

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI RAVENNA

SCUOLA DI SCIENZE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
ANALISI E GESTIONE DELL'AMBIENTE

IDENTIFICAZIONE E MAPPATURA DI "SUOLI NUDI"
ATTRAVERSO IMMAGINI TELE-RILEVATE

TESI DI LAUREA IN PRINCIPI DI GESTIONE DEL TERRITORIO

Relatore:
Dott. Nicolas Greggio

Presentata da:
Dott.ssa Martina Cimatti

Correlatore:
Prof. Andrea Contin

Sessione Unica

Anno Accademico 2019-2020

INDICE

ABSTRACT	1
CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE	2
1.1. REMOTE SENSING	2
1.1.1. <i>Programma Copernicus</i>	3
1.2. LA RISORSA SUOLO.....	4
1.2.1. <i>Carbonio Organico nei suoli</i>	5
1.2.2. <i>Suolo e Telerilevamento</i>	7
1.2.3. <i>Normativa</i>	8
1.3. “SUOLO NUDO”.....	11
1.4. OTTIMIZZAZIONE DEI SUOLI.....	14
1.4.1. <i>Valorizzazione energetica dei suoli: il sistema Biogasdoneright®</i>	14
1.4.2. <i>Il sistema a “Doppia Coltura” a scopo energetico</i>	17
1.5. RUOLO DELL’ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE AGRICOLO	20
CAPITOLO 2 – SCOPO	23
CAPITOLO 3 – CONTESTO E AREA DI STUDIO	25
3.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE	25
3.2. PANORAMICA DEL SETTORE AGRICOLO IN REGIONE EMILIA-ROMAGNA	26
3.3. RUOLO DI ARPAE IN REGIONE EMILIA-ROMAGNA	28
3.4. INQUADRAMENTO METEOROLOGICO (EMILIA-ROMAGNA ANNO 2017).....	29
3.5. IRRAGGIAMENTO SOLARE	30
CAPITOLO 4 – MATERIALI E METODI	34
4.1. PRE-TRATTAMENTO TRAMITE SATELLITE IMAGE AUTOMATIC MAPPER™ (SIAM™)	34
4.2. DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA METODOLOGICA IN AMBIENTE QGIS	36
4.3. DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA METODOLOGICA APPLICATA IN AMBIENTE EXCEL.....	48
4.4. VALIDAZIONE	50
CAPITOLO 5 – RISULTATI	54
5.1. RISULTATI DELLA PROCEDURA DI MAPPATURA E QUANTIFICAZIONE DI “SUOLI NUDI”	54
5.1.1. <i>Risultati mensili</i>	54
5.1.2. <i>Risultati dei 19 periodi ritenuti prioritari</i>	55
5.1.3. <i>Risultati totali</i>	62
5.1.4. <i>Risultati dimensionali degli appezzamenti</i>	66
5.2. RISULTATI DELLA PROCEDURA DI VALIDAZIONE	71
CAPITOLO 6 – DISCUSSIONI	79
6.1. RISULTATI MENSILI	79
6.2. RISULTATI DEI 19 PERIODI PRIORITARI	80

6.3.	RISULTATI TOTALI.....	80
6.4.	RISULTATI DIMENSIONALI	82
6.5.	RISULTATI DELLA PROCEDURA DI VALIDAZIONE	83
6.5.1.	<i>Datazione della maschera</i>	83
6.5.2.	<i>Trasversalità delle particelle</i>	83
6.5.3.	<i>Elementi della procedura di validazione</i>	84
6.6.	ALTRE CONSIDERAZIONI.....	85
6.6.1.	<i>Condizioni meteo</i>	85
6.6.2.	<i>Scelta dei “color name”</i>	86
6.6.3.	<i>Densità della vegetazione</i>	86
6.6.4.	<i>Perdita in superficie</i>	88
6.6.5.	<i>Falso negativo</i>	89
6.6.6.	<i>Falso positivo</i>	89
	CAPITOLO 7– VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI SUOLI NUDI IDENTIFICATI	91
	CAPITOLO 8 – CONCLUSIONI.....	100
	ALLEGATO I.....	102
	ALLEGATO II.....	107
	BIBLIOGRAFIA	114
	SITOGRAFIA	125
	RINGRAZIAMENTI	126

ABSTRACT

A causa dell'aumento della popolazione, la domanda di cibo ed energia è destinata a raddoppiare entro il 2050 con conseguente crescita competitiva tra le risorse. Nelle regioni in cui vengono adottate le pratiche di rotazione agronomica, i suoli permangono allo stato improduttivo nel periodo che intercorre tra le due colture principali, causando lisciviazione dei nutrienti, erosione e accelerazione del consumo di materia organica. I cambiamenti nelle pratiche e nelle politiche di gestione del suolo sono fondamentali per soddisfare la crescente domanda di cibo ed energia limitando i rischi di esaurimento del suolo. I dati telerilevati sono cruciali per l'agricoltura di precisione (droni) e per la caratterizzazione e il monitoraggio del suolo (satelliti) al fine di aumentare la resa agricola sostenibile e limitare il degrado della risorsa. Sebbene la presenza periodica nel tempo di "terreno nudo" sia evidente e ben nota, non esistono studi in grado di fornire un quadro regionale dedicato per attirare l'attenzione su questa problematica. Questo studio mira a mappare i suoli attivamente coltivati ma non produttivi in determinati periodi dell'anno ("suolo nudo", SN) tramite immagini satellitari. Una volta individuati, i SN vengono studiati per definirne la superficie e l'estensione temporale. Successivamente, ne viene proposto uno scenario di valorizzazione energetica, con colture *no food*, come strategia di ottimizzazione della produzione. La metodologia applicata prevede l'elaborazione di immagini Sentinel-2, satellite ottico con tempo di ritorno di 5 giorni, con risoluzione spaziale al suolo di 20 m acquisite nel 2017. Le immagini pre-processate con *Satellite Image Automatic Mapper™ (SIAM™)* sono state elaborate sulla piattaforma QGIS e successivamente convalidate tramite *ground truth* fornite dall'Autorità Regionale dell'Agricoltura. I risultati mostrano che circa il 15% della Superficie Agricola Utilizzata è in condizioni di SN tra marzo e giugno e tra luglio e ottobre. La dimensione della maggior parte degli appezzamenti varia da 0.5 a 2 ha, tuttavia circa il 30% dei SN ha estensioni superiori a 3 ha, sufficienti da giustificare il loro sfruttamento agronomico. In uno scenario di base in cui il sorgo da biomassa è coltivato da marzo a giugno e da luglio a ottobre, potrebbe essere prodotta complessivamente una quantità di energia pari a circa il 20% dei consumi regionali attuali del settore trasporti. Questo studio evidenzia come l'ottimizzazione del periodo a SN permetta di coltivare colture alimentari o energetiche e immagazzinare più carbonio nei suoli stessi. Pone, inoltre, le basi per nuove politiche agricole in grado di avviare percorsi a breve termine per la riduzione delle emissioni di CO₂.

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

1.1.Remote Sensing

Con il termine *telerilevamento* (*Remote Sensing* in inglese), si definisce la scienza che studia l'insieme delle tecniche e delle metodologie di acquisizione, elaborazione e interpretazione che permettono l'analisi di oggetti o di fenomeni senza entrare in diretto contatto con essi (ESA, 2019). Nell'ambito delle "Scienze della Terra" il telerilevamento acquisisce dati territoriali e ambientali attraverso misure radiometriche registrate a distanza da sensori installati su piattaforme terrestri, aeree o spaziali (Figura 1). Negli ultimi anni questa scienza ha avuto un rapido sviluppo successivamente alla messa a punto di nuovi sensori che permettono lo studio della superficie terrestre nella frazione dello spettro elettromagnetico che si estende dall'ultravioletto alle microonde. Il miglioramento del processo interpretativo e della fase deduttiva ha reso poi l'utilizzo del telerilevamento una tecnica altamente performante e dal carattere interdisciplinare (Campana, 2003).

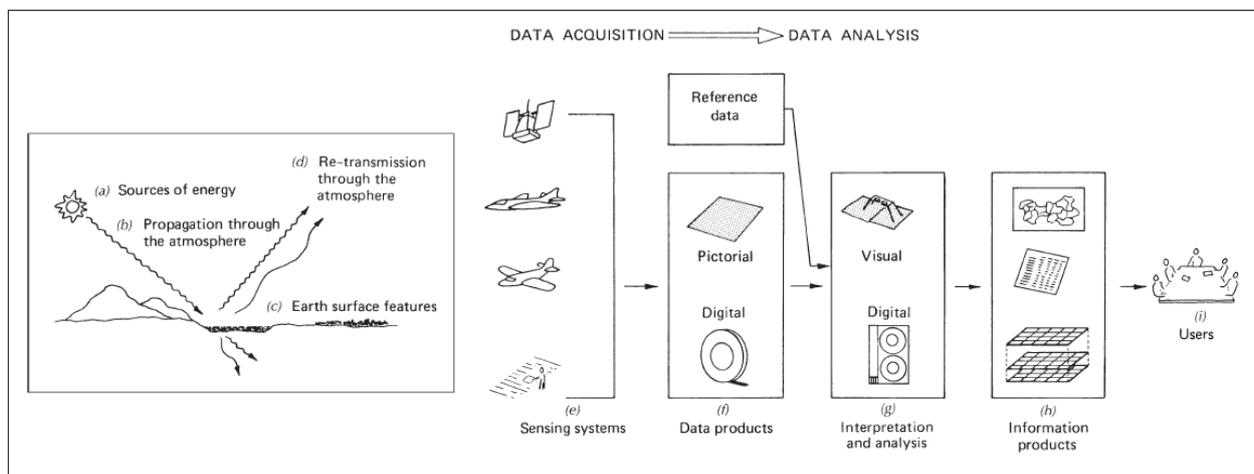


Figura 1 - Raffigurazione schematica del Remote Sensing nelle Scienze della Terra (Lillesand e Kiefer, 1994)

La classificazione delle immagini ottiche tele-rilevate per la creazione di mappe tematiche è un metodo che prevede l'identificazione di una serie di caratteristiche presenti nella scena attraverso un algoritmo basato sulle risposte spettrali dei *pixel* (Sartori, 2001; Richards & Jia, 2006; Gomasca, 2010). La radiazione contiene informazioni sulla superficie dell'oggetto stesso e consente di rilevarne il colore e la forma. Le parti fotosintetizzanti presenti nelle foglie, ad esempio, assorbono le porzioni di spettro del blu e del rosso riflettendo la radiazione verde, nel dominio del visibile, mentre mostrano un'alta riflessione nel vicino infrarosso. Questo eccesso di luce verde fa apparire verde la foglia. Questo è possibile grazie alle caratteristiche spettrali della vegetazione che si distinguono rispetto alle altre superfici (inorganiche, minerali, artificiali). Quindi la composizione dell'onda elettromagnetica

riflessa, ovvero la firma spettrale, fornisce informazioni sulla superficie che emette o riflette la radiazione. Pertanto, la capacità dei satelliti di distinguere tra varie firme spettrali è importantissima per il loro utilizzo nella creazione di mappe dove è essenziale la distinzione tra differenti tipi di superficie e di area (ESA, 2009). Sulla base delle diverse caratteristiche spettrali sono anche stati sviluppati degli indici di vegetazione. Queste caratteristiche quindi, riconoscibili tramite gli strumenti del telerilevamento, rendono tale tecnica un utile supporto per lo studio di svariate problematiche ambientali.

1.1.1. Programma Copernicus

Il Programma Europeo di osservazione della terra *Copernicus*, programma *User-Driven* precedentemente conosciuto come *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*, è un insieme complesso di sistemi che raccoglie informazioni da molteplici fonti, ossia satelliti di osservazione della terra e sensori di terra, di mare e aerei. Il Programma integra ed elabora i dati, fornendo agli utenti istituzionali, informazioni affidabili e aggiornate attraverso due principali strutture: i servizi e la componente spazio. I servizi, diversi e integrati, si dividono in sei aree tematiche: il suolo, il mare, l'atmosfera, i cambiamenti climatici, la gestione delle emergenze e la sicurezza. La componente spazio, costituita dai satelliti, dalle infrastrutture di terra e dall'acquisizione di dati da terzi, è gestita e sviluppata dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) (ISPRA, 2019).

Attualmente, ci sono sette satelliti Sentinel in orbita: una coppia di satelliti *radar* Sentinel-1, una coppia di satelliti ottici Sentinel-2, una coppia di satelliti Sentinel-3 con a bordo un insieme di strumenti, ed il satellite singolo della missione Sentinel-5P per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico (ESA, 2018). La missione Sentinel-2 sviluppata dall'ESA nell'ambito del programma *Copernicus* ha lo scopo di monitorare le aree verdi del pianeta e fornire supporto nella gestione di disastri naturali. Essa è costituita di due satelliti identici, Sentinel-2A e Sentinel-2B, che operano simultaneamente sulla stessa orbita eliosincrona a 786 km di altezza sfalsati di 180 gradi. Sentinel-2 è in grado di monitorare lo sviluppo di piante in ambito agricolo o forestale, valutando le variazioni nei livelli di clorofilla e contenuti di acqua e ha le seguenti caratteristiche (ESA, 2019):

- copertura globale delle terre emerse tra gli 84°S e gli 84°N, acque costiere, e tutto il Mar Mediterraneo;
- sorvolo di uno stesso punto sulla superficie terrestre con lo stesso angolo di visuale ogni cinque giorni. Alle latitudini più alte il sorvolo della superficie è più frequente, ma con differenti angoli di visuale;

- servizi di regolazione e mantenimento (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell'erosione e regolazione degli elementi della fertilità, regolazione della qualità dell'acqua, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, riserva genetica, conservazione della biodiversità, etc.);
- servizi culturali (servizi ricreativi e culturali, funzioni etiche e spirituali, paesaggio, patrimonio naturale, etc.).

La capacità protettiva del suolo è la capacità del terreno di limitare il flusso idro-veicolato di inquinanti verso la falda e rappresenta uno degli elementi principali per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi, costituendo il primo ostacolo nei confronti dei potenziali contaminanti (ERSAF, 2004). Il valore protettivo delle coperture pedologiche dipende dalle proprietà fisico-meccaniche del suolo, che determinano un'azione di filtro e di barriera al movimento degli inquinanti, dalle loro proprietà chimico-fisiche, che ne determinano la capacità tamponante, e dall'attività biologica, che consente la decomposizione biochimica e microbiologica delle sostanze immesse nel suolo (APAT, 2008). Un aspetto importante legato all'alterata capacità protettiva dei suoli è la problematica relativa alla perdita dei nutrienti. L'azoto, il fosforo e il potassio sono essenziali per la produzione agricola in quanto forniscono nutrimento alle colture e favoriscono la produttività del suolo. Tuttavia, se queste sostanze nutritive non vengono assorbite dalle piante, sono soggette a vari tipi di perdite (ad esempio lisciviazione, ruscellamento, emissioni in atmosfera) comportando costi aggiuntivi per le aziende agricole (Provolo & Sarteel, 2015).

1.2.1. Carbonio Organico nei suoli

Oltre all'apporto energetico fornito dal sole, le piante, per crescere, dipendono dal suolo per l'apporto dei cosiddetti micronutrienti e macronutrienti, il carbonio è uno di questi. Il carbonio organico costituisce circa il 58% della sostanza organica presente nei suoli, in assenza totale della quale non esisterebbe un suolo ma solo un sedimento non consolidato. La sostanza organica presente nel suolo ha molteplici effetti positivi (Castaldia et al., 2019):

- è fonte di energia per i microrganismi del suolo;
- conserva e fornisce nutrienti necessari alla crescita vegetale e dei microrganismi;
- trattiene gli elementi nutritivi grazie alla sua capacità di scambio cationica ed anionica;
- stabilizza e trattiene insieme le particelle di suolo riducendo i fenomeni di erosione;
- migliora la struttura, rendendola sempre più grumosa, e conseguentemente la porosità, la densità apparente, la permeabilità, regolando i flussi idrici superficiali e profondi;

- riduce gli effetti negativi sull'ambiente di fitofarmaci, metalli pesanti e molti altri inquinanti.

La sostanza organica, inoltre, agendo sulla struttura riduce la formazione di croste superficiali, aumenta la velocità di infiltrazione dell'acqua, riduce lo scorrimento superficiale e facilita la penetrazione delle radici vegetali. A queste funzioni si deve aggiungere anche la capacità di sottrarre carbonio dall'atmosfera; la CO₂ viene fissata dall'attività fotosintetica delle piante e da queste, attraverso i residui vegetali e gli essudati radicali, viene accumulata nel suolo sotto forma di sostanza organica più o meno umificata (Smith & Smith, 2013). Sulla base di tali evidenze, il ruolo svolto dal suolo nel ciclo del carbonio è stato riconosciuto da parte delle convenzioni internazionali su desertificazione (Parigi, 1994) e cambiamento climatico e biodiversità (Rio de Janeiro, 1992).

Il servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ha elaborato e predisposto una serie di tematismi e cartografie che descrivono il contenuto di carbonio organico nei suoli regionali allo scopo di orientarne la gestione e le politiche di protezione e conservazione. Il contenuto di carbonio organico nello strato superficiale dei suoli (Figura 3) dipende dalla loro genesi, dall'uso, agrario o forestale, e dalle pratiche agricole. Sistemi agricoli più conservativi e legati alla zootecnia, come quelli dell'Emilia centrale, garantiscono quantità di carbonio maggiori rispetto a sistemi agricoli più intensivi, tipici della pianura romagnola e piacentina (Arpae, 2019).

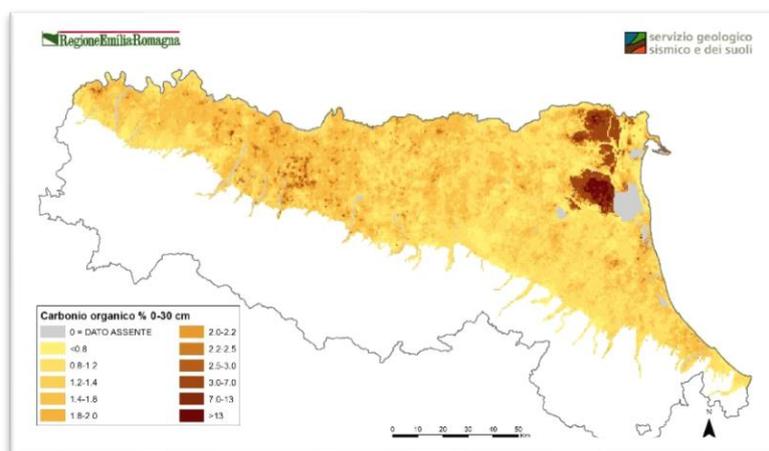


Figura 3 - Contenuto di Carbonio Organico nel suolo (Arpae, 2019)

Risulta sempre più forte la necessità di monitoraggio dei livelli di carbonio organico nei suoli specialmente nei campi coltivati. Tuttavia, i costi relativi al campionamento sul campo e all'analisi in laboratorio limitano il monitoraggio delle proprietà del suolo su larga scala (Conant et al., 2011). I sensori satellitari e i dati multispettrali, fino ad ora utilizzati principalmente per la classificazione del suolo come supporto per la sua mappatura digitale (McBratney et al., 2003; Mulder et al., 2011), consentono progressi nella valutazione delle proprietà della risorsa. Ad esempio, la nuova

generazione di immagini multispettrali è capace di acquisire alcune lunghezze d'onda nella regione della radiazione infrarossa ad onda corta (SWIR), che include caratteristiche di assorbimento legate alla quantità di carbonio organico nel suolo (Castaldia et al., 2019).

1.2.2. Suolo e Telerilevamento

L'uso del suolo e il cambiamento della copertura del suolo (Land Use and Cover Change, LUCC) sono considerati le variabili più importanti del cambiamento globale che colpisce gli ecosistemi con un impatto sull'ambiente almeno pari a quello associato ai cambiamenti climatici (Vitousek, 1994; Skole, 1994). Pertanto, comprendere meglio i modi in cui evolvono le pratiche di copertura del suolo appare fondamentale per la gestione ottimale della risorsa stessa (Southworth, 2004).

Negli ultimi decenni, una delle maggiori sfide per la ricerca nel settore agricolo è stato lo sviluppo di nuove tecniche per la gestione e protezione dei suoli e delle colture. Il telerilevamento si è mostrato una tecnica molto promettente a supporto del quale il Centro Nazionale delle Ricerche (CNR) ha creato, nel 1980, un Istituto di analisi Ambientale e Telerilevamento applicato all'Agricoltura (IATA). Esso nasce con l'intento di utilizzare uno strumento di monitoraggio delle colture in grado di supportare le decisioni agronomiche. Con lo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni si è assistito a un incremento dei dati telerilevati disponibili e alla riduzione dei costi oltre che di tempo e personale (Filippo et al., 2018).

Di pari rilevanza per il settore agricolo, accanto al *telerilevamento*, si configurano i Sistemi Informativi Geografici (GIS). Essi sono assimilabili a una tecnologia modulare costituita da pacchetti *software* per la gestione grafica di dati spaziali e *database* alfanumerici, da apparecchiature *hardware* e da operatori specializzati che collaborano sinergicamente (Campana, 2003). I GIS rivestono un ruolo essenziale nell'ambito di quelle discipline, in particolare le "Scienze della Terra", fortemente basate sulla posizione, la geometria e gli attributi di oggetti spazialmente riferiti. I dati territoriali di qualsiasi natura e origine, organizzati in un sistema GIS, possono essere analizzati e posti in relazione tra loro. La capacità di organizzare i dati territoriali geo-riferiti in *layer tematici* sovrapponibili rende i sistemi GIS fondamentali non solo per quanto concerne l'archiviazione, gestione, analisi ed elaborazione delle informazioni disponibili ma anche per quanto riguarda la loro visualizzazione e rappresentazione cartografica, strumento essenziale di sintesi e inquadramento dei sistemi naturali osservati e delle loro manifestazioni (Antenucci et al., 1991). Il telerilevamento e l'utilizzo dei GIS sono pertanto strumenti in grado di creare elaborati geolocalizzati su vaste aree, nel tempo.

L'interesse degli studiosi di settore è sempre più rivolto ai dati telerilevati nell'ottica di migliorare l'accuratezza dei *datasets* che descrivono la distribuzione geografica della copertura del suolo su

diverse scale (De Fries, et al., 1998). Sono stati compiuti notevoli sforzi per semplificare il processo di mappatura automatica delle coperture del suolo, come l'utilizzo di indici di vegetazione da telerilevamento (Zha, et al., 2003). I ricercatori hanno sviluppato molti indici basati su diversi tipi di superficie terrestre, quelli comunemente più usati sono l'indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI), l'indice di neve a differenza normalizzata (NDSI), l'indice di acqua a differenza normalizzata (NDWI) e l'indice di costruzione normalizzata (NDBI) (Hansen, et al., 2000). L'utilizzo di tali indici è stato ampiamente convalidato in numerosi studi sulla classificazione della copertura del suolo, ad esempio l'uso dei dati NDVI per la classificazione della copertura del suolo dei tipi di vegetazione ha riscontrato molto consenso (Azzali & Menenti, 2000).

In ambito agricolo un aspetto fondamentale è il carattere multi-temporale del dato tele-rilevato poiché molteplici osservazioni durante la stagione di crescita permettono un monitoraggio continuo delle variazioni a terra (Jones & Vaughan, 2010). In questo senso, le immagini satellitari possono facilitare la frequenza degli aggiornamenti e consentire di estrarre informazioni storiche sulla vegetazione per studiarne la tendenza (Voorde et al., 2008).

Nonostante l'avanzamento tecnologico esistono, ancora oggi, lacune di informazioni come vaste aree territoriali non ancora mappate, le quali richiedono lo sviluppo e l'applicazione di nuovi strumenti per la mappatura del suolo (Nolasco de Carvalho et al., 2015). A questo scopo, l'uso di approcci digitali semiautomatizzati, semplifica e velocizza tali operazioni (Hengl et al., 2015). Migliorando la capacità di elaborazione computazionale, aumentando l'archiviazione dei dati e incrementando la fruibilità di dati liberamente disponibili (ad esempio, Landsat, Sentinel-2A/B), le immagini tele-rilevate possono essere integrate negli approcci di mappatura del suolo già esistenti nell'ottica di migliorarne la risoluzione spaziale e temporale (Low et al., 2015).

1.2.3. Normativa

La consapevolezza che i suoli dell'Europa siano soggetti a processi di degradazione e di minacce, quali l'impermeabilizzazione, l'erosione, la diminuzione di materia organica, la contaminazione locale o diffusa, la compattazione, il calo della biodiversità, la salinizzazione, le alluvioni e gli smottamenti, ha fatto sì che nel 2006 la Commissione europea redigesse la *Strategia tematica per la protezione del suolo* (COM2006(231)) e una proposta di *Direttiva quadro per la protezione del suolo* (COM2006(232)). A causa di una sostanziale opposizione da parte di alcuni stati membri, quest'ultima è stata definitivamente ritirata a maggio 2014. È venuta così a mancare l'unica proposta legislativa europea mirata direttamente alla tutela del suolo. Poco prima, il 20 novembre 2013, il Parlamento e il Consiglio europeo avevano approvato il settimo programma di azione per l'ambiente

fino al 2020 (Decisione 1386/2013/UE), in cui tra gli obiettivi prioritari si poneva la "realizzazione di un mondo esente dal degrado del suolo nel contesto dello sviluppo sostenibile". Nello stesso documento sono numerosi i richiami alla necessità di arrestare il consumo di suolo e le azioni che ne comportano la degradazione. Il suolo è riconosciuto essere un ecosistema vulnerabile al pari dei corpi idrici e degli *habitat* per le specie, per questo è posto tra gli obiettivi prioritari e concreti del settimo programma il "consumo netto di suolo pari a zero" entro il 2050. Attualmente, nelle more di una legislazione specifica per la protezione del suolo, il settimo programma attribuisce un'azione indiretta, che "contribuisce a allentare la pressione a cui è sottoposto il suolo", al *corpus* legislativo adottato dall'Unione per proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale (direttiva Acque, direttiva Rifiuti, direttiva Habitat etc.). In particolare, attribuisce alla politica "verde" della PAC (Greening) un ruolo strategico nella tutela del suolo. La situazione italiana riflette un analogo scenario. L'Annuario dei dati ambientali (Ispra) segnala il persistere di una ridotta comprensione a livello nazionale della valenza ecosistemica del suolo. In Italia storicamente di esso è stata presa in considerazione la sola funzione produttiva, oggi limitatamente estesa al tema della contaminazione nei siti dichiarati tali. La costruzione di un quadro conoscitivo nazionale, idoneo alla valutazione dello stato ambientale della risorsa, è complicata dal fatto che le informazioni sui suoli sono raccolte in maniera disomogenea e depositate presso enti diversi. Al fine di superare questo problema è stato avviato nel 2007, con il coordinamento di Ispra e la collaborazione di Cra e CE-JRC-European Soil Bureau, un processo di armonizzazione e condivisione dei dati esistenti grazie al Progetto *Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo* (SIAS), finalizzato alla costruzione di due indicatori (Erosione e Contenuto di sostanza organica) a partire dalle informazioni esistenti a livello regionale. A tale progetto ha partecipato la Regione Emilia-Romagna, cosicché le informazioni relative agli indicatori sopracitati, adottate a livello nazionale, sono quelle acquisite, validate e analogamente utilizzate a scala locale. Nell'Annuario Ispra i suddetti indicatori, per i quali è stato possibile procedere a un ulteriore aggiornamento, descrivono nel loro insieme comunque una situazione critica a livello nazionale sia per la mancanza di una rete di monitoraggio, sia per la difficile e, per ora, solo parziale armonizzazione delle informazioni disponibili a livello locale (ARPAE, 2019).

In assenza di una normativa di livello nazionale, il quadro della normativa regionale risulta piuttosto eterogeneo, comprendendo disposizioni, normative o principi inseriti in leggi finalizzate al contenimento del consumo del suolo e alla rigenerazione urbana. Molte regioni si sono dotate di norme specifiche sul consumo di suolo, altre hanno previsto o fissato obiettivi in materia nell'ambito di leggi sul governo del territorio. La regione Emilia-Romagna è dotata di diverse leggi specifiche sul consumo di suolo, a partire dalla LR 20/2000, modificata dalle LR 6/2009 e 17/2014 – quest'ultima abrogata dalla LR 24/2017 – in cui vengono sanciti i principi del contenimento del consumo

di suolo e della tutela del territorio. Si stabilisce, in particolare, l'obiettivo del consumo di suolo a saldo zero da raggiungere entro il 2050, con il limite massimo del 3% della superficie del territorio urbanizzato. Sono previste "quote differenziate", nell'ambito di unioni di Comuni o Città metropolitana o soggetti di area vasta; l'introduzione di un meccanismo di equalizzazione a livello territoriale e la promozione della limitazione della "dispersione insediativa" in favore della concentrazione e densificazione degli insediamenti già esistenti, nonché un sistema di incentivi. È previsto un periodo transitorio di 3+2 anni (fino al 2023): nel primo periodo i Comuni possono completare i processi di pianificazione in corso, dare attuazione ai piani vigenti, mentre solo allo scadere dei 3 anni decadono le previsioni di espansione rispetto al territorio urbanizzato al 1/1/2018 non inserite in piani attuativi (già convenzionati e con tempistiche definite). All'applicazione di questa soglia vi sono diverse eccezioni. Il consumo di suolo non è consentito per nuove edificazioni residenziali, ad eccezione di quelle necessarie per attivare interventi di rigenerazione di parti significative del territorio urbanizzato a prevalente destinazione residenziale e per realizzare interventi di edilizia residenziale sociale. Vengono, inoltre, previsti incentivi urbanistici per interventi di qualificazione edilizia, ristrutturazione urbanistica, addensamento e sostituzione urbana. Viene ampliato il concetto di dotazione ecologica ambientale costituita dall'insieme degli spazi, delle opere e degli interventi che concorrono a contrastare il cambiamento climatico e i suoi effetti sulla società umana e sull'ambiente e a migliorare la qualità dell'ambiente urbano, riducendo gas serra, inquinamento acustico ed elettromagnetico, risanando qualità dell'aria e dell'acqua, mantenendo la permeabilità dei suoli e il riequilibrio ecologico dell'ambiente urbano, mitigando gli effetti del riscaldamento (isole di calore) (Munafò, 2019).

In Figura 4 è riportata la LR 24/2017 per la regione Emilia-Romagna - "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del suolo"- che propone come Obiettivi e Principi di *"Contenere il consumo di suolo quale bene comune e risorsa non rinnovabile che esplica funzioni e produce servizi ecosistemici, anche in funzione della prevenzione e della mitigazione degli eventi di dissesto idrogeologico e delle strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici; Favorire la rigenerazione dei territori urbanizzati e il miglioramento della qualità urbana ed edilizia (art. 1)"*.

Regione	Legge principale	Modifiche	Altre leggi	Legge principale - consumo di suolo CS	Legge principale - rigenerazione R	Sistema organico
Abruzzo	L.R. 24/2014 abrogata		L.R. 26/2015 sulle terre incentivo all'uso agricolo dei terreni incolti - L.R. 40/2017 sul recupero dei vani seminterrati e accessori			
Basilicata	L.R. 25/2009	L.R. 11/2018 piano casa stabilizzato come rigenerazione urbana, in deroga ai piani urbanistici			L.R. 11/2018	
Calabria	L.R. 19/2002 legge urbanistica,	L.R. 35/2012 - 40/2015 - 28/2016 - 21/2017 - 8/2019 modifica le norme di pianificazione	LR 41/2011 principio di riduzione consumo di nuovo territorio, LR 31/2017 contrasto abbandono suoli agricoli con definizione di consumo di suolo	LR 40/2015		CS
Campania	L.R. 16/2004 legge urbanistica - principio del "minimo consumo di suolo" e aree non suscettibili di trasformazione,	L.R. 19/2017 - 30/2017 revisione dei piani urbanistici	LR 6/2016 art.12 programmi di rigenerazione urbana			
Emilia Romagna	L.R. 24/2017		LR 14/2014 art.8 semplificazione urbanistica e riduzione del consumo del suolo per impianti produttivi	L.R. 24/2017	L.R. 24/2017	CS e R
Friuli Venezia	L.R. 5/2007 legge urbanistica L.R. 19/2009 codice dell'edilizia-rigenerazione	L.R. 12/2008 - L.R. 21/2015 introduce misure sul consumo di suolo (abrogata) - 29/2017 - 39/2017 - 44/2017 - 6/2019 nuovo regime di pianificazione	LR 3/2015 attrattività industriale e limitazione del consumo di suolo -LR 1/2016 politiche abitative e rigenerazione urbana (principi)	LR 6/2019	L.R. 29/2017	R

Figura 4- Normativa regionale in materia di consumo di suolo e rigenerazione urbana. Fonte: elaborazioni ISPRA con supporto banca dati ANCE

1.3. "SUOLO NUDO"

Pur essendo nota l'importanza, in molte regioni del mondo mancano informazioni circa l'estensione di terreni non coltivati o abbandonati; questo ostacola le valutazioni sugli effetti ambientali e sociali dell'abbandono nonché sul potenziale sfruttamento di terre attualmente non o parzialmente utilizzate per la produzione di cibo o bioenergie (Estel et al., 2015).

Solo pochi studi hanno utilizzato dati satellitari e metodologie di telerilevamento per mappare terreni incolti o abbandonati. Uno dei motivi di questa scarsità di mappe su scala continentale è la mancanza di dati adeguati a terra. L'Europa ha recentemente attuato un approccio globale che è un sistema di osservazione del suolo chiamato Land Use/Land Cover Area Frame Survey (LUCAS). Effettuato ogni tre anni dal 2006, LUCAS fornisce informazioni sul suolo in merito alla copertura del suolo e alla gestione del territorio (Delincé, 2001; Gallego & Bamps, 2008). Questo rappresenta un grande

set di dati a terra per la gestione dei terreni agricoli, eppure questi dati non sono stati finora integrati con dati satellitari per mappare terreni agricoli attivi e/o incolti (Estel et al., 2015).

L'uso delle immagini satellitari nella mappatura digitale del suolo è limitato dal fatto che per lunghi periodi il suolo è coperto da vegetazione e ciò non permette di raccogliere informazioni sulla matrice sottostante (Dobos et al., 2006). Questo argomento solleva la domanda: "Come possono essere ridotte queste influenze per acquisire la riflettanza spettrale del Suolo Nudo?" Studi, come quello di Dematte et al. (2009) hanno cercato di rispondere a questa domanda sviluppando metodi per rilevare il terreno nudo in una singola immagine. Tuttavia, rimane una seconda domanda importante: "Come può il suolo essere espresso come una superficie continua, poiché di solito è coperto da vegetazione?" Ciò ha portato alla necessità di una seconda strategia usando immagini provenienti da serie temporali diverse, che hanno incoraggiato approcci diversi, come nel lavoro di Nanni e Demattê (2006) il cui obiettivo era di sviluppare e valutare una metodologia per misurare gli attributi del suolo utilizzando la riflettanza spettrale come alternativa ai metodi tradizionali.

La rappresentazione in continuo del suolo consente di utilizzare immagini satellitari composite sui "Suoli Nudi" (SN) per scopi specifici, come la mappatura del contenuto di argilla, della materia organica e altri parametri chimico-fisici la cui conoscenza è fondamentale per le pratiche di gestione del suolo e per l'agricoltura di precisione. Pertanto, è comprovata la necessità di continuare a migliorare le strategie per il rilevamento dei SN e la collaborazione della comunità scientifica nei diversi aspetti che ne permettano la loro identificazione (Demattê et al., 2018).

Li et al., (2017) definiscono il SN come terreno non coperto da vegetazione, acqua, edifici o strade, sulla superficie terrestre. Per una città in rapido sviluppo, la presenza di SN è comunemente riconosciuta come l'indicatore degli sforzi umani per ricostruire o espandere una città (Zhao et al., 2005; Weng et al., 2008).

Per quanto riguarda questa tesi, per SN si intende: qualsiasi appezzamento di terreno lavorato ma non coltivato, lasciato scoperto o con eventuali residui vegetali della coltura precedente nel periodo che intercorre tra una semina e l'altra e che non dà reddito agricolo.

Si precisa che un SN non è abbandonato, ma non coltivato per un determinato periodo di tempo. L'inattività temporanea è ciò che lo rende interessante nell'ottica di una valorizzazione energetica, alimentare o ecologica.

Si sottolinea, infine, che nonostante gli studi citati successivamente siano affini al presente lavoro di tesi per tecniche e strumenti utilizzati, nessuno di questi indaga SN a scopo di ottimizzazione agronomica.

