte del territorio veneto. Quindi sono stati selezionati solamente quelli appartenenti all'area di studio. Siccome questi dati si presentano con nette discontinuità come le tessere di un mosaico, è stato necessario effettuare una mosaicatura con il comando 'Unione' (*merge*) di tutte le celle caricate nel progetto; in questo modo anziché lavorare su 283 file raster (il numero di celle del DSM First) si è lavorato su un unico grande file raster. Per ottenere il file raster, sia per il DSM First che per il DSM Last, il comando è stato attivato grazie alla *shell* interattiva di Python [2]'OSGeo4W'. Il risultato è visibile nella figura 3.4.

[2] Essendo i file molto pesanti (nell'ordine delle decine di Giga) si è preferito alleggerire il comando almeno dell'interfaccia grafica di QGIS.

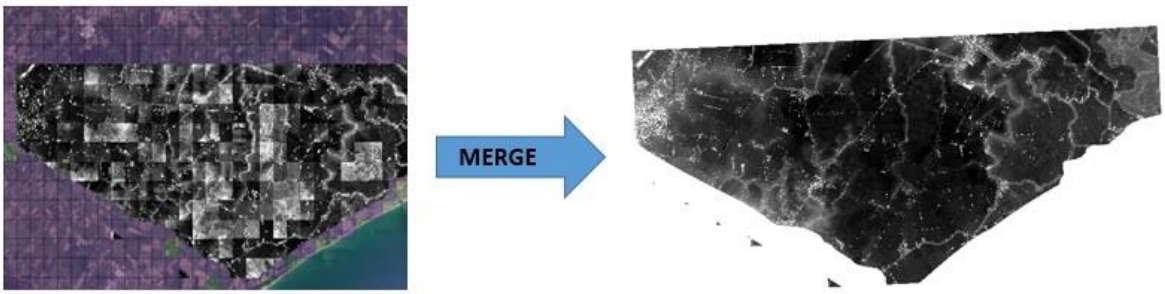


Figura 3.4: Il raster prima e dopo l'uso del merge.

Una volta ottenuti i due DSM, è stato necessario riproiettarli nel Sistema di Riferimento (SR) con cui si è deciso di lavorare, cioè il 'Monte Mario / Italy Zone EPSG:3003'. È stato scelto questo SR perché è lo stesso dei layer vettoriali scaricati dal Geoportale del Veneto. Al raster è stato assegnato il proprio SR (WGS84 ETRF89) attraverso il comando 'Assegna proiezione', affinché il programma riconoscesse il SR di partenza. In seguito quest'ultimo è stato riproiettato nel SR del progetto attraverso il comando 'Riproiezione'.

La seguente operazione è quella fondamentale per il proseguo della tesi ed è il CHM, che è stato già introdotto da Seung. Attraverso il 'Calcolatore raster' si esegue la differenza tra il DSM First e il DSM Last per ottenere un nuovo layer raster in cui verrà visualizzata la vegetazione dell'area e che verrà chiamato per il resto della tesi 'Vegetation'. Come si può vedere in figura 3.5, la colorazione nera del layer ottenuto indica tutti i valori di z (altezza) pari a 0 metri. Quest'ultima è l'altezza della superficie topografica, dei corsi d'acqua, delle strade, delle case e di tutto quello che è stato annullato con la precedente operazione. La vegetazione, invece, viene rappresentata in una scala di grigio a banda singola dal grigio scuro (valori più bassi) al bianco (valori più alti), o viceversa a seconda delle preferenze e necessità dell'utente; ciascun pixel avrà indicati i valori delle coordinate e dell'altezza in metri.

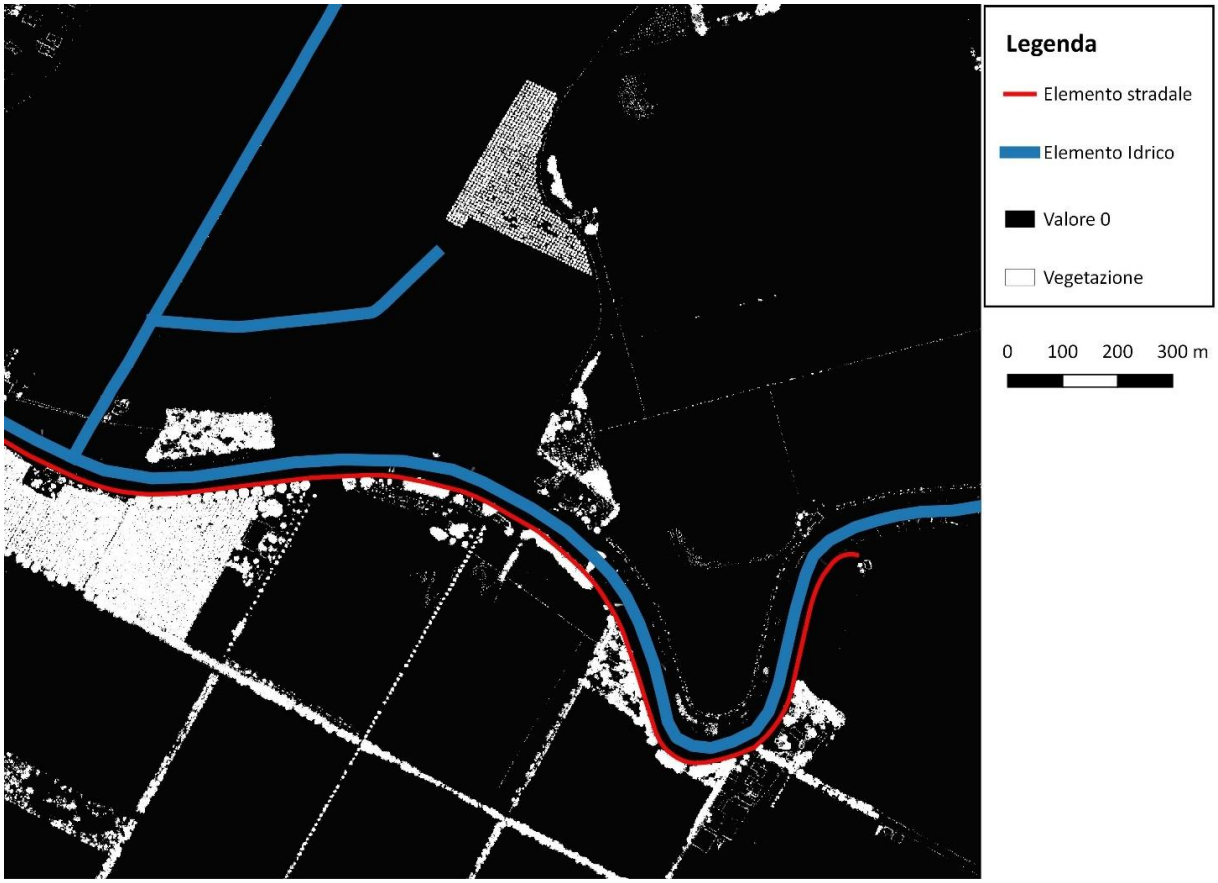


Figura 3.5: dettaglio del layer raster 'Vegetation' ottenuto con il CHM; la zona colorata di nero indica tutti i valori pari a 0, le zone chiare indicano la presenza di vegetazione.

Si è scelto di suddividere il layer 'Vegetation' in base alla Carta degli Usi del suolo del Veneto. Si è resa necessaria questa operazione sia per motivi pratici e analitici, che per la classificazione finale della vegetazione occupante i seguenti usi del suolo:

- I seminativi (2.1.), ossia superfici coltivate, regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione; si dividono in seminativi in aree non irrigue (2.1.1.) e in seminativi in aree irrigue (2.1.2.). Sono da considerare perimetri irrigui solo quelli individuabili da fotointerpretazione, satellitare o aerea, per la presenza di canali e impianti di pompaggio. Si tratta di coltivazioni come i cereali, le leguminose, le colture foraggere, le coltivazioni industriali, le radici commestibili e i maggesi. Sono compresi anche i vivai e le colture orticole, gli impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie. I seminativi in aree irrigue sono colture irrigate stabilmente e periodicamente grazie ad un'infrastruttura permanente (canale di irrigazione, rete di drenaggio, impianto di prelievo e pompaggio di acque): la maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l'apporto artificiale di acqua.

- Le colture permanenti (2.2.) non sono soggette a rotazione e occupano un terreno per un lungo periodo prima dello scasso e della ripuntatura: si tratta per lo più di colture legnose per la produzione di frutta tradizionale o di colture estensive di olivi, castagni e noci; sono esclusi i prati, pascoli e le foreste. I vigneti (2.2.1.) sono superfici piantate a vite; spesso sono associate alla coltivazione di olivo, ma non è il caso della pianura padana. Questa categoria comprende vivai viticoli, vigneti per la produzione di vino, uva e uvette. I frutteti (2.2.2.) sono impianti di alberi o arbusti fruttiferi: colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. Ne fanno parte i castagneti da frutto e i noccioleti e tutte le piantagioni e orti di meli, peri, prugni, albicocchi, peschi, ciliegi ecc. L'arboricoltura da legno rientra tra le altre colture permanenti (2.2.4.) e si tratta di superfici piantate con alberi di specie forestali a rapido accrescimento per la produzione di legno o destinate a produzioni diverse, ma soggette a operazioni colturali di tipo agricolo. Fanno parte di questa categoria i pioppeti, i saliceti, le conifere a rapido accrescimento.

- I prati stabili (2.3.) sono terreni che vengono permanentemente utilizzati per la produzione di foraggio. Si tratta di superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica, rappresentata principalmente da graminacee non soggette a rotazione (2.3.1.) e superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorate (2.3.2.). Sono sempre localizzati vicino ad aree abitate e coltivate. Sono per lo più pascolate, ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente.

- Le zone agricole eterogenee (2.4.) sono zone di coltivazioni annuali associate a coltivazioni permanenti. Le coltivazioni e le praterie sono a contatto con la vegetazione naturale o con altre zone naturali. Le colture associate a colture permanenti (2.4.1.) sono seminativi o prati associati a colture permanenti sulla stessa superficie. Sono da includere zone di coltivazioni con una copertura limitata di vigne o frutteti. I sistemi colturali e particellari complessi (2.4.2.) sono un mosaico di piccoli appezzamenti (singolarmente non cartografabili) con varie colture annuali, prati stabili e colture permanenti, occupanti ciascuno meno del 75% della superficie totale

dell'unità. Vi sono comprese anche case, orti dispersi e urbani, appezzamenti di coltivazioni permanenti misti, coltivazioni con case isolate e appezzamenti edificati che occupano meno del 30% della zona di mosaico. Questi sistemi rappresentano il 13.66% del paesaggio agrario italiano e sono la seconda categoria di uso del suolo agricolo in Italia (Di Somma, 2013).

La Tabella 3.1 riassume gli usi del suolo della Superficie Agricola Utilizzata (SAU) presi in considerazione nell'area di studio con l'estensione della superficie e il numero di *patches*. All'interno dell'area di studio ricadono anche le superfici artificiali, le aree umide e i territori boscati (0.070% del totale). Le superfici artificiali non sono state prese in considerazione ai fini dello studio, così come le aree umide. La SAU ricopre l'86% dell'area totale.

Tabella 3.1: le varie tipologie di uso del suolo presenti all'interno dell'area di studio.

Codice	Tipo Uso del Suolo	Area tot (m^2)	n. *patches*	Media area *patches*	% area sul tot
1.	Superfici artificiali	17˙435˙144.219	1288	13˙536.602	7,87
2.1.1.	Seminativi in aree non irrigue	664˙319.288	11	60˙392.662	0,30
2.1.2.	Seminativi in aree irrigue	172˙300˙787.80	1868	92˙238	77,70
2.2.1.	Vigneti	6˙220˙819.66	354	17˙572	2,80
2.2.2.	Frutteti	3˙739˙555.166	64	58˙430.549	1,69
2.2.4.	Altre colture permanenti	2˙651˙402.806	141	18˙804.275	1,19
2.3.	Prati stabili	5˙108˙020.28	213	23˙981.315	2,30
2.4.	Zone agricole eterogenee	506˙298.382	25	20˙251.935	0,23
3.	Territori boscati	169˙525.704	17	9˙972.100	0,07
4.	Zone umide	6˙929˙417.568	86	80˙574.622	3,12

La suddivisione della vegetazione nelle sette aree della SAU è stata ottenuta con il comando 'Ritaglia', dove in input è stato aggiunto il layer raster 'Vegetation' e come maschera vettoriale le diverse tipologie di uso del suolo. In questo modo sono stati ottenuti sette layer raster, contenenti la vegetazione che si trova su ciascuna tipologia di uso del suolo. Con questa operazione si è alleggerito il software per le seguenti operazioni che richiedono l'uso di filtri e del calcolatore raster. La vegetazione, ottenuta con il CHM, comprende sia quella coltivata, che gli elementi seminaturali oggetto dello studio. Nella Figura 3.6 è possibile vedere un dettaglio dell'area di studio, dove al raster 'Vegetation' sono stati sovrapposti i layer di tre coperture del suolo differenti.

Il procedimento seguente è uguale per tutti e sette i layer di vegetazione ottenuti e quindi dovrà solamente essere ripetuto in tutti i suoi passaggi.

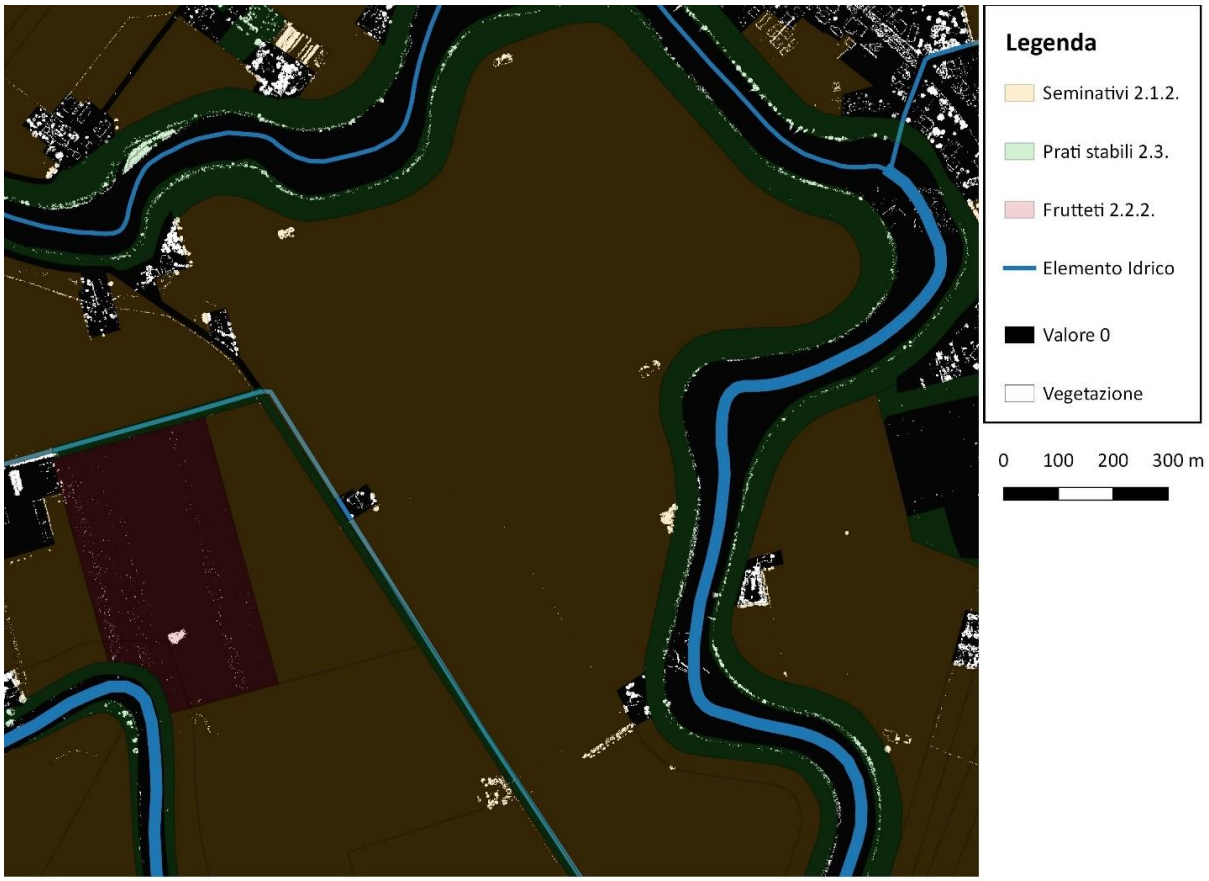


Figura 3.6: Lo strato informativo vettoriale dell'uso del suolo è stato sovrapposto al layer raster 'Vegetation'.

- Il primo passaggio di questa fase è un'operazione di algebra raster per eliminare quei pixel con valore di altezza inferiore a 0.5 metri. Questa è un'operazione molto simile a quella proposta da Huang, che permette di pulire il layer da quei pixel isolati contenenti poca informazione e che creano rumore nell'immagine. Con il comando 'Calcolatore raster' il layer, che prima conteneva tutti i valori di altezza del CHM, ora contiene solo due valori:

- valore 0 per tutti i pixel inferiori al mezzo metro di altezza e con valore 0 o 'no data';
- valore 1 per tutti i pixel aventi altezza maggiore al mezzo metro.

- Il secondo passaggio riguarda invece l'utilizzo dei filtri di analisi spaziale. Questi filtri servono a lisciare o ammorbidire (*smoothing*) i bordi della vegetazione e a pulire l'immagine per cercare di attenuare il rumore eliminando definitivamente i pixel isolati. In particolare

l'attenzione è posta sui pixel singoli o riuniti a gruppi di due o tre, che non sono riconducibili ad elementi reali.