Studi affini a questo lavoro di tesi propongono:

- Sviluppo di una metodologia per mappare terreni attivi e incolti tramite l'indice NDVI e di fornire la prima mappa europea di estensione delle terre abbandonate e ricoltivate (Estel et al., 2015);
- Utilizzo di una serie temporale “NDVI - MODIS” e una macchina vettoriale di supporto per mappare l'estensione dei terreni agricoli abbandonati per il 2005 in Europa centrale e orientale (Alcantara et al., 2013);
- Utilizzo di indici di vegetazione MODIS per studiare i terreni agricoli abbandonati in Kazakistan settentrionale (De Beurs et al., 2004) e le Grandi pianure centrali degli Stati Uniti (Wardlow & Egbert, 2008);
- Stima dell'estensione globale dell'incolto tramite integrazione dei dati di copertura del suolo MODIS nella modellazione MIRCA2000 (Portmann et al., 2010; Siebert et al., 2010);
- Valutazione della possibilità di delineare diversi tipi di zone umide, tra le altre classi di copertura del suolo, utilizzando dati di telerilevamento satellitare (Riedel et al., 2015);
- Utilizzo di informazioni sull'immagine satellitare multi-temporale per lo sviluppo di una procedura chiamata Geospatial Soil Sensing System (GEOS3), volta a costruire una singola immagine sintetica rappresentativa del suolo nello stato di San Paolo, in Brasile (Demattê et al., 2018);
- Utilizzo di un'immagine composita multi-temporale dell'esperimento sul prisma nell'aria (APEX) per il monitoraggio del suolo. Sulla base di immagini sovrapposte, gli autori hanno raddoppiato la quantità di pixel del terreno nudo e migliorato la rappresentazione spaziale della superficie del suolo (Diek et al., 2016);
- Sviluppo di una nuova metodologia per generare compositi di terreno nudo basati su serie temporali satellitari allo scopo di ricavare informazioni relative ai parametri specifici dei suoli come la trama mineralogica e il quantitativo di materia organica (Diek et al., 2017; Rogge et al., 2018).

Numerosi studi hanno utilizzato il telerilevamento per determinare e mappare le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo. Ad esempio, le immagini aeree ad alta risoluzione sono state utilizzate per mappare:

- il carbonio organico (Chen et al., 2000);
- il contenuto di argilla (Sullivan et al., 2005);
- la materia organica (Pan et al., 2004);
- la concentrazione di fosforo (Varvel et al., 1999);
- il contenuto totale di fosforo, rame e zolfo (Sridhar et al., 2009a, b).

Tra le maggiori difficoltà riportate nella letteratura scientifica, vi è la discriminazione tra SN e fabbricati. Risulta difficile differenziare visivamente i SN e le aree costruite in un'immagine telerilevata a causa della loro elevata complessità e somiglianza nei modelli di risposta spettrale, specialmente in una miscela di *pixel* con oggetti eterogenei (Zha et al., 2003; Sukristiyanti et al., 2007). Pertanto, gli indici di vegetazione comportano elevate incertezze quando si usano per identificare i SN. Recentemente, sono stati presentati numerosi indici per distinguere meglio i SN, tra cui l'indice di *bareness di differenza normalizzato (NDBaI)* (Zhao & Chen, 2005) e l'indice di *e-bareness (EBBI)* migliorato (As-syakur et al., 2012). Tuttavia, l'individuazione automatica di SN richiede per entrambi gli indici la definizione di parametri spettrali specifici (soglia) assegnati in modo interattivo per estrarre la terra nuda. Hussain et al. (2013) sostengono che per estrarre una copertura del suolo specifica da un'immagine sia fondamentale disporre di una soglia spettrale adeguata perché ha effetti significativi sull'accuratezza della mappatura. Si ritiene comunemente che assegnare un valore di soglia spettrale adeguato sia molto difficile perché estremamente dipendente dal contesto territoriale, dalla radiazione incidente, dal contenuto idrico etc. (Li et al., 2017).

1.4. Ottimizzazione dei suoli

1.4.1. Valorizzazione energetica dei suoli: il sistema Biogasdoneright®

Dall'inizio della rivoluzione industriale l'umanità è cresciuta moltissimo sia in termini di consumo energetico che di ricchezza e popolazione. Se in un primo momento l'abbondanza di energia da fonti fossili ha incoraggiato l'umanità ad aggirare o ignorare alcuni processi naturali come la conservazione della fertilità dei suoli, questi si sono rivelati allarmanti negli ultimi anni. Infatti, i fertilizzanti a base fossile a buon mercato e l'uso di enormi quantità di energia da fonti fossili per la semina, la lavorazione e il raccolto hanno mascherato la perdita di fertilità dei suoli. Dato che ogni ettaro produceva di più, per un certo periodo si è stati portati a ignorare fenomeni come l'erosione, la desertificazione e la salinizzazione dei terreni, tutti processi distruttivi. A un livello superiore rispetto a questi risultati negativi localizzati vi sono gli effetti fortemente distruttivi del cambiamento climatico a livello globale, causato principalmente dall'uso di energia da fonti fossili.

Ci troviamo ora in una fase di transizione. L'estrazione e l'utilizzo del petrolio stanno diventando sempre più costosi e distruttivi per l'ambiente. Il picco della produzione di petrolio a buon mercato, o convenzionale, si è avuto nel 2005. Ora siamo entrati in un'epoca in cui il consumo di petrolio è prevalentemente limitato dalla sua disponibilità più che dalla domanda. Il consumo attuale di energia

si basa per circa l'85% su fonti fossili, il che contribuisce notevolmente all'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera (Bolzonella et al., 2018).

L'agricoltura moderna si fonda sull'utilizzo a grande scala di energia da fonti fossili per produrre una varietà limitata di prodotti destinati a pochi mercati. In questo modo risulta intrinsecamente rischiosa e non sostenibile. È forte quindi l'esigenza di produrre molta più energia, ma non da fonti di carbonio fossile. Bisogna incrementare la fertilità del suolo e la produzione agricola in generale senza aumentare gli *input* necessari all'agricoltura. È necessario produrre molti più alimenti per soddisfare le esigenze di una popolazione in aumento, diversificando al contempo i mercati dei prodotti agricoli e attraendo più investimenti nell'agricoltura. Si devono catturare grandi quantità di CO₂ atmosferico e sequestrarlo a lungo termine (Bozzetto et al., 2016).

È assolutamente urgente mitigare il più possibile le emissioni di CO₂ derivanti dall'agricoltura convenzionale, incrementare la produzione primaria netta (NPP) mediante carbonio addizionale e trasferire la maggiore quantità possibile di carbonio addizionale ai suoli, migliorandone così la fertilità e aumentando la capacità dei terreni agricoli di contrastare gli attuali effetti del cambiamento climatico, che gli agricoltori stanno iniziando ad avvertire in tutto il mondo (Hansen et al., 2013).

Esistono nuove tecniche che mirano e riescono con risultati positivi a soddisfare queste sfide ed esigenze. Ne è un esempio il Biogasdoneright®, (biogas-fatto-bene), nel quale tutta l'attività dell'azienda agricola è progettata intorno al digestore anaerobico (DA). Si configura come una soluzione poco costosa, ampiamente sperimentata e applicabile su larga scala che utilizza le bioenergie e la cattura e stoccaggio del carbonio. Essi propongono un approccio sistemico all'agricoltura tramite cui ottengono alimenti, mangimi ed energia/biomateriali dallo stesso ettaro di terra già coltivato o messo a riposo. Questo risultato è ottenuto grazie a una combinazione di tecniche agricole nuove o già esistenti che con la fotosintesi accumulano più carbonio nelle colture, sequestrano la CO₂ dall'atmosfera e la stoccano nel suolo, rendendolo più ricco in sostanza organica e quindi più fertile (Bolzonella et al., 2018).

Alla luce di altre sfide importantissime che è necessario affrontare come l'aumento della popolazione mondiale e la diminuzione delle terre coltivabili pro capite, la comunità scientifica sembra d'accordo sul fatto che non è possibile accettare l'idea di sequestrare il carbonio riducendo la disponibilità di alimenti e mangimi sui mercati. Nello specifico, si ritiene che impiantare monoculture solo per alimentare digestori anaerobici o qualsiasi altro sistema bioenergetico, oppure sfruttare colture perenni non alimentari su terreni già coltivati, siano "soluzioni ponte" applicabili solo in tempi come quello attuale, in cui i prezzi delle materie prime agricole sono bassi e la domanda aggiuntiva derivante dai biocarburanti (specialmente etanolo da mais) mantiene il prezzo a un livello ancora in

grado di sostenere la produzione piuttosto che mettere a riposo il terreno, impedendo così il fallimento degli agricoltori (FAO, 2009).

Il sequestro di carbonio nel suolo è un processo fondamentale e sarebbe necessario anche in assenza del cambiamento climatico, visto che il carbonio contenuto nel suolo svolge un ruolo determinante nel nostro ecosistema. Anche con le pratiche agricole migliori (“no tillage”), irrigazione a goccia, distribuzione di fertilizzanti, colture di copertura e apporto di residui, colture azotofissatrici in rotazione, qualsiasi suolo è soggetto a ossidazione della sostanza organica (SO) e raggiunge un punto di equilibrio (effetto *plateau*) quando non riesce più a stoccare carbonio. La SO aumenta purché la fertilizzazione organica prosegua fino a raggiungere un nuovo equilibrio. Fino a quel momento, i terreni coltivabili sono in grado di stoccare la quantità di carbonio necessaria a evitare bruschi cambiamenti climatici. Le critiche e i dubbi riguardanti il sequestro di carbonio nel suolo quale strumento per combattere il cambiamento climatico si basano su tre aspetti principali (Powlson et al., 2011):

- il carbonio nel suolo non è stabile, può essere soggetto a ossidazione, lisciviazione ed erosione;
- il carbonio nel suolo raggiunge una fase in cui l’ulteriore miglioramento della NPP inizia a calare fino a diventare trascurabile;
- è necessario un continuo apporto di sostanza organica esterna per mantenere o aumentare il carbonio stoccato nel suolo.

Ciò che serve per sviluppare tecniche efficaci di sequestro di carbonio è la produzione di carbonio addizionale, cioè carbonio che non venga oggi prodotto come alimenti, mangimi o altre applicazioni.

Il Biogas è una risorsa strategica per l’Europa, dato che può essere prodotto localmente e con una grande varietà di biomasse. Inoltre, quando prodotto in maniera sostenibile, ha un’impronta carbonica minore rispetto alla maggior parte delle altre bioenergie e contemporaneamente il suo utilizzo comporta esternalità ambientali positive come l’incremento del contenuto di carbonio (digestato) e di fertilità dei suoli, e il conseguente minore impiego dei fertilizzanti chimici. Negli ultimi anni il Consorzio Italiano Biogas (CIB) ha sviluppato una piattaforma tecnologica che ha lo scopo di implementare un’intensificazione ecologica dell’agricoltura chiamata Biogasdoneright®, il cui modello è basato su una combinazione di doppi raccolti, biomasse di integrazione, residui agroindustriali ed effluenti zootecnici per la produzione di biogas. Quello prodotto tramite il Biogasdoneright® ha anche un’impronta carbonica migliore rispetto al biogas convenzionale da insilato di mais in monocoltura e le tecniche di questo nuovo sistema possono essere applicate nella gran parte delle regioni agroecologiche dell’Unione Europea. È importante notare che il concetto di

doppi raccolti è già presente nella politica agricola comunitaria 1305/2013 (<http://eurlex.europa.eu>), la differenza è che nel Biogasdoneright® la biomassa addizionale viene sfruttata per ottenere energia invece che essere interrata come sovescio nel terreno (Dale et al., 2016).

Il CIB ha delegato Ecofys nella valutazione delle affermazioni su cui si basa il Biogasdoneright®, riguardanti la produzione di biomassa addizionale (carbonio addizionale) che può essere usata per produrre un biocarburante avanzato insieme agli scarti agroindustriali, agli effluenti zootecnici e alla frazione umida da raccolta differenziata dei rifiuti urbani. Pertanto, negli ultimi mesi Ecofys ha visitato diverse aziende agricole in Italia e poi ha approfondito il caso di un'azienda agricola in Pianura Padana, usandola come modello per quantificare in dettaglio gli effetti del Biogasdoneright®. I risultati della valutazione sono incoraggianti: il modello del Biogasdoneright® permette agli imprenditori agricoli di produrre un raccolto per il mercato e un raccolto per il digestore nello stesso anno. Ciò significa che una quantità significativa di biomassa è prodotta con un basso rischio di cambio di destinazione dei suoli (ILUC), dato che il carbonio per il digestore è addizionale rispetto a quello che si produce con una monocoltura coltivata in modo convenzionale. Inoltre, la valutazione mostra che nell'azienda agricola che pratica il Biogasdoneright® aumenta anche la biodiversità del suo ecosistema, migliora la qualità del suolo così come aumenta il suo contenuto di nutrienti. Allo stesso tempo, mantenere il suolo coperto tutto l'anno previene i fenomeni erosivi, il dilavamento dei nutrienti e dei nitrati, con un impatto complessivamente positivo sull'ambiente.

L'adozione del Biogasdoneright® porta anche vantaggi economici all'impresa agricola poiché riduce i costi di produzione dei prodotti agricoli. Questo significa che le aziende che applicano il Biogasdoneright® saranno in grado di avere migliori performance economiche, di essere più competitive e di avere migliori possibilità di superare le crisi cicliche dei prezzi del comparto agricolo.

1.4.2. Il sistema a “Doppia Coltura” a scopo energetico

L'utilizzo di doppie colture può essere un modello promettente per produrre biomasse aggiuntive senza ricadute negative sull'utilizzo dei suoli o per le produzioni alimentari. Lo studio effettuato da Ecofys per il CIB, mostra come le produzioni agricole possono essere incrementate in modo netto e sostenibile grazie all'introduzione delle colture di integrazione.

In Europa generalmente i terreni agricoli sono lasciati “a riposo” durante i mesi invernali. In una rotazione con doppia coltura, invece, in inverno una coltura denominata “di copertura” viene aggiunta a quella convenzionale del periodo estivo. Ecofys, in collaborazione con il Centro di analisi dei sistemi colturali dell'Università di Wageningen (Paesi Bassi) e con il Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA) di Reggio Emilia, ha valutato l'impatto ambientale di questa pratica, attualmente

già applicata da molti agricoltori italiani. Ecofys ha incentrato la sua indagine su un caso studio in Nord Italia, dove viene coltivato mais da insilare come coltura estiva dedicata al foraggio, e triticale, sempre da insilare come coltura di copertura invernale da destinare al digestore. Il digestato, il prodotto finale della digestione anaerobica ricco di nutrienti, ritorna al suolo. Gli esperti hanno analizzato quanta biomassa addizionale viene così prodotta e quali impatti essa abbia sui nutrienti presenti nel terreno, sull'erosione del suolo, sulla disponibilità di acqua, sulla biodiversità dell'ecosistema dell'azienda agricola ed anche sul bilancio di carbonio. Il caso di studio da loro analizzato usa una metodologia pubblicata sul sito web della Direzione Generale Energia della Commissione Europea.

Nonostante, si consiglino nuove ricerche a ulteriore conferma, i risultati identificano questo sistema agricolo come promettente sotto diversi aspetti: le produzioni di colture foraggere e colture addizionali per il digestore sono incrementate, questo porta ad una crescita di redditività per l'azienda agricola senza la necessità di ridurre le produzioni alimentari esistenti e senza generare impatti negativi a livello ambientale. Infine, il biogas addizionale può essere trasformato in biometano e quindi utilizzato per i trasporti e il riscaldamento, oltre che per produrre energia elettrica (Peters et al., 2016).

Il motivo principale della controversia che circonda la bioenergia è il conflitto percepito con la produzione alimentare. Un altro motivo è che le attuali pratiche agricole spesso contribuiscono a problemi ambientali, tra cui la deforestazione, la perdita di biodiversità e la contaminazione delle acque superficiali e sotterranee. Ad esempio, l'agricoltura stessa genera circa il 12% (Smith et al., 2007) delle emissioni globali di gas serra. E' ragionevole l'idea che la bioenergia non debba interferire con la produzione alimentare anzi deve potenziarne il miglioramento e non deve aggravare i problemi ambientali ma garantire benefici (Dale et al., 2016).

Inoltre, secondo la teoria del cambiamento indiretto di uso del suolo (ILUC), la bioenergia è responsabile dei gas a effetto serra (GHG) che vengono emessi quando vengono prodotte ulteriori materie prime agricole per sostituire le materie prime utilizzate per la produzione di bioenergia. Chi critica le bioenergie ritiene che l'utilizzo di *feedstocks* agricoli esistenti per la produzione di bioenergia non generi carbonio addizionale necessario per compensare i crescenti livelli di CO₂ atmosferica. L'approccio portato avanti da Biogasdoneright® evita la competizione tra cibo ed energia, in quanto gli agricoltori possono produrre entrambi poiché di fatto questa tecnologia è una bioenergia con sistema di cattura e stoccaggio di carbonio (BECCS). La biomassa necessaria per soddisfare la produzione di bioenergia è coltivata sfruttando i suoli stagionalmente scoperti (SN) delle stesse aziende agricole. La tecnica si chiama "doppia coltura", conosciuta in Europa anche come Coltivazione Sequenziale. L'innovazione di questo sistema è alimentare il digestore con la doppia

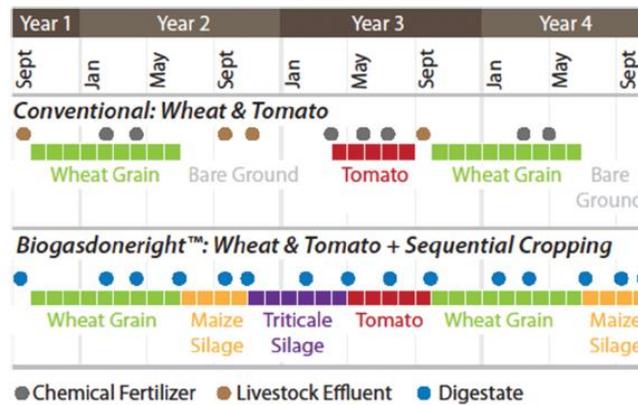


Figura 6- Rappresentazione del ciclo colture di 38 mesi con coltivazione convenzionale e con sistema Biogasdoneright® (Valli et al., 2017)

1.5. Ruolo dell'economia circolare nel settore agricolo

Nel 2009 (Consiglio Europeo, 2009) l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di ridurre le proprie emissioni di gas serra dell'80-95% entro il 2050 rispetto ai livelli del 1990. Tre anni dopo, la "Roadmap 2050" (COM, 2011) della Commissione ha proposto una tabella di marcia per le prospettive d'azione fino al 2050 che consentirebbe all'Unione Europea di conseguire l'obiettivo di riduzione concordato preservando e supportando la competitività dell'economia. Lo scenario al 2050 sarà possibile solo se nel periodo 2020-2050 si verificheranno e si attueranno una serie di cambiamenti nei mercati energetici europei. Pertanto, nello scenario 2050 viene aggiunta una fotografia intermedia al 2030 che serve a legare la visione di lungo periodo con gli obiettivi di riduzione della CO₂ in un orizzonte temporale più vicino.

Il 25 settembre 2015, le Nazioni unite hanno approvato l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile indicando 17 Obiettivi (Sustainable Development Goals – SDGs nell'acronimo inglese), articolati in 169 Target da raggiungere entro tale anno tra i quali compare la promozione di un'agricoltura sostenibile.

Nello specifico, il settore agricolo dovrà affrontare congiuntamente due importanti questioni: la sicurezza dell'approvvigionamento alimentare mondiale e la lotta contro il cambiamento climatico. In base alle proiezioni nel 2050 il settore agricolo rappresenterà un terzo delle emissioni totali dell'Unione Europea, cioè una quota di tre volte superiore a quella attuale, e il suo impatto sulla politica climatica è perciò destinato ad aumentare (Ardito et al., 2012).

Questo nuovo modello di crescita mette in luce il ruolo chiave dell'agricoltura nell'attenuazione dei cambiamenti climatici e nell'adattamento ad essi. Inoltre, alla Conferenza di Marrakech (2016) delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP22), è emersa la necessità di "mettere l'agricoltura al

centro degli interventi sul clima”, è essa stessa una parte fondamentale della soluzione in termini di mitigazione degli impatti, di esternalità positive per aumentare la resistenza e combattere l’impatto del cambiamento climatico (Cristiani, 2018).

Il settore agricolo è oggi responsabile del 12% circa delle emissioni di gas serra (McKinsey et al., 2010), il che significa che qualsiasi ulteriore incremento dell’attività fotosintetica sul pianeta (aumento della produzione primaria netta) deve essere dissociato dalle pratiche dell’agricoltura tradizionale, soprattutto riducendo le emissioni di gas serra (CO₂, CH₄, N₂O) derivanti dalla gestione delle coltivazioni e degli allevamenti, ma senza ridurre i terreni coltivabili destinati a produrre alimenti e mangimi o il carbonio (per es. mediante deforestazione per creare nuovi terreni agricoli). Le bioenergie e i biomateriali rappresentano un’opportunità per diversificare le produzioni agricole e attrarre investimenti nel settore primario, attualmente insufficienti per affrontare le sfide che si presenteranno, tra cui sicurezza alimentare e cambiamento climatico, a causa della bassa redditività finanziaria solitamente offerta dal settore primario agli investitori. In altre parole, queste tecnologie devono anche migliorare i flussi di cassa delle aziende agricole in modo tale che il settore agricolo possa gradualmente sganciarsi da misure fiscali (*carbon tax*) o incentivi a lungo termine (Bolzonella et al., 2018).

Nell’ottica di una maggiore sostenibilità, molti studi evidenziano il ruolo della bioeconomia come strategia economica fondamentale da abbinare al modello di economia circolare (Hamelin et al., 2019). Secondo Sbaffoni et al. (2019) una delle dieci proposte per l’economia circolare in Italia è proprio “promuovere la bioeconomia rigenerativa” essendo parte importante di un’economia circolare che assicura prioritariamente la sicurezza alimentare e l’agricoltura di qualità e che alimenta anche le filiere innovative, integrate nei territori, dei biomateriali. È urgente la tutela e la valorizzazione del capitale naturale e della fertilità dei suoli nonché la restituzione di sostanza organica ai suoli e la produzione di energie rinnovabili, tramite coltivazioni in aree marginali, con prelievi sostenibili di biomassa forestale e con l’utilizzo di scarti e rifiuti organici.

CAPITOLO 2 – SCOPO

Il presente lavoro di tesi mira ad elaborare una metodologia in grado di sfruttare immagini satellitari Sentinel-2 per identificare e mappare i SN in Regione Emilia-Romagna (RER). Sebbene questo studio si basi su immagini del 2017 pre-processate da ARPAE, il fine ultimo è quello di dimostrare l'efficacia della metodologia proposta e di ipotizzarne un'applicazione in tempo reale alle immagini Sentinel-2. Infatti, fornire una mappatura aggiornata dei SN servirebbe per indirizzarne una loro ottimizzazione agronomica in grado di generare benefici per l'agricoltore in termini di produzione di cibo e/o di bioenergie, con un occhio di riguardo per la sostenibilità ambientale. Un obiettivo aggiuntivo, che ci si è posti in questa tesi è anche quello di individuare i periodi più promettenti da sfruttare e su di essi proporre scenari di valorizzazione agronomica con colture dedicate a produzione di energia.

Consci che questo studio opera su immagini del 2017, perciò i risultati emersi non si possono utilizzare per indirizzare scelte gestionali, qui si vuole rispondere ai seguenti quesiti:

- Rispetto alla Superficie Agricola Utilizzata (SAU) regionale, quanti ettari di suolo identificabili come SN nel 2017?
- In quale periodo dell'anno o/e per quanto tempo una specifica particella rimane nuda?
- In quali province si è avuta la maggiore presenza di SN nel 2017?
- Quanto sono estesi i singoli appezzamenti identificati come SN?
- Sulla base degli scenari di ottimizzazione proposti, quanto appare redditizio il loro sfruttamento in termini ambientali?

I risultati di questo studio appaiono rilevanti perché permettono di:

- indirizzare l'ottimizzazione agricola sul modello del Biogasdoneright®;
- ridurre problematiche relative al fenomeno di lisciviazione/dilavamento di nutrienti;
- indagare possibili scenari di valorizzazione conoscendo le superfici disponibili;
- dimostrare che la metodologia adoperata, se resa automatizzata e aggiornata, possa fornire informazioni rilevanti per settori diversi della bioeconomia;
- indirizzare le politiche agricole con ricadute positive su diversi stakeholders della filiera agronergetica.

CAPITOLO 3 – CONTESTO E AREA DI STUDIO

3.1. Inquadramento geografico e territoriale

L'area di studio (Figura 7) si colloca all'interno della regione Emilia-Romagna situata a Nord-Est dell'Italia.

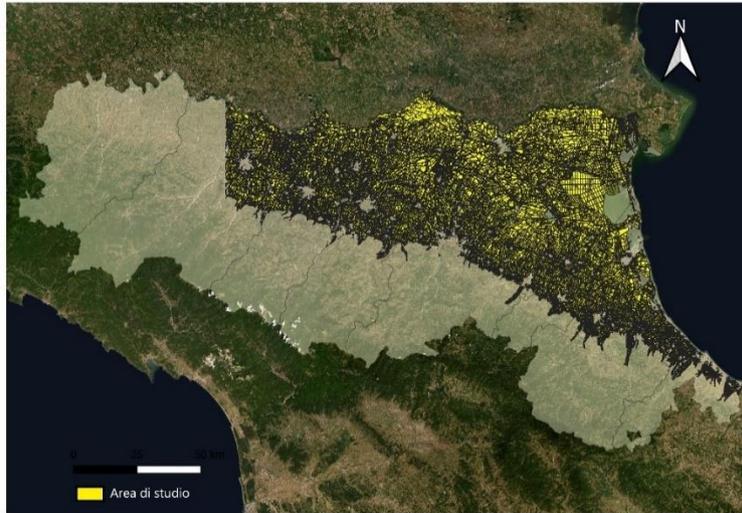


Figura 7 - Area di Studio

La Regione confina a nord con Lombardia e Veneto, a ovest ancora con la Lombardia e con il Piemonte, a sud con Liguria, Toscana, Marche e la Repubblica di San Marino. A est è bagnata dal Mare Adriatico.

L'Emilia-Romagna è composta dall'unione di due regioni storiche e geografiche:

- l'Emilia, che comprende le province di Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena, Ferrara e la maggior parte della Città metropolitana di Bologna;
- la Romagna, che comprende le province di Ravenna, Forlì-Cesena, Rimini e i comuni della Città metropolitana di Bologna situati a est del torrente Sillaro.

Per quanto concerne il presente lavoro di tesi l'area di studio coinvolge otto delle nove province della Regione che sono:

- Parma (solo parzialmente inclusa);
- Modena;
- Reggio Emilia;
- Bologna;

- Ferrara;
- Ravenna;
- Forlì-Cesena;
- Rimini;

Delle province sopra elencate, lo studio è limitato alla porzione di territorio pianeggiante. L'area di studio è di fatti rappresentata dal *layer* "IColt" prodotto e fornito da Arpa. Questo prodotto considera solo la porzione di territorio agricolo pianeggiante della Regione Emilia-Romagna.

Nello specifico nel presente lavoro di tesi vengono distinte due aree di studio differenti a seconda della disponibilità dei dati satellitari di *input*, quali:

- la porzione denominata "**RER**" comprendente quasi interamente la regione Emilia-Romagna (EMR) ad esclusione della provincia di Piacenza e parzialmente quella di Parma;
- la porzione denominata "**costa**" la quale comprende la zona costiera con le province di Rimini, Forlì-Cesena e include parzialmente Ravenna e Ferrara.

Quasi la metà del territorio regionale presenta suoli pianeggianti, di origine alluvionale, estremamente fertili, che rappresentano una risorsa di innegabile valore per il settore agricolo. Si stima che circa il 25% dei suoli agricoli di collina e montagna siano interessati da situazioni ad elevato rischio di erosione, principalmente legato a fenomeni di erosione idrica. L'impermeabilizzazione del suolo (dovuta alla presenza di vaste superfici di servizio asfaltate legate alla dispersione insediativa residenziale) risulta essere, attualmente, la causa più rilevante di perdita del ruolo multifunzionale svolto dalla risorsa suolo (Munafò, 2019).

3.2. Panoramica del settore agricolo in regione Emilia-Romagna

L'agricoltura italiana, stando ai dati *Eurostat* relativi al 2013, ricopre una superficie di circa 16 milioni di ettari e può contare su una superficie agricola utilizzata (SAU) di circa 12 milioni di ettari, in tendenziale contrazione. Questa, nel 2013, corrispondeva a circa il 40% della superficie nazionale complessiva. A livello nazionale il settore primario, nel secondo trimestre 2018, evidenziava una ripresa del valore aggiunto agricolo su base annua di circa lo 0,3% (Betti, 2018).

Nel contesto regionale, l'Emilia-Romagna si caratterizza per un'agricoltura ricca e avanzata, che ha nella varietà e nella qualità delle sue produzioni i suoi punti di forza. Infatti, la Regione detiene il primo posto in Italia per la quantità e il valore della produzione vendibile, grazie alla notevole meccanizzazione e alla produttività delle colture. Il valore della produzione agricola regionale è distribuito equamente tra settore vegetale e animale (Servizio Agricoltura della Regione Emilia-

Romagna). Spiccano, per quantità prodotta, frumento, ortaggi, frutti erbacei (fragole, kiwi, frutti di bosco), pomodori da industria, mais, frutta fresca e vite. Il modello di coltivazione in Emilia-Romagna è dominato dalla produzione di seminativi (circa il 75% dei terreni agricoli), mentre gli alberi da frutto (frutteti, vigneti e oliveti) e le praterie (compresi i pascoli permanenti) costituiscono rispettivamente circa il 15% e il 10% dell'area agricola utilizzata. La produzione di frutta è concentrata nella parte orientale della regione comprendente le province di Ferrara, Ravenna e Forlì-Cesena (Marconi et al., 2015). Insieme al distretto di produzione di bestiame da latte, situato nella parte ovest della regione (province di Parma e Reggio Emilia), il comparto ortofrutticolo è caratterizzato dalla presenza di qualificate associazioni di produttori che gestiscono numerose agenzie in tutta la regione (Geie Agrosynergie, 2008). In tutta la regione l'agricoltura è basata su numerose cooperative che raggruppano piccole e medie aziende, il cui numero è in costante diminuzione a vantaggio della dimensione media della superficie coltivata, che aumenta. Al contrario, le aziende con una dimensione superiore a 30 ha sono aumentate da un terzo del totale (1990) a quasi la metà negli anni duemila.

Nonostante le Regione si basi principalmente sulla produzione agricola, le pressioni esercitate sui suoli dipendono, in modo significativo, dagli usi in essere e dagli indirizzi di pianificazione che ne orientano le modalità di gestione. I dati relativi alle dinamiche d'uso dei suoli della RER segnalano una lenta diminuzione progressiva dei territori agricoli e un contemporaneo aumento costante dei territori antropizzati. Tale fenomeno costituisce la forma di degradazione del suolo più evidente e facilmente percepibile. Considerata l'estensione dei territori agricoli, che costituiscono circa il 60% della superficie regionale, va segnalato che la qualità dei suoli regionali è tutt'oggi fortemente condizionata dalla gestione agricola (Arpae, 2019).

Il problema del ricambio generazionale per quanto riguarda il settore primario in EMR è quanto più attuale. Secondo *Eurostat*, rispetto alla media europea e nazionale, la regione presenta valori estremamente bassi, sia per quanto riguarda la quota di aziende condotte da giovani sul totale delle aziende agricole, sia considerando come indicatore la quota di agricoltori giovani ogni 100 conduttori oltre i 65 anni.

L'Unione Europea sostiene la produzione agricola dei Paesi della Comunità attraverso l'erogazione, ai produttori, di aiuti, contributi e premi. Tali erogazioni, finanziate dal Fondo Europeo Agricolo di Garanzia (FEAGA) e dal Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR), vengono gestite dagli Stati Membri attraverso gli Organismi Pagatori. Con il decreto legislativo n.165/99 è stata istituita l'Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura (Agea) per lo svolgimento delle funzioni di Organismo di Coordinamento e di Organismo pagatore. Nell'espletamento della sua missione istituzionale, Agea si avvale anche di altri organismi a cui sono stati delegati particolari compiti. Tra

questi figurano i Centri di Assistenza Agricola (CAA), nello specifico in Italia, nella RER è stato istituito Agrea. Essa è l'organismo pagatore regionale che eroga gli aiuti, i premi e i contributi all'insieme degli operatori del settore agricolo previsti dalle disposizioni comunitarie, nazionali e regionali. L'Agenzia è stata istituita dalla RER nel 2001 ed è stata riconosciuta dal Ministero delle Politiche agricole, alimentari, forestali e del turismo a più riprese dal 2002 al 2008 per l'acquisizione graduale delle competenze sui settori di intervento, per operare con le funzioni di Organismo pagatore per gli aiuti finanziari a carico del FEAGA e del FEASR. L'Agenzia è dotata di autonomia amministrativa, organizzativa e contabile; le risorse finanziarie, necessarie per il funzionamento, provengono dalla Regione che le eroga annualmente. Agrea può ricevere contributi proventi da altri soggetti, purché rientranti nella sfera pubblica (<https://www.agea.gov.it>).

3.3. Ruolo di ARPAE in regione Emilia-Romagna

L'agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna (ARPAE) è un ente della pubblica amministrazione regionale, costituito e operante nel territorio di competenza. ARPAE insieme alle altre agenzie regionali per la protezione dell'ambiente (ARPA) e all'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) istituiscono il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) definito dalla Legge 132/2016. Le principali funzioni attribuite alle ARPA riguardano: il controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento; il monitoraggio delle diverse componenti ambientali; il controllo e la vigilanza del rispetto della normativa vigente e delle prescrizioni dei provvedimenti emanati dalle Autorità competenti in materie ambientali; il supporto tecnico-scientifico, strumentale ed analitico; lo sviluppo di un sistema informativo ambientale di supporto (<https://www.arpae.it>).

Il Laboratorio di telerilevamento dell'Area Agrometeorologia territorio e clima, operante come organo tecnico all'interno del Servizio idro-meteo-climatico di ARPA Emilia-Romagna (Arpa Simc), svolge attività di monitoraggio ambientale tramite analisi di immagini satellitari ed aeree. Obiettivo prioritario è la diffusione a livello regionale delle tecniche semiautomatiche e automatiche di analisi dei dati tele-rilevati per il monitoraggio costante del territorio. Attualmente l'archivio di immagini multispettrali di Arpa si presenta come il più completo a livello regionale, con immagini a risoluzione geometrica variabile da dimensioni submetriche al chilometro (<https://www.arpae.it>).

Uno dei servizi portati avanti dal Laboratorio di telerilevamento è la classificazione delle colture in atto tramite telerilevamento e previsione stagionale dei fabbisogni irrigui (IColt). Esso è uno strumento di individuazione e quantificazione spaziale delle colture e valutazione dei consumi idrici attesi tramite il sistema modellistico per la simulazione del bilancio idrico dei suoli di pianura

CRITERIA (Controllo delle Risorse Idriche Territoriali per la Riduzione dell’Impatto Ambientale). Il *software* CRITERIA è strutturato per le applicazioni sia puntuali che territoriali, utilizza dati meteorologici, pedologici e agronomici georeferenziati per determinare il contenuto di umidità del terreno, considerando tutti gli apporti idrici e le perdite derivanti dai processi che hanno luogo nel profilo di suolo. Obiettivo del progetto è quindi la valutazione e definizione di un protocollo operativo applicabile a livello regionale in grado di monitorare l’uso reale del suolo agricolo su scala annuale sia a fini statistici georiferiti che di gestione dell’acqua irrigua. Per questo ultimo aspetto il risultato del servizio IColt viene fornito entro fine giugno in modo da poter monitorare l’evoluzione dei consumi idrici durante la stagione estiva a maggior richiesta di acqua (<https://www.arpae.it>).

L’area di studio copre la pianura emiliano-romagnola per un totale di circa 1180000 ha di cui 900000 ha uso del suolo Emilia-Romagna. A questa superficie vanno poi tolte le tare, come strade, ferrovie e idrografia. La classificazione delle colture agricole in macro-gruppi avviene tramite l’analisi di serie multitemporali di immagini ottiche da satellite pianificate ed acquisite *ad hoc* durante il periodo tra novembre e giugno. Le finestre di acquisizione sono state definite in base alle fasi fenologiche individuate nel giardino fenologico gestito dal DISTA (Università di Bologna). Nella Figura 8 si mostra una rappresentazione dell’evoluzione delle colture durante i vari mesi dell’anno.

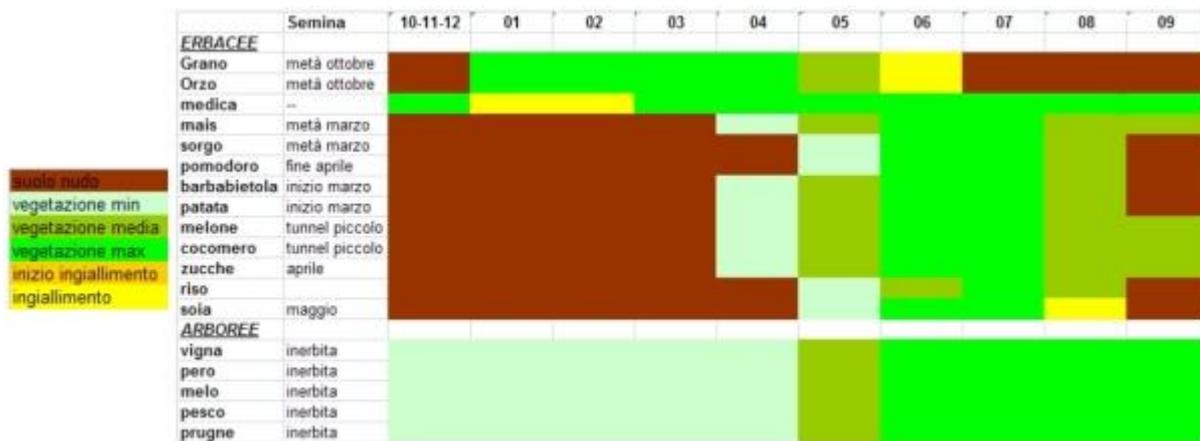


Figura 8- Evoluzione temporale delle colture (<https://www.arpae.it>)

3.4. Inquadramento meteorologico (Emilia-Romagna anno 2017)

Dato che la presenza di nubi rende inutilizzabili le immagini ottiche satellitari, di seguito viene sintetizzato l’andamento meteorologico per l’anno 2017. Sulla base di quanto riporta il “Rapporto Idro Meteo Clima Emilia-Romagna” redatto da Arpae, il fenomeno più rilevante dell’anno 2017 è risultato la siccità prolungata iniziata ad ottobre 2016 e terminata solo a settembre 2017, aspetto favorevole per la disponibilità delle immagini di questo studio. In particolare, il 22 giugno 2017 il Consiglio dei ministri ha decretato lo stato di emergenza per la siccità nei territori di Parma e Piacenza e il 15

settembre successivo il governo ha esteso la dichiarazione dello stato di emergenza all'intero territorio dell'Emilia-Romagna. Sono stati numerosi gli eventi rilevanti tra i quali si evidenziano le intense gelate tardive, verificatesi nel mese di aprile in vaste aree della pianura regionale e nelle valli collinari, i temporali con forti venti, grandine e allagamenti durante l'estate e il caldo record nella prima settimana di agosto, con temperature massime elevatissime, anche superiori a 40°C e un massimo assoluto di 42,5°C a Brisighella, sulle colline faentine. Relativamente alla climatologia, nell'anno 2017 la regione, nel suo complesso, è stata molto più calda del normale (ad eccezione del mese di settembre, con temperature più fresche delle attese). Nello specifico le temperature massime sono risultate di 2,8°C sopra il riferimento climatico 1961-1990. L'anno 2017 è stato anche molto più asciutto del normale: sono mancati almeno 220 mm di precipitazioni ossia un 24% in meno rispetto alla media climatologica 1961-1990. I soli mesi di febbraio, settembre, novembre e dicembre 2017 hanno invece esibito anomalie pluviometriche positive (Allodi et al., 2018).

Si è trattato di un'annata sicuramente critica dal punto di vista agrometeorologico; se si escludono i cereali autunno-vernini, che grazie al loro periodo di sviluppo hanno avuto rese elevate o elevatissime e buona qualità, quasi tutte le altre colture agrarie a ciclo primaverile-estive hanno subito gli effetti negativi della prolungata siccità e delle ondate di caldo e/o richiesto apporti irrigui decisamente superiori alle medie degli ultimi anni (Fanfani & Pieri, 2017).

3.5. Irraggiamento solare

Lo sviluppo naturale delle piante è regolato dalla variazione del periodo di luce durante il giorno e durante le stagioni, oltre che dalle condizioni climatiche del luogo. La disponibilità di energia termica è un aspetto fondamentale per il settore agricolo, in quanto, lo sviluppo delle colture viene condizionato dalla luce, i cui effetti dipendono sia dall'intensità della radiazione elettromagnetica (livello di illuminamento) che dall'efficacia della stessa nei diversi campi di radiazione (composizione della luce) entro lo spettro elettromagnetico (<http://www.inbiosystem.com>).

L'energia irradiata dal sole scaturisce dalla fusione nucleare dell'idrogeno in elio. Dalla trasformazione deriva la produzione di calore dispersa nello spazio per irraggiamento e decresce geometricamente con la distanza. Nell'atmosfera terrestre la potenza dei raggi solari giunge a circa 1367 W/m² (costante solare). Questo dato è da intendersi come dato medio nel corso dell'anno. Considerando l'intera superficie sferica del pianeta, l'energia luminosa arriva sulla terra con una potenza complessiva di 174 milioni di GW. L'energia a livello del suolo è minore rispetto alla costante solare a causa dei fenomeni atmosferici di assorbimento e diffusione. Dalla superficie superiore dell'atmosfera al suolo la potenza dell'energia solare in arrivo sul pianeta si riduce a 78

milioni di GW. Il valore di massima radiazione “orizzontale”, ossia misurata sul piano, al suolo viene solitamente assunto pari a 1000 W/m^2 (<https://www.ecoage.it>). La radiazione elettromagnetica di una superficie può essere sotto forma di riflessione (luce riflessa) o di emissione (radiazione emessa dalla superficie stessa). La luce del sole riflessa è ragionevolmente misurabile solamente durante le ore del giorno, mentre l’emissione si può misurare in qualsiasi momento. La temperatura della superficie è un fattore chiave per l’emissione. Il sole ha una temperatura superficiale di 6000 gradi K ed un’emissione massima nell’intervallo di luce del visibile. La superficie della Terra invece, con una temperatura di circa 290 gradi K, ha un’emissione massima di circa $14 \mu\text{m}$, definita anche intervallo dell’infrarosso termico (Figura 9). Esiste una correlazione diretta tra la temperatura della superficie e il grado di emissione ad una data lunghezza d’onda. Superfici con differenti temperature hanno la massima emissione a lunghezze d’onda differenti (ESA, 2015).

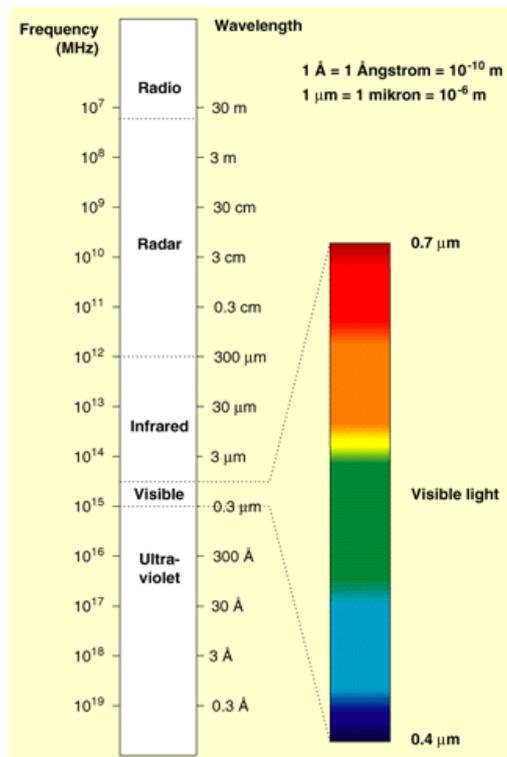


Figura 9 - Spettro Elettromagnetico (<https://www.esa.int>)

La radiazione solare globale rappresenta la somma della radiazione solare nel visibile e nell’infrarosso vicino. Viene misurata per mezzo di un piranometro o ricostruita a partire da dati giornalieri di temperatura massima e minima. In Figura 10 è riportata la radiazione solare per l’anno 2017.

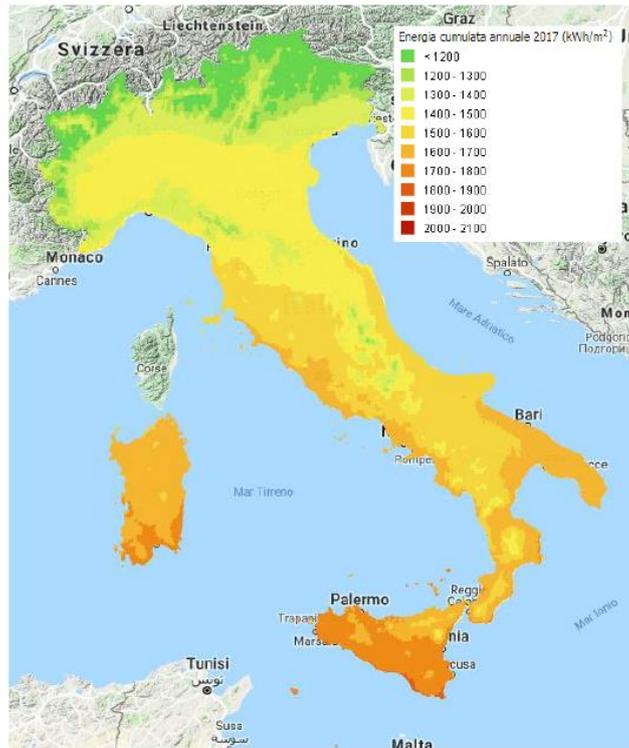


Figura 10- Radiazione solare cumulata annua (2017) (a cura di RSE su dati EUMETSAT <http://sunrise.rse-web.it/>)

La radiazione solare è fonte di energia per gli organismi vegetali dalla quale dipendono le attività di fotosintesi e respirazione delle piante. Esiste una relazione lineare tra la quantità di radiazione solare che le colture intercettano e la quantità di biomassa vegetale che producono. La porzione di spettro elettromagnetico utilizzato per promuovere i processi di sviluppo delle piante è compresa tra i 400 e i 700 nm ed è definito dalla curva di sensibilità alla fotosintesi (Figura 11). Questo range viene definito radiazione fotosintetica attiva o PAR (Photosynthetically Active Radiation) e pari a circa il 41% della radiazione totale (Romani et al.,2017).

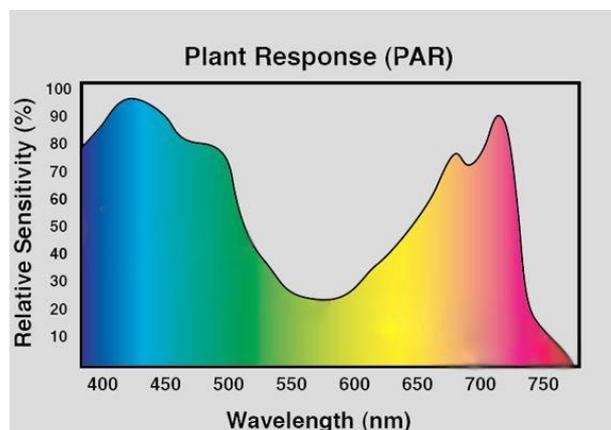


Figura 11 – PAR (Romani et al.,2017)

Nei mesi estivi e nelle ore centrali della giornata l'inclinazione dei raggi solari è minore, ciò significa che la stessa quantità di energia si distribuisce su una superficie minore generando una densità di flusso radiante superiore. In campo agronomico è utile ottimizzare l'utilizzo di tale radiazione da

parte delle colture, infatti la conoscenza dell'andamento di questa variabile nel tempo rappresenta un considerevole supporto tecnico per le pratiche decisionali e di campo (<http://sunrise.rse-web.it>).

Un altro concetto da tenere in considerazione è quello di fotoperiodo. In botanica, il fotoperiodismo è la risposta delle piante alla durata del periodo diurno di luce (fotoperiodo) che ne consente l'adattamento ai cambiamenti stagionali e alle variazioni latitudinali. Come tale, è uno degli aspetti più significativi e complessi dell'interazione tra le piante e il loro ambiente ed è un fattore importante che ne controlla la crescita e lo sviluppo. Infatti, se queste non sono sottoposte ad una precisa serie di ore di luce e di buio, non fioriscono; si possono distinguere a tal fine (Thomas & Vince-prue, 1996):

- piante a giorno lungo o longidiurne, che fioriscono quando il periodo di illuminazione supera una certa soglia minima giornaliera solitamente 12-15 ore (avena, erba medica, fava, frumento, lino, orzo, segale, patata, pisello, pomodoro);
- piante a giorno breve o brevidiurne, che fioriscono quando il periodo di illuminazione non supera le 8-11 ore di luce giornaliera (arachide, canapa, cotone, mais, riso, tabacco);
- piante indifferenti o neutrodiurne, che fioriscono indipendentemente dalla durata del periodo di illuminazione (girasole, pisello).

CAPITOLO 4 – MATERIALI E METODI

4.1.Pre-trattamento tramite Satellite Image Automatic Mapper™ (SIAM™)

Le immagini di partenza fornite da Arpa sono state automaticamente pre-processate tramite il *software* SIAM™ dall'Agenzia stessa. Il *software* SIAM™ è un sistema integrato di sistemi, sviluppato per aderire al programma di ricerca internazionale *Global Earth Observation System of Systems* (GEOSS). Esso è costituito da un sistema esperto (albero decisionale statico, ovvero non adattativo ai dati in ingresso) basato su regole spettrali e fornisce il primo esempio di sistema di osservazione della Terra (EO) multi-sensore automatico e operativo disponibile in applicazioni sia scientifiche che commerciali (Baraldi, 2018).

Il SIAM™ è un sistema esperto per la discretizzazione di immagini multispettrali in uno spazio di colori. Esso è un interspazio ipercubico che partiziona lo spazio dei colori, il quale, nel caso di Sentinel-2 è a 6 dimensioni. Un iperpoliedro in uno spazio dati la cui dimensionalità è superiore a tre è impossibile da visualizzare a occhio umano ed è complesso anche da immaginare. Per semplificare, si pensi a una serie di iperpoliedri che partizionano lo spazio, dentro i quali cadono i pixel dell'immagine originaria, a cui viene poi attribuita una classe di colore. SIAM™ conferisce dei nomi di colore - “color name” - a dei valori di colore.

Come *input*, SIAM™ richiede un'immagine multispettrale calibrata radiometricamente in valori di riflettanza della parte superiore dell'atmosfera oppure valori di riflettanza della superficie (SURF). Ciò significa che SIAM™ è in grado di considerare la correzione atmosferica intrinsecamente sub-ottima (mal-condizionata) di un'immagine multispettrale in ingresso come una fase di pre-elaborazione opzionale anziché obbligatoria (Baraldi, 2018).

Come risultato, SIAM™ genera una mappa di classificazione preliminare a diversi livelli (fine/intermedio/grossolano) di granularità semantica, dove è possibile sfruttare le relazioni simboliche genitore-figlio per migliorare il processo di interpretazione delle immagini tele-rilevate. Tale mappa di classificazione preliminare consiste in un insieme discreto di semi-concetti a base spettrale reciprocamente esclusivi e totalmente esaustivi, chiamati anche categorie spettrali, in cui ciascuna categoria spettrale equivale a un insieme di classi di copertura del suolo. Ad esempio, la categoria spettrale (nome di colore) "vegetazione" è condivisa quale attributo di colore dalle classi di copertura del suolo "vegetazione legnosa" o "prateria (vegetazione erbacea)" o "pascolo (arbusto e cespuglio)" (Baraldi, 2018).

Le categorie spettrali generate da SIAM™ appartengono a sei categorie spettrali generali, chiamate anche supercategorie che sono (Baraldi, 2011):

- “Nuvole”;
- “Neve o ghiaccio”;
- “Acqua o ombra”;
- “Vegetazione”, equivalente a “vegetazione boscosa o terra coltivata o prateria (vegetazione erbacea) o pascolo (arbusto e cespuglio)”;
- “Terreno nudo o edificato”;
- “Valori anomali”.

In termini di prestazioni, gli indici di qualità operativa di SIAM™ sono superiori a quelli dei sistemi commerciali esistenti per la comprensione delle immagini tele-rilevate. Le qualità operative tipiche comprendono:

- grado di automazione;
- sistema di elaborazione dei dati completamente automatico;
- efficacia nel tempo di calcolo o nell’occupazione della memoria. Ad esempio, SIAM™ impiega 5 minuti per mappare una scena *Landsat* su un computer portatile standard;
- accuratezza della classificazione;
- robustezza alle modifiche nel *set* di dati di input acquisite nel tempo, nello spazio e nei sensori, come modifiche dovute al rumore nei dati. Ad esempio, SIAM™ è idoneo all'uso con quasi tutti i sensori ottici spaziali esistenti;
- robustezza alle modifiche dei parametri di *input*, se presenti. Ad esempio, SIAM™ non utilizza alcun parametro di *input* da definire dall'utente;
- manutenibilità/scalabilità/riutilizzabilità per tenere il passo con i cambiamenti nelle esigenze degli utenti e nelle proprietà dei sensori;
- tempestività, definita come l'intervallo di tempo tra l'acquisizione dei dati e la consegna del prodotto all'utente finale.

Inoltre, SIAM™ è:

- basato su *pixel*, cioè funziona alla risoluzione spaziale del sensore. In altre parole, SIAM™ è indipendente dalla risoluzione spaziale;
- indipendente dall'applicazione. In altre parole, SIAM™ fornisce un primo stadio di classificazione preliminare unificante indipendente dal problema di classificazione delle immagini in questione;
- non adattivo ai dati di *input*. In altre parole, SIAM™ si basa esclusivamente su conoscenze spettrali disponibili a priori, ovvero disponibili in aggiunta ai dati sensoristici. Pertanto,

SIAM™ appartiene alla famiglia dei cosiddetti sistemi di inferenza *top-down*, basati su modelli fisici o deduttivi di apprendimento, *from human-to-machine*.

SIAM™ è costituito da sei sottosistemi che lavorano con un diverso numero di bande spettrali. In particolare, Sentinel-2 è compreso all'interno del sottosistema L-SIAM™ che lavora con 7 bande di *input* che sono: canale blu (B), verde (G), rosso (R), quasi infrarosso (NIR), medio infrarosso 1 (MIR1), medio infrarosso 2 (MIR2) e infrarosso termico (TIR). L-SIAM™ prevede un numero di categorie spettrali di uscita pari a 96 (Figura 9) che è il massimo livello di quantizzazione oppure anche 33 che è un livello di quantizzazione intermedio ma comune a tutti i sensori. Gli pseudo-colori delle 96 categorie spettrali sono raccolti in base al loro elemento spettrale terminale (ad es. Terreno nudo o edificato) o alla categoria spettrale principale (ad es. Vegetazione LAI "alta"). Lo pseudo-colore di una categoria spettrale viene scelto in modo da imitare i colori naturali dei *pixel* appartenenti a quella categoria spettrale.

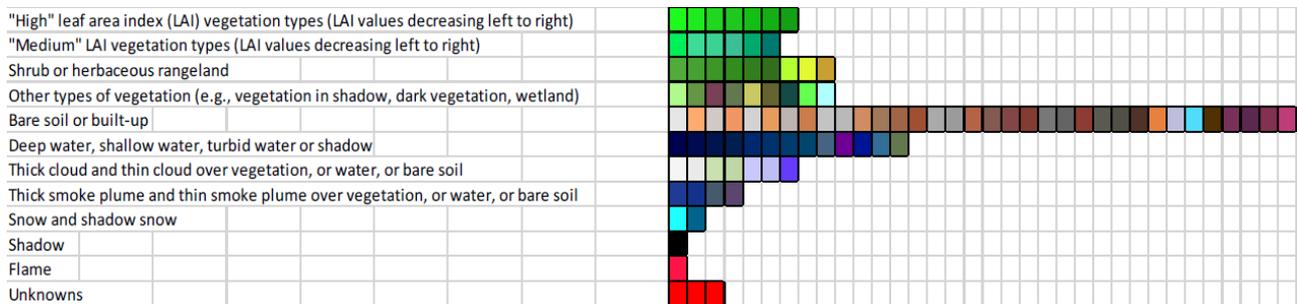


Figura 9- Legenda preliminare della mappa di classificazione adottata dal sottosistema L-SIAM™ a discreto livello di discretizzazione spettrale (Baraldi, 2018)

4.2. Descrizione della procedura metodologica in ambiente QGIS

Arpaè ha fornito una serie di immagini *raster* elaborate partendo da immagini Sentinel-2 raccolte durante l'anno solare 2017 e processate con il *software* SIAM™ il quale non ne altera la risoluzione originale. La risoluzione delle immagini spaziali dipende principalmente dai sensori impiegati e dall'altitudine dell'orbita in cui viaggia il satellite. Risoluzione spaziale, temporale, spettrale e radiometrica sono le principali caratteristiche da prendere in considerazione nella mappatura delle coperture e dei suoli (Congedo & Munafò, 2012; Valentini et al., 2015). La risoluzione spaziale rappresenta la superficie misurata sul terreno e rappresentata da un singolo *pixel*. La risoluzione temporale invece è la quantità di tempo, espressa in giorni, che trascorre prima che un satellite rivisiti un particolare punto sulla superficie terrestre. In tale contesto i satelliti Sentinel-2 acquisiscono immagini multispettrali della superficie terrestre nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso riflesso e le immagini Sentinel-2 impiegate nel presente studio hanno una risoluzione spaziale di 20 metri e temporale di 5 giorni all'equatore in condizioni libere da nuvole (ESA, 2019).

Le immagini elaborate coprono in maniera completa e/o parziale la regione Emilia-Romagna e tutte sono state acquisite tramite Sentinel-2 con un periodo di ricorrenza variabile tra 2-3 e 5-7 giorni a seconda della zona di sorvolo del satellite. Infatti, sulla fascia costiera il tempo di rivisita del satellite è più frequente circa ogni 2-3 giorni. Nello specifico l'orbita R122 "taglia" la Regione in diagonale coprendo la zona costiera nelle province di Rimini, Forlì-Cesena e includendo parzialmente Ravenna e Ferrara (Figura 10). Invece, l'orbita R022 comprende quasi interamente la Regione EMR, escludendo solo la provincia di Piacenza e parzialmente quella di Parma.

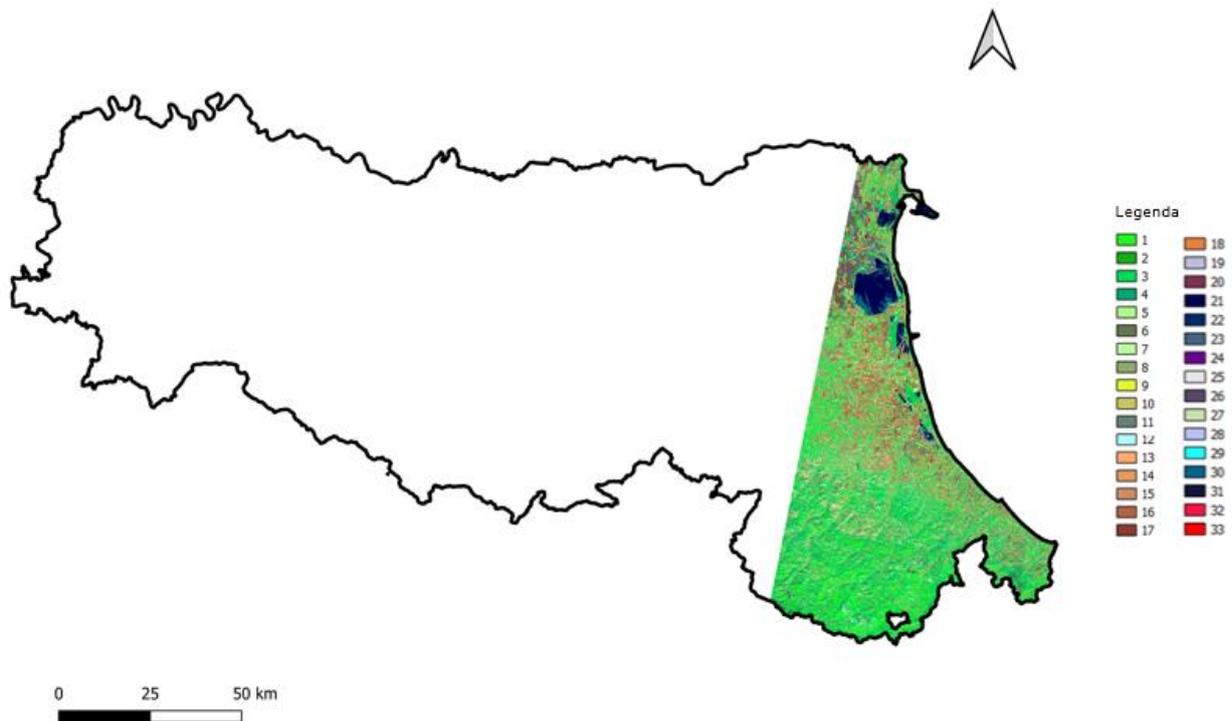


Figura 10 - Esempio del prodotto di partenza R122 di seguito definito "Costa"

Le immagini di cui è stata fatta richiesta ad Arpae e che ci sono state fornite in seguito dopo l'elaborazione con il SIAM™, sono state selezionate tra tutte le disponibili, perché totalmente sgombre da nubi e in modo da ottenere un *dataset* completo di almeno una immagine mensile per tutto il 2017 (Tabella 1) (Figura 11).

Tabella 1 - Dataset 2017

ID	Captur Date	Sensor	Orbit	Spatial Resolution (m)	SIAM's Spectral Categories
F	20170124	S2A	R022	20	33
M	20170325	S2A	R022	20	33
A	20170414	S2A	R022	20	33
M	20170514	S2A	R022	20	33
J	20170603	S2A	R022	20	33
J	20170703	S2A	R022	20	33
A	20170817	S2B	R022	20	33
S	20170921	S2A	R022	20	33
O	20171023	S2B	R122	20	33
N	20171127	S2A	R122	20	33
D	20171217	S2A	R122	20	33

Il parametro discriminante per la scelta delle immagini è stato l'assenza di copertura nuvolosa e il grado di nitidezza dell'immagine in generale. Il mese di febbraio non aveva immagini disponibili a causa delle condizioni meteorologiche avverse per cui si è assegnato a tale mese un'immagine di gennaio datata quanto più in prossimità di esso. Tuttavia, le immagini disponibili per il mese di gennaio risultavano anch'esse poco idonee a causa di una costante copertura nuvolosa per cui si è ritenuto opportuno escluderlo dall'indagine. Al fine delle elaborazioni successive sarebbe stato sconveniente lavorare con un "gap" temporale tra gennaio e marzo per cui si è scelto di attribuire al mese di febbraio una immagine acquisita a fine gennaio.

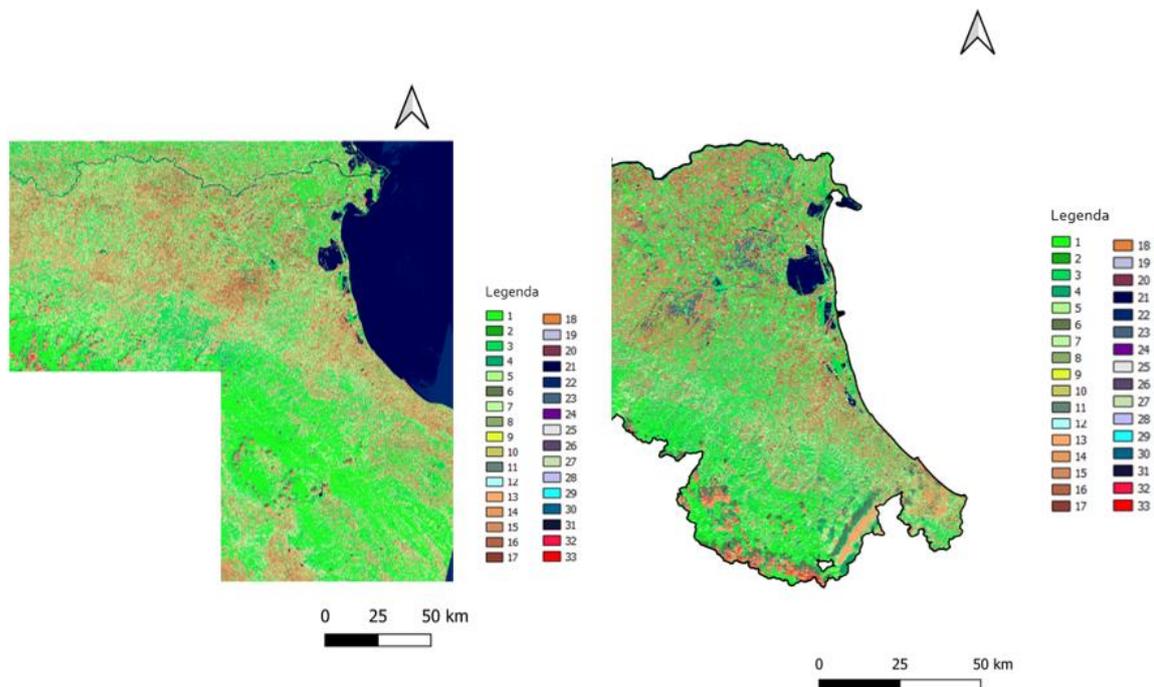


Figura 11 - Esempio del prodotto di partenza R022 (A); Estratto del prodotto di partenza su un'area della regione Emilia-Romagna (B)

Tra le immagini fornite da Arpa e classificate mediante SIAM™, sono state scelte quelle a 33 categorie spettrali o "color name" anziché quelle a 96. Tale scelta è stata presa sulla base di alcune considerazioni di seguito discusse:

- la formulazione a 33 categorie spettrali è comune a tutti i sensori; questo significa conferire alla procedura metodologica la massima trasferibilità. Infatti, disponendo di immagini acquisite da un sensore con un numero inferiore di bande rispetto a Sentinel-2, tutto l'*iter* procedurale sarebbe ugualmente applicabile in quanto verrebbero prodotti tutti i 33 “color name”. Per cui utilizzare le immagini a 33 “color name” permette di confrontare i risultati di questo lavoro con qualsiasi altro prodotto proveniente anche da immagini satellitari di sensori diversi;
- Sentinel-2 ha molte bande spettrali e quindi poteva essere più performante utilizzare 96 “color name” in modo da discriminare i color name in maniera più precisa. Perciò, scegliere di utilizzare 33 “color name” implica perdere in granularità ma guadagnare in generalità. SIAM™ genera diversi “color name” che corrispondono a un diverso grado di granularità a cui è associato un problema di quantizzazione di dati. SIAM™ risolve il problema di quantizzazione vettoriale. I “color name” sono, di fatti, *bin* di un problema di quantizzazione in cui lo strumento stesso è in grado di calcolare l'errore di quantizzazione che nel caso dei 33 “color name” risulta ragionevolmente maggiore rispetto ai 96. Quindi, la scelta è stata condotta scegliendo di tollerare più errore di quantizzazione ma con un minor numero di *bin*, che consente di trasferirsi meglio a sensori aventi un minor numero di bande spettrali;
- per l'obiettivo dello studio, con la finalità di discriminare i SN l'utilizzo dei 33 “color name” risultava ampiamente sufficiente.

Dopo aver delineato in modo chiaro il *dataset* di partenza, si è proceduto a identificare quali dei 33 “color name” fossero quelli rappresentativi di SN o coperti da biomasse. Ne sono stati identificati 9 come funzionali all'indagine. Nello specifico si tratta dei “color name” 10, 13-20 (Tabella 2).

La selezione è stata effettuata a partire dal supporto di alcuni strumenti:

- Una legenda fornita dai tecnici del laboratorio del servizio “IdroMeteoClima” di Arpa Emilia-Romagna (Tabella 2);

Tabella 2 - Legenda SIAM_33 (Arpae)

ID	CLASS	DESCR
1	SVHNIR	strong vegetation high nir
2	SVLNIR	strong vegetation low nir
3	AVHNIR	average vegetation high nir
4	AVLNIR	average vegetation low nir
5	WV	weak vegetation
6	SHV	shadow vegetation
7	SHRBRHNIR	shrubs rangeland high nir
8	SHRBRLNIR	shrubs rangeland low nir
9	HRBCR	herbaceous crop
10	WR	weak rangeland
11	PB	pitbog
12	GH	greenhouse
13	VBBB	very bright barren or built up
14	BBB	bright barren land of built up
15	SBB	strong barren land or built up
16	ABB	average barren land or built
17	DBB	dark barren land or built up
18	WBBorSHB	weak barren land or built up
19	NIRPBB	Light-toned (highly reflective)
20	BA	burned area
21	DPWASH	deep water shadow
22	SLWASH	shallow water shadow
23	TWASH	turbid water shadow
24	SASLWA	salty shallow water
25	CL	cloud
26	SMKPLM	smoke plum
27	TNCLV	thin cloud over vegetation
28	TNCLWA_BB	thin cloud over water or bight
29	SN	snow
30	SHSN	shadow snow
31	SH	shadow
32	FLAME	flame
33	UN	-

- documentazione tecnica del *tool* SIAM™, utilizzata come supporto alla codifica dei 33 “color name” (<http://siam.andreabaraldi.com/>);
- portale “Sentinel Hub Playground” (<https://apps.sentinel-hub.com/>).

Nello specifico quest’ultimo strumento è un'applicazione web gratuita in cui è possibile visualizzare in tempo reale le immagini Sentinel-2 disponibili. I dati a piena risoluzione sono disponibili entro poche ore dall'acquisizione e le immagini multispettrali possono essere verificate in una qualsiasi delle opzioni di *rendering standard* proposte dal sito o in una combinazione di bande definita dall'utente. È possibile navigare sull’intera superficie terrestre e fare semplici *query* per limitare le scene a intervalli di date, posizione e copertura nuvolosa specifici.

Nel presente studio, si è utilizzato il portale sopra citato selezionando le immagini Sentinel-2 del *dataset* in esame e settando le impostazioni di copertura nuvolosa al 100%. Per ogni immagine del *dataset* è stato fatto un duplice controllo su alcuni appezzamenti *random*. Essi sono stati identificati

nelle immagini di partenza elaborate tramite SIAM™ e confrontati sul portale “Sentinel Hub Playground” con le stesse immagini, nella medesima data di acquisizione. Ogni scena è stata visualizzata in diverse combinazioni di canali spettrali ritenute utili all’identificazione dei “color name”, tra cui la visualizzazione “True Color”, “Vegetation Index” e “Infrared Vegetation Index”.

Esempio:

La Figura 12 riporta in data 21/09/2017 nella medesima area geografica, lo stesso appezzamento contrassegnato in rosso.

Nella figura 12A si è identificato un appezzamento doppio con codifica di “color name” pari a 10 e 16, identificati come funzionali al presente studio.

Lo stesso appezzamento (figura 12B) è stato individuato nel portale “Sentinel Hub Playground” e quindi fatto un confronto puramente visivo tramite la modalità di visualizzazione “True Color”.

Nella figura 12C è stato applicato un particolare indice che si basa sul rapporto tra le bande tipiche di assorbimento e riflessione della vegetazione chiamato “Vegetation Index”. L’appezzamento in esame appare visibilmente di colore marrone, tale colore è indicativo di un suolo privo di vegetazione, quindi scoperto.

Pertanto, questa risposta avvalorava la scelta dei “color name” selezionati.



Figura 12- Esempio dell'utilizzo del portale "Sentinel Hub Playground"

Ai fini del perseguimento dello scopo dello studio, le immagini sono state elaborate tramite il *software* QGIS versione “3.4.8 Madeira”. QGIS è un sistema informativo geografico *open source*. Esso permette di far confluire dati provenienti da diverse fonti in un unico progetto di analisi territoriale. I dati, divisi in *layers*, possono essere analizzati e utilizzati per creare delle mappe con graficismi che possono essere personalizzati dall'utente ed eventualmente rispondere alle analisi tipiche del GIS: gradazione di colori, sfumatura di colore, valore unico. La mappa può essere arricchita da icone e da etichette dipendenti dagli attributi degli elementi cartografici. Un sistema di *scripting* può essere invocato per gestire operazioni ripetitive sui dati. Il vantaggio nell’utilizzo di questo strumento è dato

dalla capacità di gestione di un numero molto elevato di dati e informazioni georeferenziate e tra loro interconnessi.