Per effettuare quest'analisi, tra tutti i comandi messi a disposizione in QGIS, si è optato per 'r.neighbors' del plugin di GRASS, che permette di scegliere alcuni tra i filtri più comuni (media, moda, mediana, massimo, minimo, deviazione standard, diversità..) e la grandezza della finestra di analisi (di solito si utilizzano 3x3, 5x5, 7x7). Tra i filtri proposti è stato usato il filtro 'moda', che seleziona il valore con la frequenza più alta all'interno della finestra di analisi. In realtà con un layer di soli due valori (0 e 1) era indifferente anche l'uso della 'mediana'. È importante che, per il funzionamento corretto del filtro 'moda', non siano presenti valori nulli sennò si presenta il problema evidenziato nella figura 3.7: il pixel singolo e isolato non viene eliminato, ma viene raggruppato in pixel di uguale valore.

Figura 3.7: A destra caso in cui una finestra di analisi viene fatta passare sullo strato informativo: se i valori adiacenti al pixel singolo, di valore 1, sono valori 0, la moda del kernel è uguale a 0. A sinistra invece si vede il caso in cui valori nulli circondano il pixel di valore 1: anziché essere eliminato, il valore 1 è assegnato anche ai pixel adiacenti.

Il layer raster dunque si presenta simile a quello di partenza, ma dopo varie manipolazioni alcune informazioni sono state nascoste, mentre altre sono state esplicitate. In particolare, a questo punto della PBIA il layer si ritrova come una maschera binaria di classi vegetate e non-vegetate, alla quale è stato pulito parte del rumore presente. Questo facilita anche la successiva segmentazione, che richiede al software un grande sforzo. La segmentazione infatti trasforma tutti i pixel in poligoni. In questo caso tutti i pixel con valore 1 verranno segmentati e per ciascun cluster di pixel, discriminato da una linea di confine, verrà creato un poligono distinto.

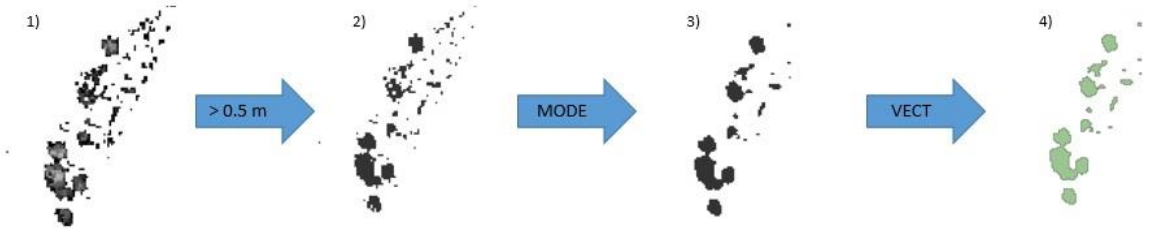


Figura 3.8: eliminazione del rumore dopo i principali passaggi della PBIA su un dettaglio del layer 'Vegetation'. Fase: 1) raster 'Vegetation' dopo il CHM; 2) raster dopo l'uso del 'Calcolatore raster' e l'eliminazione dei pixel con altezza inferiore a 0,5 metri; 3) raster dopo l'utilizzo del filtro 'moda'; 4) raster convertito in layer vettoriale.

3.5 Object-Based Image Analysis

La seconda parte della fase analitica permette di effettuare analisi spaziali e di manipolare i poligoni dei layer vettoriali.

L'OBIA si divide in tre fasi:

- Segmentazione: la conversione dei dati raster in dati vettoriali grazie al comando 'Poligonizzazione';
- Caratterizzazione: eliminazione del rumore e delle imperfezioni rimaste dalla segmentazione e predisposizione dei poligoni all'uso degli indici di forma, delle statistiche zonali, fondamentali per la successiva fase conclusiva;
- Classificazione: vengono utilizzati i parametri per l'area, il perimetro, la lunghezza e larghezza, i quali permettono di applicare gli indici di forma, i cui valori soglia consentono di classificare gli elementi seminaturali della vegetazione. L'uso del buffer invece permette di valutare se esistono relazioni spaziali tra gli elementi studiati (e di classificarli diversamente).

Lavorando sui poligoni risultano fondamentali le statistiche geometriche di base, come area e perimetro, che vengono calcolate attraverso il 'Calcolatore di campi' e che sono il punto di partenza per l'applicazione degli indici di forma. Questi ultimi, insieme all'altezza e all'NDVI, sono i parametri necessari per la classificazione.

Indici di forma

Negli ultimi anni, alcuni autori, come il tedesco Seidel, hanno già affrontato il problema di classificare elementi di vegetazione non appartenenti all'habitat di foresta (*Trees Outside Forest*, TOF) e spesso si sono ritrovati ad usare parametri *ad hoc* per ottenere un risultato soddisfacente. I parametri con cui si può procedere alla classificazione sono geometrici (area, perimetro, lunghezza, larghezza e massima distanza tra i vertici di un poligono) e permettono di utilizzare indici di forma. I valori soglia servono per distinguere gli oggetti lineari da quelli che non lo sono, per capire se si tratta di alberi singoli isolati oppure di gruppi di alberi e di scartare oggetti che sono troppo piccoli. Per la determinazione dei filari esistono vari metodi sperimentati dagli studiosi, alcuni di non facile realizzazione con i software 'open source' come QGIS (Quackenbush 2004, Thornton 2007, Vannier 2008, Aksoy 2010). Il metodo scelto per lo studio della forma dei poligoni è un ibrido tra quelli proposti da Seidel, Sheeren e Wei Hou.

Seidel propone un indice di linearità ricavato dal rapporto tra il semiperimetro del poligono studiato e il diametro della circonferenza più piccola circoscrivibile il poligono (SEC, *Smallest Enclosing Circle*).

$$\text{INDICE DI LINEARITÀ} = (\text{Perimetro}/2) / \text{Diametro}_{(SEC)}$$

Seidel classifica gli oggetti in base al diametro del SEC:

- Oggetti singoli (alberi o cespugli): poligoni aventi diametro più piccolo di 20 metri.
- Oggetti lineari: poligoni il cui indice di linearità è compreso tra 1 e 1.3.
- Oggetti ampi (boschetti o gruppi di alberi): poligoni il cui indice di linearità è superiore a 1.3.

Nella sua applicazione è stata riscontrata un'esagerata selettività da parte dell'indice di linearità causata da valori troppo elevati del perimetro, che amplificavano il risultato del rapporto. Si è inteso che il problema del perimetro troppo grande è causato dalla segmentazione, che segue i bordi dei pixel durante la conversione da raster a vettore. Il problema è stato risolto utilizzando l'algoritmo 'Douglas-Peucker' del comando 'v.generalize'

in QGIS (vedi figura 3.9). Questo algoritmo trova delle approssimazioni di dimensioni ridotte della linea originale dando come risultato una curva semplificata contenente un sottoinsieme dei punti della curva originale (Beat, 2001). La tabella 3.2 mostra come sono cambiati i valori del perimetro dopo aver effettuato l'approssimazione e come ciò ha modificato anche il valore dell'indice di linearità.

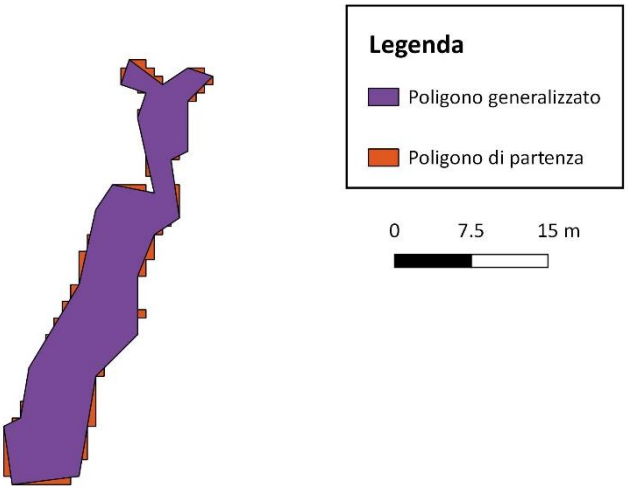


Figura 3.9: Confronto di un poligono prima e dopo la generalizzazione.

Tabella 3.2: Confronto dei valori statistici prima (rosso) e dopo (blu) l'uso del comando 'v.generalize', in giallo è indicato il valore della massima distanza tra i due vertici di un poligono, ossia il poligono del SEC.

DN	AREA_pre	PERIMETRO _pre	AREA_post	PERIMETRO _post	Max. Distance	p/D _pre	p/D _post
1	1072,227	603,571	1075,884	577,397	60,349	5,001	4,784
1	257,521	121,041	254,841	96,458	32,260	1,876	1,495
1	64,873	42,528	64,546	32,261	12,158	1,749	1,327
1	190,621	96,506	184,609	81,398	36,902	1,308	1,103
1	54,182	40,892	52,172	32,407	10,757	1,901	1,506
1	53,508	47,435	53,844	38,143	15,278	1,552	1,248
1	86,287	52,342	89,963	41,485	15,013	1,743	1,382
1	248,150	201,190	245,142	167,025	63,022	1,596	1,325
1	177,916	125,948	171,900	99,708	24,873	2,532	2,004
1	92,303	52,342	97,655	40,943	14,283	1,832	1,433

Per la definizione del diametro si è utilizzato il parametro 'Max.Distance' misurato dal comando del plugin di SAGA '*Polygon shape indices'*. Esso rappresenta la misura della massima distanza possibile tra i vertici di un poligono. Questa distanza è stata considerata come il diametro del SEC, poiché, dati due punti oppure dato il diametro ed il centro, è possibile costruire un cerchio (Figura 3.10). In QGIS, una volta avviato il comando '*Polygon Shape Indices*', la tabella attributi verrà arricchita dei nuovi parametri tra cui il 'Max.Distance', come si può vedere nella tabella 3.2.

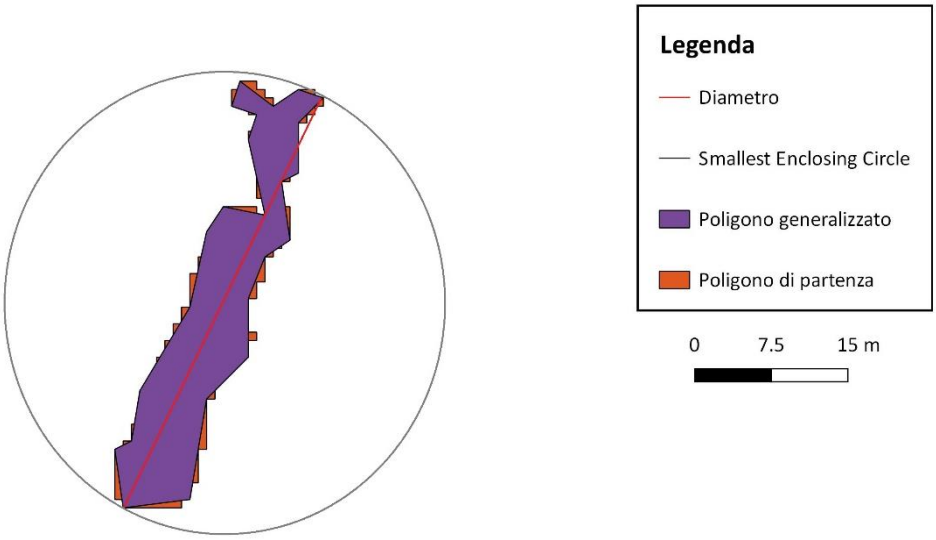


Figura 3.10: esempio di SEC costruito attorno ad un poligono di forma allungata con diametro evidenziato in rosso attraverso il comando 'Misura linea' di QGIS.

Sheeren (2009) stabilisce che gli elementi lineari sono quei filari aventi una larghezza inferiore ai 25 metri ed una lunghezza superiore ai 25 metri. Non è una soglia molto accurata, ma il valore della larghezza è stato utilizzato nel progetto GIS come controprova per stabilire che l'elemento fosse un filare e non un boschetto. Lo stesso autore fissa i valori soglia per distinguere i vari *small biotopes* in base all'area:

- Foreste: Area > 5000 m^2;
- Boschetti: 500 m^2 < Area < 5000 m^2;
- Gruppi di alberi: 50 m^2 < Area < 500 m^2;
- Albero singolo: Area < 50 m^2.

Wei Hou considera elementi lineari tutti quegli oggetti il cui rapporto lunghezza/larghezza è superiore a 3. Nella tesi viene utilizzato anche questo metodo per tutti quegli oggetti aventi un indice di linearità leggermente superiore alla soglia e compreso tra 1.3 e 1.4. La misura della lunghezza e della larghezza sono state ottenute con il comando di QGIS '*Oriented minimum bounding box*'.

Wei Hou è uno dei pochi autori a fornire un riferimento bibliografico per le dimensioni della chioma di un albero, considerando come valore massimo 20 m^2. Sheeren, come detto, per l'identificazione della chioma, utilizza un diametro del SEC inferiore ai 20 metri.

In questa tesi il valore massimo per l'area della chioma di un albero è stato stabilito a 50 m^2, ritenuto più affidabile per il confronto con la realtà della campagna rurale. Questa soglia considera alberi la cui chioma può arrivare a circa 7 metri di lunghezza e larghezza.

I filari, oltre ad aver bisogno dell'indice di forma, necessitano anche di un'area minima. Secondo Plieninger (2011) si può parlare di filare quando almeno quattro alberi si trovano in fila una dopo l'altro: il valore soglia è quindi fissato per un'area maggiore di 200 m^2.

Figura 3.11: Chioma di un albero, che delimita un frutteto, evidenziata in blu, avente area minore di 50 m^2.

Anche nel layer vettoriale c'è la presenza di poligoni molto piccoli derivanti dai pixel della fase precedente (PBIA). Siccome nella fase preliminare non è stato possibile eliminare alcuni di essi, si possono sfruttare i comandi di geoprocessing vettoriale per fare pulizia del rumore rimasto. Il modo più semplice per riconoscere i poligoni più piccoli è attraverso il calcolo della loro area con il 'Calcolatore raster': in questo modo si selezionano i poligoni più piccoli

e si eliminano dal layer vettoriale. Sono stati eliminati tutti i poligoni con area inferiore ai 2.010 m^2. Si sarebbe trattato di oggetti ancora poco riconoscibili e con una bassa corrispondenza nel mondo reale. Nonostante l'alta risoluzione delle immagini LiDAR, è difficile distinguere e caratterizzare un oggetto con un lato lungo massimo 1.40 metri; non sarebbe rientrato nemmeno negli obiettivi della tesi.

Altezza

Per il parametro dell'altezza viene utilizzato il plugin delle 'Statistiche Zonali', che permette di calcolare le statistiche più comuni riferite all'altezza del CHM. Questo plugin funziona facendo scorrere sotto un layer vettoriale il raster 'Vegetation' contenente i valori di altezza di tutta l'area di studio (vedi Figura 3.11). In questo modo vengono calcolati la media, la mediana e il massimo delle altezze di ciascuna geometria (*small biotopes*) del progetto. Le statistiche zonali vengono caricate automaticamente nella tabella degli attributi del layer vettoriale usato.

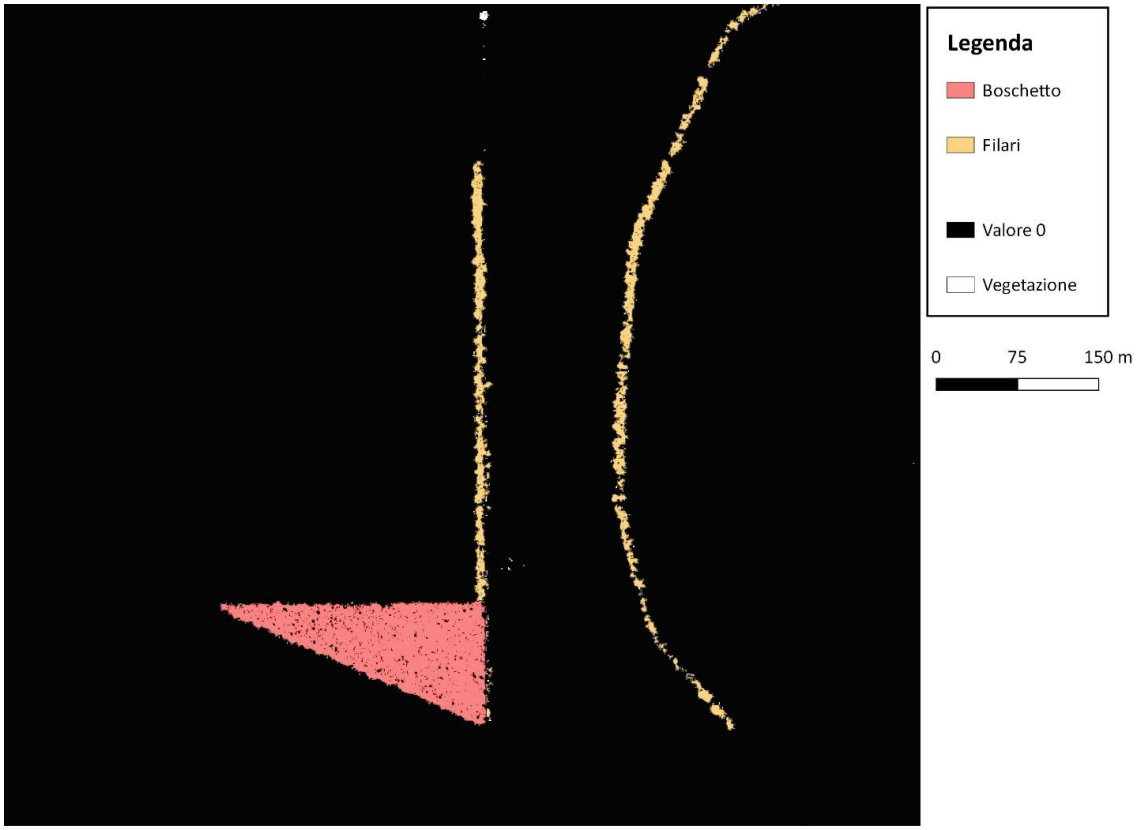


Figura 3.11: Layer poligonali sovrapposto al raster 'Vegetation' per il funzionamento delle 'Statistiche zonali'.