Identificati i 9 “color name” come indicativi di SN, si è proceduto alla loro estrazione. Come operazione preliminare tutte le immagini selezionate nel *database* sono state importate in ambiente QGIS. Ogni immagine è stata sottoposta ad operazione di estrazione, con comando “*Calcolatore raster*” presente nel menu *raster*. Esso consente di eseguire calcoli sulla base dei valori dei *pixel* esistenti nel *raster*. Si è impostata la seguente equazione per ogni immagine mensile:

“20170124_ =10 OR 20170124_ =13 OR 20170124_ =14 OR 20170124_ =15 OR 20170124_ =16 OR 20170124_ =17 OR 20170124_ =18 OR 20170124_ =19 OR 20170124_ =20”.

I risultati vengono esportati in un nuovo *raster* con un formato supportato dalla “Geospatial Data Abstraction Library (GDAL)”. Viene generata una serie (Tabella 4A) di nuove immagini in formato bianco e nero (Figura 13) in cui “Bianco=1; Nero= 0”. Tutti i “color name” selezionati precedentemente vengono accorpati in un’unica classe del *raster* a valore uguale a “1”. Le aree distinte in colore bianco sono quelle funzionali al presente studio e il valore “1” è rappresentativo delle sole informazioni di interesse.

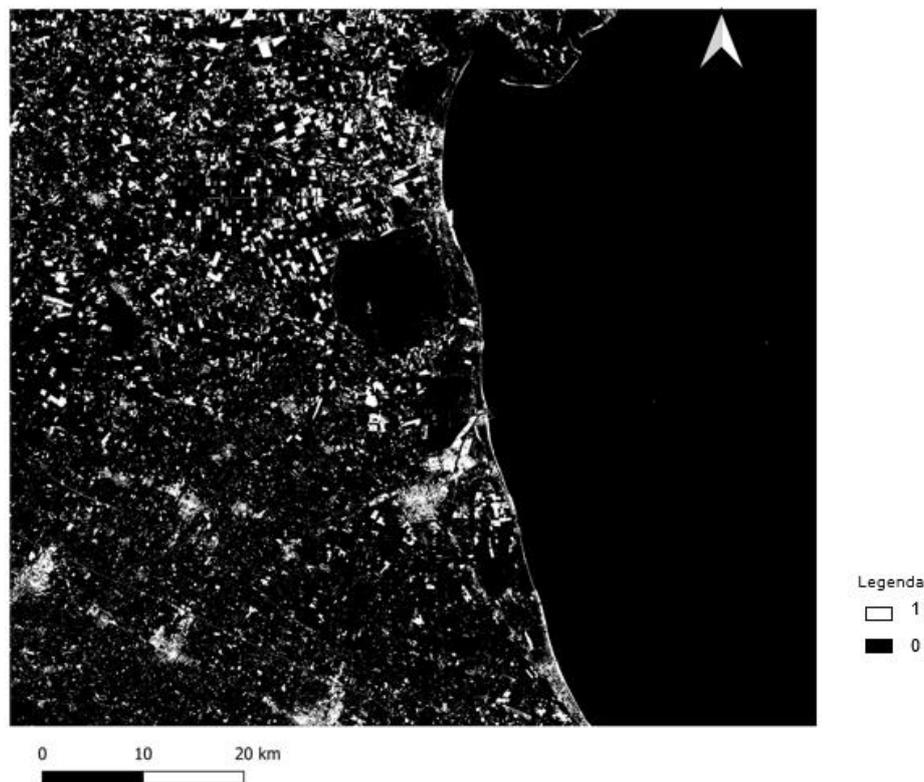


Figura 13 - Esempio di immagine raster in formato B/W in uscita dal processo di estrazione dei color name selezionati, primo step (Elaborazione QGIS)

Al fine di riuscire sempre a discriminare in maniera rapida e comprensibile il mese di appartenenza, è stata creata una stringa multi-temporale (Tabella 3) che funge da *trascodifica* delle immagini del

dataset. Ogni immagine è stata moltiplicata per una potenza del dieci partendo da 10^{-6} a 10^5 generando un nuovo *raster* in cui il precedente valore "1" è diventato, per ciascun mese, una diversa potenza del dieci. Questo espediente permette all'utente di capire immediatamente a quale delle 11 immagini si fa riferimento, ma molto più importante al fine del progetto, permette di sommare i *raster* generando nuovi *raster* in cui è evidente la situazione (nudo o coltivato) per ciascun mese (Tabella 4B).

Tabella 3 - Trascodifica delle immagini del dataset

F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1.0E-06	1.0E-05	1.0E-04	1.0E-03	1.0E-02	1.0E+00	1.0E+01	1.0E+02	1.0E+03	1.0E+04	1.0E+05

Ogni prodotto in bianco e nero ottenuto è stato ritagliato in base all'uso del suolo e ai limiti regionali. Per entrambi gli obiettivi si è utilizzato il comando “*Ritaglia raster con maschera*”. Nel primo caso la maschera di interesse era il *layer* (Figura 16) rappresentativo dell'uso del suolo (datato 2014) fornito da Arpa - “Icolt_2014” – e nel secondo caso il *layer* (Figura 17) dei limiti regionali forniti dal “Geoportale dell'Emilia-Romagna” - “RER_shp” (Tabella 4C).

Tabella 4 - Nomenclatura prodotti in uscita dagli elaborati QGIS

ID	A. Outcame first step	B. Outcame second step	C. Outcame third step
F	20170124_BW	20170124_0.000001	2017_febbraio_ER
M	20170325_BW	20170325_0.00001	2017_marzo_ER
A	20170414_BW	20170414_0.0001	2017_aprile_ER
M	20170514_BW	20170514_0.001	2017_maggio_ER
J	20170603_BW	20170603_0.01	2017_giugno_ER
J	20170703_BW	20170703_1	2017_luglio_ER
A	20170817_BW	20170817_10	2017_agosto_ER
S	20170921_BW	20170921_100	2017_settembre_ER
O	20171023_BW	20171023_1000	2017_ottobre_ER
N	20171127_BW	20171127_10000	2017_novembre_ER
D	20171217_BW	20171217_100000	2017_dicembre_ER

Le immagini così elaborate sono state sottoposte a operazione di somma con comando “*Calcolatore raster*” presente nel menu *raster* e impostando l'equazione di somma.

Ad esempio, “*2017_febbraio_ER + 2017_marzo_ER + 2017_aprile_ER + 2017_maggio_ER*”.

Tramite comando somma sono state effettuate tutte le combinazioni possibili per gli undici mesi, le quali non vengono riportate per inconsistenza dei risultati e pesantezza dell'elaborato. Si è scelto di riportare le combinazioni (Figura 14), scaturite dalle somme delle diverse mensilità, ritenute particolarmente interessanti nell'ottica di un potenziale sfruttamento, 19 in totale. È stata scelta come unità di misura più piccola l'intervallo temporale di 3 mesi per esplorare in maniera scaglionata l'intero anno. I 3 mesi rappresentano un intervallo minimo per la crescita potenziale di altre colture di secondo raccolto o di copertura (Progetto MAGIC H2020). Essendo l'economia della RER fortemente basata sull'attività del settore primario è poco realistico pensare di ottenere SN per un intervallo temporale superiore ai 5 mesi, fatti salvi altri usi non agricoli. Come detto in precedenza

l'intervallo di 3 mesi è ritenuto realistico e considerevole ai fini di una potenziale valorizzazione dei suoli. Si è comunque deciso di indagare anche altre serie temporali, più lunghe (5 mesi e 4 mesi) e più corte (2 mesi), per meglio comprendere quale fosse la distribuzione temporale dei SN in Regione EMR. La scelta delle mensilità è ricaduta principalmente sulle sequenze soggette alle migliori condizioni termiche dovute all'andamento stagionale dell'irraggiamento solare, escludendo periodi interamente invernali per l'aspetto termico, radiativo e di "non-lavorabilità" dei suoli.

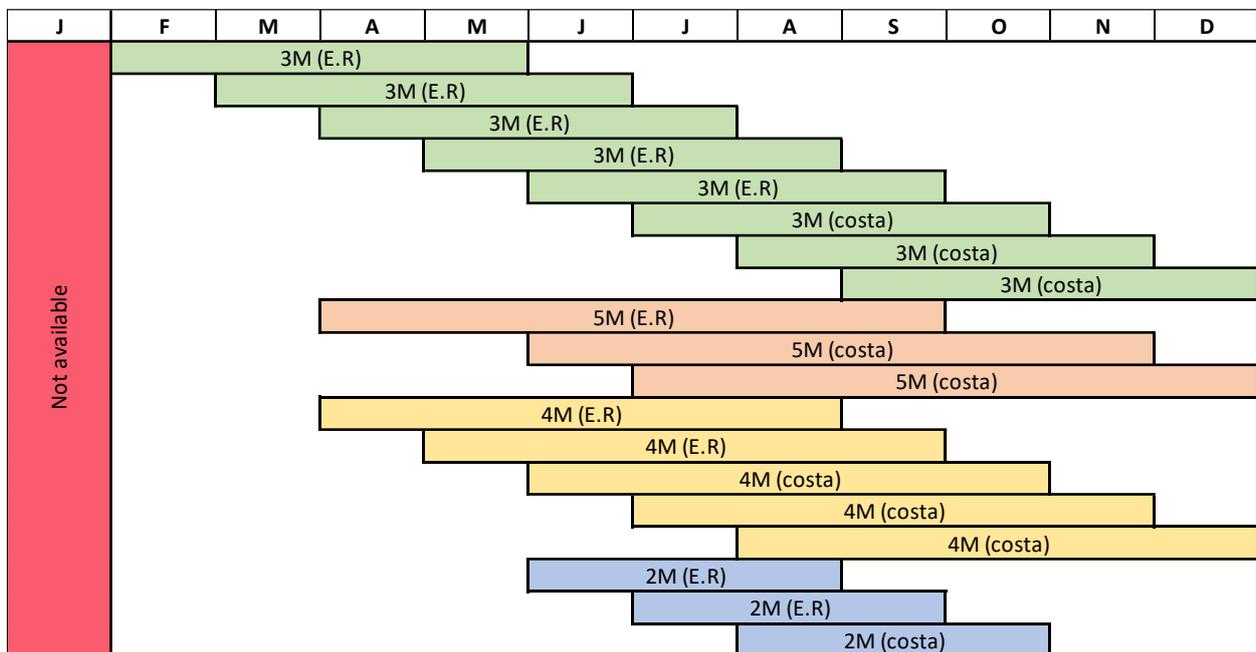


Figura 14 - Sequenze temporali indagate.

La sommatoria di diverse immagini *raster* genera un'immagine *raster* finale in cui sono racchiusi tutti i valori numerici delle potenze di dieci presenti nelle immagini *raster* di partenza. Il risultato di questa operazione è pertanto un'immagine *raster* in bianco e nero contenente diverse combinazioni di "0" e "1" (Tabella 5D). Da questo prodotto si estrae la combinazione più performante che è la rappresentazione della combinazione ricercata (quella con il maggior numero di "1" consecutivi). La metodologia prevede l'utilizzo del medesimo comando "Calcolatore *raster*" presente nel menu *raster* con impostazione dell'equazione appropriata caso per caso.

Ad esempio, "FMAM_2017 = 0.01111".

Per ognuna delle sequenze temporali indagate si ottiene un'immagine *raster* in formato bianco e nero (Figura 15) in cui ciascun *pixel* possiede un valore derivante dalla somma dei valori dei *pixel* dei *raster* di partenza (Tabella 5E).

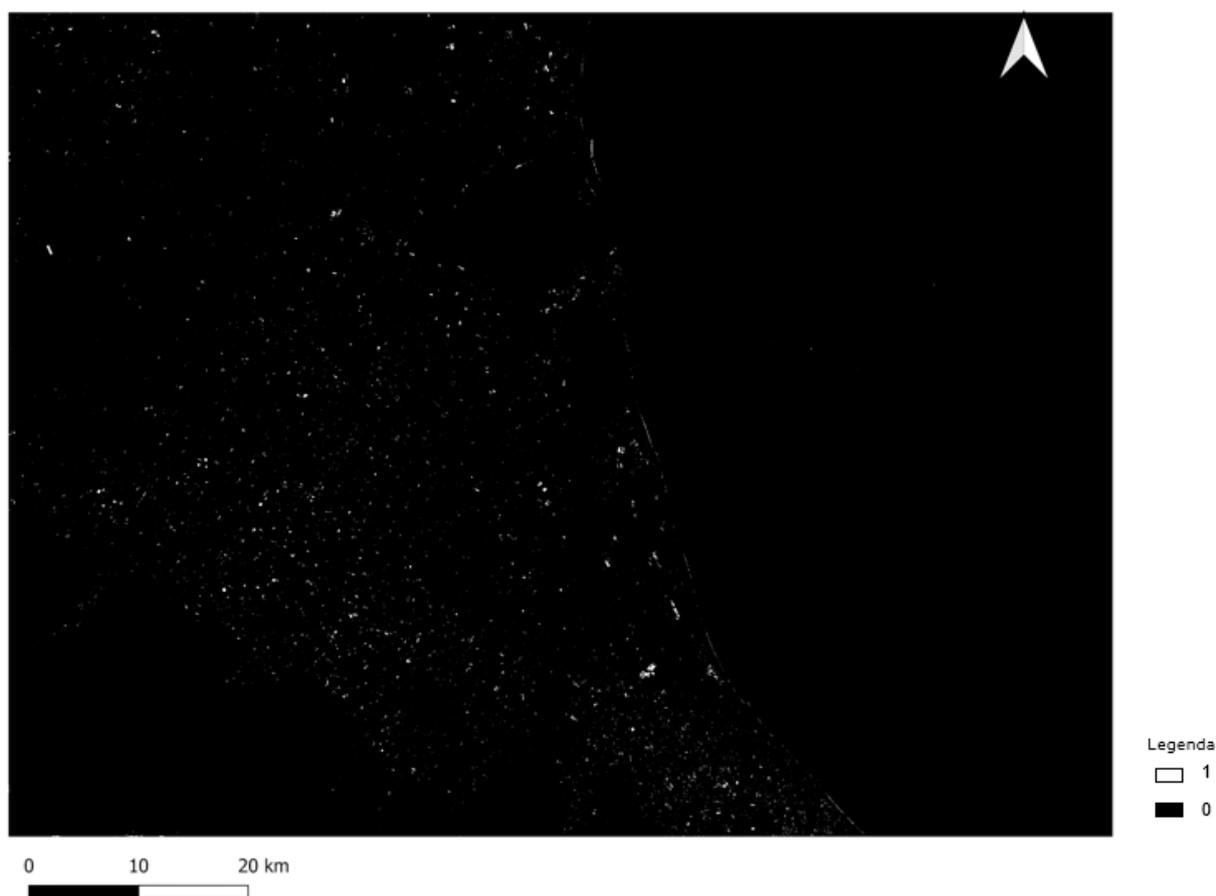


Figura 15 - Esempio di immagine raster in formato B/W in uscita dal processo di estrazione della condizione ricercata, quinto step (Elaborazione QGIS)

Ogni immagine precedentemente elaborata è stata sottoposta a *vettorializzazione* tramite il comando “*Poligonalizza*” del menu strumenti di QGIS. Questo comando permette di eseguire una digitalizzazione dell’immagine trasformandola da immagine *raster* a file vettoriale (Tabella 5F).

Al fine di ottenere solo i poligoni descrittivi di SN, è stata eseguita un’operazione di filtraggio su tutte le immagini tramite il comando “*Costruttore di interrogazioni*”. La finestra di dialogo “*Costruttore di interrogazioni*” è stata aperta utilizzando l’opzione “*filtro*” dal menu *layer*. Le sezioni “*Campi, Valori e Operatori*” nella finestra di dialogo permettono di costruire la *query* di tipo “*Structure Query Language*” (SQL) visualizzata nella casella “*Espressioni filtro*”. Ogni vettore è stato filtrato per il campo di interesse, volendo discriminare solo l’informazione relativa a “*Suolo Nudo*” (Tabella 5G). L’equazione impostata è la seguente: “*Nudo = 1*”. Si è proceduto a esportare il prodotto in uscita dall’operazione di filtraggio in formato “*shape file*”.

Con l’interesse di calcolare l’estensione superficiale dei poligoni di ogni vettore, la tabella attributi di ogni immagine è stata modificata aggiungendo un campo chiamato “*Area*”. Lo *size index* “*Area*”

è stato calcolato tramite il comando “\$area” che permette di popolare automaticamente il campo con un valore *expression-based*, in questo caso l’area in m².

È stata eseguita nuovamente un’operazione di filtraggio tramite il comando “Costruttore di interrogazioni”. Ogni vettore è stato filtrato in modo tale da restituire solo poligoni con taglia superiore a mezzo ettaro. L’equazione impostata è la seguente “Area > 5000”. Il valore soglia pari a 5000 m² è stato definito arbitrariamente ritenendo che tale taglia fosse una misura ragionevole nell’ottica di ottenere una prima scrematura degli appezzamenti sfruttabili.

Ogni vettore è stato sottoposto a un’operazione di riparo tramite il comando “Ripara geometrie”, del menu *strumenti di processing*, operazione funzionale allo *step* successivo. Questo algoritmo cerca di creare una rappresentazione valida di una geometria non valida data senza perdere nessuno dei vertici di partenza. Le geometrie già valide sono restituite senza ulteriori interventi. I vettori in uscita sono sempre multi-geometria (Tabella 5H).

Con l’interesse di sovrapporre le informazioni dei prodotti in uscita con i limiti geografici ed estrapolare il risultato per dettagliarlo a scala provinciale, ogni immagine è stata sottoposta ad operazione di intersezione tramite il comando “Intersezione” del menu *strumenti di processing* settando come parametro di *Overlay Layer* il *layer* (Figura 18) dei limiti provinciali forniti dal “Geoportale dell’Emilia-Romagna” - “PROV_RER_shp”.

Tabella 5 - Nomenclatura prodotti in uscita dagli elaborati QGIS

D. Outcame fourth step	E. Outcame fifth step	F. Outcame sixth step	G. Outcame seventh step	H. Outcame eighth step	I. Outcame ninth step
FMAM_2017	FMAM_2017_3MNUDO	FMAM_2017_3MNUDO_VETT	FMAM_2017_3MNUDO_VETT1	FMAM_2017_3MNUDO_RIPARO	FMAM_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
MAMJ_2017	MAMJ_2017_3MNUDO	MAMJ_2017_3MNUDO_VETT	MAMJ_2017_3MNUDO_VETT1	MAMJ_2017_3MNUDO_RIPARO	MAMJ_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
AMMJ_2017	AMMJ_2017_3MNUDO	AMMJ_2017_3MNUDO_VETT	AMMJ_2017_3MNUDO_VETT1	AMMJ_2017_3MNUDO_RIPARO	AMMJ_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
MJJA_2017	MJJA_2017_3MNUDO	MJJA_2017_3MNUDO_VETT	MJJA_2017_3MNUDO_VETT1	MJJA_2017_3MNUDO_RIPARO	MJJA_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
JJAS_2017	JJAS_2017_3MNUDO	JJAS_2017_3MNUDO_VETT	JJAS_2017_3MNUDO_VETT1	JJAS_2017_3MNUDO_RIPARO	JJAS_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
JASO_2017	JASO_2017_3MNUDO	JASO_2017_3MNUDO_VETT	JASO_2017_3MNUDO_VETT1	JASO_2017_3MNUDO_RIPARO	JASO_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
ASON_2017	ASON_2017_3MNUDO	ASON_2017_3MNUDO_VETT	ASON_2017_3MNUDO_VETT1	ASON_2017_3MNUDO_RIPARO	ASON_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
SOND_2017	SOND_2017_3MNUDO	SOND_2017_3MNUDO_VETT	SOND_2017_3MNUDO_VETT1	SOND_2017_3MNUDO_RIPARO	SOND_2017_3MNUDO_INTERSEZIONE
AMJJAS_2017	AMJJAS_2017_5MNUDO	AMJJAS_2017_5MNUDO_VETT	AMJJAS_2017_5MNUDO_VETT1	AMJJAS_2017_5MNUDO_RIPARO	AMJJAS_2017_5MNUDO_INTERSEZIONE
JJASON_2017	JJASON_2017_5MNUDO	JJASON_2017_5MNUDO_VETT	JJASON_2017_5MNUDO_VETT1	JJASON_2017_5MNUDO_RIPARO	JJASON_2017_5MNUDO_INTERSEZIONE
JASOND_2017	JASOND_2017_5MNUDO	JASOND_2017_5MNUDO_VETT	JASOND_2017_5MNUDO_VETT1	JASOND_2017_5MNUDO_RIPARO	JASOND_2017_5MNUDO_INTERSEZIONE
AMJJA_2017	AMJJA_2017_4MNUDO	AMJJA_2017_4MNUDO_VETT	AMJJA_2017_4MNUDO_VETT1	AMJJA_2017_4MNUDO_RIPARO	AMJJA_2017_4MNUDO_INTERSEZIONE
MJJAS_2017	MJJAS_2017_4MNUDO	MJJAS_2017_4MNUDO_VETT	MJJAS_2017_4MNUDO_VETT1	MJJAS_2017_4MNUDO_RIPARO	MJJAS_2017_4MNUDO_INTERSEZIONE
JJASO_2017	JJASO_2017_4MNUDO	JJASO_2017_4MNUDO_VETT	JJASO_2017_4MNUDO_VETT1	JJASO_2017_4MNUDO_RIPARO	JJASO_2017_4MNUDO_INTERSEZIONE
JASON_2017	JASON_2017_4MNUDO	JASON_2017_4MNUDO_VETT	JASON_2017_4MNUDO_VETT1	JASON_2017_4MNUDO_RIPARO	JASON_2017_4MNUDO_INTERSEZIONE
ASOND_2017	ASOND_2017_4MNUDO	ASOND_2017_4MNUDO_VETT	ASOND_2017_4MNUDO_VETT1	ASOND_2017_4MNUDO_RIPARO	ASOND_2017_4MNUDO_INTERSEZIONE
JJA_2017	JJA_2017_2MNUDO	JJA_2017_2MNUDO_VETT	JJA_2017_2MNUDO_VETT1	JJA_2017_2MNUDO_RIPARO	JJA_2017_2MNUDO_INTERSEZIONE
JAS_2017	JAS_2017_2MNUDO	JAS_2017_2MNUDO_VETT	JAS_2017_2MNUDO_VETT1	JAS_2017_2MNUDO_RIPARO	JAS_2017_2MNUDO_INTERSEZIONE
ASO_2017	ASO_2017_2MNUDO	ASO_2017_2MNUDO_VETT	ASO_2017_2MNUDO_VETT1	ASO_2017_2MNUDO_RIPARO	ASO_2017_2MNUDO_INTERSEZIONE

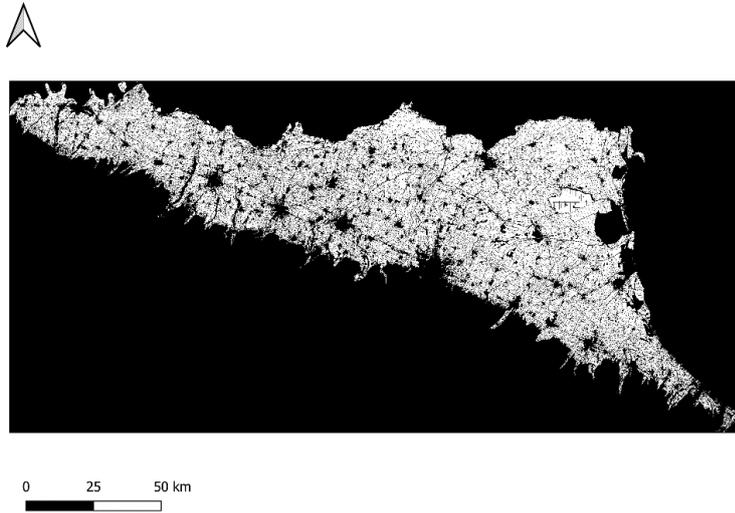


Figura 16- Maschera IColt (Arpae)

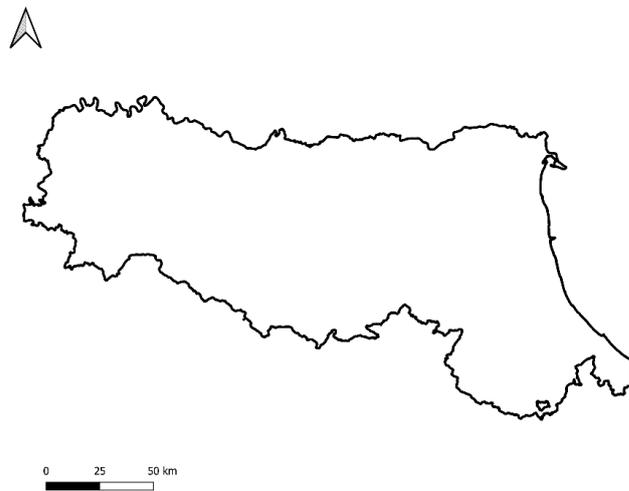


Figura 17- Maschera Limiti Regionali (Geoportale E-R, Elaborazione QGIS)

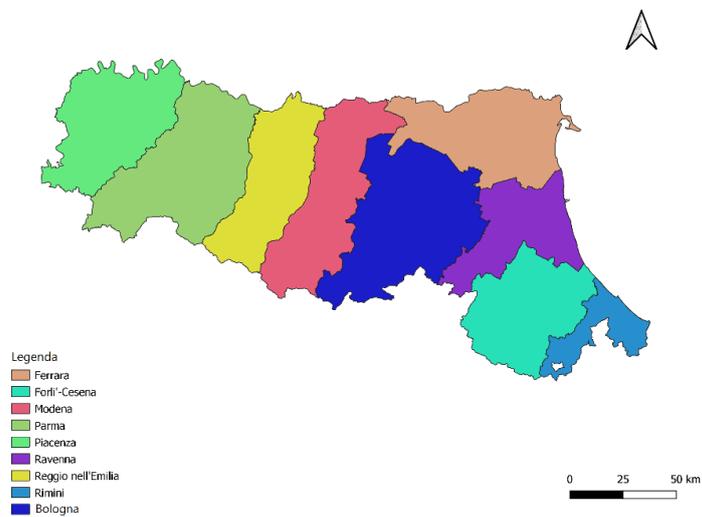


Figura 18 - Maschera Limiti Provinciali (Geoportale E-R, Elaborazione QGIS)

4.3. Descrizione della procedura metodologica applicata in ambiente Excel

Ogni vettoriale finale è stato esportato in formato “CSV” per consentire le elaborazioni areali in ambiente Excel (Figura 19).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Nudo	Area Nudo	COD_REG	COD_CM	COD_PRO	DEN_CMPRO	PROVINCIA	SIGLA	FLAG_CMPRO	SHAPE_Leng	SHAPE_Area
2	1	58367.91996	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
3	1	42776.64488	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
4	1	21988.01024	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
5	1	10793.9589	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
6	1	12392.95252	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
7	1	28384.53463	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
8	1	6396.461171	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
9	1	11193.60763	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
10	1	45175.43351	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
11	1	31582.12215	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
12	1	23186.79798	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
13	1	48773.34488	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
14	1	13192.39924	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
15	1	13992.15154	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
16	1	23585.77481	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
17	1	25983.12692	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
18	1	25986.03497	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
19	1	15991.2263	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
20	1	15591.04938	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
21	1	30382.83716	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
22	1	35181.46999	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
23	1	9194.714829	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
24	1	8395.9304	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835
25	1	17989.18788	8	0	38	Ferrara	Ferrara	FE	2	356798.3118	2635041835

Figura 19 - Dati esportati sull'interfaccia Excel (Esempio)

I dati esportati sono stati elaborati tramite la creazione di *tabelle Pivot* e la trasformazione dei dati areali da m² a ha (Tabella 6 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

Tabella 6 - Tabella Pivot con trasformazione dei dati areali da metri a ettari (Esempio)

Provinces	BS area (m ²)	BS area (ha)
BO	186493993	18649
FE	423404179	42340
FC	22730215	2273
MO	111027512	11103
PR	33211604	3321
RA	112996057	11300
RE	40689338	4069
RN	4633835	463
Total	935186732	93519

Al fine di rendere realistici e confrontabili i dati tra loro sono stati normalizzati, per ogni provincia rispetto alla superficie agricola disponibile e poi trasformati in dato percentuale tramite la formula: “*tot. ha / tot. ha_{riferimento} * 100*” (Tabella 7).

Tabella 7 - Tabella di normalizzazione dei dati sull'estensione provinciale ed espressi in forma percentuale (Esempio)

Provinces	BS area (ha)	Total Agricultural Area (ha)	%
BO	18649	130851	14.3
FE	42340	195938	21.6
FC	2273	34188	6.6
MO	11103	91810	12.1
PR	3321	41927	7.9
RA	11300	102969	11.0
RE	4069	75619	5.4
RN	463	9790	4.7

Le superfici agricole totali di ogni provincia sono state calcolate a partire dal *layer* dell'uso del suolo utilizzato precedentemente. Si ricorda che il prodotto "IColt" fornito da Arpa, rappresenta il solo suolo coltivabile ed esclude tutta la catena appenninica. Le estensioni superficiali sono state calcolate in ambiente QGIS. Si è vettorializzato il *layer* "Icolt_2014" tramite il comando "Poligonalizza" del menu strumenti. Questo prodotto è stato intersecato tramite il comando "Intersezione" del menu *strumenti di processing* con il *layer* dei limiti provinciali. La tabella attributi di ogni provincia della Regione è stata esportata separatamente in formato "CSV" previa elaborazione su Excel.

In ambiente Excel, le informazioni relative a ciascuna provincia sono state organizzate in tabelle e i dati sono stati elaborati tramite operazioni algebriche in modo tale da ottenere la somma dell'estensione superficiale di ogni poligono incluso entro i limiti di una determinata provincia.

Si riportano le superfici agricole totali di riferimento (Tabella 8), per quanto spiegato precedentemente nella sezione "Area di Studio":

- La provincia di Parma è inclusa solo parzialmente (Tabella 8A);
- La provincia di Piacenza è esclusa dall'area di studio (Tabella 8A);
- Alcune serie temporali indagate coprono l'intera Regione (Tabella 8A);
- Alcune serie temporali indagate coprono solo la porzione "costa" in cui nello specifico le province di Ferrara e Ravenna sono solo parzialmente investigate (Tabella 8B).

Tabella 8 - Superfici agricole totali di riferimento per “RER”(A) e “costa”(B).
Le province contrassegnate in rosa sono incluse solo parzialmente.

A		B	
Provinces	Total Agricultural Area (ha)	Provinces	Total Agricultural Area (ha)
BO	130851	FE	40896
FE	195938	FC	34188
FC	34188	RA	69669
MO	91810	RN	9790
PR	41927		
RA	102969		
RE	75619		
RN	9790		

I dati così elaborati sono stati organizzati e graficati in istogrammi rappresentanti gli ettari di SN per ogni provincia della regione Emilia-Romagna.

I dati di alcune serie temporali risultate più performanti sono stati sottoposti a indagine statistica tramite il componente aggiuntivo di Excel “*Strumenti di analisi*”. Questo componente include strumenti che analizzano dati e parametri e mediante funzioni macro-statistiche o ingegneristiche calcolano e visualizzano i risultati in una *tabella di output*. Oltre alle tabelle di *output*, alcuni di questi strumenti rappresentano i risultati su grafici. Ai fini del presente studio si è utilizzato tale strumento per verificare con un *output* grafico la distribuzione dimensionale degli appezzamenti, per comprendere la dimensione degli appezzamenti classificati come SN.

4.4. Validazione

Al fine di verificare i risultati ottenuti si è ritenuto opportuno validare, almeno in parte, gli *outputs* in uscita dalla procedura metodologica.

La validazione è stata condotta su due serie temporali diverse che complessivamente coprono quasi interamente l’anno 2017, quali:

- “MAMJ_2017” che rappresenta 3 mesi di SN da marzo a giugno;
- “JASO_2017” che rappresenta 3 mesi di SN da luglio a ottobre.

La procedura di validazione (Figura 20) è stata suddivisa in due *step*:

1. Validazione della maschera: eseguita tramite un *controllo random* sugli appezzamenti più estesi, il fine è quello di verificare tramite confronto con il *plugin* di QGIS “*Google Satellite*” la reale presenza di area agricola o l’eventuale presenza di antropico/casi anomali.
2. Validazione del SN eseguito tramite:

2.1 *Controllo random* degli appezzamenti tramite confronto con fogli catastali dove si individuano foglio e particella/e.

2.2 Verifica tramite database AGREA; tale valutazione è stata condotta con riferimento ad alcuni seminativi nel periodo considerato e successivo confronto dell'estensione superficiale. Ad esempio, le colture appartenenti alla categoria “frutteti e vigneti” non sono funzionali allo scopo del presente studio in quanto occupano una porzione di suolo che indipendentemente dalla stagionalità sarà sempre coltivato. Per quanto riguarda questa valutazione essa si considera positiva se tutti gli *step* hanno esito positivo, diversamente si valuta negativamente qualora almeno uno *step* abbia un esito negativo. Nello specifico nel confronto dell'estensione superficiale la soglia di giudizio negativo è pari a “maggiore del 50%”.

Nella validazione dell'*output* “MAMJ_2017” tramite database AGREA si è fatto riferimento alle seguenti colture (Tabella 9) ritenute le principali messe a dimora tra giugno e luglio e in grado di giustificare un SN nei mesi precedenti:

- “SOIA, SORGO, FAVE, SEMI, GRANELLA”;
- “POMODORO, DA INDUSTRIA, TONDO”;
- “GRANTURCO (MAIS), FAVE, SEMI, GRANELLA”;
- “LATTUGA LATTUGHINO, DA ORTO”;
- “FAGIOLINO, DA INDUSTRIA”.

Nella validazione dell'*output* “JASO_2017” tramite database AGREA si è fatto riferimento alle seguenti colture (Tabella 9) ritenute le più diffuse tra quelle che vengono raccolte nel mese di giugno e in grado di lasciare SN sino nuova semina autunnale:

- “GRANO (FRUMENTO) DURO, FAVE, SEMI, GRANELLA”;
- “ORZO, DA SEME”;
- “PISELLO, DA INDUSTRIA”.

Tabella 9 - Stagionalità delle principali colture selezionate (Morini, 2012)

Species		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
MAMJ	Soia						■	■		■					
	Sorgo						■			■					
	Fave	■	■	■							■		■		
	Pomodoro					■			■	■					
	Mais						■			■	■				
	Fagiolino						■								
JASO	Grano						■				■				
	Orzo						■				■				
	Pisello						■				■				
	Fave			■			■				■				
Sowing period		■													
Harvest period		■													

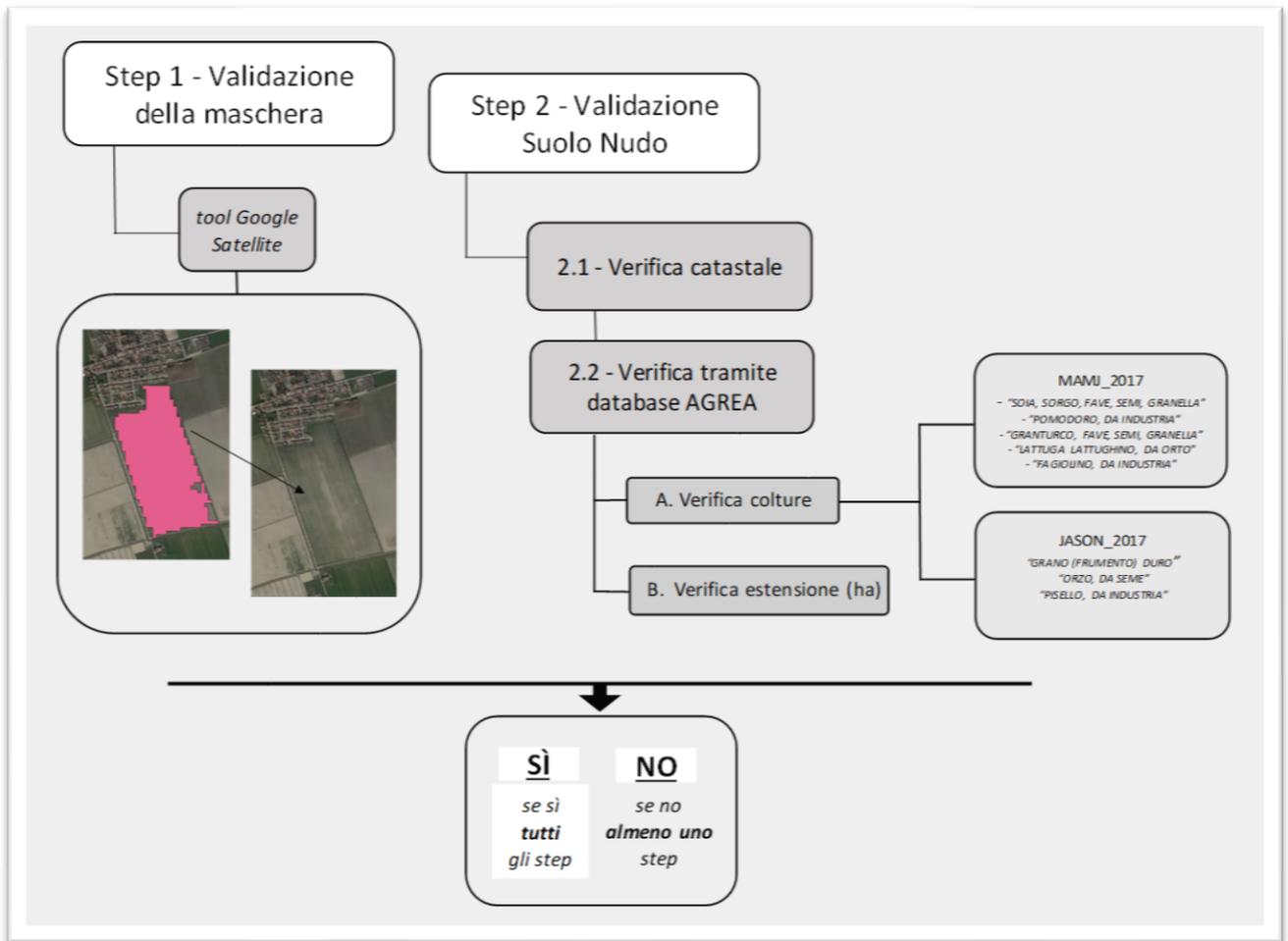


Figura 20 - Schema della procedura di validazione

CAPITOLO 5 – RISULTATI

5.1. Risultati della procedura di mappatura e quantificazione di “Suoli Nudi”

In questa sezione vengono presentati i risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia per l'identificazione e la quantificazione dei SN. In un prima parte verranno mostrati i risultati per ciascun singolo mese investigato, poi successivamente per le 19 serie temporali ritenute prioritarie. Si riportano di seguito solo alcuni risultati. Tutte le mappe e i grafici si trovano alla sezione “Allegati”. Seguirà un riassunto complessivo dei SN in regione, per chiudere con i risultati dell'analisi dimensionale degli appezzamenti dei SN.

5.1.1. Risultati mensili

Tramite l'applicazione della procedura descritta nella sezione “Materiali e Metodi” alle 11 immagini prodotte da SIAM™, partendo dalle Sentinel-2, sono stati ottenuti i risultati mensili di seguito riassunti in Tabella 10.

Tabella 10 - Risultati di SN mensili. RER = regione Emilia-Romagna. Coast = porzione costiera. BS = Bare Soil = Suolo Nudo. AA = Agricultural Area = Area Agricola.

Months	RER		Coast	
	BS area (hectares)	% of BS out of all AA	BS area (hectares)	% of BS out of all AA
February	397375	58	86736	56
March	254784	37	64032	41
April	260625	38	55847	36
May	161233	24	38690	25
June	68867	10	18266	12
July	185960	27	46321	30
August	345363	51	73292	47
September	325573	48	72417	47
October	-	-	69234	45
November	-	-	56939	37
December	-	-	67244	44

Nella Tabella 10 soprastante vengono riportate le quantità di SN sia in ettari che in forma percentuale per entrambe le aree di studio investigate, “RER” e “costa”. Per le mensilità di ottobre, novembre e dicembre il dato disponibile concerne solo la regione “costa” (vedi Capitolo 4, Tabella 1). Come si

evince dalla Tabella 10, le mensilità che mostrano risultati migliori nell'area regionale corrispondono a febbraio, agosto, settembre con percentuali di SN pari a circa 50% rispetto al totale disponibile.

Nello specifico, nel mese di febbraio si evidenziano circa 400000 ettari di SN sul territorio regionale, 90000 dei quali sono localizzati nella porzione "costa". Maggio, giugno e luglio sono i mesi meno performanti con percentuali che non superano il 30% rispetto al totale disponibile; mentre agosto e settembre evidenziano risultati molto interessanti con ettari di SN disponibile rispettivamente pari a circa 350000 e 330000 di cui il 47% è localizzato nella porzione "costa".

Le stesse mensilità identificate per la porzione "RER" con l'aggiunta di ottobre mostrano i risultati migliori anche nella porzione "costa" con percentuali di SN superiori al 45% rispetto al totale disponibile. In particolare, febbraio è il mese migliore in termini di disponibilità di SN. Maggio, giugno, luglio sono ancora i mesi peggiori con percentuali non superiori al 30%. Agosto, settembre, ottobre mostrano ottimi risultati con ettari di SN compresi tra i 69000 e i 74000.

5.1.2. Risultati dei 19 periodi ritenuti prioritari

Dopo aver preso atto dell'abbondanza di SN mensili, si sono elaborate le mappe dei SN per i 19 periodi ritenuti prioritari per una possibile valorizzazione.

È stata prodotta una mappa di distribuzione delle particelle a SN per ognuna delle 19 sequenze temporali indagate (vedi sezione "Allegati"). Per ragioni di spazio, di seguito si riportano solo alcuni dei 19 casi.

Le mappe in Figura 21, Figura 23, Figura 25, Figura 27, Figura 29 mostrano la distribuzione spaziale dei SN, per il periodo luglio-ottobre nell'area "costa", giugno-settembre e aprile-settembre nell'area "RER", luglio-novembre nell'area "costa" e luglio-settembre nell'area "RER". Da notare che le province di Parma e Piacenza sono in rosso, in quanto sono parzialmente o totalmente escluse dall'area di studio.

Per ogni sequenza indagata i poligoni di SN visibili nell'*output* grafico sono stati esportati ed elaborati in ambiente Excel allo scopo di organizzarne una rappresentazione grafica su base provinciale. I dati sono stati organizzati e rappresentati attraverso istogrammi distinti (Figura 22, Figura 24, Figura 26, Figura 28, Figura 30), uno per ciascuna delle sequenze temporali investigate.

Il grafico rappresenta gli ettari di SN (asse delle ordinate) disponibili per ogni provincia (asse delle ascisse). Nel caso in cui la disponibilità dei dati è limitata alla porzione "costa", le province astericate sono quelle coinvolte solo parzialmente mentre le altre sono considerate integralmente. Invece, nel caso in cui la disponibilità dei dati sia garantita per tutta l'area di studio "RER" la provincia contrassegnata da asterisco è quella di Parma, la quale è coinvolta solo parzialmente mentre le altre

province sono considerate integralmente. La linea arancione rappresenta l'incidenza percentuale delle aree a SN rispetto alla superficie agricola totale (asse secondario in Figura 22); questa rappresentazione appare utile per evidenziare quanto sia rilevante la superficie a SN sul totale di quella agricola.

La Figura 21 mostra la mappa ottenuta sulla piattaforma QGIS derivante dall'elaborazione delle immagini a 33 classi disponibili per i mesi da luglio ad ottobre. Per tale sequenza la disponibilità dei dati è circoscritta alla sola porzione “costa”. Risulta evidente la maggior concentrazione dei SN in corrispondenza delle province di Forlì-Cesena e Ravenna, mentre Ferrara e Rimini mostrano una minor presenza di SN.

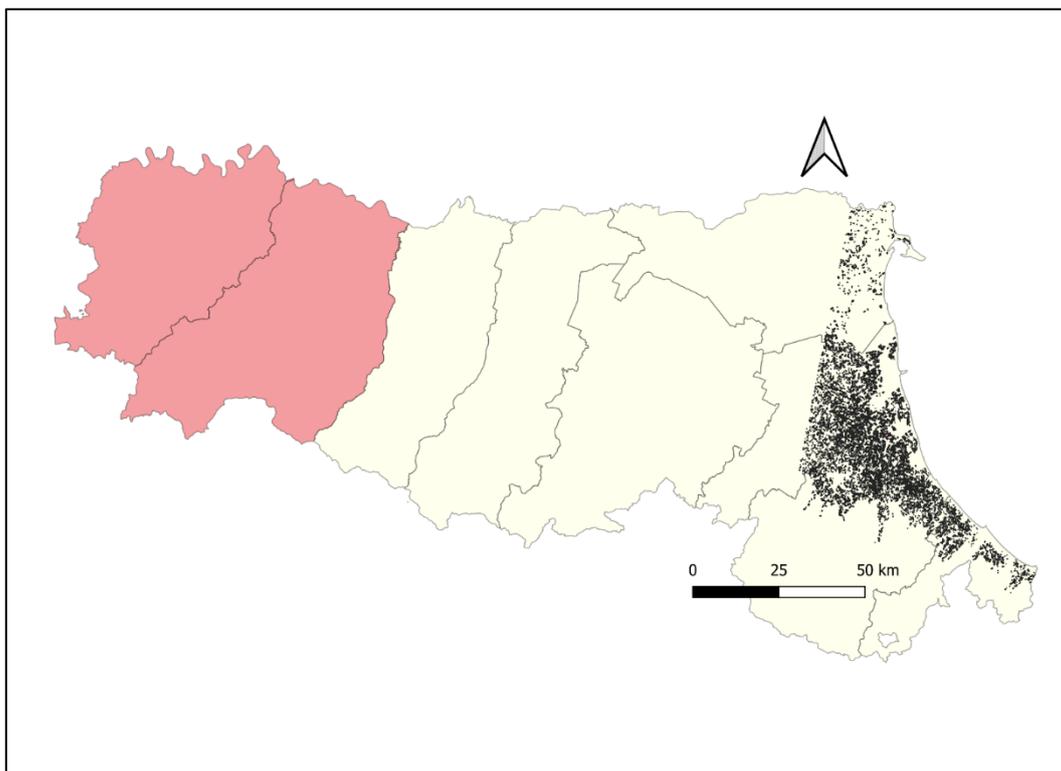


Figura 21- Mappatura dei SN nel periodo Luglio-Ottobre 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

La Figura 22 mostra l'istogramma della sequenza temporale “luglio-ottobre” in cui la disponibilità dei dati è limitata alla sola porzione “costa”, motivo per cui le province indagate sono solo 4. Il grafico sottostante quantifica l'alta disponibilità di terreni nudi nelle province di Ravenna e Forlì-Cesena i quali rappresentano circa il 20% della superficie agricola totale disponibile in entrambe le province.

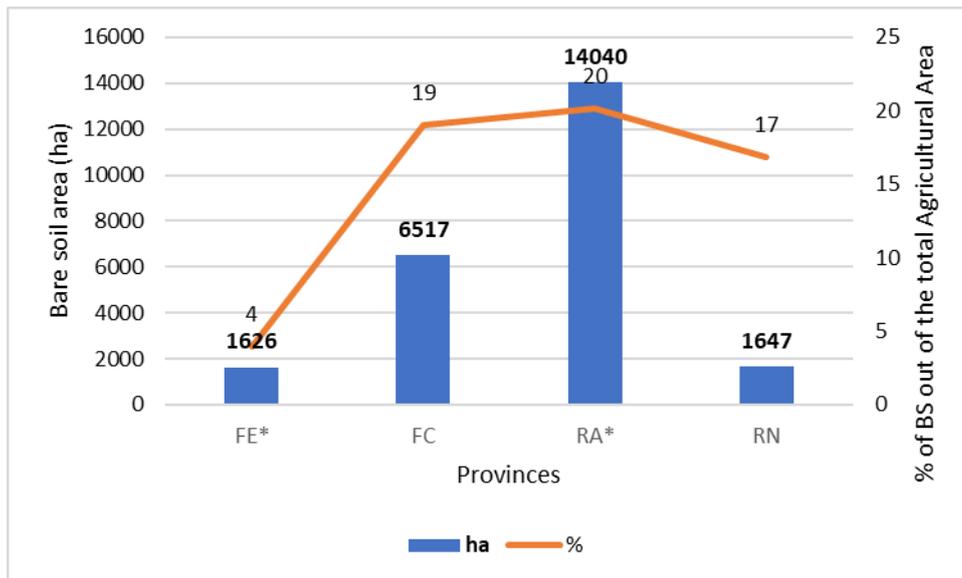


Figura 22 - Istogramma SN Luglio-Ottobre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

La Figura 23 è la mappa ottenuta dall'elaborazione della sequenza temporale "giugno-settembre". Per tale sequenza la disponibilità dei dati è estesa all'intera RER fatta salva la Provincia di Piacenza e parte di quella di Parma. Visivamente la presenza di SN risulta ben distribuita sull'estensione regionale con una maggiore presenza nelle province di Modena, Ravenna e Forlì-Cesena.

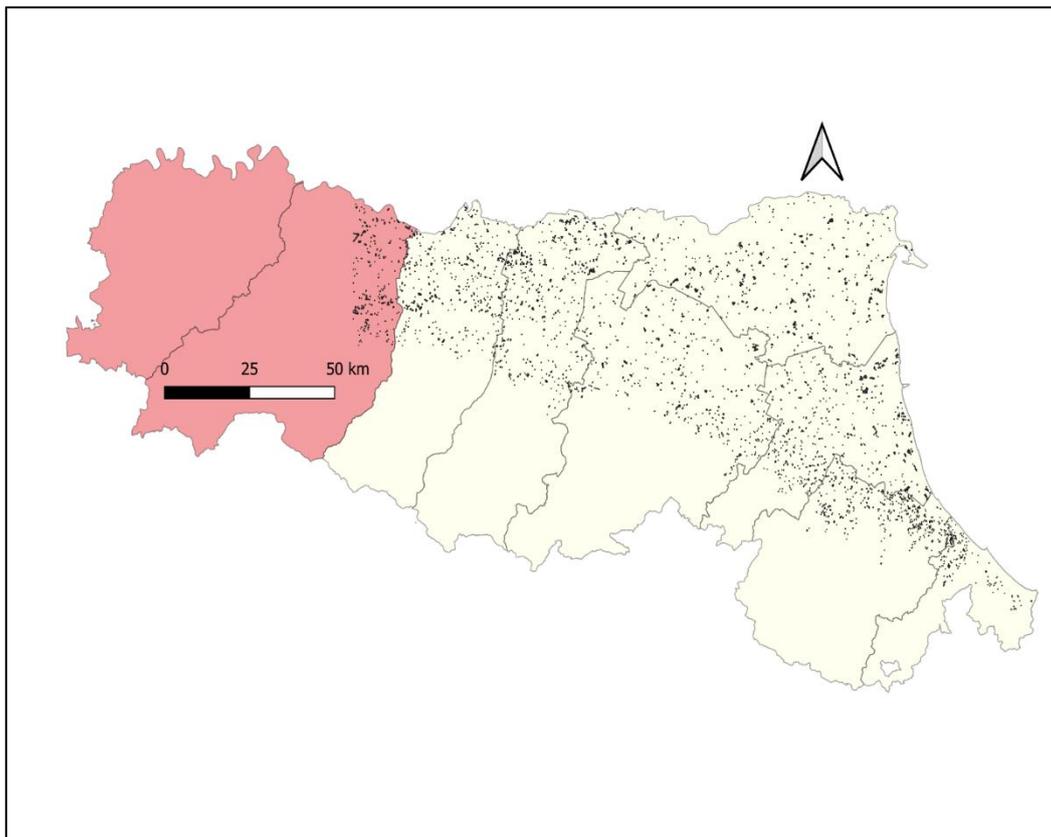


Figura 23- Mappatura dei SN nel periodo Giugno-Settembre 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

La Figura 24 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale “giugno-settembre” in cui la disponibilità dei dati è garantita per tutta l'area di studio “RER”, motivo per cui, le province indagate sono 8. Pur essendo estensioni molto modeste se confrontate con il periodo luglio-ottobre precedente, il grafico sottostante evidenzia la maggiore quantità di terreni nudi nelle province di Ferrara, Modena e Ravenna e Forlì-Cesena con valori di poco superiori ai 1000 ettari per provincia. Tuttavia, rapportati alla superficie agricola totale disponibile le province più performanti sono Forlì-Cesena, Modena e Rimini con percentuali attorno all'1.3-1.8.

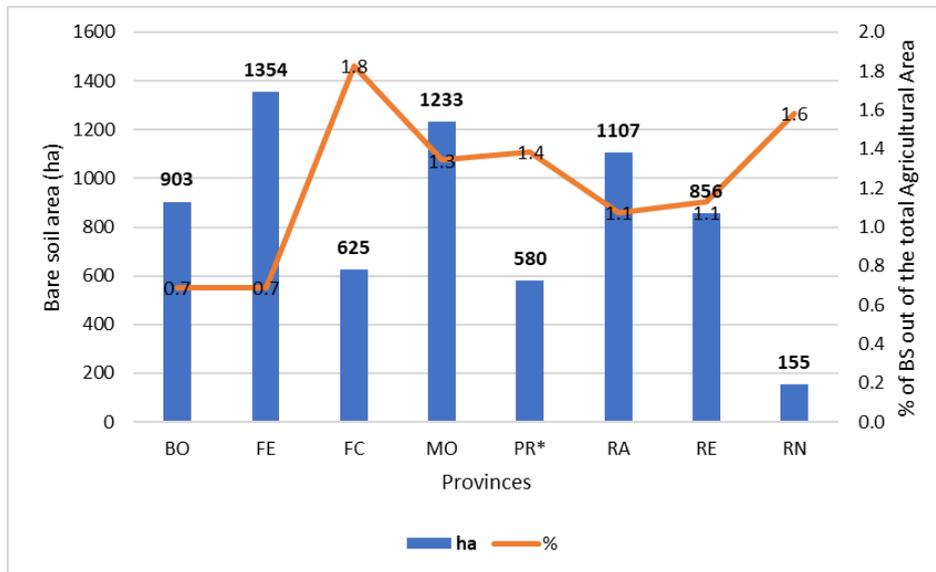


Figura 24 - Istogramma SN Giugno-Settembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

La Figura 25 è la mappa ottenuta dall'elaborazione della sequenza temporale “aprile-settembre”. Per tale sequenza la disponibilità dei dati è circoscritta all'intera porzione regionale, visivamente la presenza di SN risulta distribuita principalmente nelle province di Forlì-Cesena e Ravenna.

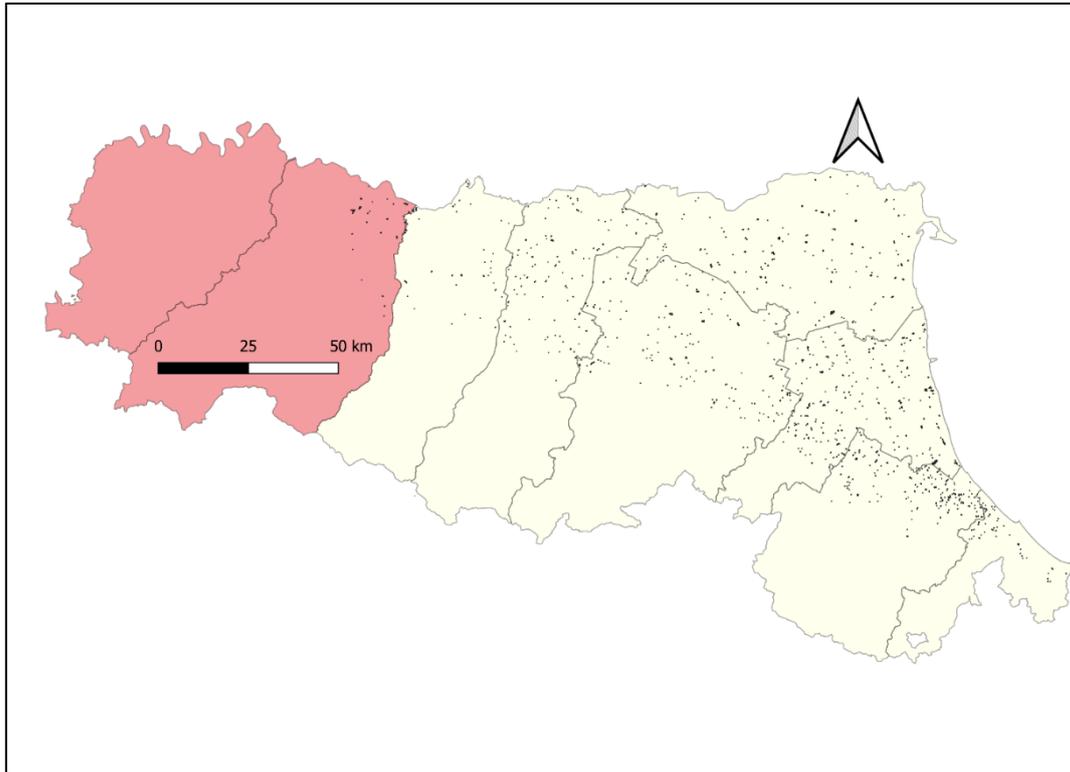


Figura 25 - Mappatura dei SN nel periodo Aprile-Settembre 2017, 5 mesi (Elaborazione QGIS)

L'istogramma della sequenza temporale “aprile-settembre” (Figura 26) evidenzia la maggiore quantità di terreni nudi nelle province di Ferrara e Ravenna con valori compresi tra 330 e 430 ettari tuttavia, rapportati alla superficie agricola totale disponibile le province più performanti sono Forlì-Cesena, Ravenna e Rimini con percentuali rispettivamente pari a 0.7, 0.4, 0.6.

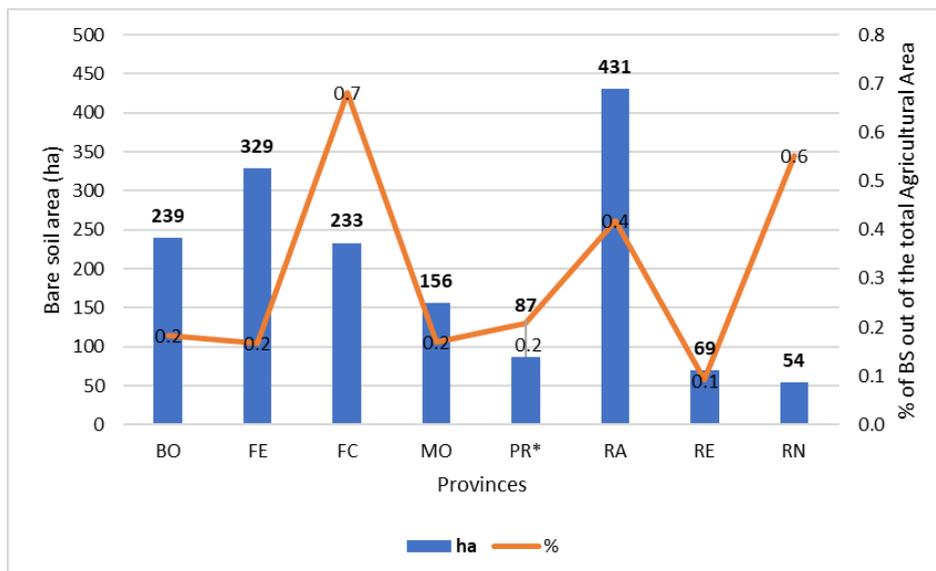


Figura 26 - Istogramma SN Aprile-Settembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

La Figura 27 è la mappa ottenuta dall'elaborazione della sequenza temporale "luglio-novembre". Per tale sequenza la disponibilità dei dati è circoscritta alla sola porzione "costa", visivamente la presenza di SN risulta preponderante nelle province di Forlì-Cesena e Ravenna.

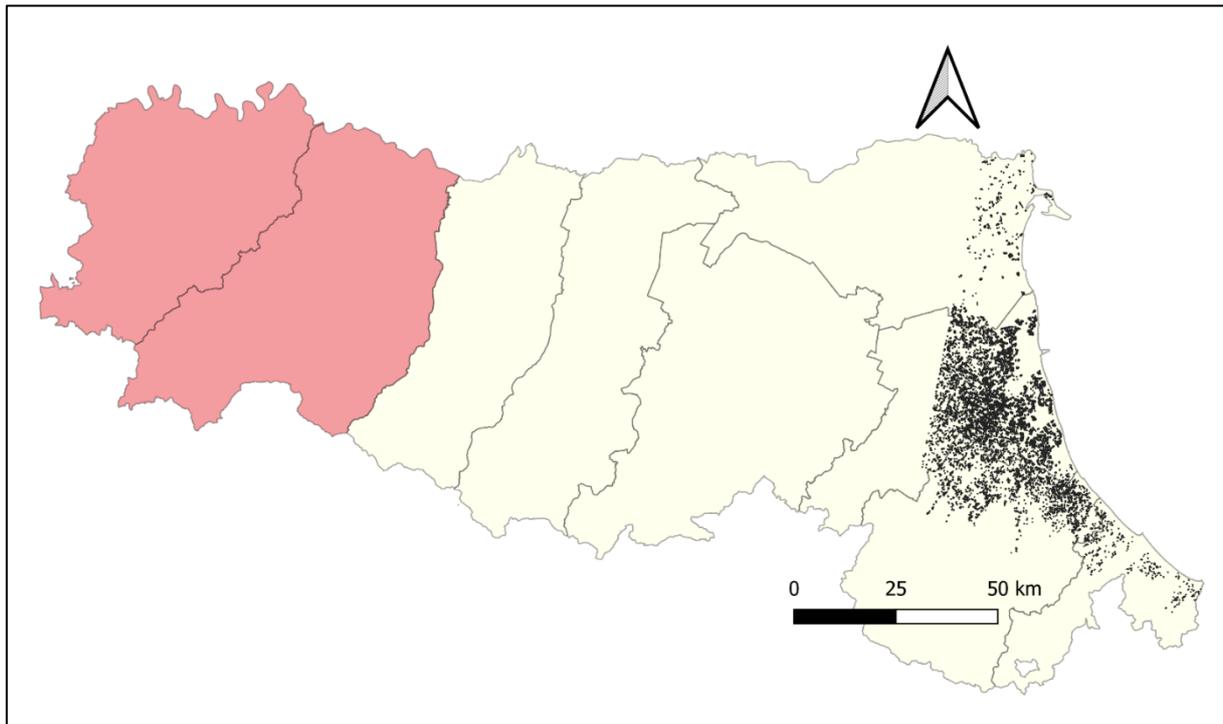


Figura 27 - Mappatura dei SN nel periodo Luglio-Novembre 2017, 4 mesi (Elaborazione QGIS)

La Figura 28 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "luglio-novembre". Il grafico mostra l'alta disponibilità di terreni nudi nelle province di Ravenna e Forlì-Cesena i quali rappresentano rispettivamente circa il 16% e 9% della superficie agricola totale disponibile. In termini complessivi, spiccano gli oltre 11000 ettari di SN nella provincia di Ravenna.

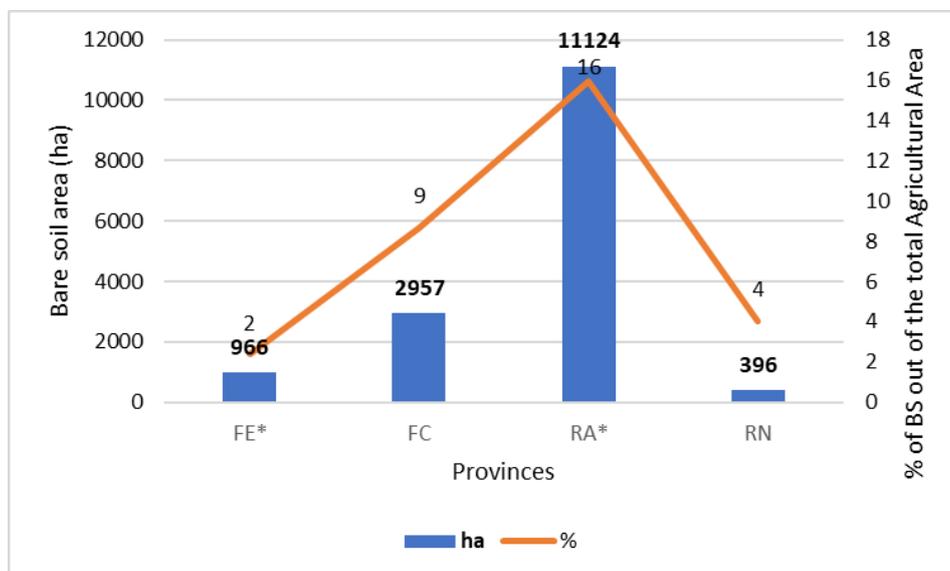


Figura 28 - Istogramma SN Luglio-Novembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

La Figura 29 è la mappa ottenuta dall'elaborazione della sequenza temporale "luglio-settembre". Per tale sequenza la disponibilità dei dati è circoscritta all'intera porzione regionale, visivamente la presenza di SN risulta molto abbondante e ben distribuita in tutta l'area di studio "RER".

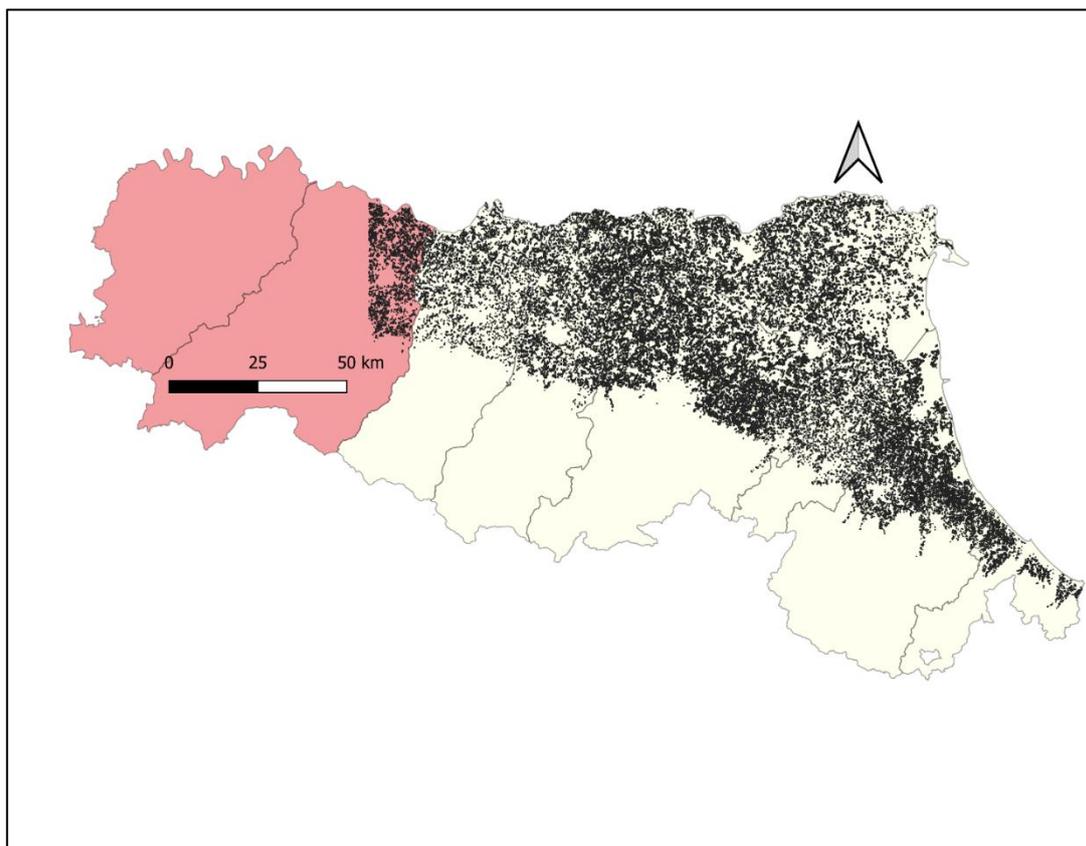


Figura 29 - Mappatura dei SN nel periodo Luglio-Settembre 2017, 2 mesi (Elaborazione QGIS)

La Figura 30 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "luglio-settembre". Il grafico riporta una grande quantità di terreni nudi nelle province di Bologna, Ferrara, Modena e Ravenna. Oltre 30000 ettari sono nudi a Bologna e Ferrara, oltre 20000 a Ravenna e quasi 19000 a Modena, tuttavia rapportati alla superficie agricola totale disponibile le province più performanti con valori superiori al 20% sono Bologna, Forlì-Cesena, Modena, Ravenna e Rimini.

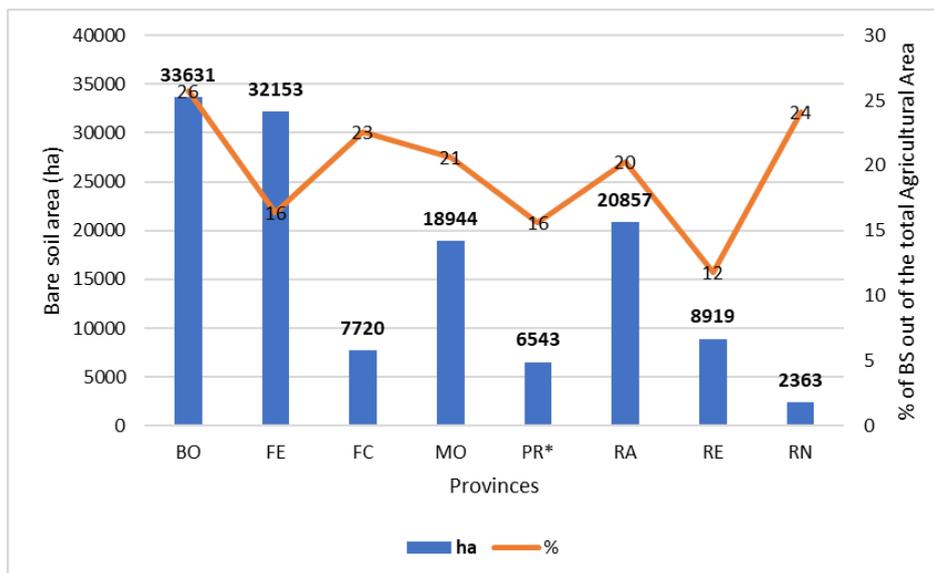


Figura 30 - Istogramma SN Luglio-Settembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

5.1.3. Risultati totali

Per motivi di spazio la presentazione delle mappe di SN e dei relativi istogrammi di abbondanza totale e percentuale si limita ai casi sovrastanti, ma in Tabella 11 e Tabella 12 sono riassunti i dati per tutti i 19 periodi considerati.

Per quanto riguarda la porzione regionale, come si evince dalla Tabella 11 i periodi più performanti sono “febbraio-maggio” con il 14% di SN rispetto al totale disponibile, “marzo-giugno” con il 5% (nell’ambito dei tre mesi) e “luglio-settembre” con il 19% e 131130 ettari di SN disponibili (nell’ambito dei due mesi), che è il risultato più performante. Le altre combinazioni che presentano una disponibilità di SN apprezzabili sono “giugno-settembre” con quasi 7000 ettari nudi per almeno tre mesi e “luglio-settembre” con 10204 ettari nudi per almeno due mesi.

Tabella 11 - Quantificazione totale di SN su RER

Time series	Duration of BS	hectares tot	% of BS
FMAM_2017	3M	93519	14
MAMJ_2017	3M	32234	5
AMJJ_2017	3M	4600	1
MJJA_2017	3M	3503	1
JJAS_2017	3M	6813	1
AMJJAS_2017	5M	1599	0
AMJJA_2017	4M	2667	0
MJJAS_2017	4M	2083	0
JJA_2017	2M	10204	1
JAS_2017	2M	131130	19

Considerando l'area di studio "costa" invece, dalla Tabella 12 si evince che i periodi più performanti sono "agosto-novembre" nell'ambito dei tre mesi, "agosto-dicembre" nell'ambito dei cinque mesi e "agosto-ottobre" nell'ambito dei due mesi con rispettivamente 27174, 20673, 40843 ettari di SN. Nell'ambito dei quattro mesi i risultati sono leggermente inferiori con percentuali di SN disponibili comprese tra 10 e 13 nei periodi "luglio-novembre" e "agosto-dicembre". Considerando la stagionalità del periodo, un buon risultato è garantito anche dal periodo luglio-ottobre, con circa 25000 ettari di SN. Per contro, i periodi estivi comprendenti il mese di giugno, "giugno-novembre" e "giugno-ottobre" mostrano scarsa disponibilità di SN con solo 901 e 1323 ettari disponibili che rappresentano appena l'1% rispetto al totale disponibile.

Tabella 12 - Quantificazione totale di SN su costa

Time series	Duration of BS	hectares tot	% of BS
JASO_2017	3M	23829	15
ASON_2017	3M	27174	18
SOND_2017	3M	26143	17
JJASON_2017	5M	901	1
JASOND_2017	5M	12026	8
JJASO_2017	4M	1323	1
JASON_2017	4M	15442	10
ASOND_2017	4M	20673	13
ASO_2017	2M	40843	26

Con l'obiettivo di dettagliare gli ettari di SN totali a scala locale, la Tabella 13 mostra in forma percentuale la quantificazione di SN ripartiti nelle 8 province. Le ultime due righe della tabella riassumono le informazioni distinte nelle Tabelle 11 e 12.