In letteratura molti autori considerano il metro di altezza come soglia che distingue il prato dalla vegetazione arborea (Huang). Siccome l'obiettivo della tesi prevede di identificare gli elementi seminaturali caratteristici della campagna veneta, si è cercato, nei limiti del possibile, di eliminare tutti quegli elementi che potessero essere coltivazioni di alberi da frutto. La carta degli usi del suolo ha aiutato a discriminare quella aree vegetate adibite a frutteti e vigneti, che quindi non appartengono alla categoria degli *small biotopes*. Infatti il controllo e sfruttamento da parte dell'uomo e la possibile contaminazione da prodotti chimici non garantisce un livello di naturalità a queste aree agricole vegetate (Tapsall, 2010), nonostante esse attirino la presenza di fauna selvatica. Per questa serie di motivi si è deciso di non prendere in considerazione, ai fini della classificazione, tutti gli elementi più bassi di 3 metri.

Huang fa uso del punto massimo locale per definire la punta degli alberi. Allo stesso modo per eliminare gli elementi più bassi di 3 metri si considera il valore massimo dell'altezza di ciascun poligono ricavato con le statistiche zonali.

NDVI

L'ultimo parametro fondamentale per la classificazione è l'NDVI. Come già scritto sono stati ottenuti due file raster con i valori di NDVI, dove le aree più luminose sono quelle con i valori più alti. Con le statistiche zonali sono stati estratti i valori della media, della mediana e del massimo di NDVI per ciascun poligono. In questo caso, dovendo fare un confronto tra due layer con risoluzioni spaziali diverse (0,81 metri del LiDAR e 10 metri del Sentinel 2), c'è la possibilità che i pixel non coincidano perfettamente e che i pixel più grandi finiscano su altri elementi poligonali. Per questo motivo si è preferito tener conto dei valori mediani di NDVI.

In base alla classificazione di Aly, gli elementi con NDVI inferiore a 0.25 vengono scartati. Gli elementi lineari spesso si trovano lungo superfici acquatiche, che hanno valori di NDVI attorno allo zero, di conseguenza viene tenuta una soglia attorno allo 0.3 per la loro caratterizzazione. La stessa soglia viene utilizzata per gli alberi isolati, mentre per i boschetti viene fissata una soglia più alta, superiore a 0.5, essendo aree coperte da vegetazione più fitta.

L'NDVI è uno strumento utile per effettuare valutazioni dei cambiamenti che avvengono in un oggetto o in un fenomeno lungo un particolare intervallo di tempo (*change detection*). Il

fatto di avere dei dati di partenza del 2008 e dei valori di NDVI tra il 2015 e il 2016, unito alla possibilità di sovrapporre il plugin '*open layer*' di Google Earth su QGIS permette di fare fotointerpretazione e capire se c'è stato un cambiamento d'uso del suolo.

La tabella seguente riassume i parametri presi in considerazione per eseguire la classificazione della vegetazione. Per ciascuno di essi sono indicati i valori soglia.

Tabella 3.3: parametri e valori soglia per la classificazione degli *small biotopes*.

Small Biotopes	**Area (m^2)**	**Indice Linearità**	**NDVI**	**Altezza (m)**
Small woods	5˙000 < x < 40˙000	> 1.3	> 0.5	> 3.0
***Copses* (C)**	500 < x < 5˙000	> 1.3	> 0.5	> 3.0
***Scattered trees* (ST)**	50 < x < 5˙000	> 1.3	> 0.3	> 3.0
***Single tree* (T)**	< 50	-	> 0.3	> 3.0
***Linear elements* (L)**	> 200	1.0 < x < 1.3 *	> 0.3	> 3.0

Buffer

Durante la fase di classificazione si è rivelato opportuno effettuare un'analisi di vicinanza per constatare se un poligono singolo si trovava all'interno di un contesto più grande come un filare, un gruppo di alberi sparsi oppure un bosco. È stato utilizzato il comando 'buffer' con dissolvenza attorno a ciascuno elemento di vegetazione. La soglia del buffer utilizzata è stata 7 metri. (Figura 3.12)

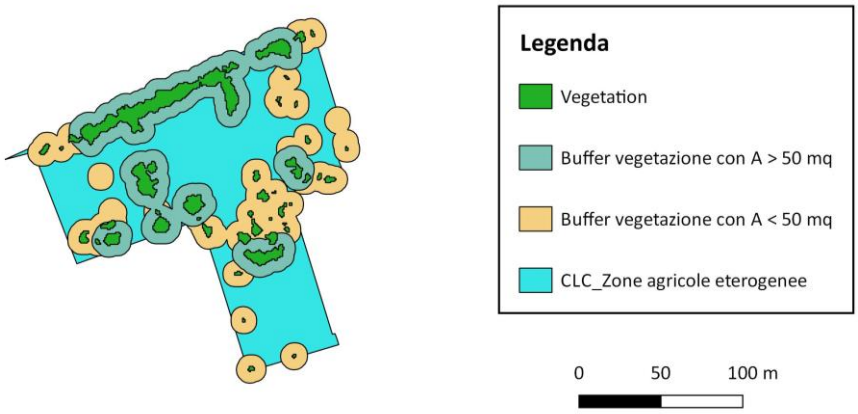


Figura 3.12: Esempio di buffer con dissolvenza applicato attorno ad elementi con area < 50 m^2 e ad elementi con area > 50 m^2

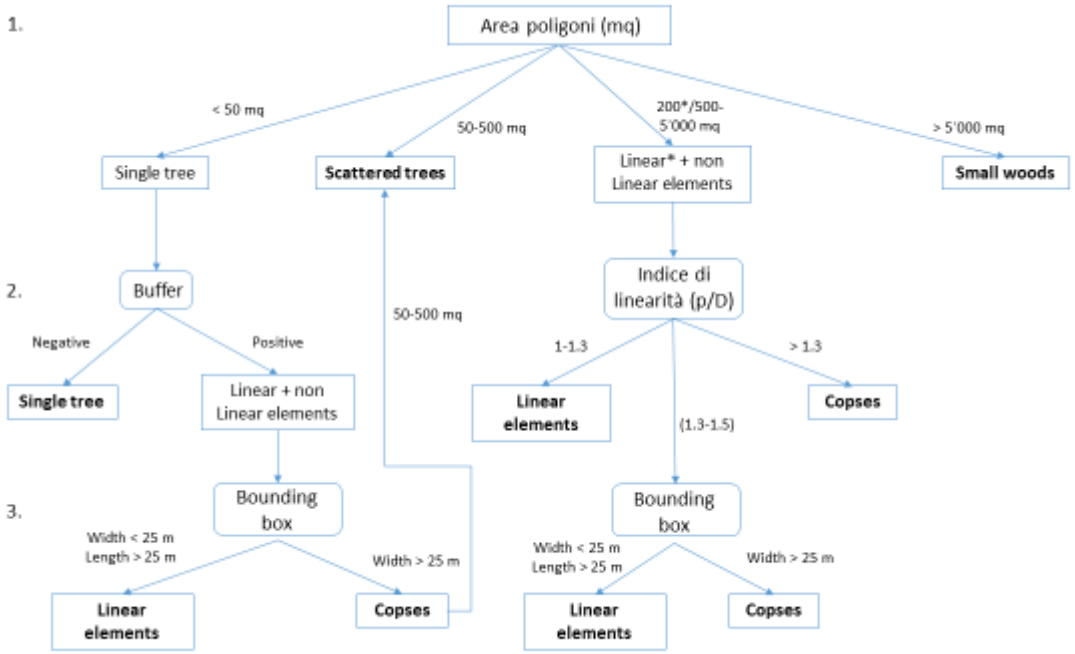


Figura 3.13: Il '*Decision tree*' per la classificazione degli *small biotopes*. Il primo parametro caratterizzante è l'area dei poligoni. Gli elementi singoli con area maggiore di 200 m^2 vengono classificati in base all'indice di linearità; in certi casi può essere necessario la prova del '*Bounding box*' per stabilire se un elemento è lineare oppure no. A tutti i poligoni con area minore di 50 m^2 viene eseguita un'analisi di vicinanza, tramite buffer, per stabilire se sono alberi isolati oppure gruppi di alberi che vanno a formare un altro biotopo.

3.6 Strumentazione Remote Sensing

Il telerilevamento è la scienza che permette di acquisire informazioni su un oggetto attraverso l'analisi di dati ottenuti senza avere un contatto fisico con l'oggetto stesso (Rees, 2001). Riferendosi allo studio della terra il telerilevamento si basa sull'analisi della variazione dell'energia elettromagnetica, che viene riflessa o emessa dalla superficie terrestre e dall'atmosfera. Tra i vari modi in cui può avvenire la trasmissione di energia, la radiazione è l'unica che permette la propagazione attraverso il vuoto o un mezzo, senza bisogno di un contatto fra i corpi: si parla di radiazione elettromagnetica.

La radiazione elettromagnetica quando incide una superficie può essere riflessa, assorbita o trasmessa, a seconda della natura del materiale e della lunghezza d'onda della radiazione incidente. Nel telerilevamento, in generale, si opera sull'energia riflessa, per cui le proprietà riflettenti dei corpi sono di fondamentale importanza. L'energia riflessa è uguale all'energia che incide la superficie terrestre meno la somma della parte di energia che viene assorbita o trasmessa dal corpo. La riflettanza spettrale è definita in funzione della lunghezza d'onda

come il rapporto fra l'energia riflessa e l'energia incidente; questo rapporto, determinato dalla geometria, dalla natura e dalla composizione del corpo, caratterizza il tipo di superficie. Analizzando il valore di riflettanza di un corpo in relazione alle varie lunghezze d'onda è possibile costruire una curva bidimensionale chiamata 'firma spettrale', ossia una caratteristica distintiva del corpo. Attraverso lo studio di queste firme spettrali è possibile capire quali siano le bande da scegliere per il riconoscimento e la differenziazione di un determinato corpo in un'immagine. Ad esempio, guardando un'ideale firma spettrale della vegetazione, come quella in Figura 3.14, si può notare come essa assuma valori elevati nella zona dell'infrarosso vicino e abbia un altro picco nella zona del visibile corrispondente al verde: è per questo motivo che l'essere umano, non vedendo l'infrarosso, vede le piante di questo colore.

La capacità di riflettanza del suolo invece dipende da vari fattori come la composizione, il colore, la scabrezza della superficie, la presenza di materiala organico, il contenuto di ossidi e il contenuto d'acqua (Escadafal & Huete, 1992).

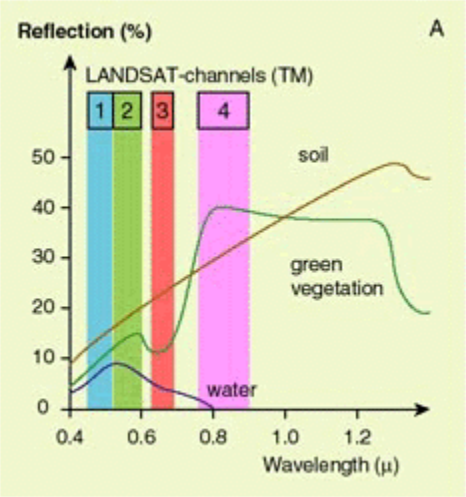


Fig.3.14: Firma spettrale della vegetazione e del suolo, (da www.esa.int)

Poiché nel telerilevamento l'acquisizione dei dati avviene senza contatto fisico tra il rilevatore e l'oggetto da studiare, gli strumenti utilizzati, chiamati sensori, vengono montati su diverse piattaforme, che possono essere veicoli al suolo, aerei o satelliti. I sensori si dividono in attivi e passivi:

- I sensori passivi registrano la radiazione elettromagnetica naturalmente disponibile: la principale sorgente di energia elettromagnetica è il sole. I sensori di questo tipo, quindi, si basano sulla radiazione solare riflessa dalla superficie terrestre: ciò comporta una serie di problematiche quali l'utilizzo nelle sole ore diurne e la possibile interferenza della copertura nuvolosa.
- I sensori attivi sono invece essi stessi generatori di radiazioni: inviano la radiazione verso la superficie terrestre e ne registrano poi la componente riflessa tramite un'antenna. Possono quindi operare in assenza di radiazione solare.

I sensori registrano la radiazione riflessa ottenendo un'immagine digitale costituita da una matrice bidimensionale di celle (pixel, *picture element*); ogni elemento della matrice è descritto da un valore numerico corrispondente alla radiazione registrata dal sensore (*Digital Number*).

Al giorno d'oggi la maggior parte dei sensori preposti all'acquisizione di immagini telerilevate e adibite ad uso civile e commerciale è montata su piattaforme satellitari. Il primo satellite artificiale è stato lanciato in orbita nel 1972 ed era l'ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*), poi rinominato Landsat 1. Questo satellite aveva un sensore multispettrale con risoluzione spaziale di 80 metri, mentre oggi satelliti come il QuickBird montano un sensore pancromatico con risoluzione spaziale di 0.61 metri. La risoluzione spaziale si riferisce alla misura del più piccolo oggetto riconoscibile e separabile dal suo contorno; più piccolo è questo oggetto, più alta sarà la risoluzione.

Il LiDAR è una tecnica di telerilevamento attivo utilizzato per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore, da un ricevitore e da un sistema di acquisizione dei dati. Rispetto ai sensori tradizionali il LiDAR ha una maggiore accuratezza e precisione con un'analisi che si estende alla terza dimensione (Wei Hou, 2014). Infatti ciò che viene ottenuto con un rilievo LiDAR è un insieme di punti, a ciascuno dei quali sono associate le coordinate (x,y) e la quota (z), che viene calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore di intensità di segnale riflessa; la nuvola di punti quindi contiene al suo interno informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti. Siccome il laser acquisisce molteplici impulsi, viene effettuata una classificazione

del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenere al suolo da quelli classificabili come superfici arboree, elementi antropici, edifici ecc. (da www.ambiente.regione.emilia-romagna.it)

Dalla nuvola di punti totali si ottiene un DSM (*Digital Surface Model*), mentre con elaborazioni successive il DTM (*Digital Terrain Model*). La particolarità del LiDAR usato in questo studio è che il DSM dà due segnali distinti: il DSM First e il DSM Last.

Più precisamente i tre segnali ottenuti dal LiDAR, visibili nella figura 3.15, sono:

- DSM First: rilievo dei punti totali che comprendono suolo, superfici arboree, elementi antropici;
- DSM Last: prima elaborazione che mantiene tutti gli elementi antropici eliminando le superfici arboree;
- DTM: ulteriore filtraggio in cui risultano tutti i punti appartenenti al suolo.

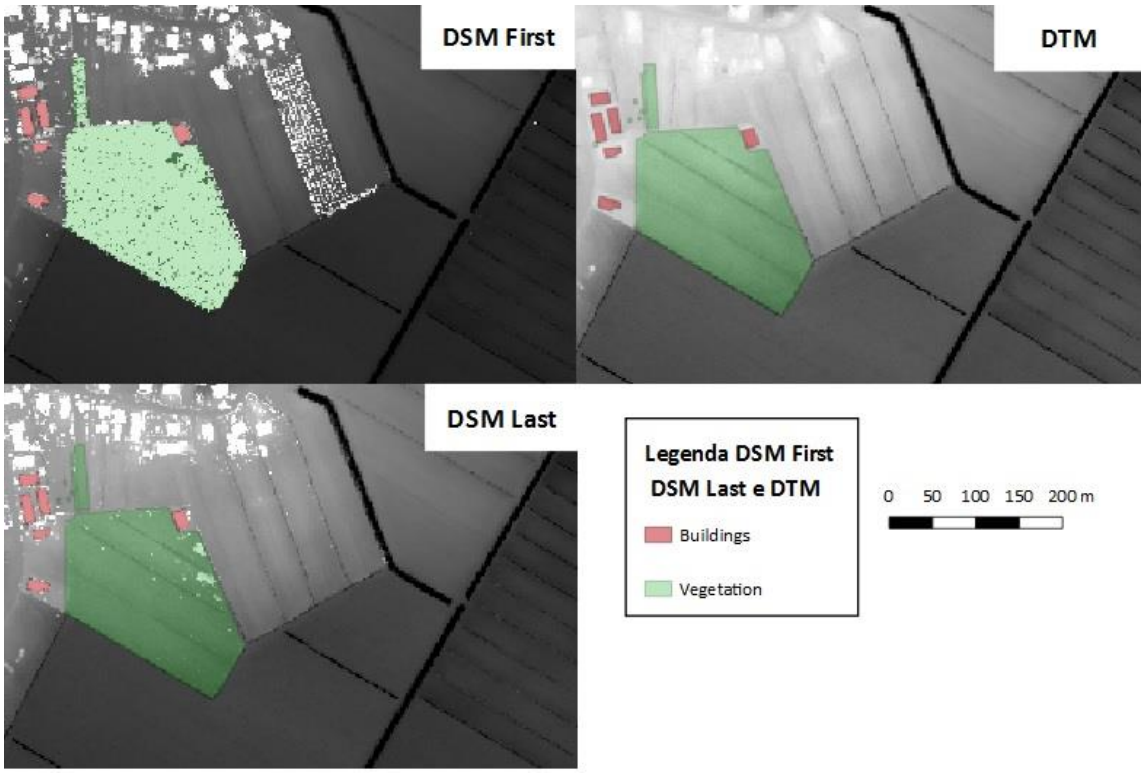


Figura 3.15: Differenze tra i segnali del LiDAR.

Il Landsat è una costellazione di satelliti per il telerilevamento che osservano costantemente la Terra da più di quarant'anni. Infatti rappresenta la collezione di dati *remote sensing* a moderata risoluzione più longeva al mondo, che provvede al monitoraggio e alla risoluzione di problematiche di tipo ambientale, agricolo, forestale, idrogeologico, climatico.

Landsat è un progetto curato dalla NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), che rende disponibili gratuitamente le immagini multispettrali che vengono raccolte continuamente; queste immagini vengono a crearsi grazie al gioco di riflessione/emissione di radiazione misurate in diversi intervalli di lunghezza d'onda, sia in luce visibile che nell'infrarosso, dove ogni intervallo è chiamato banda.

Per questa tesi sono stati presi in considerazione i Landsat 7 e 8 e il Sentinel 2.

- Il Landsat 7 è stato lanciato nel 1999 e oggi orbita attorno al pianeta seguendo una traiettoria polare e eliosincrona che gli permette di scandire l'intero globo terrestre in 16 giorni. È dotato del sensore ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), con cui viene introdotta la banda 8 pancromatica, con spettro di rilevazione più ampio (dal verde al vicino infrarosso) che consente una migliore risoluzione spaziale.

- Nel 2013 invece è stato lanciato il Landsat 8, dotato di sensore OLI (*Operational Land Imager*), in grado di acquisire una ulteriore banda prima del blu (utile agli studi di ambienti costieri e lacustri) ed una banda 9 per lo studio della nuvolosità e sensore TIR (*Thermal Infrared Sensor*) con due bande nell'infrarosso termico (da https://landsat.usgs.gov/). Le bande, i loro intervalli spettrali e risoluzione spaziale sono ricapitolati nella Tabella 3.4.

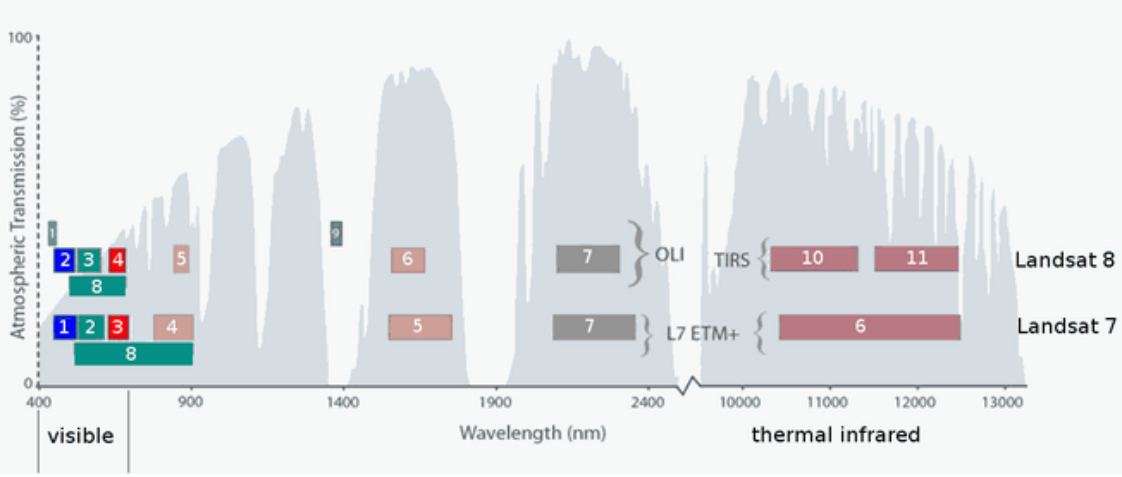


Figura 3.16: Le bande di rilevazione dei due satelliti Landsat 7 e Landsat 8 (da www.alspergis.altervista.org).

Tabella 3.4: Caratteristiche del Landsat 7 e 8.

SATELLITE	BANDE SPETTRALI	INTERVALLO SPETTRALE	RISOLUZIONE SPAZIALE (m)
Landsat 7 (1999)	1 (blu)	0,45-0,52	30
	2 (verde)	0,52-0,60	
	3 (rosso)	0,63-0,69	
	4 (infrarosso vicino)	0,76-0,90	
	5 (infrarosso vicino)	1,55-1,75	
	7 (infrarosso vicino)	2,08-2,35	
	6 (infrarosso termico)	10,4-12,5	60
	8 (pancromatico)	0,50-0,90	15
Landsat 8 (2013)	1	0,43-0,45	30
	2 (blu)	0,45-0,51	
	3 (verde)	0,53-0,59	
	4 (rosso)	0,64-0,77	
	5 (infrarosso vicino)	0,85-0,88	
	6	1,57-1,65	
	7	2,11-2,29	
	9	1,36-1,38	
	8 (pancromatico)	0,50-0,68	15
	10 (termico)	10,60.11,19	100
	11 (termico)	11,50-12,51	

Il Sentinel-2 è invece sviluppato dall'ESA (*European Space Agency*) e costruito in Europa dalla "*Airbus Defence and Space*" e permetterà di ottenere immagini ottiche ad alta risoluzione

nell'ambito del sistema di monitoraggio ambientale Copernicus dell'Unione Europea. Questo programma fornirà informazioni sulla superficie terrestre, sugli oceani e sull'atmosfera per supportare le politiche europee ambientali e di sicurezza.

Il Sentinel ha 13 bande (vedi Tabella 3.5) di cui il visibile (bande 2, 3, 4) e il NIR (banda 8) con risoluzione di 10 metri.

È stato lanciato nel giugno del 2015, quindi anche in questo caso le immagini saranno molto recenti.

Tabella 3.5: Caratteristiche del Sentinel 2.

SATELLITE	BANDE SPETTRALI	λ CENTRALE (μm)	RISOLUZIONE SPAZIALE (m)
Sentinel 2 (2015)	2 (blu)	0,49	10
	3 (verde)	0,56	
	4 (rosso)	0,665	
	8 (infrarosso vicino)	0,842	
	5 (*vegetation red edge*)	0,705	20
	6 (*vegetation red edge*)	0,74	
	7 (*vegetation red edge*)	0,783	
	8A (*vegetation red edge*)	0,865	
	11 (SWIR)	1,61	
	12 (SWIR)	2,19	
	1 (*coastal aerosol*)	0,443	60
	9 (*water vapour*)	0,945	
	10 (SWIR-Cirrus)	1,375	

Il Landsat 7 non è stato preso in considerazione a causa delle striature presenti, che si sono formate in seguito ad un malfunzionamento avvenuto nel 2003, che ha portato alla perdita del 25% di informazioni per ciascuna immagine (Figura 3.17). Di conseguenza, le immagini contenenti NDVI, ottenute dal Sentinel 2 e dal Landsat 8, sono datate tra 2015 e 2016 e sono più recenti rispetto ai dati del LiDAR.

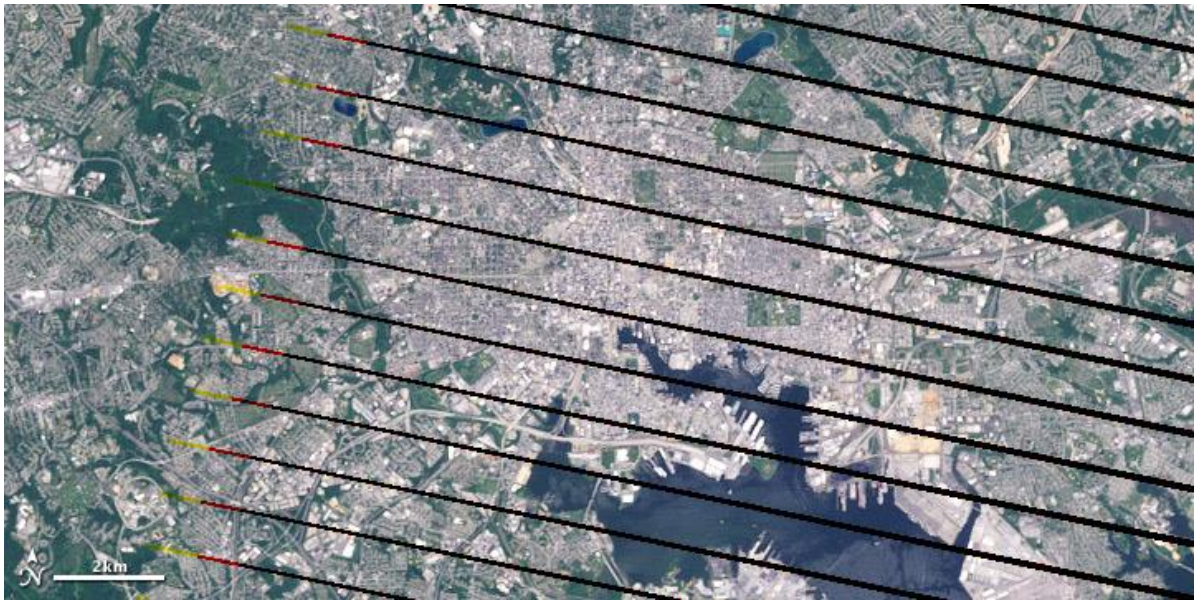


Figura 3.17: striature sulle immagini satellitari del Landsat 7 (da www.earthobservatory.nasa.gov)

3.7 GIS (Geographic Information System)

Il *Geographic Information System* (GIS) è un insieme di strumenti concepito per raccogliere, immagazzinare, estrarre a piacere, trasformare e rappresentare dati spaziali provenienti dal mondo reale, per un particolare insieme di scopi (Burrough, 1986). Un GIS ha la sua funzione principale nell'analisi di dati spaziali per diventare uno strumento di supporto nelle decisioni che riguardano vari campi di applicazione, come l'agricoltura, le scienze ambientali e forestali, la pianificazione, il marketing, i trasporti, gli studi sociali e demografici. Si tratta di una tecnologia che integra in un unico ambiente di lavoro le più comuni operazioni legate all'uso di database (immissione e verifica, mantenimento e aggiornamento, utilizzazione, analisi e rappresentazione di dati) con la possibilità di essere georeferenziate in un dato sistema di riferimento (SR). Consente così di integrare informazioni derivanti da varie fonti, di visualizzare scenari operativi, risolvere problemi complessi e sviluppare soluzioni attraverso la creazione di carte geografiche o mediante l'uso di diagrammi. Le fonti principali, che forniscono i dati, sono costituite dagli enti cartografici nazionali, da agenzie spaziali, ministeri, uffici statistici e, negli ultimi anni, sempre più compagnie private che svolgono attività di telerilevamento.

Un GIS è composto da cinque elementi essenziali: hardware, software, informazioni (dati), utenti e metodo. L'hardware è composto da un insieme o da un singolo computer con il quale opera il GIS. Il software dispone delle funzioni e degli strumenti necessari a raccogliere, analizzare e visualizzare le informazioni geografiche; gli elementi fondamentali di un software sono gli strumenti per l'input e la gestione degli elementi informativi geografici, un database relazionale, strumenti capaci di svolgere e supportare interrogazioni, analisi e visualizzazioni, un'interfaccia grafica per consentire un facile utilizzo degli strumenti e interpretazione dei dati. I dati costituiscono la base informativa di un lavoro in GIS e forniscono messaggi significativi per il raggiungimento di determinati fini. Gli utenti sono le persone fisiche che adoperano questa strumentazione, dai tecnici che mantengono e aggiornano il sistema, agli utenti generici che ci lavorano quotidianamente. Per metodi si intende tutte quelle funzionalità che un GIS possiede e che l'utente sfrutta per portare a termine il proprio lavoro. Come detto sopra, alla base di tutto c'è l'informazione geografica, cioè l'informazione, costituita da osservazioni e dati, riferita a luoghi e oggetti situati sulla Terra, che è descritta dalla posizione in coordinate x, y, da un attributo (la caratteristica descritta) e dalla topologia (conoscenza delle condizioni di contorno). Questi dati spaziali possono essere rappresentati principalmente attraverso due modelli: vettoriale e raster. Il modello vettoriale è ampiamente utilizzato per descrivere oggetti discreti e per produrre carte della vegetazione e utilizza classi geometriche (punti, linee e poligoni, chiamate *features*), adattabili a tutte le combinazioni che esistono nel mondo reale, codificate e memorizzate sulla base delle loro coordinate. Il punto è utilizzato per definire la posizione di elementi puntiformi (alberi, punti di rilievo) ed è definito da una coppia (eventualmente una terna) di coordinate (x, y, più z che è la quota). La linea è una collezione di segmenti (archi) con una propria direzione e lunghezza e costituiti da una lista ordinata di vertici definiti da coordinate. Il poligono è un'area chiusa, delimitata da linee (archi) e vertici, e viene utilizzato per rappresentare caratteri del paesaggio che, alla scala utilizzata, hanno un'estensione. Tutte le caratteristiche relative agli elementi geografici dello strato informativo sono raccolte in tabelle generalmente gestite da una banca dati (database). In pratica ad ogni elemento è associato una record (riga) che ne contiene la descrizione, mentre i campi (colonne) della tabella memorizzano uno specifico tipo di informazione.

Il modello raster permette di rappresentare il paesaggio attraverso una matrice di pixel di uguale dimensione. Ad ogni pixel vengono assegnate delle coordinate e uno o più attributi. Gli attributi possono rappresentare sia singoli fenomeni, sia il risultato della combinazione di più fenomeni (tipo di vegetazione, uso del suolo, quota). Nel trattamento dei dati raster una caratteristica fondamentale è la risoluzione. Essa dipende dalla fonte dei dati, (Ferrari, 2013). Nei moderni GIS, i dati vettoriali e i dati raster coesistono e si integrano a vicenda e sono in grado di convertire, in modo abbastanza automatico, dati raster in vettoriali e viceversa.
L'attendibilità dei dati disponibili è di così fondamentale importanza, che vi è la necessità di corredare i database geografici del loro metadato, che non è altro che un set di informazioni sul database, fra cui quelle relative alla qualità dei dati. Il metadato serve a chi acquisisce i dati, a chi li collauda e certifica e a chi li utilizza.

Vari software *open source* sono stati utilizzati, a partire da Quantum GIS 2.18 'Las Palmas'. All'interno del software sono stati caricati i file LiDAR richiesti al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Le immagini LiDAR sono datate tra i mesi di novembre e dicembre 2008. Esse vengono integrate in un progetto GIS con le informazioni disponibili all'interno del Geoportale del Veneto (Infrastruttura dei dati territoriali del Veneto) sotto forma di *shapefiles*. In particolare sono stati utilizzati i seguenti strati informativi (negli allegati sono recuperabili i metadati corrispondenti):

- Carta dei limiti amministrativi della Provincia di Venezia;
- Carta degli elementi idrici;
- Carta dell'uso del suolo della Provincia di Venezia (CORINE *Land Cover*) datata nel 2007.

All'interno di QGIS c'è la possibilità di utilizzare svariati *plugin*, tra i quali Grass, SAGA, MMQGIS, Zonal Statistics.
Per il caricamento, la manipolazione e l'estrazione delle immagini Landsat e Sentinel è stato utilizzato Google Earth Engine.

Come strumento GPS (*Global Positioning System*) è stata utilizzata l'applicazione per *smartphone* Android 'Geo Tracker', che ha permesso di fissare dei '*Waypoints*' nei luoghi in cui sono state scattate delle foto all'interno dell'area di studio.

4. Risultati e discussione

4.1 Presentazione risultati

La classificazione effettuata presenta come risultati gli *small biotopes* dell'area di studio, divisi nelle seguenti categorie:

- Boschi (*copses* e *small woods*)
- Gruppi di alberi (*scattered trees*)
- Alberi isolati (*single tree*)
- Filari (*linear elements*)

Il metodo seguito ha permesso di identificare la vegetazione presente sul territorio rurale e si è basato principalmente sulle caratteristiche geometriche dei poligoni ottenuti dalla segmentazione del CHM:

- Area
- Perimetro
- Lunghezza
- Larghezza
- Indice di linearità

I seguenti due parametri sono serviti per discriminare gli oggetti della vegetazione con una classificazione più selettiva:

- Altezza
- NDVI

L'utilizzo del buffer ha permesso di analizzare eventuali relazioni spaziali tra gli oggetti, che non potevano essere riconosciute con la classificazione. In particolare è frequente il caso di poligoni che, studiati singolarmente, possono risultare alberi isolati, mentre nella realtà si trovano inseriti in contesti più grandi come filari, gruppi di alberi o boschi.

Le varie classi di uso del suolo della regione Veneto hanno consentito di suddividere la vegetazione presente all'interno di queste *patches*. Questa suddivisione ha avuto una corrispondenza positiva in quanto sia le immagini LiDAR che la classificazione Corine sono contemporanee (anni 2006-2008).

Al contrario, l'indice NDVI è stato ottenuto da immagini molto più recenti (2015-2016). Questa divergenza di data può portare a differenze sostanziali tra il risultato ottenuto dalla classificazione delle immagini LiDAR e la realtà delle immagini ottenute con il Landsat e il Sentinel. Nonostante ciò, nello sviluppo del metodo, i valori di NDVI sono stati presi in considerazione con un ruolo discriminante determinando l'eliminazione dei poligoni sotto i livelli di soglia fissati.

Tra gli aspetti positivi c'è il fatto che sono stati raggiunti gli obiettivi della tesi, ossia l'identificazione degli *small biotopes*. Le criticità verranno descritte successivamente in questo capitolo.