Nell'ambito dei 4 mesi, le sequenze temporali più performanti sono "luglio-novembre" e "agosto-dicembre" entrambe con alte percentuali pari a 9% per Forlì-Cesena e 11% per Ravenna.

Nell'ambito dei 3 mesi, le sequenze temporali più performanti sono:

- “febbraio-maggio” con ottime percentuali di SN in quasi tutte le province;
- “marzo-giugno” con percentuali di SN superiori al 3% nelle province di Forlì-Cesena, Ravenna; Ferrara, Bologna e Parma;
- “luglio-ottobre” con percentuali di SN superiori al 15% nelle province di Rimini, Forlì-Cesena e Ravenna;
- “agosto-novembre” con percentuali di SN superiori al 15% nelle province di Forlì-Cesena e Ravenna;
- “settembre-dicembre” con percentuali di SN comprese tra il 10% e il 30% nelle province di Forlì-Cesena e Ravenna.

Nell'ambito dei 2 mesi, le sequenze temporali più performanti sono “luglio-settembre” con ottime percentuali di SN comprese tra il 15% e il 26% in tutte le province ad eccezione di Reggio-Emilia e “agosto-ottobre” avente le percentuali di SN maggiori di tutte le sequenze indagate in particolare esse sono comprese tra il 25% e il 35% nelle province di Rimini, Forlì-Cesena e Ravenna.

Tabella 13 - Quantificazione percentuale di SN ripartiti per provincia

% RIMINI FORLI-CESENA RAVENNA FERRARA BOLOGNA MODENA REGGIO EMILIA PARMA	5M					4M					3M					2M					
	AMJJAS	JJASON	JASON	JASON	ASOND	AMIJA	MJJAS	JJASO	JASO	ASON	ASOND	FMAM	MAMJ	AMJJ	MJJA	JJAS	JASO	ASON	SOND	JJA	JAS
	0.6	0.3	2.7	0.9	4.0	0.9	0.7	0.9	4.0	4.2	4.7	2.3	1.5	1.1	1.6	16.8	6.7	4.7	2.4	24.1	25.4
	0.7	0.7	5.4	1.3	8.6	1.2	0.9	1.3	8.6	9.1	6.6	3.2	1.7	1.5	1.8	19.1	14.6	10.7	2.8	22.6	31.0
	0.4	0.8	13.1	1.0	10.8	0.8	0.5	1.0	10.8	22.2	11.0	4.9	1.2	0.9	1.1	20.2	27.9	26.8	1.7	20.3	34.7
	0.2	0.2	1.9	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3	0.5	4.0	21.6	9.8	0.6	0.4	0.7	4.0	5.0	8.2	1.1	16.4	8.8
	0.2					0.3	0.2				14.3	3.3	0.5	0.4	0.7				0.9	25.7	
	0.2					0.3	0.3				12.1	2.9	0.4	0.4	1.3				2.0	20.6	
	0.1					0.1	0.2				5.4	1.4	0.3	0.2	1.1				1.6	11.8	
	0.2					0.2	0.3				7.9	3.5	0.6	0.3	1.4				1.7	15.6	
Total BS (ha)	1599	901	12026	1323	15442	2667	2083	1323	15442	20673	93519	32234	4600	3503	6813	23829	27174	26143	10204	131130	40843
% of total BS out of total AA	0.2	0.6	7.8	0.9	10.0	0.4	0.3	0.9	10.0	13.4	13.7	4.7	0.7	0.5	1.0	15.4	17.6	16.9	1.5	19.2	26.4

5.1.4. Risultati dimensionali degli appezzamenti

Sulle sequenze temporali della Tabella 13 in cui i SN sono più abbondanti si è deciso di eseguire un'analisi di dettaglio relativa all'estensione areale degli appezzamenti, con il fine di identificare come si ripartissero dimensionalmente nell'area investigata. Le elaborazioni sono state fatte in modo tale da ottenere una serie di istogrammi in cui la frequenza è posizionata sull'asse delle ordinate e gli ettari (porzionati in classi) sull'asse delle ascisse. Questi istogrammi informano circa la distribuzione in termini di estensione (ha) degli appezzamenti e in particolare, le colonne rappresentano le frequenze relative per classe dimensionale e le percentuali sovrascritte mostrano la frequenza relativa percentuale, in altri termini il numero di appezzamenti che ricadono all'interno della determinata classe dimensionale.

Ipotizzando di dover concretamente rendere produttivi queste superfici non sfruttate inviando mezzi agricoli ad eseguire le essenziali operazioni di preparazione del letto di semina, di semina, di lavorazione e di raccolta, nonché dando seguito ad alcuni ragionamenti fatti con le realtà agricole locali si è deciso di raggruppare le particelle identificate come SN in 3 classi dimensionali:

- minori di 1 ha ritenute troppo piccole per giustificarne uno sfruttamento agricolo con l'impiego di mezzi agricoli dedicati (colonna arancione);
- tra 1 e 3 ha ritenute di medio interesse, in cui occorre valutare una densità di particelle a SN per spingerne lo sfruttamento agricolo (colonne gialle);
- maggiori di 3 ha ritenute di forte interesse per il loro sfruttamento anche da parte di grosse cooperative agricole con mezzi che necessitano grandi estensioni areali (colonne verdi).

I sottostanti 9 grafici presentano un simile andamento, la maggior parte degli appezzamenti ha un'estensione compresa tra le prime due classi, quindi tra 0.5 e 1.5 ettari. Tuttavia, in quasi tutti i casi indagati circa un terzo degli appezzamenti ha un'estensione compresa tra 3 e 50 ettari, questa risulta un'informazione rilevante e sufficiente per ipotizzarne un loro sfruttamento agricolo.

La Figura 31 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "luglio-novembre" in cui, il 32% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 30% è compreso tra 3 e 50 ettari.

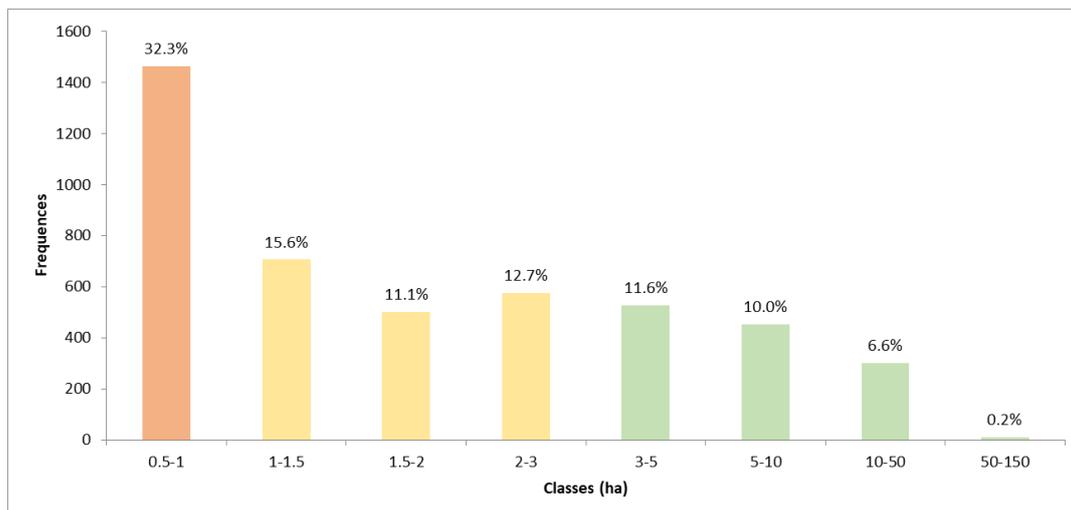


Figura 31 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Luglio-Novembre 2017

La Figura 32 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "agosto-dicembre" in cui, il 32% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 31% è compreso tra 3 e 150 ettari.

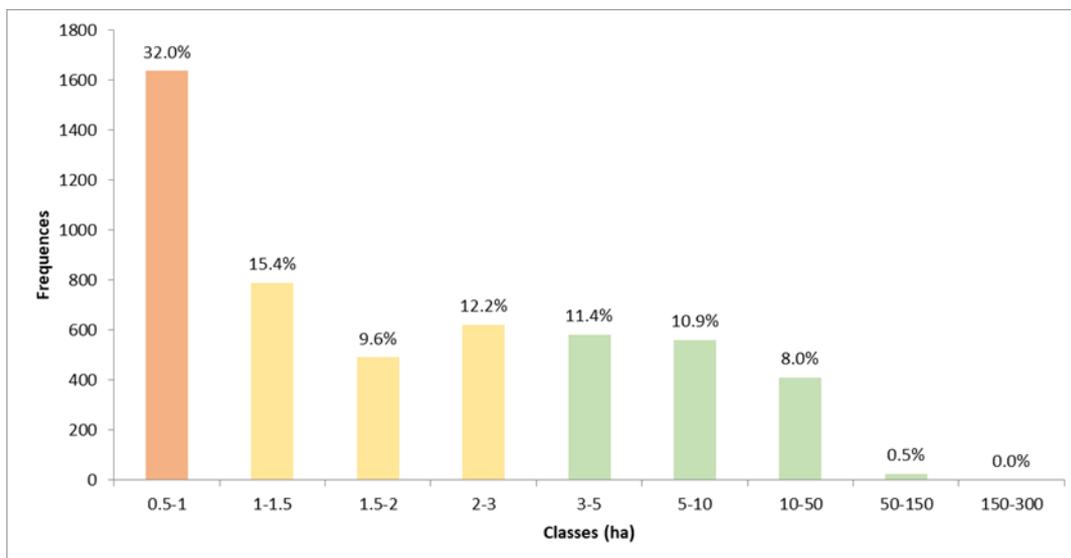


Figura 32 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Agosto-Dicembre 2017

La Figura 33 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "febbraio-maggio" in cui, il 27% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 37% è compreso tra 3 e 150 ettari.



Figura 33 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Febbraio-Maggio 2017

La Figura 34 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "marzo-giugno" in cui, il 32% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 31% è compreso tra 3 e 50 ettari.

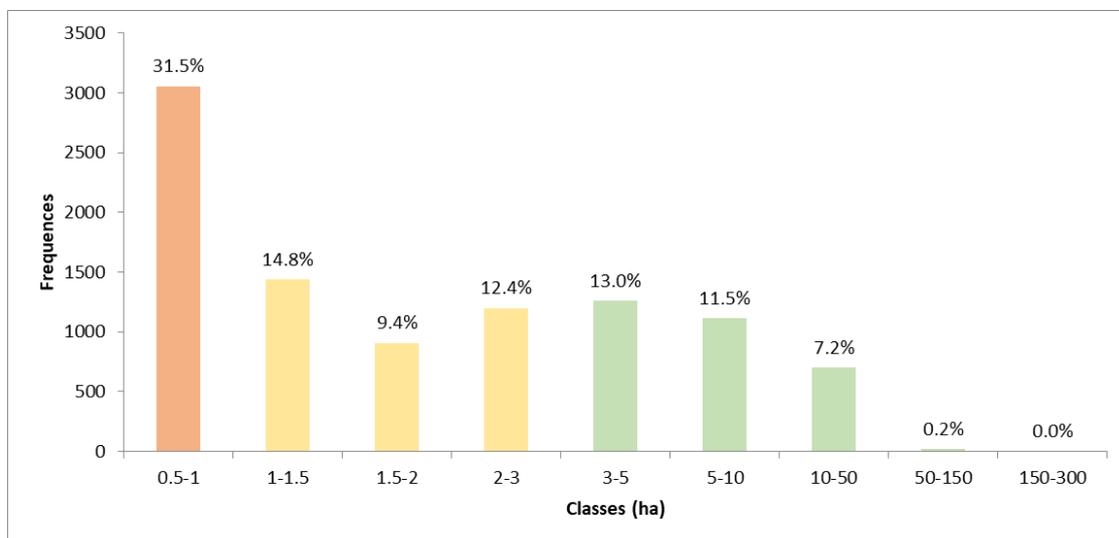


Figura 34 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Marzo-Giugno 2017

La Figura 34 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "luglio-ottobre" in cui, il 30% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 31% è compreso tra 3 e 50 ettari.



Figura 35 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Luglio-Ottobre 2017

La Figura 36 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "agosto-novembre" in cui, il 30% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 33% è compreso tra 3 e 50 ettari.

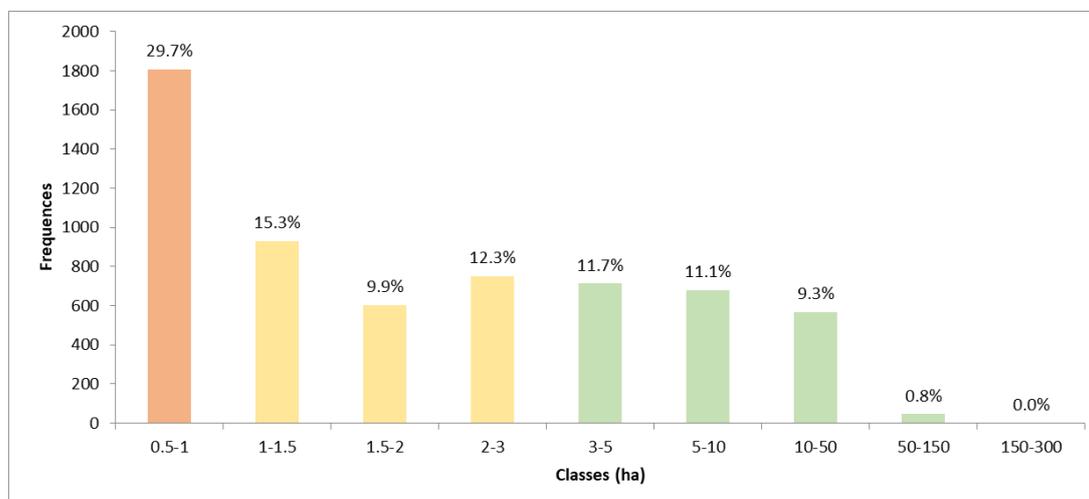


Figura 36 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Agosto-Novembre 2017

La Figura 37 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "settembre-dicembre" in cui, il 31% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 33% è compreso tra 3 e 50 ettari.

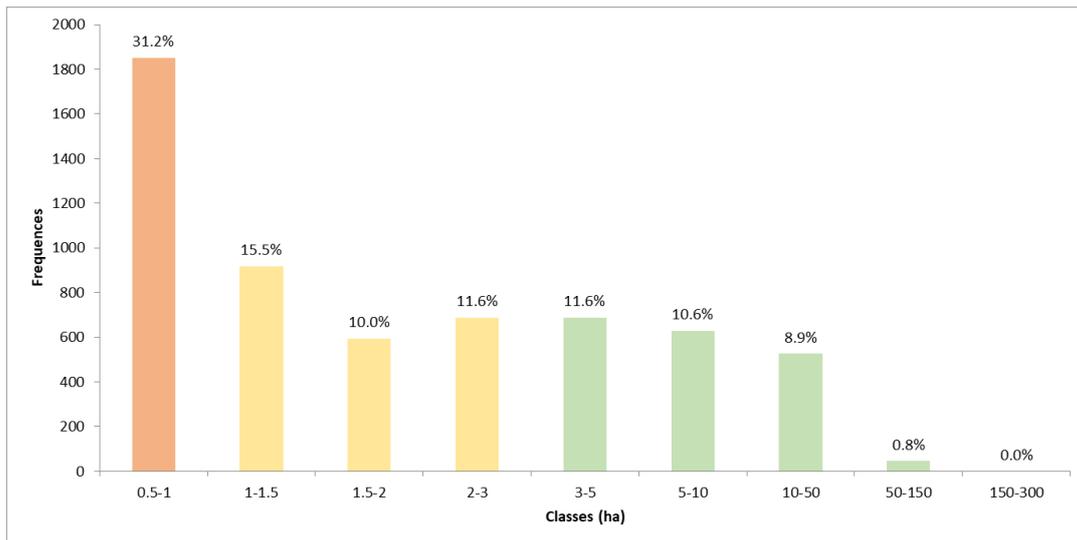


Figura 37 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Settembre-Dicembre 2017

La Figura 38 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "luglio-settembre" in cui, il 23% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 41% è compreso tra 3 e 50 ettari.

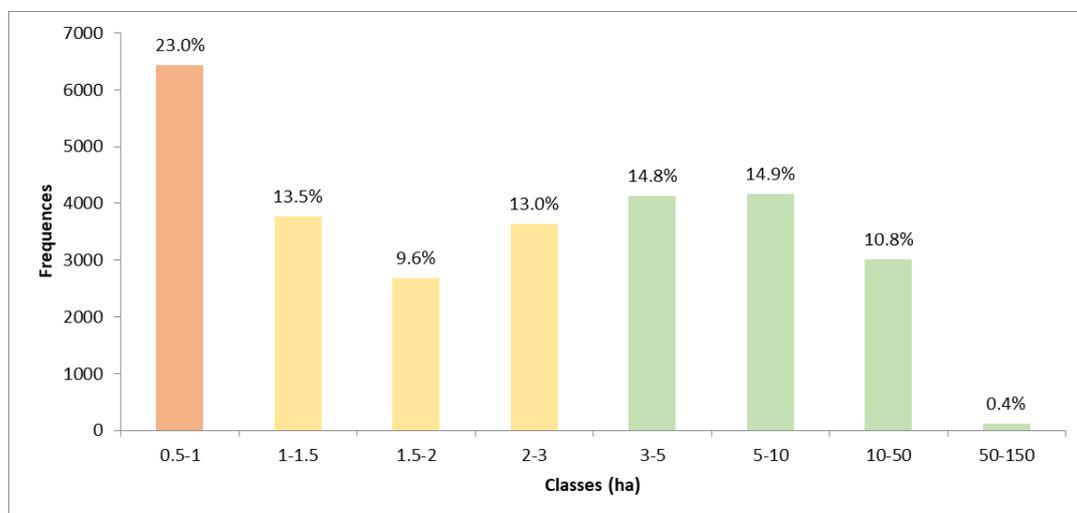


Figura 38 - Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Luglio-Settembre 2017

La Figura 39 rappresenta l'istogramma della sequenza temporale "agosto-ottobre" in cui, il 27% degli appezzamenti è inferiore a un ettaro, tuttavia un altro 37% è compreso tra 3 e 50 ettari.

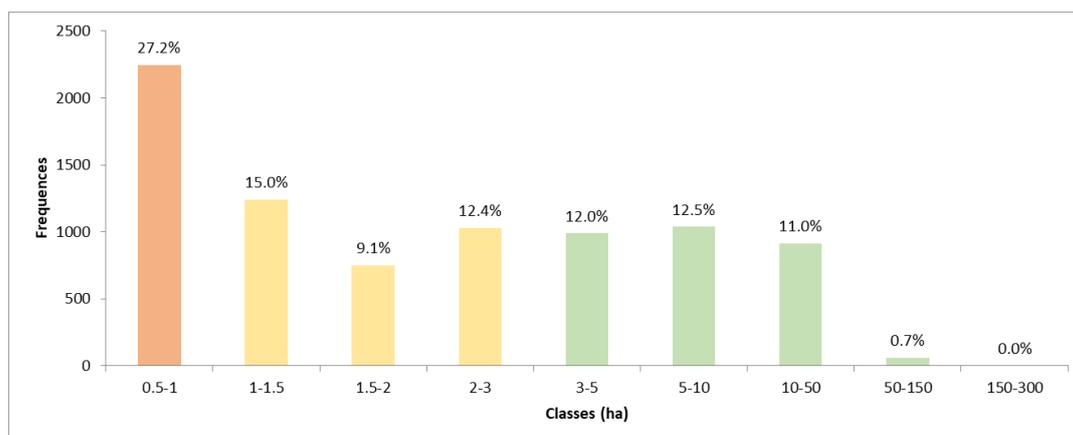


Figura 39- Istogramma della distribuzione dimensionale degli appezzamenti a SN Agosto-Ottobre 2017

In Tabella 14 per i periodi più performanti in termini di abbondanza di SN, è mostrata una sintesi delle dimensioni delle particelle presenti in ciascun periodo. Come mostrato dai grafici individuali precedenti molti appezzamenti hanno un'estensione piuttosto limitata (inferiore a un ettaro) tuttavia circa il 37% si colloca in una fascia compresa tra 1 e 3 ettari e un altro 34% ha una superficie superiore ai 3 ettari, dati significativi per l'obiettivo di intercettare l'interesse delle medie-grandi cooperative agricole attive in Regione.

Tabella 14 - Distribuzione percentuale dell'estensione dei SN in diversi periodi temporali

Period	% < 1 ha	1 < % < 3	% > 3 ha
JASON	32.3	39.4	28.4
ASOND	32.0	37.2	30.8
FMAM	26.8	36.3	36.9
MAMJ	31.5	36.6	31.9
JASO	29.6	39.0	31.4
ASON	29.7	37.5	32.9
SOND	31.2	37.1	31.9
JAS	23.0	36.1	40.9
ASO	27.2	36.5	36.2

5.2. Risultati della procedura di Validazione

La validazione di un dato così esteso e duraturo nel tempo richiede uno sforzo importante e una grande mole di dati a terra disponibili. Noto che il dato a terra è sempre il fattore maggiormente limitante nella validazione di prodotti telerilevati, in questa tesi la validazione è stata condotta sfruttando i dati dei piani colturali forniti da AGREA. Per facilitare la validazione sono stati scelti due periodi a SN molto ben precisi: JASO perché lascia scoperto il suolo nel periodo estivo, molto probabilmente a

seguito del raccolto dei cereali autunno-vernini (vedi Tabella 9) e MAMJ perché rappresentativo di SN antecedenti alla coltivazione delle colture estive, quali mais, pomodoro, pisello (vedi Tabella 9). Si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'applicazione della procedura di validazione dettagliata alla sezione "Materiali e Metodi" (Capitolo 4).

Il primo *step* della procedura di validazione ha previsto la convalida della "maschera"; la Figura 40 mostra un esempio di convalida con esito positivo. Il perimetro in colore rosso rappresenta l'estensione del SN identificato e sottoposto a convalida. Tramite il confronto con il *plugin* di QGIS "Google Satellite" risulta visibile che l'appezzamento identificato ricada all'interno di un'evidente area agricola. Tutte le verifiche che presentavano un esito simile sono state confermate positivamente. Per la sequenza temporale validata "MAMJ_2017" tutti i 31 casi indagati hanno ottenuto esito positivo. Per la sequenza temporale validata "JASO_2017" su 31 casi indagati 29 hanno ottenuto esito positivo.

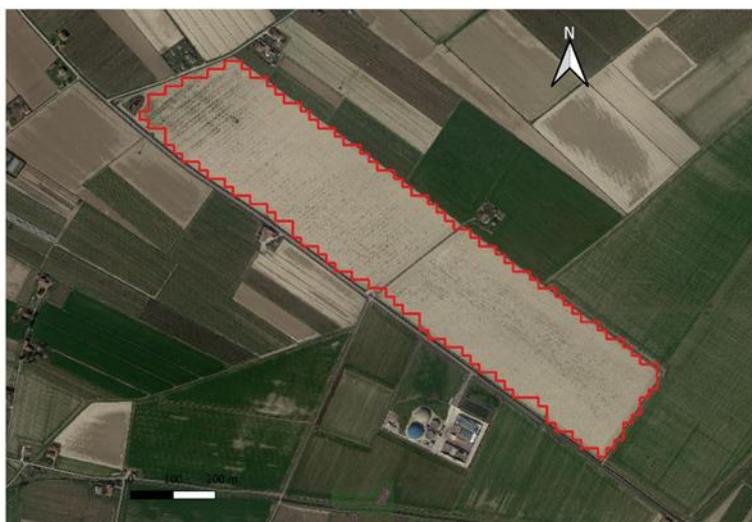


Figura 40 - Validazione della maschera, step 1 (Esempio 1)

Le Figure 41 e 42 mostrano due esempi di convalida con esito negativo. Come nel caso precedente, il perimetro in colore rosso rappresenta l'estensione del SN identificato e sottoposto a convalida. Tramite il confronto con il *plugin* di QGIS "Google Satellite" risulta visibile che l'appezzamento identificato come SN ricada all'interno di un'evidente area non agricola. Nello specifico, nella Figura 41 esso ricade all'interno di un'area stradale, mentre nella Figura 42 esso cade in corrispondenza di una discarica. Tutte le verifiche che presentavano un esito simile sono state confermate negativamente. Per la sequenza temporale validata "MAMJ_2017" nessuno dei 31 casi indagati ha ottenuto esito negativo. Per la sequenza temporale validata "JASON_2017" su 31 casi indagati 2 hanno ottenuto esito negativo.

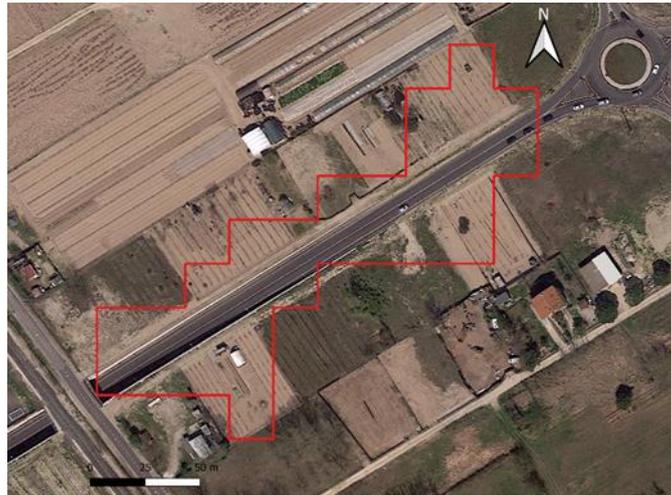


Figura 41 - Validazione della maschera, step 1 (Esempio 2)



Figura 42 - Validazione della maschera, step 1 (Esempio 3)

Il secondo *step* della procedura di validazione ha previsto la convalida del SN identificato; le figure di seguito proposte mostrano due esempi di convalida con esito positivo. La Figura 43 è esplicativa della prima fase del secondo *step* di validazione. Il SN (perimetro rosso) identificato e validato nello *step* 1, viene confrontato con il *layer* catastale per identificare foglio e particella/e entro cui esso ricade (poligono arancione).

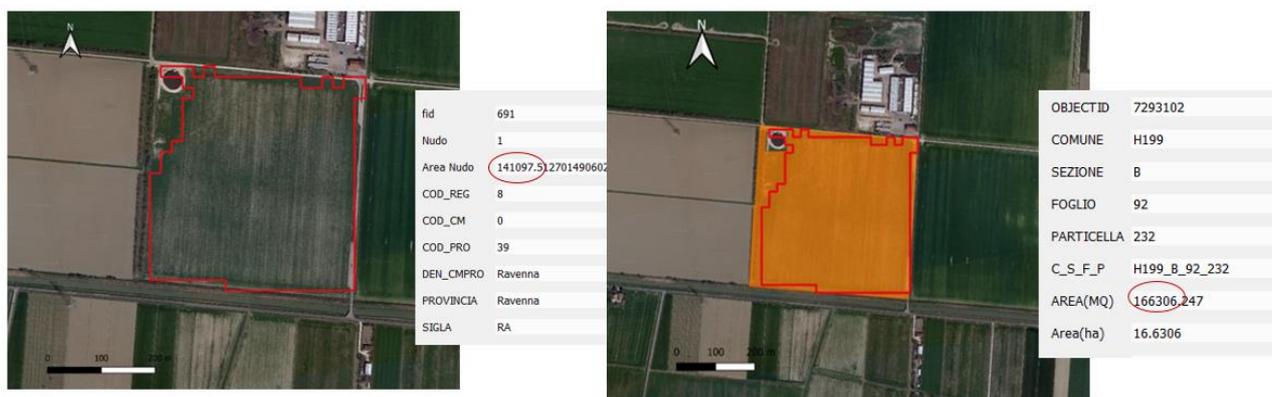


Figura 43 - Validazione SN tramite verifica catastale, step 2-fase 1 (Esempio 4)

Nella Figura 44 è riportato un estratto del database AGREA attraverso il quale si è potuto risalire alla tipologia di coltura dichiarata e assunta presente nel determinato foglio e particella/e catastale del SN considerato. Nel caso specifico della Figura 44 il periodo di riferimento era “JASO_2017” pertanto, si sono selezionate le colture autunno vernine (ad esempio i cereali Grano e Orzo) il cui ciclo fenologico si compie dalla semina autunnale sino alla raccolta nel mese di giugno. In giallo è evidenziata la coltura “Orzo”. Verificata l’effettiva presenza di tale coltura si è fatto un confronto areale. Quindi si sono confrontate l’estensione superficiale del SN identificato (14 ha), l’estensione superficiale della/e particella/e catastale (16 ha) e la superficie della coltura selezionata (15 ha) dichiarata nel *database*.

ISTATP	ISTATC	NOME_CC	COD_FISC	SEZIONE	FOGLIO	PARTICELL	SUB	COLTURA	SUP_MQ
39	14	RAVENNA	H199	B	92	230		ORZO, DA SEME	333400
39	14	RAVENNA	H199	B	92	230		SIEPI E FASCE ALBERATE	7100
39	14	RAVENNA	H199	B	92	230		USO NON AGRICOLO - TARE	3639
39	14	RAVENNA	H199	B	92	232		USO NON AGRICOLO - TARE	9728
39	14	RAVENNA	H199	B	92	232		SIEPI E FASCE ALBERATE	3000
39	14	RAVENNA	H199	B	92	232		ORZO, DA SEME	150500
39	14	RAVENNA	H199	B	92	233		USO NON AGRICOLO - FABBRICA	2937
39	14	RAVENNA	H199	C	93	2		USO NON AGRICOLO - TARE	716

Figura 44 - Validazione SN tramite verifica con database AGREA, step 2-fase 2 (Esempio 4.1)

Di seguito (Figura 45 e Figura 46) è riportato un ulteriore esempio del secondo *step* di validazione con esito positivo. L’*iter* di convalida è il medesimo di quello presentato precedentemente, così come il periodo temporale indagato.

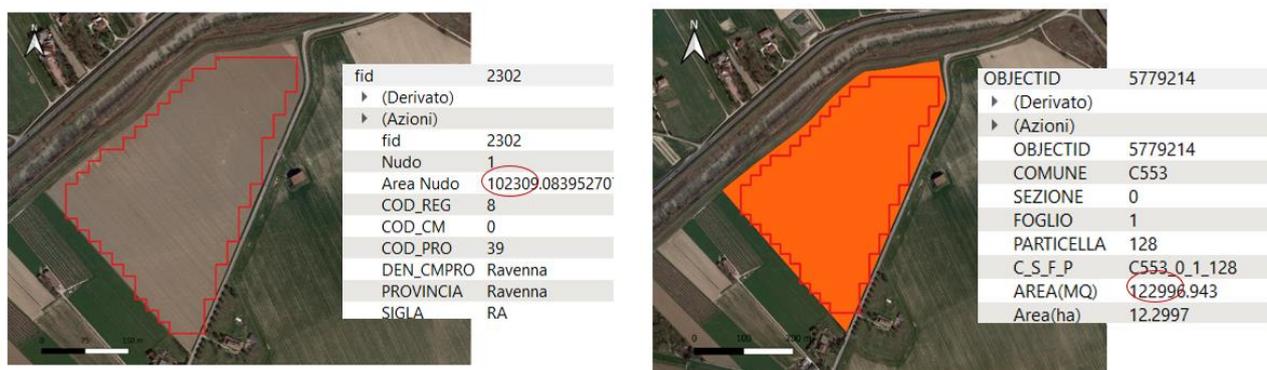


Figura 45 – Validazione SN tramite verifica catastale, step 2-fase 1 (Esempio 5)

In questo secondo esempio (Figura 46), la coltura selezionata è “Grano” e le aree confrontate sono di rispettivamente 10 ha, 12 ha e 12 ha per l’estensione superficiale del SN identificato, l’estensione superficiale della particella catastale e la superficie della coltura selezionata dichiarata nel *database*.

ISTATP	ISTATC	NOME_CC	COD_FISC	SEZIONE	FOGLIO	PARTICELL	SUB	COLTURA	SUP_MQ
39	7	CERVIA	C553			1	125	USO NON AGRICOLA - TARE	436
39	7	CERVIA	C553			1	128	GRANO (FRUMENTO) DURO, DA	121201
39	7	CERVIA	C553			1	128	FASCE TAMPONE RIPARIALI	1243
39	7	CERVIA	C553			1	129	MANUFATTI	1525
39	7	CERVIA	C553			1	130	MANUFATTI	1060

Figura 46 - Validazione SN tramite verifica con database AGREA, step 2-fase 2 (Esempio 5.1)

I risultati complessivi della procedura di validazione sono riportati in Tabella 15 e Tabella 16, nelle quali i “sì” e i “no” sono stati assegnati come precedentemente descritto.

Per quanto riguarda il secondo *step* di validazione sulla sequenza “MAMJ_2017”:

- nella fase 2.1, 31 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito positivo, tuttavia 7 dei 31 casi positivi hanno ottenuto esito positivo ma la valutazione risulta problematica a seguito del numero elevato di particelle catastali che compongono l'appezzamento individuato come SN che complicano il confronto areale;
- nella fase 2.2, 19 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito positivo, per contro 12 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito negativo. Questo significa che dei 31 casi positivi della fase 2.1 se ne perdono 12 i quali, evidentemente, comportano una risposta negativa nell’ultima fase di valutazione.

Tabella 15 - Risultati della procedura di validazione di "MAMJ_2017"

ID Img.	BS area	DB AGREA area	1. Mask	2.1 Cadastre check	2.2 DB AGREA check
2	482571	278538	OK	OK (many particles)	NO
3	659639	936778	OK	OK	YES
4	821488	679000	OK	OK	YES
5	580757	676624	OK	OK	YES
6	629607	not identified	OK	OK	NO
7	695063	not identified	OK	OK	NO
8	478531	0	OK	OK (many particles)	NO
9	433570	176883	OK	OK	NO
10	651925	481913	OK	OK (many particles)	YES
11	1203846	0	OK	OK (many particles)	NO
12	690667	628981	OK	OK (many particles)	YES
13	720282	215987	OK	OK	NO
14	507006	356255	OK	OK	YES
15	726771	0	OK	OK	NO
16	414593	359594	OK	OK (many particles)	YES
17	596489	648044	OK	OK	YES
18	294966	232763	OK	OK	YES
19	297336	271400	OK	OK	YES
20	584680	380491	OK	OK	YES
21	81924	48845	OK	OK	NO
22	51573	42272	OK	OK	YES
23	52357	46378	OK	OK (many particles)	YES
24	58351	69575	OK	OK	YES
25	60014	0	OK	OK	NO
26	61153	not identified	OK	OK	NO
27	62342	73448	OK	OK	YES
28	72365	0	OK	OK	NO
29	81164	92082	OK	OK	YES
30	91939	142449	OK	OK	YES
31	110313	108126	OK	OK	YES

Per quanto riguarda il secondo *step* di validazione sulla sequenza "JASO_2017":

- nella fase 2.1, 30 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito positivo, per contro 1 caso su 31 indagati ha ottenuto esito negativo. Nello specifico, 5 dei 30 casi positivi hanno ottenuto esito positivo ma la valutazione risulta problematica a seguito del numero elevato di particelle catastali che compongono l'appezzamento individuato come SN che complicano il confronto areale;
- nella fase 2.2, 22 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito positivo, per contro 9 casi su 31 indagati hanno ottenuto esito negativo. Questo significa che dei 30 casi positivi della fase 2.1 se ne perdono 8 i quali, evidentemente, comportano una risposta negativa nell'ultima fase di valutazione.