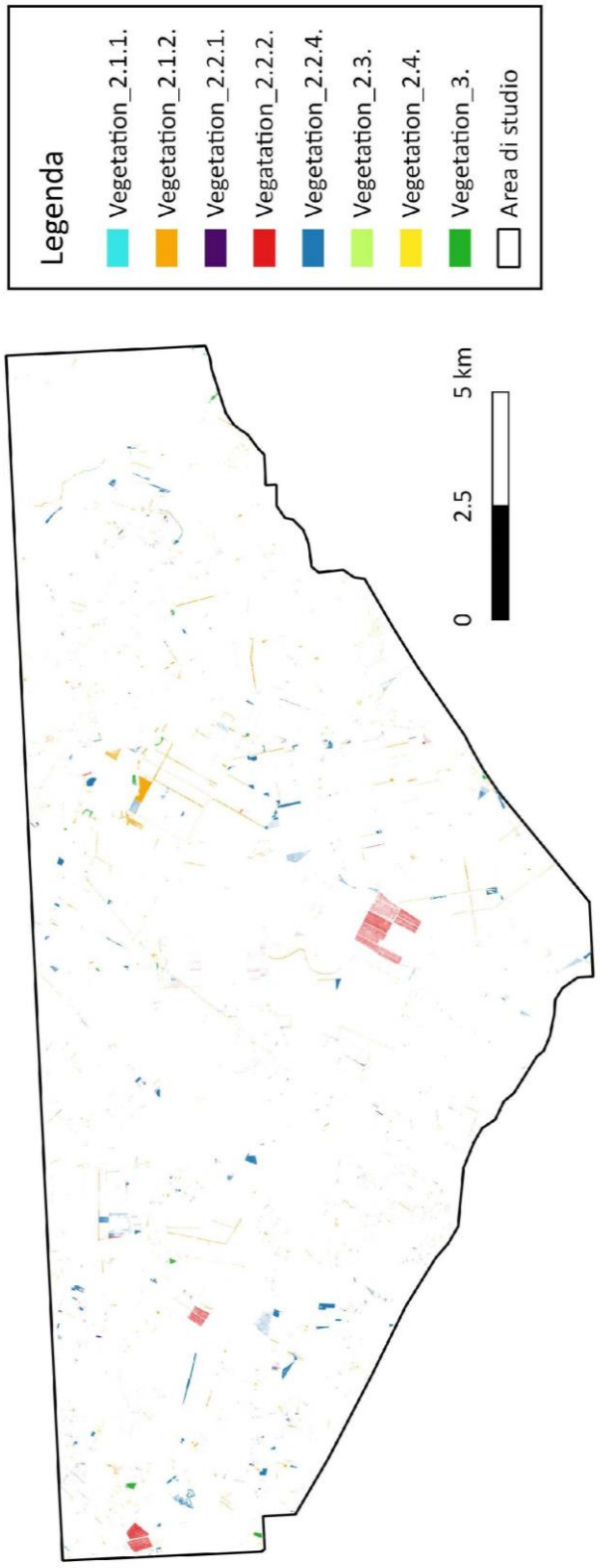
Terminata la classificazione, come risultato, si ottiene per ciascun layer di uso del suolo tutta la vegetazione presente sotto forma di poligoni, suddivisi nelle quattro classi di *small biotopes*.

È stata calcolata l'area totale della copertura vegetazionale ed è stata confrontata con l'area totale della SAU (Superficie Agricola Utilizzata), 86% del territorio totale. Si ricorda che, secondo la classificazione Corine, le aree appartenenti a territori boscati comprendono lo 0,07% dell'area dello studio.

Tabella 4.1: Confronto tra l'area in m^2 della copertura vegetazionale e l'area totale della SAU.

SAU	Area tot CLC (m^2)	Area tot Vegetazione (m^2)	% Area Vegetazione
2.1.1.	664319,288	3810,321	0,57356772
2.1.2.	172300787,8	965950,7	0,56061885
2.2.1.	6220819,66	98861,68	1,58920665
2.2.2.	3739555,166	606831,9	16,2273819
2.2.4.	2651402,806	872168,5	32,8946058
2.3.	5108020,28	167423,1	3,27765143
2.4.	506298,382	27870,01	5,50466108
3.	169525,704	104619,895	61,7132933
TOT	191360729,1	2847536,111	**1,48804623**

Figura 4.1: Vegetazione identificata presente nell'area di studio e divisa per usi del suolo, ottenuta con QGIS.



Dalla tabella 4.1 si nota che le coperture del suolo contenenti più vegetazione sono i frutteti (2.2.2.) e le altre colture permanenti (2.2.4.). Invece i vigneti (2.2.1.) hanno una copertura di appena 1,6% e verranno approfonditi successivamente all'interno delle criticità. L'area più estesa, quella dei seminativi in zone irrigue, ha anch'essa una bassa copertura (0,56%). Quindi la percentuale finale della vegetazione risulta essere molto piccola rispetto all'area di studio ed è più bassa di quella che ci si aspettava. Una delle aree vegetate più estese è quella del frutteto presente al centro del territorio studiato (Figura 4.2); essendo costituita da poligoni di piccolissime dimensioni, l'area risultante non è così grande come potrebbe sembrare. Bisogna però rammentare che l'area dei poligoni della vegetazione rappresenta un'informazione puntuale, che può essere interpolata per evidenziare le connessioni presenti tra di essa. Il risultato verrà osservato nella carta della densità in Figura 4.8.

Aumentando, ad esempio, la scala verso il frutteto, localizzato al centro dell'area di studio, è possibile osservare che è costituito da un numero molto denso di poligoni di dimensioni ridotte. Nonostante questo frutteto appaia come la zona vegetata più grande dell'area di studio, la sua area è costituita da piccoli poligoni e così è più piccola di quanto sembra; in questo modo si giustifica l'1,48% della tabella soprastante.

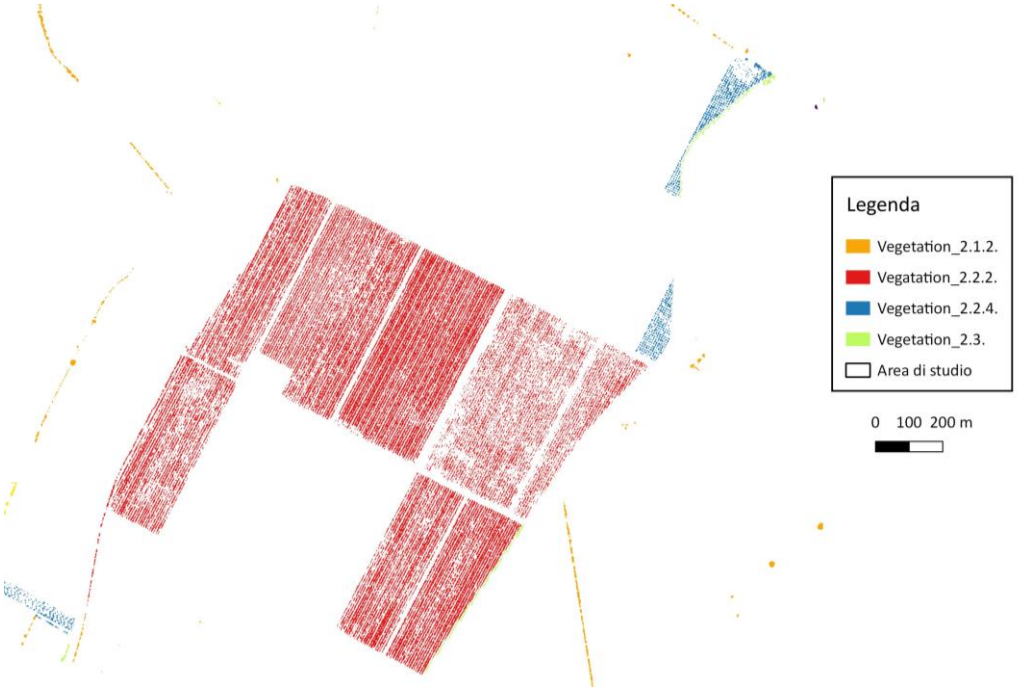


Figura 4.2: zoom sul frutteto, costituito da numerosi filari; l'area effettiva dei poligoni rappresenta un'informazione puntuale e non è così grande come ci si potrebbe aspettare.

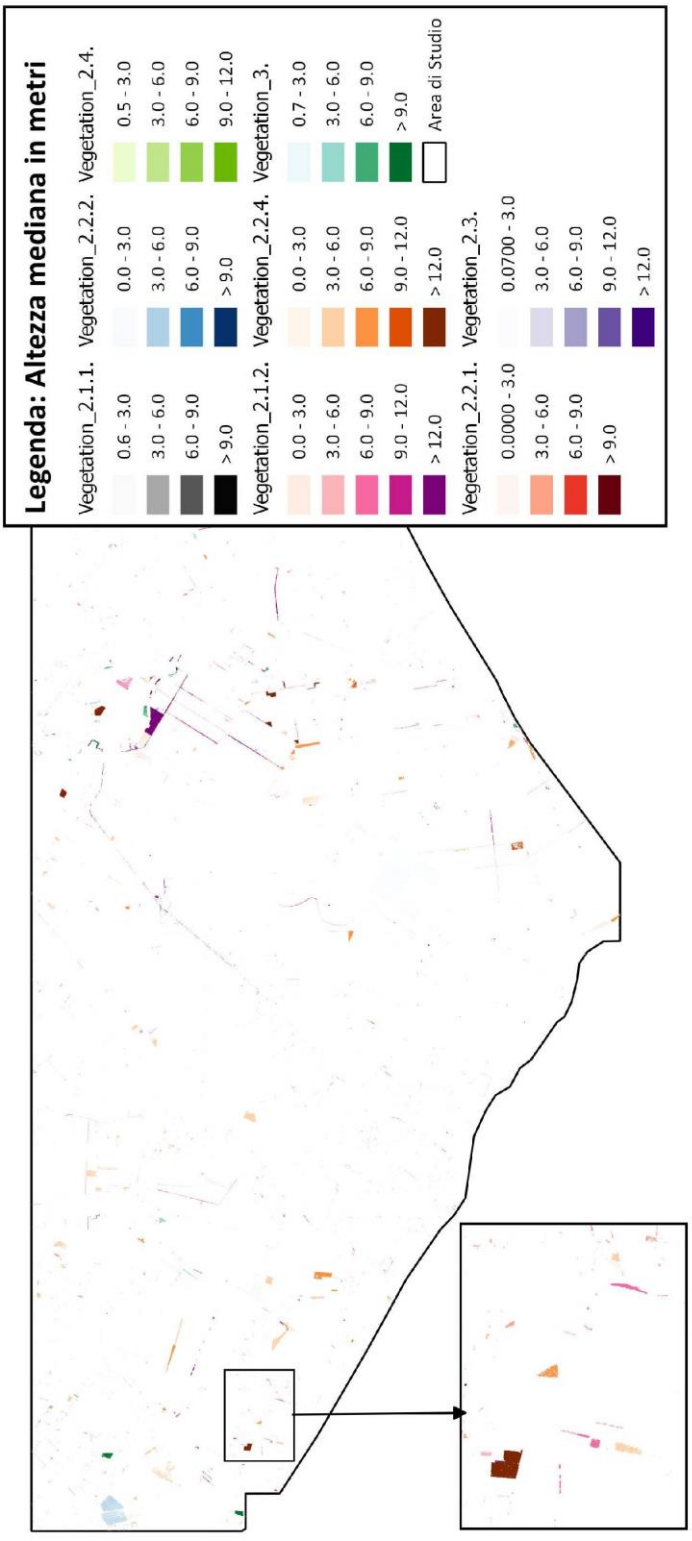
Altezza mediana

Come detto sopra, altezza e NDVI sono altri due parametri necessari alla selezione e individuazione degli *small biotopes*, che sono stati utilizzati durante la fase della classificazione. In particolare, nella fase precedente è stato preso in considerazione il valore massimo dell'altezza di ciascun poligono. Nella presentazione dei risultati ci si sofferma sul valore della mediana dell'altezza, utilizzando una simbologia graduata a intervalli regolari per esplicitare la vegetazione con un'altezza mediana inferiore ai 3 metri, che va scartata.
Utilizzando il parametro dell'altezza, la vegetazione al di sotto della soglia dei 3 metri viene eliminata. In particolare viene eliminata la vegetazione appartenente a frutteti. Nella tabella 4.2 viene indicata l'area rimanente: si noti che la copertura a frutteto diminuisce dal 16% al 4%. Con questo parametro l'area totale della vegetazione a frutteto è diminuita di quasi il 75% (passando da 606832 m^2 a 162940 m^2)

Tabella 4.2: Valori delle aree totali di ciascuna tipologia di uso del suolo, della vegetazione classificata al termine della fase analitica, della vegetazione selezionata con altezza superiore a 3 metri, della vegetazione selezionata con valore di NDVI superiore a 0.3, che non è altro che l'area degli *small biotopes;* tutte le aree vengono confrontate in percentuale con l'area totale dell'uso del suolo (CLC).

CLC	Area m^2 tot CLC	Area m^2 tot vegetazione	% Area vegetazione (sul tot CLC)	Area m^2 (H > 3.0 m)	% Area vegetazione (sul tot CLC)	Area m^2 (NDVI > 0.3)	% Vegetazione rimasta
2.1.1.	664319,288	3810,321	0,573567721	1966,687	0,29604544	1966,687	0,29604544
2.1.2.	172300787,8	965950,7	0,560618853	789359,695	0,45812889	770785,997	0,44734908
2.2.1.	6220819,66	98861,68	1,589206654	61386,732	0,98679491	58873,092	0,94638802
2.2.2.	3739555,166	606831,9	16,22738195	162939,823	4,35719800	162775,288	4,35279814
2.2.4.	2651402,806	872168,5	32,89460575	755742,132	28,5034823	718848,388	27,1120022
2.3.	5108020,28	167423,1	3,277651435	102270,154	2,00214855	98022,177	1,91898566
2.4.	506298,382	27870,01	5,504661083	19866,866	3,92394420	19352,504	3,82235154
3.	169525,704	104619,9	61,71329629	101253,443	59,7274871	101249,429	59,7251193
TOT	191360729,1	2847536,11	1,488046227	1994785,532	1,04242157	1931873,56	1,00954546

Figura 4.3: Simbologia graduata dei valori di altezza mediana per il layer della vegetazione complessiva. La vegetazione a frutteto “scompare” al di sotto della soglia dei 3 metri.



NDVI

Lo stesso procedimento per l'altezza viene eseguito per l'NDVI. Anche in questo caso viene calcolata la mediana dei poligoni di vegetazione. Nella figura 4.4 viene raffigurata la vegetazione in stile graduato divisa nei seguenti intervalli:

- NDVI < 0.3
- NDVI compreso tra 0.3 e 0.5
- NDVI > 0.5

La tabella 4.2 mostra come questo parametro sia meno selettivo dell'altezza. L'area risultante finale corrisponde all'area degli *small biotopes*.

Nella tabella 4.3 viene riassunta la copertura vegetativa dei vari *small biotopes*; dalla disamina delle ultime due tabelle si può notare che:

- L'uso del suolo a seminativi (2.1.2.) ha una copertura vegetativa di appena lo 0,45% del territorio. La tipologia più frequente è quella dei filari (48,6%).
- Nonostante la copertura del suolo a colture permanenti (2.2.4.) sia molto inferiore rispetto alla copertura a seminativi, questa include circa la stessa area di copertura vegetativa. Come attendibile, in gran parte si tratta di vegetazione destinata a bosco.
- Con l'utilizzo dei parametri di altezza e NDVI la copertura vegetativa a frutteti (2.2.2.) viene eliminata quasi completamente; di tutta la vegetazione circa il 5% può essere definito uno *small biotope.*
- Come auspicabile, i territori boscati sono stati classificati come bosco per il 99%. Il dato più importante però è quello di partenza: solo lo 0,07% dell'area di studio è destinata a questa copertura di suolo e, di quest'area, il 59% è ricoperta da vegetazione.

Figura 4.4: Valori mediani di NDVI rappresentati con simbologia graduata nell'intera area di studio.

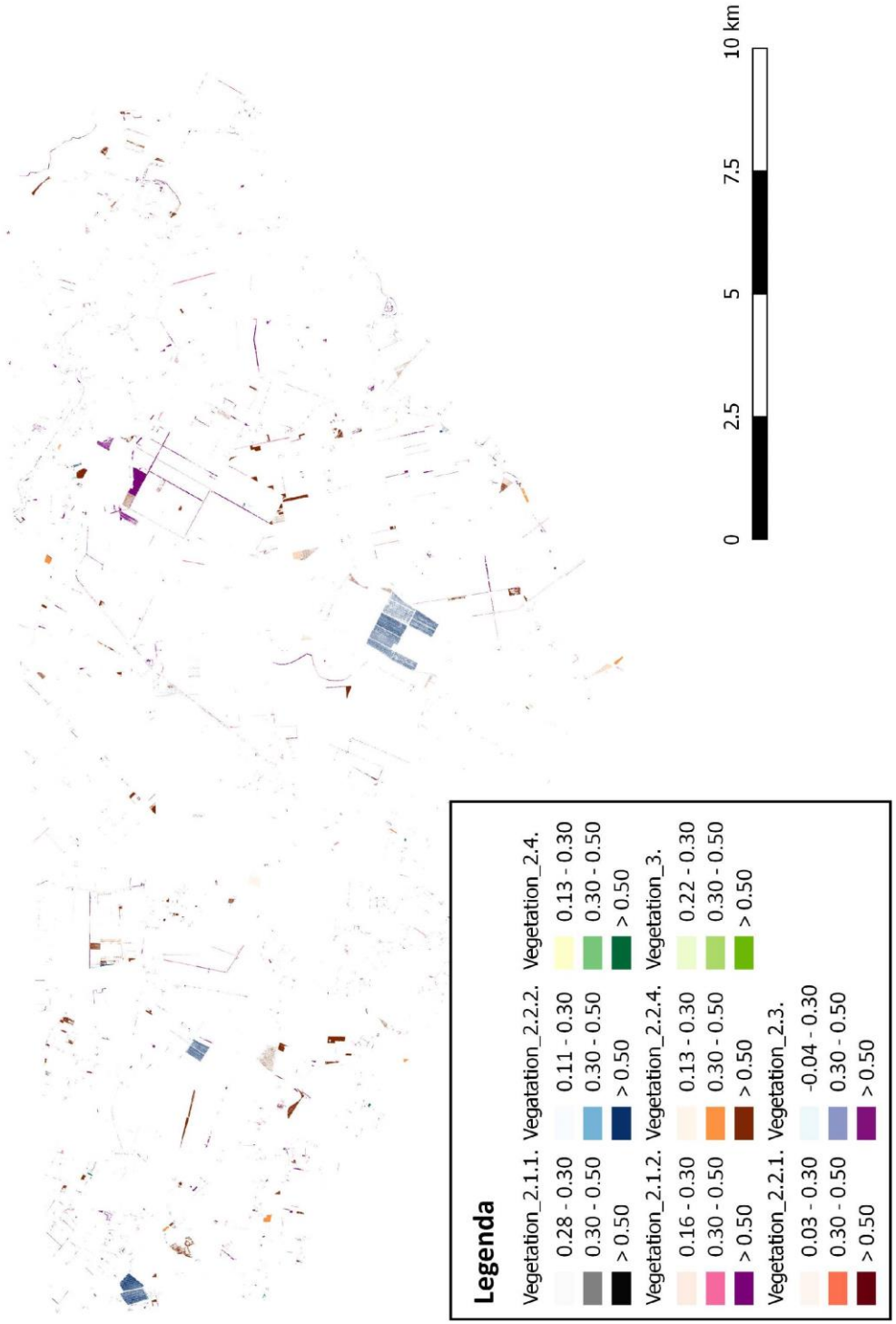


Tabella 4.3: Statistiche finali dell'area occupata dagli *small biotopes*.

CLC	Area (m^2) tot vegetazione	Area (m^2) tot C	% area C	Area (m^2) tot vegetazione L	% area L	Area (m^2) tot vegetazione ST	% area ST	Area (m^2) tot vegetazione T	% area T
2.1.1.	1966,687	0	0	1145,165	58,2281268	820,779	41,7340939	0	0
2.1.2.	770785,997	252404,472	32,7463749	374685,423	48,6108238	119357,471	15,4851634	3972,967	0,5154436
2.2.1.	58873,092	16378,137	27,8193933	15613,578	26,5207372	24128,302	40,9835821	1729,684	2,9379874
2.2.2.	162775,288	2393,221	1,47026065	1745,768	1,07250187	3507,591	2,15486702	524,411	0,3221687
2.2.4.	718848,388	583305,222	81,1444015	32655,763	4,54278865	4381,081	0,60945828	145,141	0,0201908
2.3.	98022,177	29048,477	29,6345969	26276,704	26,806897	39914,394	40,7197588	3103,615	3,1662376
2.4.	19352,504	9923,425	51,2772146	399,329	2,06344874	6351,623	32,8206779	247,48	1,2788009
3.	101249,429	100621,338	99,3796597	0	0	341,132	0,33692239	88,967	0,0878691
TOT	1931873,562	994074,292	51,4564882	452521,73	23,4239828	198802,373	10,2906514	9812,265	0,5079145

La rappresentazione graduata dei valori di NDVI ha permesso di identificare eventuali aree che sono state soggette a *change detection* nell'intervallo di tempo tra la data del rilievo LiDAR e la data del Sentinel 2. Di seguito vengono presentati due esempi di *change detection*, individuati in due modi diversi:

1. Il primo è stato osservato grazie ai bassi valori di NDVI rappresentati con la colorazione chiara nella simbologia graduata in Figura 4.4. Con l'ausilio della fotointerpretazione delle immagini di Google Earth (Figura 4.5), si può notare come la zona determinata da un basso valore di NDVI è stata disboscata tra il 2008 (data rilievo LiDAR) e il 2016 (data Sentinel 2)

2. Il secondo è stato osservato attraverso un rilievo eseguito in campagna, fatto nel gennaio del 2017, che fa intuire che il cambiamento di copertura del suolo è avvenuto negli ultimi mesi, dato che non è stato registrato né dall'NDVI né da Google Earth. Il *waypoint* indica la posizione da cui è stata scattata la foto ed è stato registrato con l'applicazione per Android 'Geo Tracker'.

Figura 4.5: Esempio di *change detection* individuato con l'utilizzo dei dati telerilevati.

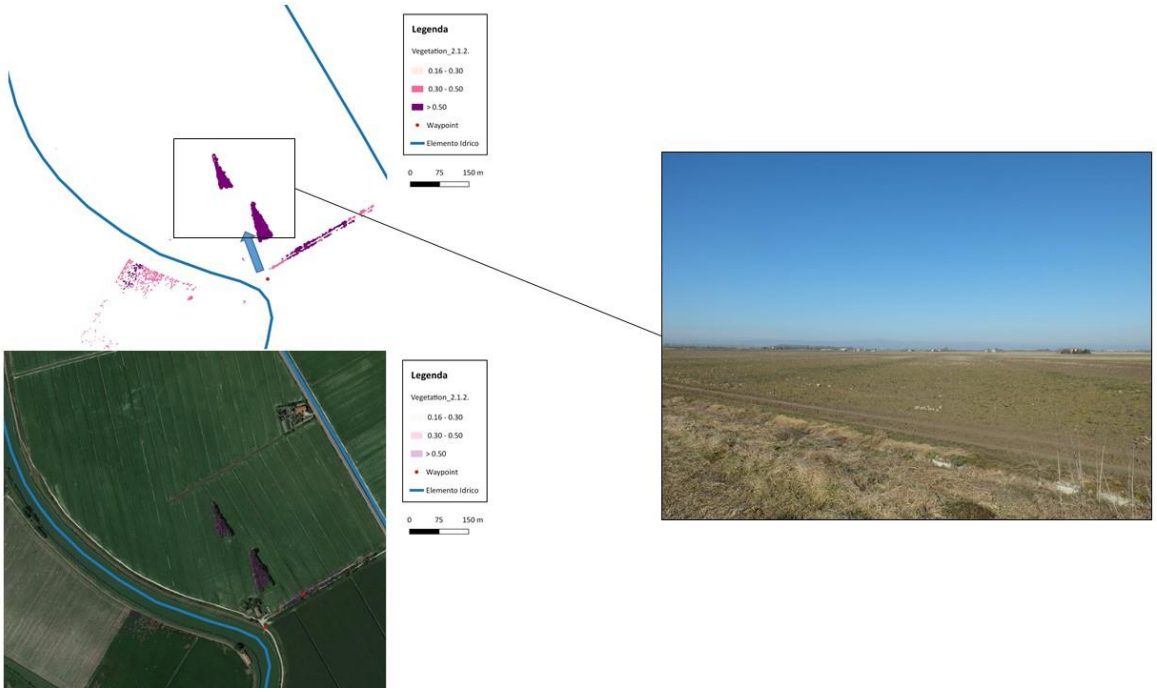
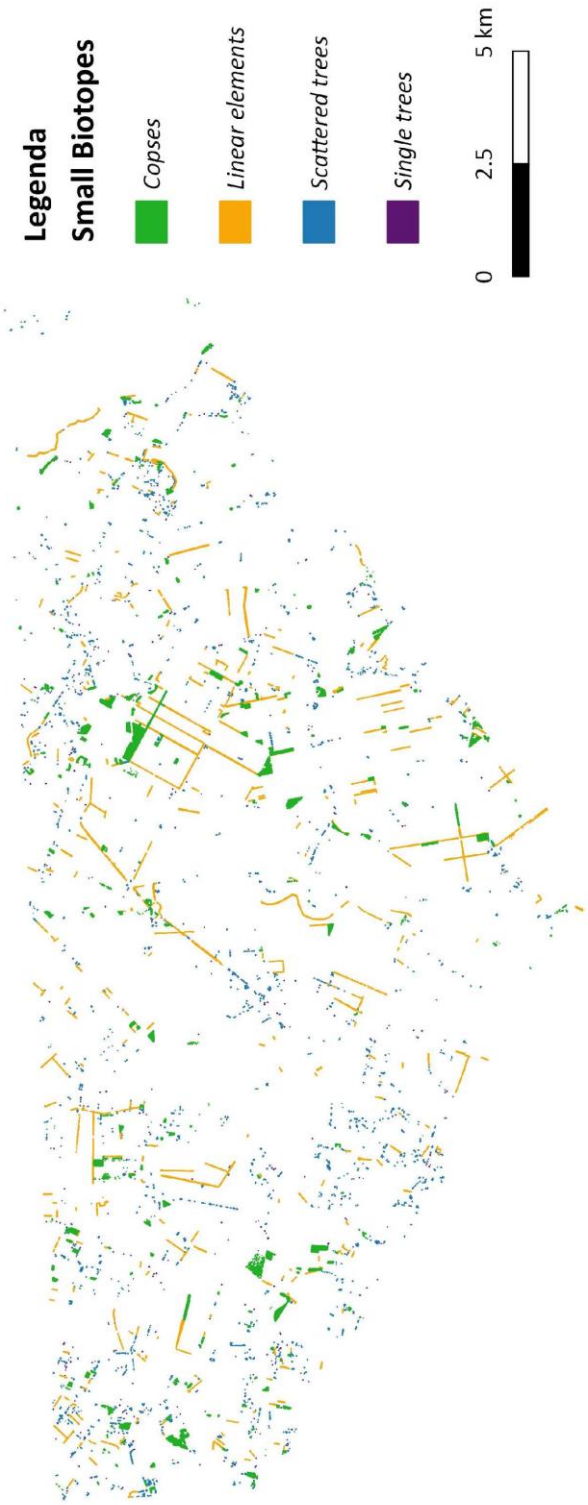


Figura 4.6: Esempio di *change detection*; è stata individuato con l'osservazione da terra effettuata in campagna (fotografia a destra), mentre gli strumenti di telerilevamento non l'hanno colto, probabilmente perché avvenuto di recente.

Figura 4.7: Carta riassuntiva degli *small biotopes* individuati e classificati nell'area di studio.



In conclusione è stata fatta un'analisi della densità di tutti i poligoni individuati per valutare quelle zone dell'area di studio con una maggiore concentrazione di elementi del paesaggio. Le zone con una densità maggiore sono rappresentate con tonalità più scure e rappresentano le aree a più alto valore naturale. Vengono presentati tre esempi di mappa di concentrazione testati con tre raggi di misure diverse. Il raggio più piccolo appare il più preciso nel riconoscere gli hot spot e i filari di connessione.

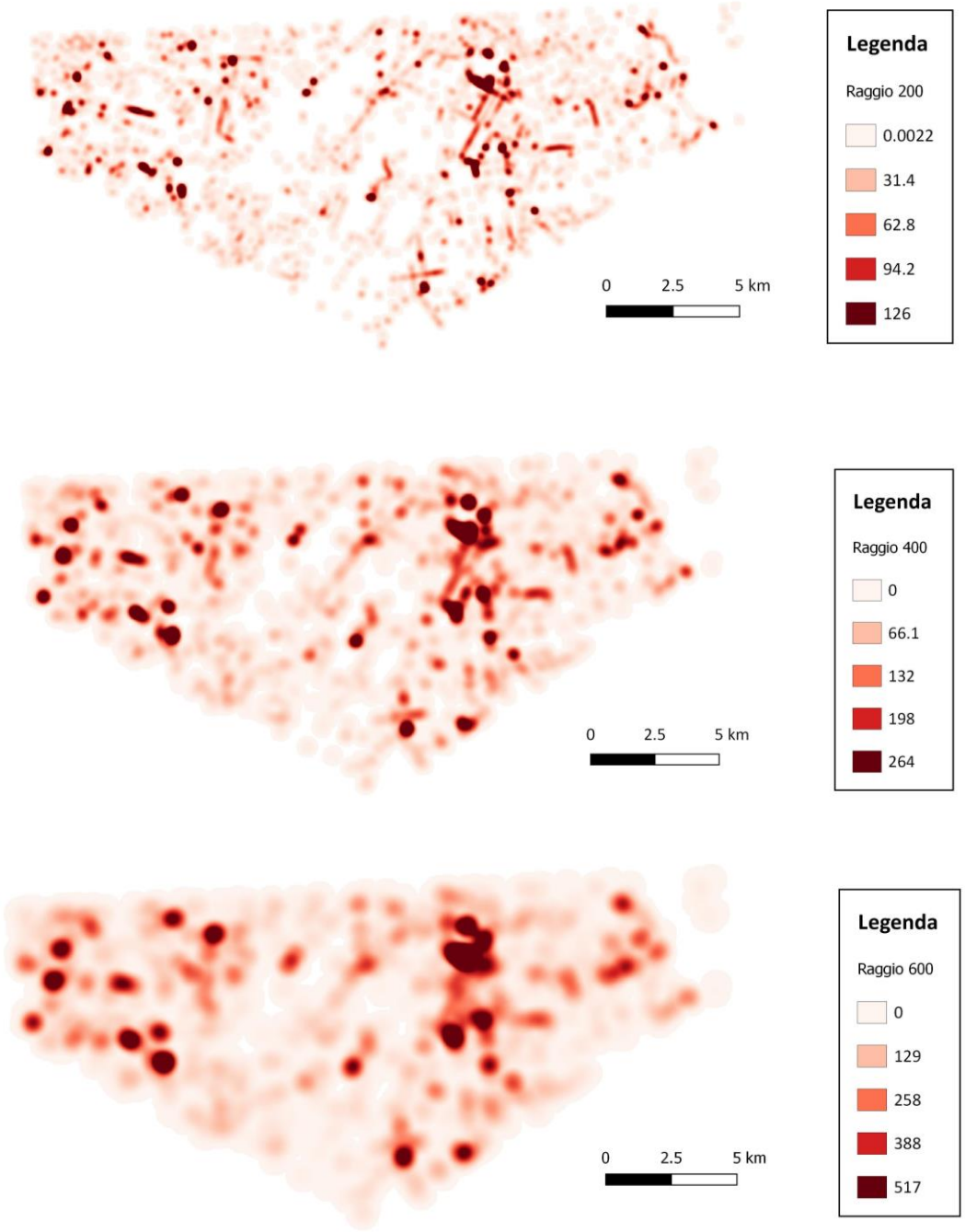


Figura 4.8: Mappe di densità costruite con raggio 200, 400, 600.

4.2 Criticità del metodo

Nonostante il metodo abbia permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati, non sono mancate alcune criticità per il loro raggiungimento.

- Data del LiDAR: le immagini utilizzate come campione di questa tesi sono datate tra la fine di novembre e l'inizio di dicembre del 2008. Questo significa che non "fotografano" la situazione attuale e aggiornata, ma soprattutto non evidenziano una vegetazione rigogliosa come quella estiva. Di conseguenza, i risultati ottenuti risentono della data di questo campionamento. Per questo motivo essi hanno un valore più importante come conferma del metodo sviluppato, piuttosto che mostrare una fotografia aggiornata dell'area; a questo scopo sarebbe necessario un campionamento recente dei mesi primaverili-estivi. Questo limite è stato però sfruttato per verificare se negli anni ci sono state delle variazioni di utilizzo del suolo, come quelle viste sopra, applicando un approccio multitemporale.
- Un altro problema individuato è quello che il LiDAR ha difficoltà a registrare le coltivazioni di vigneto. L'immagine risultante dal CHM della vegetazione a vigneto è un insieme di pixel sparpagliati poco definiti e di difficile lettura. Le cause possono essere diverse: dimensione ridotta dei filari di vigne, campionamento dei dati in inverno, cambiamento d'uso del suolo, destinato a vigneto, nel momento della campionatura dei dati. Si è cercato di trarre beneficio da questo aspetto negativo cercando di ottenere una precisa definizione della vegetazione seminaturale: infatti quest'ultima è ben individuata dal LiDAR e si distingue chiaramente dai vigneti (vedi Figura 4.9).
- Nel precedente caso il problema della distinzione tra vegetazione seminaturale e vegetazione da frutto è stato risolto da un limite della strumentazione. Invece laddove il LiDAR ha campionato con precisione tutta la vegetazione di un dato uso del suolo, come nel caso dei frutteti, la distinzione tra i due tipi di vegetazione si è presentata come un problema difficile da risolvere con lo sviluppo del metodo affrontato. Questo è il motivo che ha spinto a stabilire un valore soglia di altezza molto selettivo a 3 metri. Al di sopra di questa soglia si possono trovare altre colture permanenti, ad esempio quella dei pioppeti, molto diffusa nella pianura padana.

Coltivazioni permanenti di questo tipo possono essere prese in considerazione nei risultati finali in quanto costituiscono veri e propri biotopi, che garantiscono produzione di biomassa, ma che favoriscono anche la difesa del suolo e dell'acqua, permettono l'assorbimento di anidride carbonica e valorizzano il paesaggio agrario.