Tabella 16 - Risultati della procedura di validazione di "JASO_2017"

ID Img.	BS area	DB AGREA area	1. Mask	2.1 Cadastre check	2.2 DB AGREA check
1	165894	206653	OK	OK	YES
2	552410	78820	OK	OK (many particles)	NO
3	1329349	1139122	OK	OK	YES
4	675070	1179152	OK	OK (many particles)	YES
5	47561	0	NO	OK	NO
6	323006	339821	OK	OK	YES
7	791425	581915	OK	OK	YES
8	611072	619467	OK	OK	YES
9	843255	324077	OK	OK	NO
10	497245	240500	OK	OK (many particles)	NO
11	185057	193415	OK	OK	YES
12	391668	32963	OK	OK	NO
13	384074	641200	OK	OK	YES
14	780685	467597	OK	OK (many particles)	NO
15	178457	126600	OK	OK	YES
16	252992	267400	OK	OK	YES
17	82332	88456	OK	OK (many particles)	YES
18	190257	62161	OK	OK	NO
19	77141	52884	OK	OK	YES
20	11588	0	NO	NO	NO
21	141097	150500	OK	OK	YES
22	44767	48595	OK	OK	YES
23	45169	55800	OK	OK	YES
24	48365	32000	OK	OK	YES
25	51558	58192	OK	OK	YES
26	52763	59534	OK	OK	YES
27	60352	70984	OK	OK	YES
28	70337	79870	OK	OK	YES
29	80337	81781	OK	OK	YES
30	93127	7938	OK	OK	NO
31	102309	121201	OK	OK	YES

CAPITOLO 6 – DISCUSSIONI

Una migliore conoscenza dell'estensione e dei modelli spaziali dei terreni agricoli attivi, incolti e abbandonati è importante per valutare i risultati ambientali e sociali derivanti dai processi di uso del suolo ed esplorare il potenziale contributo delle terre parzialmente o totalmente inutilizzate per la produzione di cibo e bioenergia (Estel et al., 2015). Attualmente esistono numerosi prodotti di mappatura del suolo come il *database* mondiale del suolo (1:5.000.000, Nachtergaele et al., 2009) e il database europeo del suolo (1:1.000.000, Panagos et al., 2012) i quali forniscono informazioni sulle diverse proprietà del suolo. Tuttavia, la risoluzione spaziale di questi prodotti è generalmente troppo grossolana per tenere conto delle variazioni del suolo a scala locale (Rogge et al., 2018). Questo studio ha permesso di mappare e quantificare per il 2017 i SN a scala regionale a partire da immagini satellitari Sentinel-2; nonostante la metodologia abbia utilizzato solo questa sorgente di immagini, grazie al processamento svolto con il SIAM™, il metodo è facilmente replicabile utilizzando immagini da qualsiasi satellite. La procedura sviluppata permette di rispondere alle domande poste come obiettivi: quanto, quando e per quanto tempo i SN sono disponibili e informa circa la loro estensione e la loro resa produttiva in termini energetici. I risultati ottenuti vengono discussi in questo capitolo nel quale vengono presentati anche alcuni limiti e/o problematiche che si ritiene utile mettere in luce.

6.1. Risultati mensili

Con l'obiettivo di rispondere alla domanda "rispetto alla SAU regionale, quanti ettari di suolo sono classificabili come SN?" posta in partenza, la prima valutazione è stata effettuata sui singoli mesi del 2017. Anziché utilizzare il dato di SAU regionale, che considera l'intera estensione regionale comprensiva della provincia Piacenza e della porzione appenninica, escluse dal presente studio, le valutazioni di questo lavoro di tesi sono condotte analizzando l'area coperta dal Progetto IColt di Arpae. Volendo solo riportare quantitativamente i SN presenti per ogni mese, si sono calcolati gli ettari totali per ogni mensilità senza discriminare l'ubicazione (dettaglio provinciale) e senza eseguire un filtraggio per aree inferiori a 5000 m², come indicato nella sezione "Materiali e Metodi" (Capitolo 4). Queste condizioni motivano la grande quantità di SN riportati in Tabella 10 in termini di abbondanza. Il *trend* mostrato dai dati vede una grande presenza di SN nei primi mesi dell'anno, un netto calo a partire da giugno e un successivo aumento nel mese di agosto. Tolate le colture permanenti, che per ovvi motivi non generano periodi con SN, attualmente la coltivazione principale in RER è quella dei cereali autunno-vernini, aventi un ciclo agronomico che va da novembre a giugno

(Montola et al., 2009). Per quanto riguarda le colture estive, il mais con le colture industriali copre una buona fetta dei suoli da aprile a settembre. Da questa semplice osservazione emerge che nel periodo aprile-luglio vi sia la sovrapposizione dei cereali invernali e delle colture estive che giustificano il minimo quantitativo di SN in quei mesi.

6.2. Risultati dei 19 periodi prioritari

Dopo aver verificato che la "classificazione" fatta sugli *output* del SIAM™ effettivamente riconoscesse i SN, si è potuto proseguire con l'analisi multi-mese, cercando di identificare i periodi dell'anno più promettenti per una valorizzazione.

Poiché in ambito agricolo aree inferiori a 0.5 ha risultano troppo modeste per ipotizzarne una reale valorizzazione, è stato applicato un filtro spaziale per eliminare tutti gli aggregati di *pixel* contigui la cui area sia minore di mezzo ettaro. I periodi temporali identificati sono stati selezionati come dichiarato alla sezione "Materiali e Metodi" e il periodo minimo di 3 mesi identificato come intervallo temporale minimo di interesse agronomico per sviluppare un intero ciclo colturale, è in linea con quanto riportato nel progetto europeo "MAGIC PROJECT H2020".

Come evidenziano i risultati, sia gli *output* grafici che le mappe, la permanenza dei SN è tendenzialmente di durata limitata, la risposta è più positiva a periodi a SN di durata di 3-2 mesi piuttosto che a 5 mesi. Considerando che l'economia della RER si basa fortemente sulla produzione agricola (Fanfani & Pieri, 2017) questo dato è un risultato ragionevole. La risposta di SN positiva a 5 mesi è dovuta principalmente a casi anomali quali identificazione di un SN in corrispondenza di un impianto recente di nuove colture permanenti, aree adibite a cava, aree dismesse o ritirate, aree edificate. Tutti questi casi sono imputabili all'utilizzo della maschera (IColt 2014) poco aggiornata rispetto ai dati elaborati, punto di cui si discute in seguito. I SN identificati si collocano principalmente nel secondo semestre dell'anno, le mensilità coinvolte sono quelle da luglio a dicembre, ma anche nel trimestre marzo-giugno. Come già detto, considerato che tutta l'area orientale della RER si basa principalmente su una produzione agricola a colture seminate (Fanfani & Boccaletti, 2018), soprattutto cereali come grano e orzo e considerato il ciclo colturale stagionale di tali colture anche questo dato è un risultato ragionevole e concorde con le suddette circostanze.

6.3. Risultati totali

Come si evince dalla Tabella 11 e Tabella 12, le percentuali di SN per periodi maggiori al mese singolo, pur mantenendo lo stesso *trend* diminuiscono radicalmente soprattutto per quanto riguarda la porzione regionale (Tabella 11). Come possibile giustificazione di ciò si consideri che:

- come precedentemente detto, i prodotti in uscita dalle elaborazioni mensili comprendono anche appezzamenti inferiori a mezzo ettaro;
- le somme dei diversi *raster* per ottenere le sequenze temporali porta ad una riduzione delle aree a SN, in quanto è sufficiente che lo stesso *pixel* dia risultati discordi in due mesi successivi per annullare la risposta positiva a SN. Più i periodi sono lunghi (più mensilità sono sommate) e maggiore è il numero di *pixel* che vengono via via eliminati perché non più rappresentativi di SN.

In generale i periodi a 4-5 mesi sono poco performanti, ad eccezione del quadrimestre agosto-dicembre che presenta un 13% di SN paragonabile al trimestre positivo febbraio-maggio. Il risultato non stupisce considerato che sono da poco stati raccolti i cereali autunno-vernini (giugno-luglio) e che il procedere verso la stagione invernale riduce le possibilità di ulteriori colture. A questo si aggiunga che, dove i cereali sono stati riseminati per la stagione agronomica successiva, in dicembre ancora le piccole piantine dicotiledoni non consentono una copertura di suolo tale da comparire come coltivato (Chirici et al., 2008), punto di cui si discute in seguito.

Come si evince dai risultati delle diverse sequenze temporali, giugno e settembre sono due mesi molto rilevanti per i SN, in quanto l'arrivo di giugno e del massimo radiativo porta alla coltivazione di tutte le colture estive principali in regione. Sono, infatti, poche le colture che non sono a dimora in giugno in RER (alcune specie di fagiolo, di mais da granella e di sorgo) (Morini, 2012). Al contrario, settembre contribuisce ad un rapido aumento dei SN in quanto molte delle colture estive sono già state raccolte come grano, orzo, segale, farro (Morini, 2012) e il suolo torna ad essere privo vegetazione o in lavorazione per la semina dei cereali autunno-vernini.

Sicuramente significativa è l'abbondanza di SN nel periodo luglio-settembre, che in soli due mesi raggiunge il 20% rispetto al totale disponibile. Il fatto che il 70% (Fanfani & Pieri, 2017) della produzione cerealicola totale della REM comprende frumento e orzo, il cui ciclo colturale ne prevede la raccolta a fine giugno spiega in modo evidente il risultato positivo conseguito. Come detto sopra, una parte dei suoli a settembre potrebbe essere pronto per la nuova semina dei cereali o in attesa di passare l'inverno incolto per la semina delle colture estive della successiva annata agraria (Valli et al., 2017; Von Cossel et al., 2019).

Come evidenziano i risultati a scala provinciale (Tabella 13) la presenza di SN è preponderante nelle province di Ravenna e Forlì-Cesena. Province in cui le percentuali di SN riscontrati nelle mensilità più performanti risultano considerevoli e comprese tra il 10% e il 35% in quasi tutti i casi. Si sottolinea

che la disponibilità dei dati su tali province è positiva in entrambe le condizioni (area di studio “costa” o RER) quindi le condizioni sono, di partenza, più favorevoli rispetto alle altre province. Va osservato, inoltre, che la provincia di Ravenna possiede una superficie agricola totale molto elevata. Infatti, l’agricoltura ravennate è costituita da 9.353 imprese iscritte alla C.C.I.A.A. che insistono su circa 117.245 ettari di superficie agraria utile. In questo contesto il comparto cerealicolo occupa oltre 42.000 ettari con 23.000 ha di grano tenero, 7.300 ha di mais e 5000 ha di grano duro (<http://www.ravenna.coldiretti.it>). Questo assetto agricolo giustifica la presenza dei SN, specialmente nel periodo luglio-settembre.

6.4. Risultati dimensionali

Oltre alla loro localizzazione e al loro periodo a SN, anche le dimensioni degli appezzamenti appaiono rilevanti per una loro reale valorizzazione. Come evidenziano i risultati ottenuti dall’analisi statistica condotta sulle sequenze temporali considerate più performanti, la maggior parte degli appezzamenti ha un’estensione compresa tra 0.5 e 1 ettari. Tuttavia, in quasi tutti i casi indagati circa il 30% degli appezzamenti ha un’estensione abbastanza grande compresa tra 3 e 50 ettari: Non stupisce che molti appezzamenti siano di piccole dimensioni, in quanto il grande frazionamento delle realtà agricole e il forte tratto antropico presente nelle aree investigate, porta al continuo diminuire delle dimensioni dei corpi agricoli (Istat, 2015; Bellini et al., 2013). Al contrario, specialmente in Romagna, il movimento cooperativo rimane ancora solido e nelle porzioni costiere ferraresi e ravennati rimangono attivi grandi appezzamenti legati alle ultime bonificazioni (Menzani, 2010). Il restante 30% circa di appezzamenti con estensioni tra i 1 e i 3 ettari appaiono di dimensione interessante per un loro sfruttamento, in particolare se inseriti in un contesto più ampio che tiene conto della presenza di SN in un’area "vasta" raggiungibile comodamente con mezzi agricoli, circa 3-5 km.

L’altro elemento curioso legato alle dimensioni degli appezzamenti è l’elevata omogeneità tra i periodi indagati. Infatti, per tutti i periodi la distribuzione dimensionale degli appezzamenti risulta omogenea, come se il disegno territoriale dell’ambito agricolo, nonostante le differenze di produzioni, manifesti una trama che esula dall’aspetto agricolo. Questo trova riscontro nel fatto che la regimazione agricola prevede la suddivisione degli appezzamenti in unità più piccole delimitate da scoline per il drenaggio dei suoli. Una delle sistemazioni più caratteristiche della pianura è quella alla "larga alla ferrarese" che impone scoline e capofossi per creare appezzamenti di circa 50-80 m di larghezza per 200-400 m di lunghezza (Landi, 2000). Inoltre, prima dell’abrogazione dell’Articolo 846 del Codice Civile ogni regione definiva nel proprio Piano Urbanistico le unità minime colturali. Successivamente, con il D.lg 18 maggio 2001, n. 228 in materia di “Orientamento e modernizzazione del settore agricolo, a norma

dell'articolo 7 della legge, 2001”, la legislazione ha cercato di superare il concetto della minima unità colturale dando rilievo all’aspetto produttivo dell’azienda. Un primo tentativo per arginare la frammentazione della proprietà terriera è stato fatto con la Legge del 1933 sulla bonifica integrale, che prevede trasferimenti coattivi, anche se ai fini di bonifica (Regio Decreto n. 215, 1933). Soprattutto nelle zone di recente bonifica (Buscaroli et al., 2011), così come nelle aree interne della centuriazione romana, si è sempre cercato di uniformare le aree agricole con un disegno urbanistico standard (Franceschelli, 2015).

6.5. Risultati della procedura di validazione

La procedura di validazione applicata è stata messa a punto *ad hoc* per il presente studio pur risentendo di alcuni limiti e necessità di sviluppi ulteriori. Si discutono di seguito gli aspetti sfavorevoli emersi.

6.5.1. Datazione della maschera

La prima valutazione concerne la bontà della maschera applicata per escludere ciò che non è agricolo. L’utilizzo della maschera, che come dichiarato è datata 2014, comporta una differenza di 3 anni rispetto ai dati di *input* utilizzati. Nonostante gli anni di distanza siano pochi nell’ottica di grossi cambiamenti urbanistici e nella maggior parte delle casistiche la maschera escluda alla perfezione le aree antropiche, alcuni casi anomali sono stati riscontrati. Il mancato aggiornamento della maschera comporta l’identificazione di SN in aree a non evidente uso agricolo, nella cui concomitanza si erigono capannoni, discariche e strade edificati dopo il 2014. Questo quindi accade successivamente a cambiamenti di uso del suolo verificatesi in tempi recenti. I casi con esito negativo sono tuttavia limitati.

6.5.2. Trasversalità delle particelle

Nella fase 2.1 della validazione (verifica catastale) si riscontrano numerosi casi in cui i SN identificati ricadono all’interno di molteplici particelle catastali con diversi proprietari e/o casi in cui i SN ricadono all’interno di una particella rappresentandone solo una frazione (Figura 47). Queste situazioni rendono problematica la valutazione soprattutto in previsione del calcolo dell’estensione successivo (fase 2.2 della validazione), in quanto risulta difficile ipotizzare quale coltura sia coltivata in concomitanza dell’identificato SN così come risulta impossibile determinare quanta area della

particella è coinvolta all'interno del SN. Va infatti ricordato che i dati catastali riportano per la singola particella solo la coltura dominante, omettendo tutte le informazioni riguardanti l'estensione e l'esatta posizione delle altre colture. Il limite di questo approccio consiste nel fatto che queste casistiche rendono la validazione sulle singole particelle difficile e imprecisa con conseguente ricaduta sulla valutazione finale.

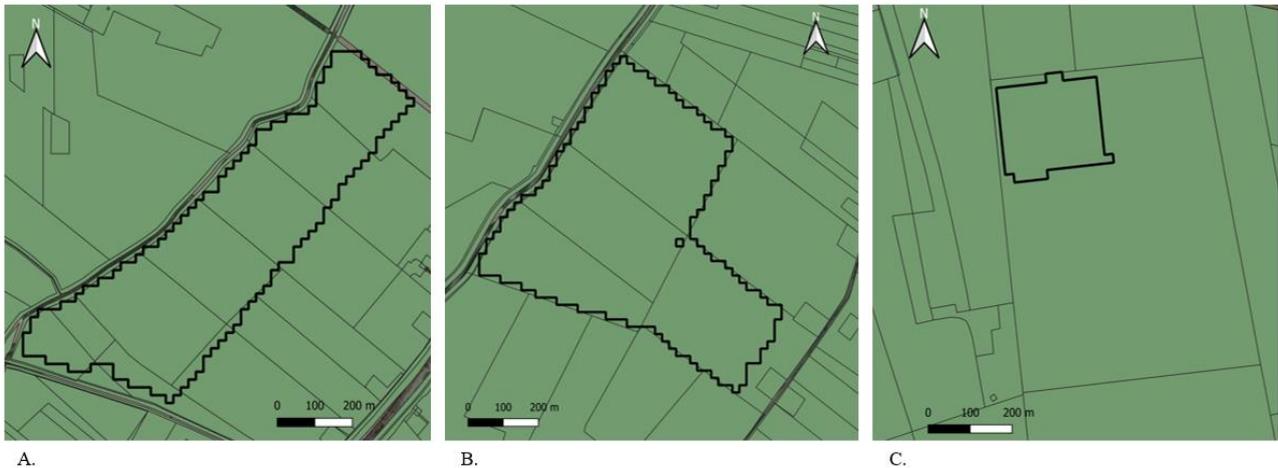


Figura 47 - Esempi di SN identificati (Elaborazione QGIS)

Inoltre, si consideri che quello che restituisce il *database* AGREA sono dati catastali, fogli e particelle entro cui ricadono tutte le proprietà agricole. Pertanto, nel presente studio:

- non si dispone di confini spaziali catastali questo significa che quello che la procedura messa in atto identifica come SN potrebbe essere compreso tra diversi proprietari (Figura 47 A e B);
- il dato catastale non dettaglia le colture anno per anno, questo significa che all'interno di una stessa particella possono essere dichiarati come coltivati una serie di colture differenti di cui non si possiede l'esatta ubicazione (Figura 47 C);
- le valutazioni sono fatte sulla base di quanto dichiarato alla RER dal tessuto agricolo; in questo senso è noto che non sempre le dichiarazioni fatte sono concordi con la realtà (Kanjir et al., 2018).

6.5.3. Elementi della procedura di validazione

Nelle tabelle 14 e 15, la dicitura “area database AGREA=0” significa che non si è riusciti a verificare la particella corrispondente all'appezzamento a SN. Questo può essere imputato ad un avvenuto frazionamento della proprietà agricola, caso in cui a livello catastale il foglio rimane il medesimo ma le particelle assumono numerazioni differenti.

La dicitura “area database AGREA =non identificato” significa che foglio e particella identificati per un determinato appezzamento a SN non esistono nel *database* fornito. Questo può essere giustificato

dal fatto che tramite questa procedura che utilizza tecniche di *remote sensing* si discriminano più dettagli o dinamiche diverse da quanto dichiarato ufficialmente dagli agricoltori (Kanjir et al., 2018). L'aspetto più problematico è risultato essere il confronto tra l'estensione dell'appezzamento a SN identificato e quella della coltura identificata come migliore per giustificare quel SN. L'assegnazione del giudizio di validazione "Si/No" è stata effettuata come dichiarato in precedenza. Nello specifico nella fase di validazione 2.2.B la soglia di giudizio negativo in termini di estensione è pari ad una differenza del 50% sia positiva che negativa, rispetto a quanto riportato nel *database* catastale. Quando il valore è negativo significa che il SN identificato ha un'estensione inferiore alla coltivazione presa come riferimento. Questo appare giustificabile dal fatto che vi è una problematica di dominanza delle particelle. Le pubbliche amministrazioni sono informate circa il porzionamento di ogni appezzamento, in quanto dichiarazione obbligatoria ai fini catastali, tuttavia il prodotto catastale viene semplificato approssimandolo alla coltura prevalente. Questo implica che oltre alla coltura prevalente è possibile la presenza di altre specie coltivate entro la stessa particella. È evidente che ciò comporta una discrepanza tra i risultati.

Un'altra spiegazione a questo risultato in validazione potrebbe essere l'effettuazione di un secondo raccolto, informazione di cui non si ha controllo, perché non presente nel database AGREA. Se così fosse, un valore inferiore di SN sarebbe giustificato dall'effettiva presenza di una seconda coltura. Qualora invece la differenza tra quanto trovato dalla procedura di tesi e quanto dichiarato dai dati catastali sia positivo significa che il SN identificato ha un'estensione superiore al dichiarato. Tale casistica risulta più anomala e meno giustificabile, se non nel fatto che il confronto per la validazione è stato condotto con colture scelte in maniera cautelativa con un ciclo fenologico ben definito (cereali autunno-vernini, mais, pisello, fave, fagiolino). Non si esclude che altre colture non selezionate diano una risposta a SN nel medesimo periodo.

6.6. Altre considerazioni

I risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia risentono di alcuni effetti che vengono di seguito posti in evidenza.

6.6.1. Condizioni meteo

L'annata 2017 è stata molto favorevole in termini copertura nuvolosa, rendendo disponibili molte immagini per il territorio considerato permettendo di elaborare almeno un'immagine per mese, salvo gennaio. In questo studio non è stato necessario elaborare ulteriormente le immagini di partenza

poiché affette da copertura nuvolosa assente o molto limitata, in caso contrario alla metodologia dovrebbe essere applicata una correzione per eliminare la copertura nuvolosa stessa.

6.6.2. Scelta dei “color name”

La scelta dei “color name” iniziali è una fase fondamentale di questo studio che pone le basi per la riuscita di un *output* attendibile. La selezione è stata condotta come dichiarato al “Materiali e Metodi” (Capitolo 4). Mediante la piattaforma “Sentinel Hub Playground” ogni scena è stata visualizzata in diverse combinazioni spettrali tra cui l’*indice di vegetazione NDVI*, l’*indice Agricolture* e quello *Color Infrared (Vegetation)*. In particolare, l’NDVI, misurando attentamente le lunghezze d’onda e l’intensità della luce visibile e del vicino infrarosso riflessa dalla superficie terrestre nello spazio, quantifica le concentrazioni di vegetazione a foglia verde (ESA, 2019). Gli indici come questo la cui risposta è data dall’interpretazione della firma spettrale presentano ancora dei limiti nel riconoscimento delle differenti e molteplici condizioni. Ad esempio, Chen et al. (2004) sostiene che la risposta spettrale dei suoli agricoli sia simile a quella del SN in inverno per cui si può incorrere in errori di classificazione. Oppure, Li et al. (2017) sostiene che sia difficile distinguere SN da aree urbane a seguito della loro complessità e similarità della risposta spettrale, specialmente in un *pattern* di *pixel* con oggetti eterogenei. Essi ritengono che quando ci si concentra su terre nude urbane, è consigliabile raccogliere le immagini nelle stagioni di crescita e di analizzare quelle che si trovano all’interno del circolo metropolitano di una città, dove esistono pochi campi agricoli incolti. In questa tesi, utilizzando la maschera IColt è stata evitata, salvo alcuni pochi casi, la confusione legata alle aree urbanizzate, in quanto eliminate totalmente a favore di solo quelle agricole. Inoltre, sulla base delle verifiche effettuate i “color name” selezionati come rappresentativi di possibili SN, in generale, sono effettivamente dei terreni agricoli scoperti o coperti da biomassa. È innegabile che occorrono maggiori informazioni a terra perché se si commette un errore nella scelta dei “color name” rappresentativi dei SN, l’errore commesso si ripercuote sulla bontà dei risultati. A supporto dei risultati ottenuti però, occorre dire che per gli oltre 60 siti di validazione solo 2 sono mostrati completamente errati già alla fase 1, costituendo appena il 3% di errore, l’approccio iniziale effettuato appare sicuro e soddisfacente; le altre problematiche riscontrate esulano dalla scelta dei “color name”.

6.6.3. Densità della vegetazione

Come precedentemente anticipato, dopo il germogliamento, le piccole piantine in crescita per la stagione agronomica successiva non riescono a garantire una copertura totale del suolo tale da essere

visto al sensore come suolo coltivato. Infatti, la curva di riflettanza può variare il suo andamento in funzione di molti fattori, oltre al tipo di vegetazione anche la sua densità e lo stadio fenologico incidono sulla risposta (Figura 48) (<http://www.iptsat.com>). Ne è un esempio la Figura 49 datata dicembre 2017, nella quale si nota la differente risposta spettrale di appezzamenti con diversa densità di vegetazione. Nella Figura 49A è evidenziato un appezzamento che visivamente appare non completamente nudo; potrebbe trattarsi di una coltura appena messa a dimora (grano, orzo). La Figura 49B visualizza lo stesso appezzamento con l'applicazione del *Color Infrared Vegetation Index*, nel quale la vegetazione emerge nei toni del rosso mentre i suoli variano dal marrone scuro al marrone chiaro (<https://eos.com>). Come si evince dalla Figura 49 l'appezzamento considerato appare di un rosso meno acceso rispetto agli appezzamenti visivamente ben vegetati della Figura 49A il cui colore è un rosso intenso e uniforme. I suoli in cui il colore rosso è meno intenso si ritiene siano zone con una situazione simile a quella mostrata in Figura 50. Nel presente lavoro di tesi, percentuali di SN elevate nei mesi di novembre e dicembre sono probabilmente attribuibili a condizioni di cereali in germogliamento come mostrato in Figura 50. Detto ciò, occorre essere consapevoli che sia per irraggiamento solare e sia per calpestatibilità dei suoli, questi periodi non sono mai stati considerati come potenzialmente valorizzabili in questa tesi. Riuscire a discriminare con esattezza qual è la dimensione limite della vegetazione entro cui il satellite la discrimina da un SN è una problematica molto complessa che dipende da diversi fattori, che necessita ulteriori approfondimenti, non svolti nel presente studio.

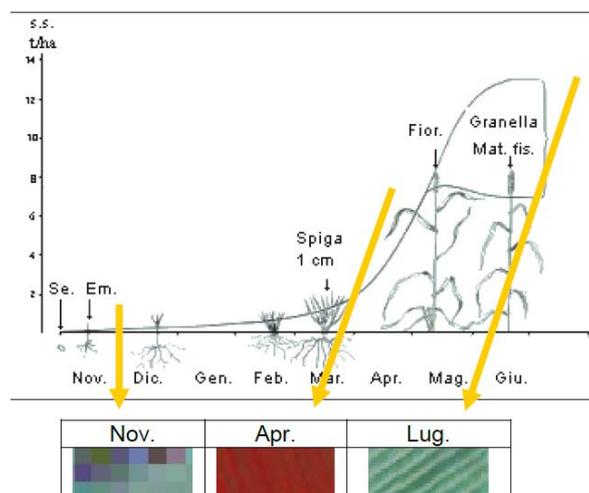


Figura 48 - Visualizzazione delle diverse risposte cromatiche che appaiono sui dati satellitari ai vari periodi di acquisizione in funzione delle varie fasi di crescita dei cereali invernali (Chirici et al., 2008)

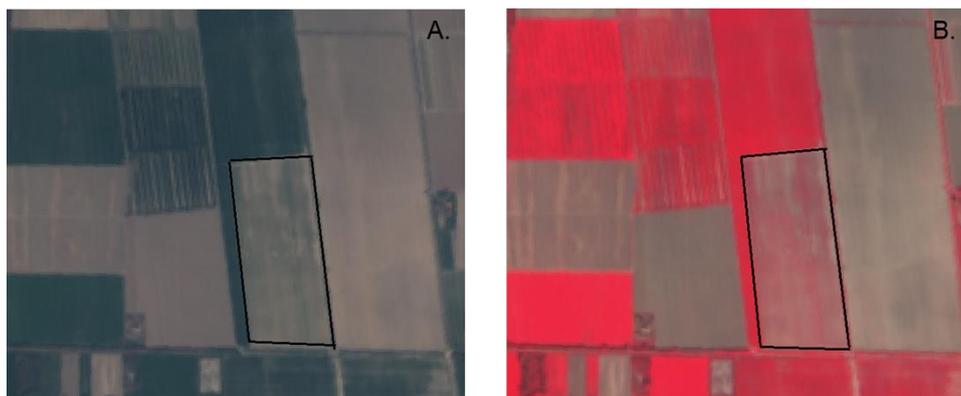


Figura 49 - Esempio di risposta di un indice di vegetazione su un suolo. A= True Color B=Color Infrared Vegetation Index



Figura 50 - Esempio di un suolo con bassa densità di vegetazione

6.6.4. Perdita in superficie

Come descritto alle sezioni precedenti, gli ettari di SN sono stati calcolati a partire dall'area in m² dei poligoni elaborati in ambiente QGIS. Nella maggior parte dei casi i poligoni presentano forme imperfette in concomitanza dei bordi e/o "buchi" come in Figura 51.



Figura 51 - Esempio di SN (Elaborazione QGIS)

Infatti, il perimetro e l'area dell'appezzamento a SN sono "imperfetti" rispetto all'appezzamento visibile sottostante dal *layer* del catasto, questo comporta un effetto di sottostima dei risultati ottenuti. Questa imperfezione è sicuramente legata alla risoluzione a terra dell'immagine originale. Una risoluzione di 20 m fa sì che un *pixel* che si trova a cavallo tra due appezzamenti separati magari da

una scolina o da un fosso o da una capezzagna, possieda una risposta spettrale che lo esclude dall'essere un SN. Risulta così che tutti i bordi degli appezzamenti non sono mai identificati come SN rendendo le aree complessive a SN sicuramente sottostimate.

Altro aspetto molto importante è la crescita di erbe infestanti nei terreni nudi. Se un terreno rimane senza lavorazioni per lungo tempo e se contemporaneamente le condizioni climatiche portano piogge è molto probabile che si abbia lo sviluppo di erbe infestanti che possono essere rimosse con le lavorazioni meccaniche o anche con interventi di diserbo chimico (Tei & Pannacci, 2005). La crescita di infestanti porta alla scomparsa di aree a SN visibili come "buchi" all'interno di appezzamenti identificati come SN, generando un altro fattore che porta alla sottostima delle aree trovate in questa tesi.

6.6.5. Falso negativo

La possibile presenza di infestanti evidenziata nel paragrafo precedente contribuisce anche alla problematica denominata "falso negativo" infatti, la crescita di malerbe insieme alla presenza di abbondanti sfalci lasciati sul terreno in fase post raccolta e/o potrebbe falsare l'identificazione di SN. A livello satellitare la vegetazione viene identificata e classificata in macro categorie che non ne discriminano la tipologia per cui come sostengono Estel et al. (2015) un suolo coperto da biomassa residuale (sfalci) o malerbe ha una firma spettrale assimilabile a una coltura messa a dimora avente caratteristiche spettrali simili. Ciò comporta la mancata identificazione di un SN che in realtà sarebbe nudo e sfruttabile.

6.6.6. Falso positivo

Il fattore tempo è molto importante quando si cerca di identificare diversi tipi di vegetazione o per estrarre informazioni vegetali biofisiche da dati tele-rilevati. Tutte le colture agricole hanno un ciclo fenologico specifico, anche se esso può essere leggermente modificato dall'operatore agricolo e dall'andamento climatico. Per determinare fattori quali il grado di copertura delle colture erbacee o arboree, la biomassa presente al suolo, il grado di umidità della pianta e in generale il riconoscimento della vegetazione è essenziale selezionare il periodo più appropriato per la raccolta dei dati sulla base della conoscenza del loro ciclo di crescita. Alcuni studi (Lloyd D., 1990; Taddei et al., 2004), per classificare le comunità vegetali presenti in un territorio hanno analizzato immagini satellitari raccolte in stagioni diverse. Ciò ha permesso di individuare le diverse classi di vegetazione presenti in funzione della fase fenologica (fioritura, sviluppo fogliare, maturità della chioma arborea, senescenza,

ecc.) in cui essi si presentavano nelle diverse date (Taddei et al., 2004). Ad esempio, in Figura 52 è riportato il ciclo fenologico di un generico frumento, dalla sua coltivazione (ottobre, novembre) alla sua raccolta (giugno). Le immagini satellitari acquisite in ottobre o novembre possono fornire informazioni sulla quantità di terreno predisposto alla coltivazione di questa coltura ma non rilevano ancora la presenza di vegetazione. Immagini acquisite nel periodo marzo-aprile, invece, possono essere usate per valutare la biomassa presente al suolo ed estrarre dati come la produttività della coltura.

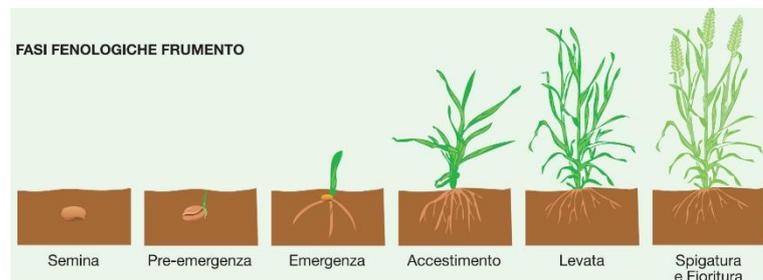


Figura 52 - Fasi fenologiche del frumento (esempio)

Pertanto, il suolo che restituisce una risposta di SN da luglio a ottobre contiene in maggior parte del suolo che era coltivato a grano; Il SN da ottobre a dicembre contiene probabilmente anche degli appezzamenti coltivati a grano facenti parte dell'annata agraria successiva ancora in via di sviluppo dalla prima fase di germogliamento. Questa problematica risulta comunque limitata dal fatto che, in un'ottica di sfruttamento, non appare dicembre un mese conveniente per la poca attività radiativa e il probabile contenuto di umidità dei suoli che ne riduce l'accessibilità.

Per quanto riguarda il presente studio era impossibile discriminare se il SN identificato fosse realmente nudo o nudo temporaneamente trovandosi nei primi stadi del ciclo di crescita di una nuova coltura (Figura 52). Per tale motivo, anche colture permanenti appena messe a dimora potrebbero dare una risposta positiva a SN quando in realtà nell'ottica di uno potenziale utilizzo tali suoli non sono disponibili (falso positivo). Tale aspetto è stato evidenziato anche da Wu et al. (2006) secondo cui sebbene il terreno nudo sia una classe nella maggior parte degli studi sulla classificazione della copertura del suolo, la distinzione tra SN e suolo con residui di colture, come stoppie o terreno con piccole percentuali di colture in crescita, non ha ancora esiti soddisfacenti.

CAPITOLO 7– VALORIZZAZIONE ENERGETICA DEI SUOLI NUDI IDENTIFICATI

L'obiettivo di questo lavoro di tesi era duplice, primariamente identificare e mappare i SN, successivamente a ciò si è voluto valutare la produttività in termini di resa energetica di alcuni di questi periodi a SN. Viene di seguito riportato uno scenario di valorizzazione proposto per i due periodi più performanti in termini di disponibilità di SN e di condizioni di irraggiamento solare quali, marzo-giugno (MAMJ) e luglio-ottobre (JASO).

Attualmente molte delle colture potenzialmente utilizzate a scopi energetici sono colture alimentari (grano, orzo, mais, colza, soia, girasole) la cui produzione può essere utilizzata per la produzione di bioetanolo e di biodiesel. Tuttavia, le colture alimentari hanno spesso indici energetici negativi e sono associate ad una serie di forti impatti ambientali dovuti alla loro bassa produttività. Al contrario, le colture che sono più produttive in biomassa sono connesse a un bilancio energetico più favorevole e un impatto ambientale meno negativo. A tal riguardo, molti studi propongono una serie di colture sostitutive a quelle alimentari per la produzione di biomassa ad uso energetico. Se da un lato l'alta produttività in biomassa le rende molto promettenti dall'altro, presentano ancora aspetti critici irrisolti legati alla tecnica di propagazione, alla risposta a basso *input*, alla tecnica di raccolta e stoccaggio (Cosentino et al., 2008).

In questo contesto, è nota la distinzione tra "biocarburante di prima generazione", come il bioetanolo e biodiesel, che sono sostanzialmente prodotti da colture alimentari (canna da zucchero, barbabietola da zucchero, grano e mais) e "biocarburanti di seconda generazione" come il bioetanolo ottenuto da cellulosa ed emicellulosa e il biodiesel ottenuto da oli vegetali. Tramite il concetto di "bioraffineria" si tende ad affermare l'idea del completo sfruttamento della biomassa delle colture al fine di ottenere una vasta gamma di prodotti che vanno dagli alimenti ai polimeri, prodotti chimici, biocarburanti e calore (Cosentino et al., 2008).

Di recente, l'industria *biobased* vede la necessità di soluzioni altamente efficienti in termini di uso del suolo e *input* agricoli, con impatti ambientali minimi e mira all'identificazione e allo studio di nuove e promettenti colture non alimentari.

L'Italia è da tempo uno dei principali produttori di biogas in agricoltura, quarta al mondo dopo Germania, Cina e Stati Uniti, con una potenza elettrica installata di oltre 1000 MW e da un punto di vista prettamente qualitativo, il modello e disciplinare di produzione promosso dal Consorzio Italiano Biogas, denominato "Biogasdoneright®", sembra avere pochi eguali al mondo. Tale modello, basato sull'uso prevalente di sottoprodotti e sui doppi raccolti, in modo da non essere in competizione con

le produzioni alimentari e foraggere, consente di produrre di più in modo sostenibile, contribuendo al contempo alla crescita delle energie rinnovabili (Dale et al., 2016).