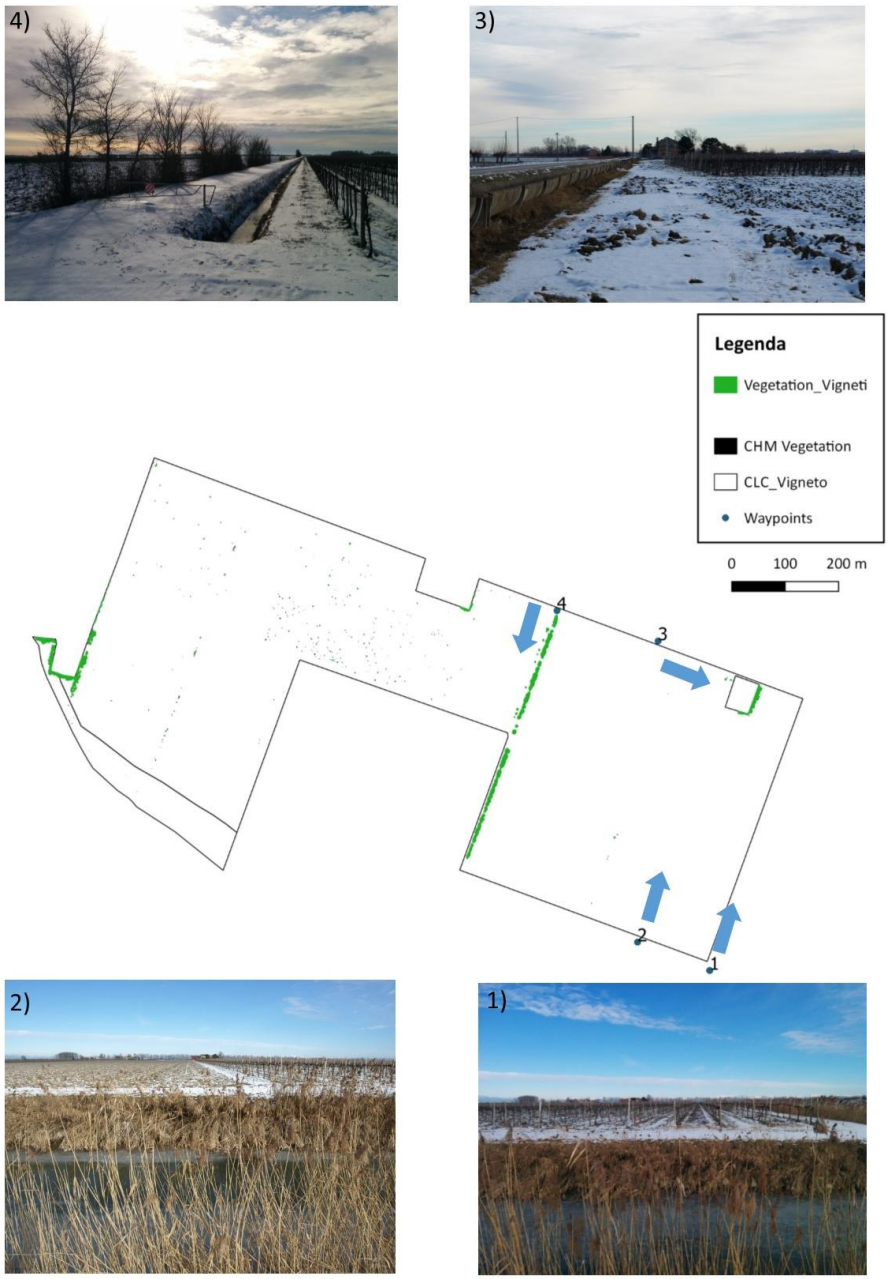


Figura 4.9: Carta ottenuta con QGIS di un dettaglio della copertura del suolo a vigneto. All'interno della patch viene evidenziato il CHM della vegetazione, che è difficilmente decifrabile. Le quattro foto sono state scattate dai quattro *waypoints* indicati in legenda e mostrano l'area dello studio, per lo più ricoperta dal vigneto. Il filare visibile al centro del campo è ben evidenziato dal layer vettoriale.

- Un altro problema dovuto al metodo affrontato è quello della vegetazione '*border line'*, cioè a confine tra due coperture del suolo diverse. In alcuni casi la vegetazione segmentata è stata separata da una linea netta del layer vettoriale del Corine Land Cover.
- In QGIS 2.18 alcuni comandi hanno avuto difficoltà a procedere e ad essere portati a termine, a causa della pesantezza di gran parte dei file. Nonostante sia stato utilizzato un hardware con 8 GB di RAM, il software GIS ha portato a termine in tempi lunghi e, in alcuni casi, senza successo alcuni dei geoproccessing necessari a sviluppare la fase analitica. Per questo motivo si sono dovuti sperimentare dei passaggi alternativi. La suddivisione del layer 'Vegetation', ottenuto dal CHM, nelle varie tipologie di uso del suolo è una conseguenza di queste difficoltà incontrate con il software.
- La fase analitica, come già ampiamente esposto, ha necessitato di compiere alcune semplificazioni con la conseguente perdita delle informazioni iniziali; per questo motivo i risultati potrebbero averne risentito ed essere stati presentati in difetto.
- In alcuni casi è stato difficile trovare dei riferimenti bibliografici accurati e specifici per lo svolgimento del metodo, come ad esempio la grandezza delle chiome degli alberi, la distinzione tra vegetazione naturale e vegetazione da albero da frutto, l'indicazione di indici di forma adatti allo studio…
- L'ultima problematica pone l'attenzione sul CHM e sul layer 'Vegetation' dei seminativi in aree non irrigue: è stato verificato che, insieme alla vegetazione campionata ed estratta con il geoprocessing, sono rimasti visibili i pixel, e in seguito i poligoni, delle linee dell'alta tensione. Un osservatore poco attento potrebbe scambiarli per filari, come si può vedere dalla Figura 4.10. Andando a fare un sopralluogo in campagna si ha avuto la conferma che, quelli che sembravano dei lunghi filari, non erano altro che linee dell'alta tensione. I poligoni in questione sono stati eliminati a mano.

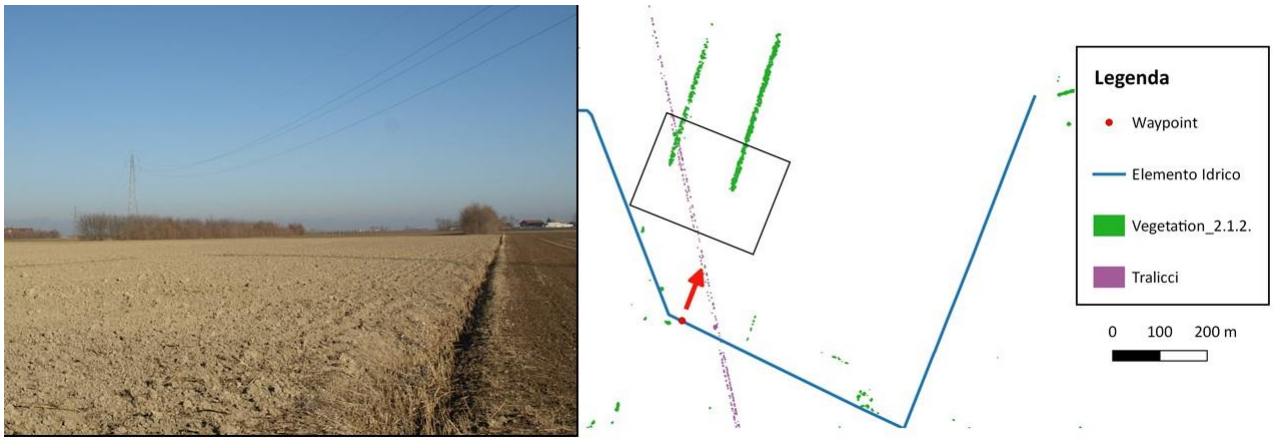


Figura 4.10: Dettaglio dell'area che presenta una linea dell'alta tensione. È stata evidenziata in viola e appartiene allo stesso layer vettoriale di 'Vegetation_2.1.2.'. A sinistra un riferimento fotografico dell'area indicata sulla carta.

5. Conclusioni

Lo scopo della tesi è stato quello di esplorare il metodo più adatto per l'identificazione degli elementi seminaturali (*small biotopes*) del paesaggio rurale. È stato scelto questo tipo di paesaggio perché è uno degli ecosistemi più soggetti alle pressioni antropiche della lavorazione dei campi. Con il passare degli anni questo paesaggio si è denaturalizzato quasi del tutto causando la perdita di alcuni biotopi fondamentali per il mantenimento della biodiversità. Oltre a questa fondamentale funzione di mantenimento e salvaguardia della biodiversità, la presenza di questi elementi svolge importanti ruoli ecologici, come quello di difesa del suolo dall'erosione delle rive dei fiumi e canali e dall'intrusione del cuneo salino via mare. Gli *small biotopes* svolgono anche l'importante ruolo di fasce tampone boscate, separando i corpi idrici superficiali da una possibile fonte di inquinamento diffuso come i campi coltivati. La loro identificazione risulta quindi di fondamentale importanza ai fini di un'eventuale pianificazione del territorio.

Questi elementi sono stati studiati utilizzando un nuovo approccio, che è in rapida espansione negli ultimi anni, ossia il telerilevamento. L'analisi in ambiente GIS ha permesso di individuare tali elementi e di poterne studiare le principali caratteristiche strutturali. Tali risultati hanno evidenziato una carenza di vegetazione seminaturale all'interno del paesaggio rurale, che era prevedibile, conoscendo l'area di studio, ma che probabilmente non ci si aspettava di tale entità.

Con questo tipo di approccio si ottengono le informazioni sulla copertura di vegetazione seminaturale in un dato territorio, che può essere diviso nei vari limiti amministrativi. Questo approccio potrebbe essere integrato con uno studio, a scala aziendale, per un monitoraggio delle specie vegetali e animali presenti (presenza/assenza di specie rare) e degli input di azoto e pesticidi della lavorazione agricola. Altrimenti, questo approccio può essere utilizzato a scala comunale o provinciale per individuare le aree a maggiore HNVf. Oltre al calcolo di quest'indice, le informazioni ottenute possono rendersi utili per l'applicazione di altri indicatori fondamentali per la gestione e conservazione di un territorio fragile come quello studiato. I seguenti sono alcuni degli indicatori possibili per integrare i risultati di questa tesi:

- Percentuale di copertura del suolo: valuta indirettamente l'erosione dei suoli (Vazzana, 1997);
- Superficie lasciata ad habitat seminaturali rispetto alla superficie della SAU con vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea, sia naturale che appositamente seminata (Vazzana, 1997, Verejiken, 1994);
- Biodiversità delle siepi: espressa come lunghezza di una siepe per ettaro di SAU (Lazzerini 2001, Pacini, 2003);
- Biodiversità delle aree boschive: valuta la copertura della superficie a bosco in relazione alla SAU (Lazzerini 2001, Pacini, 2003);
- Diversità delle specie erbacee ed arboree nelle infrastrutture ecologiche: utile a calcolare l'indice di diversità di Shannon (Capelletti, 1976);
- Ricchezza specie erbacee ed arboree nelle infrastrutture ecologiche: si calcola valutando il numero di specie vegetali di tipo erbaceo ed arboreo, la cui somma definisce l'Indice di ricchezza (Capelletti, 1976);

L'integrazione di questo approccio "dal cielo", usato in questa tesi, con quello "da terra" sarà fondamentale in futuro per contrastare la frammentazione e la perdita degli habitat terrestri che stanno minacciando la sopravvivenza della biodiversità.

La conoscenza e identificazione della presenza degli *small biotopes* sul territorio sono un necessario punto di partenza per lo studio di una pianificazione che preveda progetti di costruzione di reti ecologiche a scala comunale, che possano connettere tali elementi del paesaggio in un'unica infrastruttura ecologica.

Bibliografia

Aksoy, S. (2010), *Automatic mapping of linear woody vegetation features in agricultural landscapes using very high resolution imagery.*

Aly, A. *et al.* (2016), *Vegetation cover change detection and assessment in arid environment using multi-temporal remote sensing images and ecosystem management approach.*

Andersen, E. *et al.* (2003), *Developing a High Nature Value Indicator*, Copenaghen: Report for the European Environment Agency.

Baldock, D. *et al*. (1993), *Nature conservation and new directions in the EC Common Agricultural Policy: the potential role of EC policies in maintaining farming and management systems of high nature value in the Community.*

Bassan, V. *et al.* (a cura di), (2008), *Le unità geologiche della provincia di Venezia*, Caselle di Sommacampagna (VR): Cierre grafica.

Beat, P. (2001), *Measures for the generalization of polygonal maps with categorical data.*

Bondesan, A. *et al.* (a cura di), (2004), *Geomorfologia della provincia di Venezia – Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia*, Padova: Esedra Editrice.

Buffa, G. (2015), *Appunti 'Corso di Pianificazione e gestione del Paesaggio'*, Venezia: Università Ca' Foscari.

Burrough, P.A. (1986), *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*, New York: Monographs on soil and resources survey No. 12, Oxford Science Publications.

Camaretta, N. (2015), *Uso di dati telerilevati LiDAR e IKONOS per la caratterizzazione delle coperture forestali di Monte Morello.*

Cappelletti, C. (1976), *Trattato di botanica*, UTET.

Cetraro, F. (2015), *GIS per la cartografia e l'analisi territoriale,* Roma: EPC Editore.

Desjeux, Y. *et al.* (2014), *Evaluating the impact of rural development measures on nature value indicators at different spatial levels: Application to France and the Netherlands.*

EEA REPORT (2004), *High nature value farmland. Characteristics, trends and policy challenges.*

Escadafal, R. & Huete, A. (1992), *Soil optical properties and environmental applications of remote sensing*, Washington D.C.

Ferrari, C. & Pezzi, G. (2013), *L'ecologia del paesaggio*, Bologna: ed. Il Mulino.

Fondazione GoodPlanet (2013), *Spazio > Terra, il nostro pianeta visto dai satelliti,* Milano: ed. L'ippocampo.

Hermosilla, T. *et al.* (2011), *Evaluation of automatic building detection approaches combining high resolution images and LiDAR data.*

Hou, W. (2014*), Methodological basis for landscape structure analysis and monitoring: inclusion of ecotones and small landscape elements*, Dresda.

Huang, Y. *et al.* (2013), *Toward automatic estimation of urban green volume using airborne LiDAR data and high resolution Remote Sensing images.*

ISPRA, (2010), *Aree ad alto valore naturale: dall'individuazione alla gestione*, Roma.

Li, Y. *et al.* (2016), *Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban-rural development: the case of Mu Us Sandy Land, China.*

McGarigal, K. & Marks, B. J. (1995), *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, Portland.

Menegoni, P. *et al.* (2012), *Il Progetto AGRIVAL ad alto valore naturalistico: dalla individuazione alla conservazione: una visione del rapporto tra agricoltura e biodiversità nella convergenza delle politiche agricole ed ambientali,* Bari.

Noti, V. (2014), *GIS open source per geologia e ambiente,* Palermo: Dario Flaccovio Editore.

Pacini, C. *et al*. (2003), *Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis.*

Paracchini, M. *et al*. (2008), *High Nature Value farmland in Europe: an estimate of the distribution patterns on the basis of land cover and biodiversity data*, REPORT EUR 23480 EN for European Commission, Joint Research Centre and Institute for environment and Sustainability.

Plieninger, T. (2011), *Monitoring directions and rates of change in trees outside forest through multitemporal analysis of map sequences.*

Quackenbush, L. J. (2004), *A review of techniques for extracting linear features from imagery.*

Rees, W. G. (2001), *Physical principles of Remote Sensing*, Cambridge University.

Seung, G. J. *et al.* (2016), *Mapping riparian habitat using a combination of remote sensing techniques.*

Sheeren, D. *et al*. (2009), *Discriminating small wooden elements in rural landscape from aerial photography: a hybrid pixel/object-based analysis approach*, Tolosa.

Thornton, M. W. *et al.* (2007), *A linearized pixel swapping method for mapping rural linear land cover features from fine spatial resolution remotely sensed imagery.*

Vannier, C. & Hubert-Moy, L. (2008), *Detection of wooded hedgegrows in high resolution satellite images using an object-oriented method.*

Vazzana, C. *et al.* (1997), *Una nuova metodologia europea per la progettazione e la gestione di agroecosistemi integrati ed ecologici: applicazione in un'area agricola toscana*.

Vereijken, P., (1994), *Research network on integrated and ecological arable farming systems for EU and associated countries.*

Viaggi, D. *et al.* (2015), *Do agri-environmental schemes contribute to high nature value farmland? A case study in Emilia-Romagna (Italy),* Bologna.

Wistrand, G. M. (2016), *Investigating the potential of object-based image analysis to identify tree avenues in high resolution aerial imagery LiDAR data.*

Siti consultati:

http://www.isprambiente.gov.it/

http://www.regione.veneto.it/

http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/

https://landsat.usgs.gov/

http://www.esa.int/ESA

http://www.artericerca.com/

https://qgis.org

http://www.qgistutorials.com

https://earthengine.google.com/

Allegati

Allegato I

Script eseguito su Google Earth Engine per estrarre l'NDVI dal Landsat 8 e dal Sentinel 2.

```
var L8: ImageCollection "USGS Landsat 8 TOA Reflectance (Orthorectified)" (12 bands)
var S2: ImageCollection "Sentinel-2: MultiSpectral Instrument (MSI), Level-1C"
var geometry: Polygon, 4 vertices

var rgb_vis = {min:0, max:0.3, bands:['B4','B3','B2']};

function addNDVI(image) {
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']);
  return image.addBands(ndvi);
}

var cloud_cov = 40;
var filtered = L8.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', cloud_cov))
  .filter(ee.Filter.or(ee.Filter.eq('WRS_ROW', 28), ee.Filter.eq('WRS_ROW', 29) ))
  .filter(ee.Filter.or(ee.Filter.eq('WRS_PATH', 192)));
var median = filtered.median();
var medianF = median.float();

var with_ndvi = filtered.map(addNDVI).select('nd').median();

////////////////////////////////////////////////////////


////////////////////////////////////////////////////////
function addNDVIS2(image) {
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']);
  return image.addBands(ndvi);
}

function cloudMask(im) {
  // Opaque and cirrus cloud masks cause bits 10 and 11 in QA60 to be set,
  // so values less than 1024 are cloud-free
  var mask = ee.Image(0).where(im.select('QA60').gte(1024), 1).not();
  return im.updateMask(mask);
}

var filteredS2 = S2.filterDate('2015-01-01', '2016-12-31')
    .filterBounds(geometry)
    .map(cloudMask);
```

```
var medianS2 = filteredS2.median();
var medianS2F = medianS2.float();
var with_ndviS2 = filteredS2.map(addNDVIS2).select('nd').median();

Map.addLayer(median, rgb_vis, 'L8');
Map.addLayer(with_ndvi,{},'NDVI');

Map.addLayer(medianS2, {min:0, max:3000}, 'S2');
Map.addLayer(with_ndviS2,{},'NDVI_S2');


Export.image.toDrive({
  image: medianF,
  description: 'median',
  folder: 'Tesi_GEE',
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:32632',
  region: geometry,
  maxPixels:1E13});

Export.image.toDrive({
  image: medianS2F,
  description: 'medianS2',
  folder: 'Tesi_GEE',
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:32632',
  region: geometry,
  maxPixels:1E13});

Export.image.toDrive({
  image: with_ndvi,
  description: 'with_ndvi',
  folder: 'Tesi_GEE',
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:32632',
  region: geometry,
  maxPixels:1E13});


Export.image.toDrive({
  image: with_ndviS2,
  description: 'with_ndviS2',
  folder: 'Tesi_GEE',
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:32632',
  region: geometry,
  maxPixels:1E13});
```

Allegato II

Workflow dei passaggi della fase analitica:

- Caricamento del dataset raster all'interno del progetto QGIS:
  - Aggiungi raster

- Mosaicatura (merge) dei file raster in un raster unico:
  - Miscellanea => Unione
  In alternativa uso della *shell* interattiva di Python 'OSGeo4W' con comando: gdal_merge -of GTiff -co BIGTIFF=YES -co COMPRESS=LZW -n 0 –a_nodata NaN -o output.tif immagine1.tif immagine2.tif ...

- Attribuire il Sistema di Riferimento di partenza del layer raster 'WGS84 ETRF89':
  - Proiezioni => Assegna proiezione

- Riproiettare il layer raster nel SR del progetto (Monte Mario / Italy Zone EPSG:3003):
  - Proiezioni => Riproiezione

- Applicazione del CHM sottraendo il raster DSM Last al raster DSM First:
  - Calcolatore raster: 'DSM First@1 - DSM Last@1'

- Caricamento del layer vettoriale del Corine Land Cover della provincia di Venezia e ritaglio all'interno della zona di studio:
  - Aggiungi vettore
  - Strumenti di geoprocessing => Taglia

- Ritaglio del CHM per le varie tipologie di copertura del suolo:
  - Estrazione => Ritaglia

- Eliminazione dei pixel (contenenti il dato dell'altitudine in metri) del CHM con un valore di altezza inferiore a 0.5 metri:
  - Calcolatore raster: 'Vegetation@1 > 0.5'

- Applicazione del filtro 'Moda':
  - Plugin di GRASS: r.neighbors

- Conversione del layer raster in layer vettoriale:
  - Conversione => Poligonizzazione (da raster a vettore)

- Calcolo delle statistiche di base dei poligoni (area e perimetro):
  - Calcolatore campi: '$area' e '$perimetro'

- Semplificazione del perimetro dei poligoni:
  - Plugin di GRASS: v.generalize, metodo Douglas-Peucker

- Calcolo di ulteriori statistiche geometriche dei poligoni, tra cui area, perimetro e 'Max.Distance', che vengono aggiunte alla tabella degli attributi:
  - Plugin di SAGA: Polygon shape indices

- Applicazione dell'indice di linearità (perimetro/2)/Max.Distance:
  - Calcolatore campi

- Calcolo dei parametri di lunghezza e larghezza:
  - Oriented minimum bounding box

- Caricamento del layer raster 'NDVI':
  - Aggiungi raster

- Calcolo delle statistiche zonali di altezza e NDVI (media, mediana, massimo):
  - Plugin 'Zonal statistics' con file raster del CHM e dell'NDVI

- Buffer con dissolvenza dei poligoni rappresentanti la vegetazione:
  - Strumenti di geoprocessing => buffer a distanza fissa

- Unione dei layer vettoriali, che rappresentano la vegetazione individuata:
  - Plugin MMQGIS => Combine => Merge layers

- Estrazione e generazione di un layer di punti dai poligoni:
  - Generate points (pixel centroids) inside polygons

- Costruzione della 'Mappa di concentrazione' dal layer di punti:
  - Plugin 'Mappa di concentrazione'

Allegato III

1) Copertura del suolo

Informazioni sul Metadato:

Identificatore del file: c0506021_CopSuolo
Lingua dei metadati: ita
Set dei caratteri dei metadati: utf8
Identificatore file precedente: c0506021_CopSuolo
Livello gerarchico: dataset

Responsabile dei metadati:
Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 041 2792577

E-mail:ptrc.cartografia@regione.veneto.it
Sito web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Data dei metadati: 2016-04-01
Nome dello standard: DM - Regole tecniche RNDT
Versione dello standard: 10 novembre 2011

Informazioni relative all'identificazione:

Titolo: Banca Dati della Copertura del Suolo della Regione Veneto
Data: 2009-06-30
Tipo data: creazione
Formato di presentazione: Mappa digitale

Responsabile dei dati:
Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Autore
Telefono: +39 041 2792577
E-mail:ptrc.cartografia@regione.veneto.it
Sito web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Identificatore: c0506021_CopSuolo **Id livello superiore:** c0506021_CopSuolo

Descrizione: Prima edizione della Banca Dati della Copertura del Suolo della Regione Veneto in formato vettoriale, realizzata nel 2009 sulla base di Ortofoto 2007. Nel 2012 e' stato realizzato un approfondimento tematico della prima edizione in riferimento ai territori afferenti alla classe 1 del Corine Land Cover - Territori modellati artificialmente(c0506111_CCS2007SPLUS).

Parole chiave: Copertura del suolo
Thesaurus: GEMET - INSPIRE themes, version 1.0

Punto di contatto:
Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 041 2792577
E-mail: ptrc.cartografia@regione.veneto.it
Sito Web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Tipo di rappresentazione spaziale: Dati vettoriali

Risoluzione spaziale (scala equivalente): 10000

Lingua: ita

Set dei caratteri dei metadati: utf8

Categoria tematica: Mappe di base, Immagini, Copertura terrestre

Informazioni supplementari: Scala nominale pari a 1:10.000; area tematica minima di 0,25 ettari; legenda articolata su 5 livelli in linea con la nomenclatura Corine Land Cover

---

Vincoli sui dati:
Limitazione d'uso dei dati: IODL 2.0
Vincoli di accesso ai dati: Licenza
Vincoli di fruibilità dei dati: Licenza
Altri vincoli sui dati:
Vincoli di sicurezza: non classificato

Informazioni sull'estensione geografica:

Localizzazione geografica:
Longitudine Ovest: 10.6229368792133
Longitudine Est: 13.1022304265516
Latitudine Sud: 44.7944402180517
Latitudine Nord: 46.680462222327
Estensione verticale dei dati:
Quota minima: 0
Quota massima: 0
Datum verticale: http://www.epsg-registry.org/export.htm?gml=urn:ogc:def:crs:EPSG::3003
Estensione temporale dei dati:
Data inizio: 2007-01-01
Data fine: 2007-12-31

Informazioni sulla qualità del dato:

Livello di qualità: dataset

Accuratezza posizionale:
Unità di misura: metre
Valore: 1

Genealogia: La Banca Dati della Copertura del Suolo trae il primo impianto dalla realizzazione del Db G.S.E. Land - Urban Atlas, utilizzando immagini satellitari SPOT 5 - bande multispettrale (10 m) e pancromatica (2,5 m) - e dati territoriali di varia natura (DB TeleAtlas, Carta Tecnica Regionale Numerica, DEM, Carta Forestale, grafo stradale). Nella prima realizzazione la classificazione e stata eseguita con il supporto del software eCognition usando un approccio object-oriented. Tutta la fase di verifica e di revisione e stata eseguita tramite la fotointerpretazione a video delle ortofoto digitali a colori prodotte dalla Compagnia Generale Rispreseaeree S.p.A relative al periodo 2006/2007 (edizione "TerraItalyTM" Digitale RGB). Una volta completata la base dati G.S.E. Land - Urban Atlas, si e proceduto con l'approfondimento della classificazione dei territori extraurbani. La tematizzazione dei Territori Agricoli e avvenuta tramite spazializzazione delle dichiarazioni catastali (contributi del Sistema Informativo regionale del Settore Primario (SISP) e del Sistema Informativo dell'organismo pagatore (AVEPA)); la tematizzazione dei Territori boscati e aree seminaturali si e basata sulla Carta Forestale Regionale i cui contenuti tematici sono confluiti nelle classi di legenda della Carta della Copertura del Suolo mantenendo i raggruppamenti per Categoria (IV livello) e per Tipologia (V livello). La tematizzazione dell'Ambiente umido e dell'Ambiente delle acque e stata realizzata tramite fotointerpretazione delle Ortofoto digitali.

Conformità: specifiche
Titolo: REGOLAMENTO (UE) N. 1089/2010 DELLA COMMISSIONE del 23 novembre 2010 recante attuazione della direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'interoperabilita dei set di dati territoriali e dei servizi di dati territoriali
Data: 2010-12-08
Tipo data: Pubblicazione
Spiegazione: Vedi specifiche
Grado di conformità (INSPIRE): Non valutato

Sistema di riferimento:

Sistema di riferimento spaziale: ROMA40/OVEST

Distribuzione dei dati:

Distributore:
Nome dell'Ente: Regione del Veneto - Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Telefono: +39 0412792577
E-mail:ptrc.cartografia@regione.veneto.it
Ruolo: Distributore
Formato di distribuzione:
Nome formato: shp **Versione formato:** ESRI Shape
Risorsa on line: http://idt.regione.veneto.it

Gestione dei dati:

Frequenza di aggiornamento: Non pianificato

2) Elemento idrico

Informazioni sul Metadato:

Identificatore del file: c04010240012_ElementoIdrico
Lingua dei metadati: ita
Set dei caratteri dei metadati: utf8
Identificatore file precedente: c04010240012_ElementoIdrico
Livello gerarchico: dataset

Responsabile dei metadati:
Nome dell'Ente: ARPAV - Servizio Informatica e Reti
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 0498767570
E-mail:sier@arpa.veneto.it
Sito web: http://www.arpa.veneto.it

Data dei metadati: 2015-10-01
Nome dello standard: DM - Regole tecniche RNDT
Versione dello standard: 10 novembre 2011

Informazioni relative all'identificazione:

Titolo: Rete idrografica regionale: Elementi Idrici
Data: 2014-11-18
Tipo data: pubblicazione
Formato di presentazione: Mappa digitale

Responsabile dei dati:
Nome dell'Ente: ARPAV - Servizio Informatica e Reti
Ruolo: Proprietario
Telefono: +39 0498767570
E-mail:sier@arpa.veneto.it
Sito web: http://www.arpa.veneto.it
Identificatore: c04010240012_ElementoIdrico **Id livello superiore:** c0401024_GrafoIdrografia

Descrizione: Rete idrografica del Veneto, acquisita da varie fonti (Acque Pubbliche L.431/85, Consorzi di Bonifica, grafo della Sez Pianificaz.Territoriale Strategica e Cartografia), a scala 1:10.000

Parole chiave: Idrografia
Thesaurus: GEMET - INSPIRE themes, version 1.0

Punto di contatto:
Nome dell'Ente: ARPAV - Servizio Informatica e Reti
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 0498767570
E-mail: sier@arpa.veneto.it
Sito Web: http://www.arpa.veneto.it
Tipo di rappresentazione spaziale: Dati vettoriali

Risoluzione spaziale (scala equivalente): 10000

Lingua: ita

Set dei caratteri dei metadati: utf8

Categoria tematica: Acque interne

Informazioni supplementari: G. De Luca, A. Schiavon, A. Tamaro Descrizione del reticolo idrografico del Veneto e definizione delle procedure di acquisizione e di manutenzione (versione 3.1), Specifiche Tecniche, novembre 2011

Vincoli sui dati:

Limitazione d'uso dei dati: CCBY
Vincoli di accesso ai dati: Licenza
Vincoli di fruibilità dei dati: Licenza
Altri vincoli sui dati: Dato pubblico (cfr. art. 1 Codice Amministrazione Digitale)
Vincoli di sicurezza: non classificato

Informazioni sull'estensione geografica:

Localizzazione geografica:
Longitudine Ovest: 10.6229368792133
Longitudine Est: 13.1022304265516
Latitudine Sud: 44.7944402180517
Latitudine Nord: 46.680462222327
Estensione verticale dei dati:
Quota minima: 0
Quota massima: 0
Datum verticale: http://www.epsg-registry.org/export.htm?gml=urn:ogc:def:crs:EPSG::3003
Estensione temporale dei dati:
Data inizio: 2004-01-01
Data fine: 2099-12-31

Informazioni sulla qualità del dato:

Livello di qualità: dataset

Accuratezza posizionale:
Unità di misura: metre
Valore: 1

Genealogia: varie - Digitalizzazione dei corsi d'acqua sulle sezioni in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale Rasterizzata. Verifica e correzione del grafo sulla base del modello idrografico proposto dalla ESRI

Conformità: specifiche
Titolo: Idrografia
Data: 2010-05-03
Tipo data: Pubblicazione
Spiegazione: Vedi specifiche
Grado di conformità (INSPIRE): Non conforme

Sistema di riferimento:

Sistema di riferimento spaziale: ROMA40/OVEST

Distribuzione dei dati:

Distributore:
Nome dell'Ente: Regione Veneto - Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Telefono: +39 0412792577
E-mail:ptrc.cartografia@regione.veneto.it
Ruolo: Distributore
Formato di distribuzione:
Nome formato: Shapefile **Versione formato:** Esri shapefile
Risorsa on line: http://idt.regione.veneto.it

Gestione dei dati:

Frequenza di aggiornamento: In maniera continua

3) Limiti amministrativi

Informazioni sul Metadato:

Identificatore del file: c0104011_Comuni
Lingua dei metadati: ita
Set dei caratteri dei metadati: utf8
Identificatore file precedente: c0104011_Comuni
Livello gerarchico: dataset

Responsabile dei metadati:
Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 0412792577
E-mail:sit@regione.veneto.it
Sito web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Data dei metadati: 2014-06-16
Nome dello standard: DM - Regole tecniche RNDT
Versione dello standard: 10 novembre 2011

Informazioni relative all'identificazione:

Titolo: Limiti Amministrativi poligonali dei comuni della Regione Veneto
Data: 2016-03-01
Tipo data: revisione
Formato di presentazione: Mappa digitale

Responsabile dei dati:

Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Proprietario
Telefono: +39 0412792577
E-mail:sit@regione.veneto.it
Sito web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Identificatore: c0104011_Comuni **Id livello superiore:** c0104011_Comuni

Descrizione: Confini comunali poligonali

Parole chiave: Unita amministrative
Thesaurus: GEMET - INSPIRE themes, version 1.0

Punto di contatto:
Nome dell'Ente: Regione Veneto, Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Ruolo: Punto di contatto
Telefono: +39 0412792577
E-mail: sit@regione.veneto.it
Sito Web: http://www.regione.veneto.it/web/ambiente-e-territorio/sistema-informativo-territoriale
Tipo di rappresentazione spaziale: Dati vettoriali

Risoluzione spaziale (scala equivalente): 10000

Lingua: ita

Set dei caratteri dei metadati: utf8

Categoria tematica: Confini

Informazioni supplementari: Confini comunali aggiornati a seguito della L.R.n. 9 del 21.02.2014 (BUR n. 22 del 21.02.2014) che istituisce Longarone in provincia di Belluno (nato dalla fusione tra Castellavazzo e Longarone), L.R.n. 34 del 24.12.2013 (BUR n. 115 del 27.12.2013) che istituisce Quero , Vas in provincia di Belluno (nato dalla fusione tra Quero e Vas), Legge Regionale n 13 del 12 luglio 2007 (rettifica dei comuni di Arcole (VR) e Zimella (VR) pubblicati nel BUR numero 63 del 17 luglio 2007 a pagina 9), L.R. n5 2016 che istituisce il comune di Val di Zoldo (unione di Forno di Zoldo e Zoldo Alto), L.R. n6 del18/02/2016 che istituisce il nuoco comune di Alpago (unione di Farra d'Alpago, Pieve d'Alpago e Puos d'Alpago).

Vincoli sui dati:
Limitazione d'uso dei dati: IODL 2.0
Vincoli di accesso ai dati: Licenza
Vincoli di fruibilità dei dati: Licenza
Altri vincoli sui dati: Dato pubblico
Vincoli di sicurezza: non classificato

Informazioni sull'estensione geografica:

Localizzazione geografica:
Longitudine Ovest: 10.6229368792133
Longitudine Est: 13.1022304265516
Latitudine Sud: 44.7944402180517
Latitudine Nord: 46.680462222327
Estensione verticale dei dati:
Quota minima: 0
Quota massima: 0
Datum verticale: http://www.epsg-registry.org/export.htm?gml=urn:ogc:def:crs:EPSG::3003
Estensione temporale dei dati:
Data inizio: 2005-05-20
Data fine: 2016-03-01

Informazioni sulla qualità del dato:

Livello di qualità: dataset

Accuratezza posizionale:
Unità di misura: metre
Valore: 4

Genealogia: Carta Tecnica Regionale Rasterizzata - Digitalizzazione dalle immagini georeferenziate della CTR raster, successive correzioni derivate da segnalazioni da parte di amministrazioni comunali. In seguito i poligoni sono stati corretti sul fronte topologico anche per confronto con gli elementi vettoriali a scala 1:5.000. - Confini comunali aggiornati a seguito di Legge Regionale n 13 del 12 luglio 2007 (rettifica dei comuni di Arcole (VR) e Zimella (VR) pubblicati nel BUR numero 63 del 17 luglio 2007 a pagina 9), L.R.n. 9 del 21.02.2014 (BUR n. 22 del 21.02.2014) che istituisce Longarone in provincia di Belluno (nato dalla fusione tra Castellavazzo e Longarone), L.R.n. 34 del 24.12.2013 (BUR n. 115 del 27.12.2013) che istituisce Quero Vas in provincia di Belluno (nato dalla fusione tra Quero e Vas).

Conformità: specifiche
Titolo: REGOLAMENTO (UE) N. 1089/2010 DELLA COMMISSIONE del 23 novembre 2010 recante attuazione della direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'interoperabilita dei set di dati territoriali e dei servizi di dati territoriali
Data: 2010-12-08
Tipo data: Pubblicazione
Spiegazione: Vedi specifiche
Grado di conformità (INSPIRE): Non valutato

Sistema di riferimento:

Sistema di riferimento spaziale: ROMA40/OVEST

Distribuzione dei dati:

Distributore:
Nome dell'Ente: Regione del Veneto - Sezione Pianificazione Territoriale Strategica e Cartografia
Telefono: +39 0412792577
E-mail:sit@regione.veneto.it
Ruolo: Distributore
Formato di distribuzione:
Nome formato: shp **Versione formato:** ESRI Shape

Risorsa on line: http://idt.regione.veneto.it

Gestione dei dati:

Frequenza di aggiornamento: Quando necessario