L'identificazione di specie vegetali in grado di adattarsi alle rotazioni colturali esistenti come colture invernali nei climi temperati e mediterranei, pur fornendo un profitto agli agricoltori, rimane una sfida. Allo stato attuale, i sistemi agricoli mediterranei si basano principalmente su pochissime colture di cereali, molto spesso solo su grano invernale e pratiche agricole insostenibili che prevedono un alto uso di fertilizzanti e di prodotti chimici. Pertanto, la mancanza di alternative reali sta portando sia a distorsioni dei prezzi sul mercato sia un'intensificazione sempre più insostenibile delle pratiche agricole e al conseguente eccessivo sfruttamento delle risorse naturali e all'eccessiva dipendenza dagli *input* esterni (Bolzonella et al. 2018). Secondo Zanetti et al. (2019), Dale et al. (2016), Valli et al. (2017) il contesto mediterraneo si presta alla pratica del sistema a “doppia coltura”, specialmente in terre irrigate dove la coltura estiva dispone di acqua supplementare.

Nell’ottica di un possibile utilizzo e potenziamento dei SN sono state selezionate quattro tipologie di colture *no food* sulla base di una serie di caratteristiche favorevoli al presente studio, quali:

- ciclo colturale breve (inferiore a 100 giorni);
- bassa richiesta idrica;
- buona adattabilità al suolo;
- buona reperibilità della semente.

Tali colture sono:

Sorghum bicolor L. Moench

Essa è una coltura multifunzionale che può essere coltivata con successo in aree in cui l'approvvigionamento idrico è limitato (Habyarimana et al., 2004). E' una specie non particolarmente esigente in termini di ubicazione ed è facilmente reperibile (Cosentino et al., 2008) inoltre è una pianta relativamente rustica, resistente alle avversità. Nelle regioni temperate le specie più comunemente coltivate hanno un ciclo colturale breve da 100 a 120 giorni e vengono raccolte in ottobre. Praticamente tutte le parti del sorgo sono utili, compresi i grani, gli steli e le foglie (Romli et al., 2015). L'alto contenuto di zucchero della biomassa può servire da materia prima adatta per lo stadio di idrolisi della digestione anaerobica, fornendo così un'alta resa del prodotto finale, cioè il biogas (Dahunsi et al., 2019). Secondo Habyarimana et al. (2004) le frazioni di *Sorghum Bicolor* possono raggiungere livelli di rese elevati pari a 33–51 t/ha (in condizioni di irrigazione) e 20–29 t/ha (in condizioni di pioggia) di biomassa secca. Cosentino et al., (2008) riportano rese leggermente inferiori comprese tra 16 e 28 t/ha della biomassa secca.

Crambe abyssinica (Hochst)

Essa è una pianta oleifera della famiglia delle Cruciferae i cui semi contengono circa 35,6–42,8% di olio. Essendo la sua origine la zona mediterranea e le alte terre dell'Africa orientale, si adatta molto bene al freddo delle pianure estese dell'Europa. Poiché è una nuova coltura sono pochi i dati disponibili sulla resa. Tuttavia, a causa della domanda specifica del suo olio, molti paesi europei stanno effettivamente effettuando prove sperimentali definirne meglio le potenzialità. Le rese variano ampiamente tra 1.1-1.6 t/ha in Russia, 0.45–2.5 t/ha negli Stati Uniti, con rese più elevate in terre prive di competizione e 2.6 t/ha in Italia (Falasca et al., 2010).

Camelina sativa L. Crantz

Essa è una pianta della famiglia delle Brassicaceae, conosciuta in Italia come Dorella. È originaria dell'Europa e dell'Asia centrale, viene coltivata principalmente in Europa e in Nord America. Essa è una coltura oleosa emergente che sta attraendo l'interesse degli agricoltori e dell'industria *biobased* grazie alle caratteristiche peculiari della semente. Ha un livello eccezionalmente elevato (fino al 45%) di acidi grassi omega-3 e un alto contenuto proteico che la rendono adatta a diversi usi. Dal punto di vista agronomico la *Camelina* è considerata una coltura a basso *input* le cui rese variano da 1 a 3.3 t/ha (Zanetti et al., 2017). Possiede un'ampia adattabilità nel terreno e disponibilità di specie e anch'essa è caratterizzata da un breve ciclo colturale di 90 giorni e in Italia fiorisce tra maggio e giugno (Zanetti et al., 2019).

Pennycress (*Thalaspis arvensis* L.)

Recentemente è diventata un'attraente coltura di semi oleosi non alimentari per l'Europa e gli Stati Uniti in quanto può essere prodotto con attrezzature e infrastrutture agricole esistenti mentre viene coltivato nel fuori stagione tra le colture convenzionali. L'adattamento alle terre marginali e la resa soddisfacente dei semi lo rende una materia prima alternativa impiegabile nella produzione di biocarburanti (Zanetti et al., 2019). Come coltura di copertura, *Pennycress* può, ridurre l'erosione del suolo e la lisciviazione dei nutrienti e funge da *habitat* per la fauna selvatica. Avendo una data di raccolta relativamente precoce rispetto ad altre colture annuali di semi oleosi invernali, si presta alla creazione di possibili sistemi di doppio raccolto con colture annuali estive di breve stagione come girasole e soia, sostituendo così la maggese invernale (Fan et al., 2013). Inoltre, in climi miti come la regione mediterranea, dopo il raccolto di *Pennycress* le specie estive tipiche del doppio raccolto (ad es. girasole, sorgo) possono essere seminate senza la rotazione di colture alimentari stabili (Zanetti et al., 2019). Le rese variano molto in funzione alla data e al tasso di semina con valori compresi tra 0.4 e 1.5 t/ha (Zanetti et al., 2019; Boateng et al., 2010; Dose et al., 2017).

Le informazioni raccolte dalla letteratura sono riassunte in Tabella 17 in cui la resa energetica è la differenza tra il contenuto energetico della biomassa raccolta e l'energia usata durante tutta la stagione vegetativa per la lavorazione del terreno, la semina, i fertilizzanti e i *chemicals* (Cosentino et al., 2008; Stolarski et al., 2019; Boateng, et al., 2010; Zanetti et al., 2019).

Tabella 17 - Caratteristiche delle colture selezionate

Species	Minimum Length of Growing Season (day)	Period	Base Temp (°C)	Water request	Rusticity	Availability	Yield (t/ha d.r.m)	References	Energy Yield (MJ/kg)	References	Note
Crambe abyssinica	100	March-June	5	☺	☺	☺	1	Zanetti et al., 2006	-		26% oil content 50 GJ/ha
							2.2-3.3	Zanetti et al., 2016			
							1.91	Stolarski et al., 2019			
Sorghum bicolor L. Moench	100	July-October	8	☺	☺	☺	16-28	Cosentino et al., 2005b	14.1-16.9	Cosentino et al., 2005b; Di Candilo et al., 2005b; Venturi & Venturi, 2003	238-453 GJ/ha *in irrigazione *pioggia
							*33-51	Habyarimana et al., 2004			
							*20-29	Habyarimana et al., 2004			
Camelina	90	March-May *also autumn	5	☺	☺	☺	1.5-3	Zanetti et al., 2017; Berti et al., 2011, 2016; Schillinger et al., 2012	24.3-25.4	Stolarski et al., 2019	43.7 GJ/ha
							1.59	Stolarski et al., 2019			
							0.36-0.68	Stolarski et al., 2019 Berti et al., 2017			
Pennycress	90	August-October	4	☺	☺	☺	1.5	Zanetti et al., 2019	25	Boateng et al., 2010	36% oil content
							1.1	Boateng et al., 2010 Dose et al., 2017			
								Dose et al., 2017			

Considerando i risultati ottenuti alla sezione “Risultati” (Capitolo 5) e determinato un intervallo minimo di interesse agronomico pari a 90 giorni per ipotizzare di sviluppare un intero ciclo colturale (MAGIC H2020 project), di seguito si riportano i risultati relativi alle rese energetiche ottenute.

Le elaborazioni sono state condotte su due periodi “marzo-giugno” e “luglio-ottobre” scelti conseguentemente ai buoni risultati in termini di disponibilità di SN e favorevoli condizioni agronomiche. Si sono elaborati i rispettivi risultati per valutare la resa energetica derivante dalla coltivazione delle quattro colture selezionate sulle superfici a SN identificate in precedenza. I valori utilizzati per tale valutazione sono riportati in Tabella 17. Per il calcolo delle rese energetiche si è considerato, dove disponibile, un range di valori composto dal dato con valore minimo e quello con valore più alto fornito dalla letteratura.

I risultati ottenuti da questa elaborazione sono mostrati in Tabella 19 quest’ultima informa circa la produzione potenziale di energia qualora tutti i SN maggiori di un ettaro, disponibili nei due periodi investigati, venissero coltivati con una delle colture selezionate descritte in precedenza. Nell’ottica di una possibile valorizzazione si è ritenuto opportuno eliminare dalla valutazione tutti gli appezzamenti con dimensioni inferiori all’ettaro in quanto troppo piccoli per giustificare uno sfruttamento agricolo con l’impiego di mezzi agricoli dedicati (Tabella 18).

Tabella 18 – Quantificazione di SN disponibili maggiori a 1 ha per MAMJ e JASO

Provinces	MAMJ (ha)	JASO (ha)
RN	202	1159
FC	777	4588
RA	3543	9884
FE	13480	1144
BO	3062	-
MO	1851	-
RE	758	-
PR	1035	-
TOT	24135	16776

Come si evince dalla Tabella 19, il *Sorghum Bicolor* risulta la specie più produttiva in termini di energia con un valore medio regionale di circa 3700 GWh per il periodo marzo-giugno e di circa 2600 GWh per il periodo luglio-ottobre. Le altre colture fornirebbero, in entrambi i periodi, un potenziale energetico rispetto al *Sorghum Bicolor* di circa il 10% per *Crambe* e *Camelina* e il 4% per *Pennycress* a cui è associato una grande variabilità dovuta principalmente alla data e al tasso di semina della coltura.

Tabella 19 – Produttività energetica dei periodi MAMJ e JASO espressa in GWh. La “% of the Regional Transport consumption” esprime la percentuale che la resa energetica rappresenta rispetto ai consumi di energia totali per il settore trasporto in RER.

MAMJ	Species	GWh	% of the Regional Transport consumption
	Crambe	335	1
	Sorghum	1513 - 5778	3.9 - 15
	Camelina	236 - 511	0.6 - 1
	Pennycress	59 - 251	0.2 - 0.6
JASO			
	Crambe	233	0.6
	Sorghum	1051 - 4016	2.7 - 10
	Camelina	164 - 355	0.4 - 1
	Pennycress	41 - 175	0.1 - 0.5

Considerando sempre i medesimi periodi temporali il calcolo della produttività energetica (GWh) è stato condotto anche a scala provinciale (Tabella 20 e Tabella 21). Prendendo in esame il *Sorghum*, in quanto specie energeticamente più performante, Ferrara contribuisce con il 55% della possibile produttività, Bologna e Ravenna rispettivamente con il 12% e 14% mentre, le restanti province con un valore compreso tra l’1% (Rimini) e il 7% (Modena) per il periodo marzo-giugno (Tabella 20).

Tabella 20 - Produttività energetica a scala provinciale (MAMJ)

GWh Species	Provinces							
	RN	FC	RA	FE	BO	MO	RE	PR
Crambe	2.2	11	48	183	42	25	10	14
Sorghum	9.8 - 38	47.6 - 182	217 - 830	826.6 - 3158	188 - 718	113 - 434	46.4 - 177	63.5 - 243
Camelina	1.5 - 3.3	7.4 - 16	34 - 73	129 - 279	29 - 63	18 - 38	7.2 - 16	9.9 - 21
Pennycress	0.10 - 1.6	0.46 - 7.9	2.1 - 36	8.06 - 137	1.8 - 31	1.1 - 19	0.45 - 7.7	0.62 - 11

Invece, esaminando la stessa coltura ma nel periodo luglio-ottobre (Tabella 21), si riscontra che la provincia di Ravenna contribuisce con il 60% della possibile produttività, Forlì-Cesena con il 27% e le restanti con entrambe un valore pari al 7% (Rimini e Ferrara).

Tabella 21 - Produttività energetica a scala provinciale (JASO)

GWh Species	Provinces			
	RN	FC	RA	FE
Crambe	16	64	137	16
Sorghum	72.6 - 277	287.5 - 1098	619.4 - 2366	71.7 - 274
Camelina	11 - 25	45 - 97	96.8 - 209	11 - 24
Pennycress	0.71 - 12	2.8 - 48	6.04 - 103	0.70 - 12

Per meglio visualizzare le potenzialità energetiche ottenute si è pensato di confrontare la produttività energetica regionale di entrambi i periodi con i consumi energetici regionali dell’anno 2017, in particolare si è scelto di effettuare il confronto con il settore dei trasporti. Essendo il biometano e il

biodiesel le filiere principali di destinazione delle colture selezionate, la scelta è ricaduta su tale settore in quanto risulta di immediata confrontabilità. Scegliere ad esempio, di confrontare i dati con i consumi elettrici del settore industriale avrebbe comportato un errore di sovrastima in quanto non si sarebbe tenuto conto dell'impiego di energia necessaria per convertire i GWh ottenuti in energia elettrica. Considerando il consumo totale dell'Emilia-Romagna (esclusa Piacenza) dichiarato della Regione pari a 38887 GWh (Arpae, 2017), il contributo energetico calcolato in termini percentuali, per ogni coltura, in entrambi i periodi è mostrato in Tabella 19. Come si evince dai risultati, le percentuali non sono particolarmente consistenti ad eccezione della coltivazione *Sorghum Bicolor*, con la quale, se tutti gli ettari di SN superiori a un ettaro disponibili venissero coltivati, si otterrebbe una produzione energetica in termini di Biometano pari al 9% (dato medio) e del 7% (dato medio) rispetto ai consumi del settore trasporti rispettivamente nei due periodi considerati.

Alla luce dei risultati ottenuti si riportano di seguito alcune considerazioni.

Si consideri che i periodi valutati hanno una diversa disponibilità spaziale dei dati, marzo-giugno è regionale e luglio-ottobre solo costiera. Pertanto, i due periodi non sono nel loro complesso confrontabili. Il confronto tra i due periodi può essere fatto comparando i dati relativi alle singole province che essi hanno in comune che sono: Rimini, Forlì-Cesena, Ravenna e Ferrara. Sulla base quindi della quantità di ettari disponibili (Tabella 18), il periodo marzo-giugno risulta leggermente migliore con 18000 ettari rispetto ai 17000 del periodo luglio-ottobre. Considerando invece l'apporto delle singole province il risultato si conferma solo per la provincia di Ferrara che dispone di circa 13500 contro appena 1150 ettari in luglio-ottobre. Invece l'andamento è opposto nella bassa Romagna, le cui province Rimini, Forlì-Cesena e Ravenna hanno una disponibilità maggiore nel periodo luglio-ottobre rispetto a quello primaverile con un'abbondanza di SN rispettivamente di 6, 6 e 3 volte superiore.

Si può ritenere che le province più performanti siano Ferrara e Ravenna (nel periodo marzo-giugno) e Forlì-Cesena e Ravenna (nel periodo luglio-ottobre).

Per quanto riguarda le colture, come si evince dai risultati appena descritti, il *Sorghum Bicolor* è la specie più produttiva in termini energetici. Tale coltura, anche per effetto dell'elevato potenziale produttivo, mostra le potenzialità quantitative di biogas/biometano più elevate. Questo rappresenterebbe un aspetto positivo anche dal punto di vista economico, significando un minor costo dell'unità di energia prodotta. Per il sorgo, rispetto alle altre colture oleose, si può utilizzare l'intera pianta, ne deriva perciò, che la produttività in biomassa è più elevata e di conseguenza anche quella energetica.

Tutte le altre specie, in entrambi i periodi, producono una quantità di energia in grado di coprire al massimo l'1% degli attuali consumi energetici del settore trasporto regionale (Arpae, 2017). In

particolare, *Pennycress* mostra le prestazioni peggiori, le sue rese energetiche dei semi così come le caratteristiche dell'olio variano fortemente in funzione delle condizioni ambientali specifiche (Zanetti et al., 2019).

A dispetto di ciò, si ritiene necessario sottolineare che l'energia potenzialmente prodotta in 3 mesi dalla coltivazione delle 4 colture è stata confrontata con un consumo, quello dei trasporti, relativo a un anno intero. Questo giustifica in parte le basse percentuali ottenute. Se si sommasse l'energia prodotta in entrambi i periodi, mantenendo distinte le colture, si otterrebbe l'energia potenzialmente prodotta in un periodo di circa 8 mesi il quale pur ancora deficitario rispetto a un anno garantirebbe rispetto ai consumi di riferimento delle percentuali circa doppie.

Ciò nonostante, le colture selezionate hanno il doppio vantaggio di essere impiegabili sia come colture di avvicendamento nelle rotazioni cerealicole sia essere oggetto d'interesse da parte dell'industria per impieghi differenziati (Von Cossel et al., 2019). Ad esempio, malgrado i risultati ottenuti per la *Camelina* mostrino che le potenzialità come biocarburante siano limitate e quindi la sua produzione non sarebbe interessante in relazione ai consumi regionali di carburanti, l'olio estratto dalla *Camelina Sativa* può rappresentare una fonte utile per ottenere prodotti ad alto valore aggiunto come antibatterici a base di molecole bioattive presenti nelle farine, cosmetici e prodotti nutraceutici (Ramirez-Cando et al., 2016).

Per concludere, queste colture appaiono promettenti sia dal punto di vista energetici che ambientale, ma la loro introduzione nei sistemi di coltivazione richiede ulteriori ricerche sia sulle tecniche di coltivazione che sugli aspetti genetici e logistici (Cosentino et al., 2008).

CAPITOLO 8 – CONCLUSIONI

Questo studio ha sviluppato una procedura in grado di individuare e quantificare la disponibilità e l'abbondanza di suoli inattivi (o suoli nudi, SN) valorizzabili servendosi di immagini tele-rilevate pre-processate mediante il software SIAM™. Essendo questi SN possibili risorse agricole aggiuntive in grado di supportare gli obiettivi di decarbonizzazione dell'agricoltura, di aumento della fertilità dei suoli e di maggiori esternalità positive per le aziende agricole, è stato sviluppato anche uno scenario di sfruttamento.

In questo studio sono state utilizzate le immagini satellitari Sentinel-2 dell'anno 2017 acquisite sul territorio dell'Emilia-Romagna. Le province coinvolte sono 8: Ravenna, Rimini, Forlì-Cesena, Ferrara, Bologna, Modena, Reggio Emilia e Parma. Tuttavia, non tutte le mensilità investigate dispongono di un dato completo per l'intera RER, in alcuni casi l'elaborazione è stata limitata alla porzione costiera.

Tali mappature, gestibili attraverso un sistema informativo territoriale, possono supportare la gestione e suggerire l'ottimizzazione di alcune aree agricole regionali. Infatti, sono stati individuati appezzamenti a SN che potrebbero essere valorizzati attraverso la coltivazione di alcune colture energetiche in grado di produrre ulteriore reddito per l'agricoltore e di generare ricadute ambientali positive quali: apporto di nutrienti, di biomassa, di carbonio organico addizionale, contenimento dell'erosione e del fenomeno di lisciviazione, miglioramento della struttura del suolo grazie alla maggiore stabilità degli aggregati e al migliore equilibrio tra macro- e micro-porosità del suolo. Questo tipo di valorizzazione, non solo in termini energetici, appare di notevole interesse, anche nell'ottica del perseguimento degli obiettivi 2030 proposti dall'UE.

Nell'ottica di una potenziale valorizzazione dei SN si è scelto di investigare 19 periodi temporali che per una durata di 5, 4, 3 e 2 mesi consecutivi coprono differentemente l'intero anno. Nello specifico, si è scelta la soglia 3 mesi per esplorare in maniera scaglionata gli 11 mesi totali in quanto è un intervallo di tempo minimo adatto per la crescita potenziale di altre colture di secondo raccolto o di copertura. La scelta di tali periodi è stata basata principalmente sulle migliori condizioni termiche, radiative ed escludendo periodi di impraticabilità dei campi.

Considerando la durata di riferimento, 3 mesi di SN, i periodi migliori risultano marzo-giugno con circa 35000 ettari su intera area regionale e luglio-ottobre con circa 25000 ettari per l'area costiera. Rispetto alla superficie agricola totale, entrambi i periodi rappresentano circa il 15% di SN. Nel complesso a scala locale le province più performanti sono Ravenna e Forlì-Cesena. La dimensione della maggior parte dei terreni varia da 0.5 a 1 ettari, tuttavia circa il 30% dei SN ha una superficie superiore a 3 ettari, sufficiente per giustificare il loro sfruttamento agronomico.

La validazione di un dato così esteso e duraturo nel tempo richiede una grande mole di dati a terra disponibili, cosa che è sempre il fattore maggiormente limitante nella validazione di prodotti tele-rilevati. In questa tesi la validazione è stata condotta tramite i piani colturali forniti da AGREA sui due periodi più performanti, quali marzo-giugno e luglio-ottobre. La procedura di convalida è associata ad una serie di assunzioni e limiti tra cui la datazione della maschera, la trasversalità delle particelle, e situazioni di possibile sottostima, falso positivo e falso negativo sulla quantificazione dei risultati.

La metodologia proposta risulta applicabile a livello locale come approfondimento allo studio regionale. Tuttavia, possiede il limite di essere attualmente disponibile solo alla fine dell'annata agraria, non consentendo la stima dei SN in tempo utile per una loro ragionata valorizzazione. Emerge quindi la necessità di avere accesso ai dati e di mantenere aggiornate le banche dati in tempo reale, visto che il *software* SIAM™ lo permette.

Per generare uno scenario di valorizzazione dei SN in termini energetici sono state selezionate 4 differenti colture *no food* in funzione delle loro prestazioni. In entrambi i periodi analizzati la specie *Sorghum Bicolor* si identifica come la più produttiva con circa 3700 GWh prodotti in marzo-giugno e circa 2600 GWh prodotti in luglio-ottobre. Le altre tre colture investigate non risultano particolarmente performanti, tuttavia, la loro coltivazione può essere mirata all'ottenimento di prodotti ad alto valore aggiunto.

In conclusione, da un lato questo studio propone una metodologia di mappatura digitale del suolo in grado di rispondere a diverse domande: se c'è spazio per il miglioramento della resa agricola, in quale periodo dell'anno, in quali dimensioni, come valorizzare i suoli. Pertanto, viene evidenziato il potenziale dei SN per aumentare le colture alimentari o energetiche e per immagazzinare più carbonio nei suoli. Dall'altro lato, pone le basi per nuove politiche al fine di affrontare percorsi a breve termine per la riduzione delle emissioni di CO².

ALLEGATO I

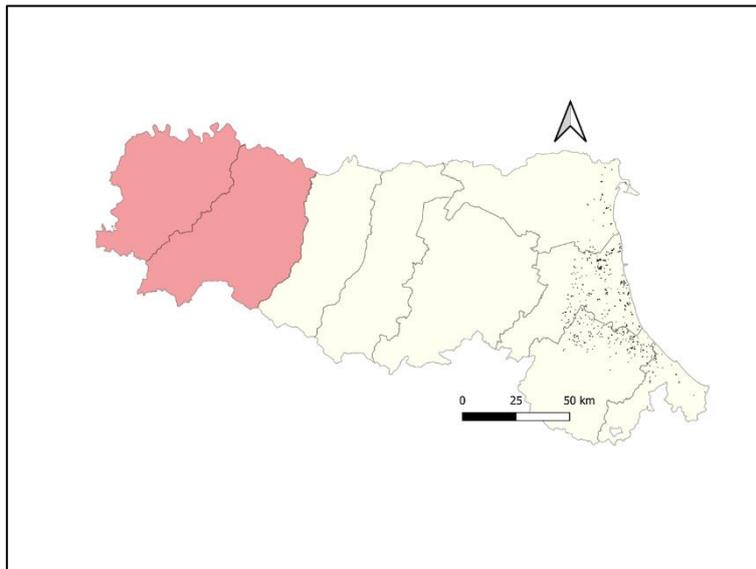


Figura 53 - Mappatura dei SN nel periodo Giugno-Novembre 2017, 5 mesi (Elaborazione QGIS)

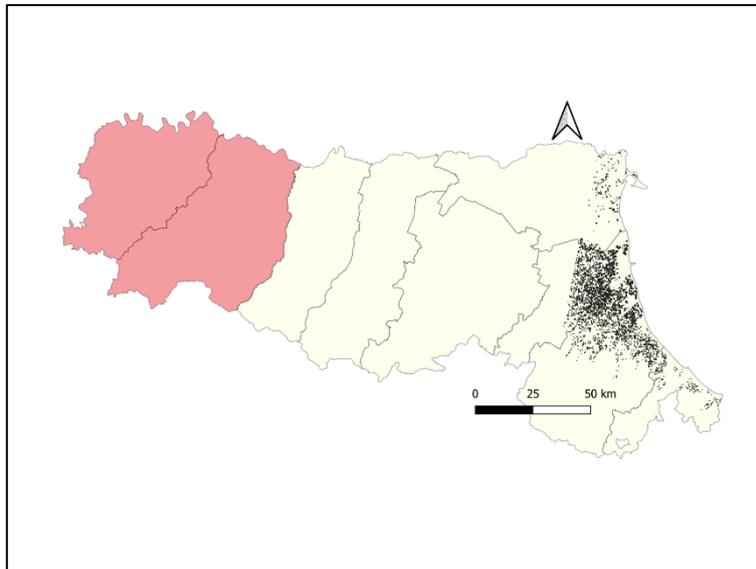


Figura 54 - Mappatura dei SN nel periodo Luglio-Dicembre 2017, 5 mesi (Elaborazione QGIS)

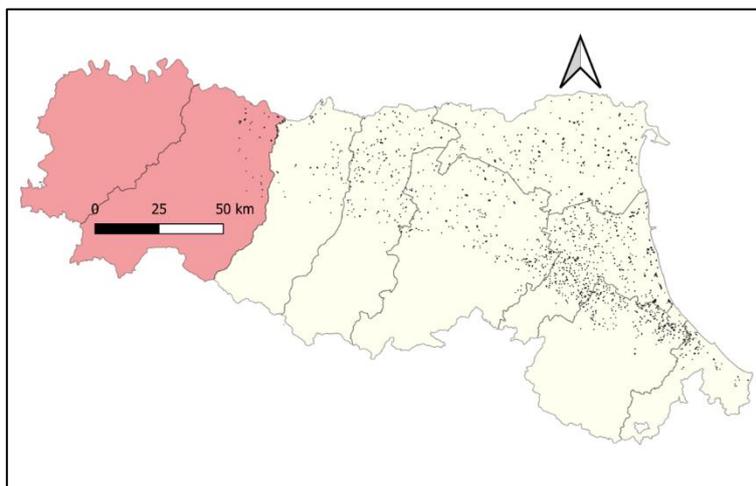


Figura 55 - Mappatura dei SN nel periodo Aprile-Agosto 2017, 4 mesi (Elaborazione QGIS)

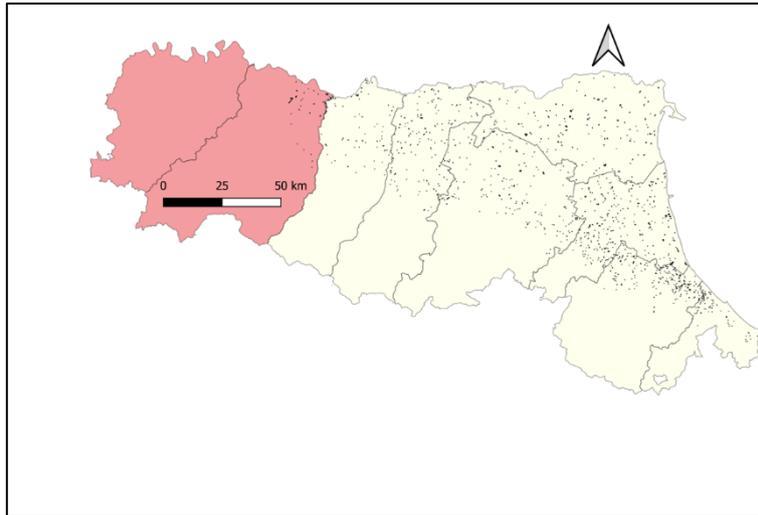


Figura 56 - Mappatura dei SN nel periodo Maggio-Settembre 2017, 4 mesi (Elaborazione QGIS)

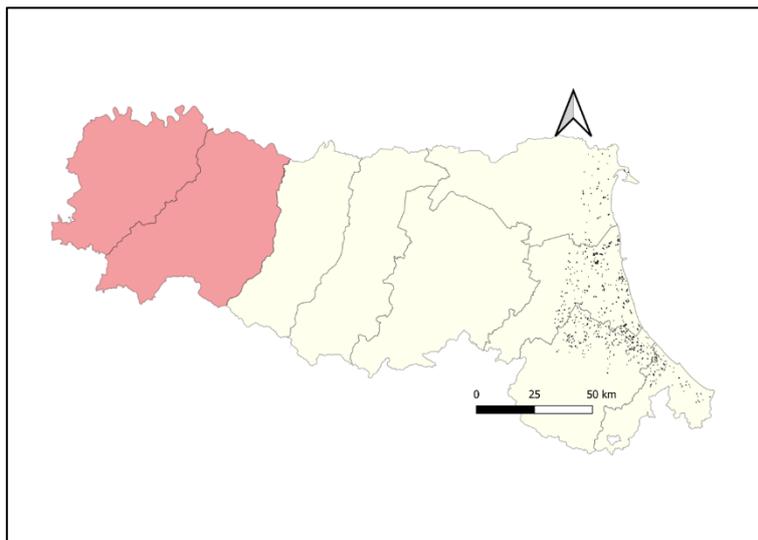


Figura 57 - Mappatura dei SN nel periodo Giugno-Ottobre 2017, 4 mesi (Elaborazione QGIS)

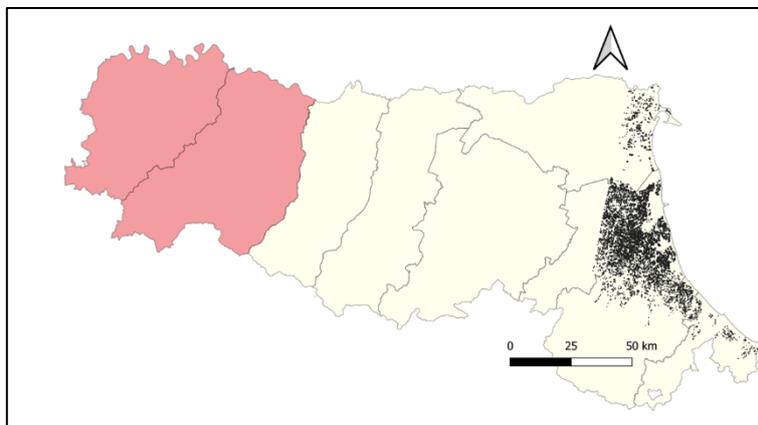


Figura 58 - Mappatura dei SN nel periodo Agosto-Dicembre 2017, 4 mesi (Elaborazione QGIS)

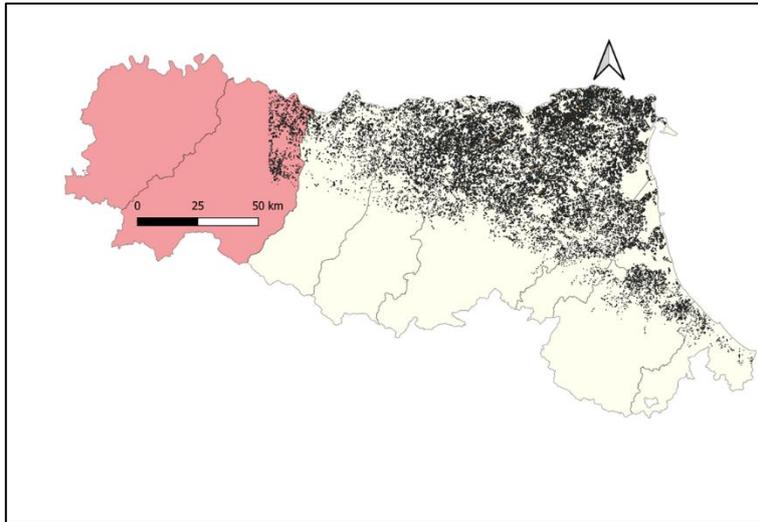


Figura 59 - Mappatura dei SN nel periodo Febbraio-Maggio 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

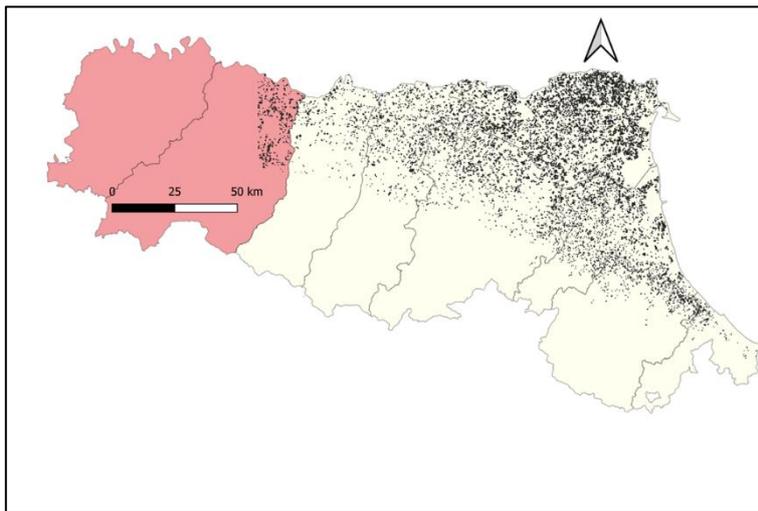


Figura 60 - Mappatura dei SN nel periodo Marzo-Giugno 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

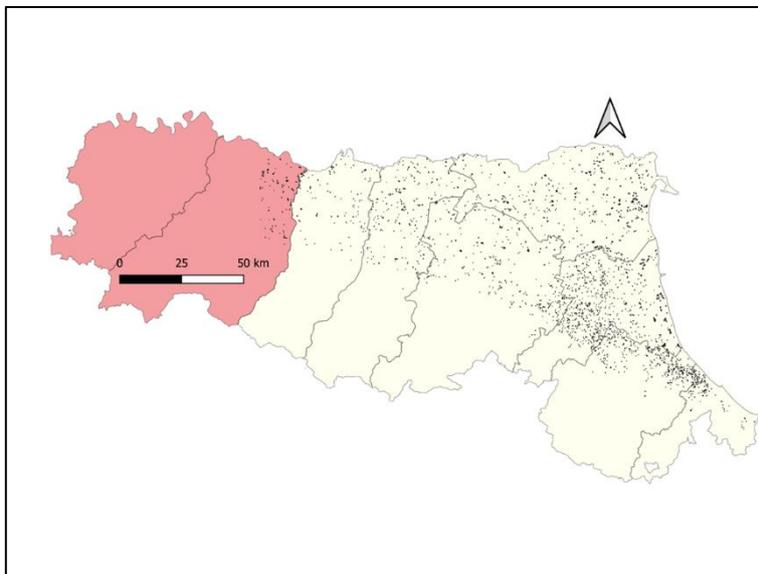


Figura 61 - Mappatura dei SN nel periodo Aprile-Luglio 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

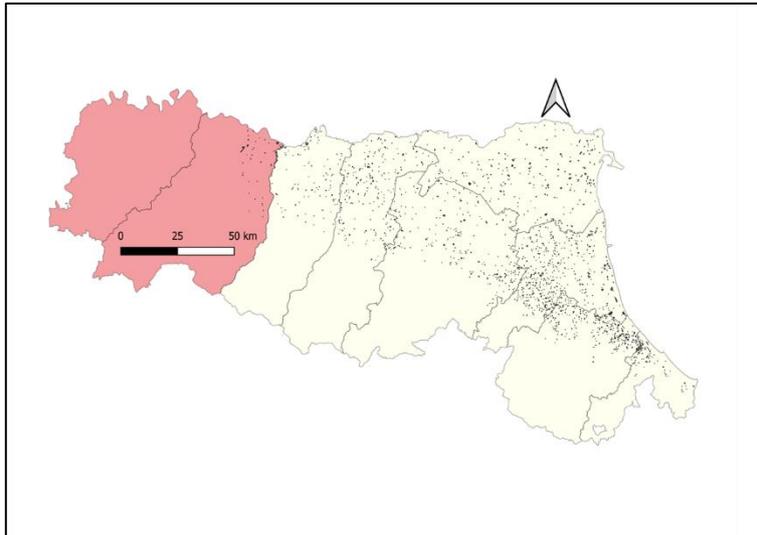


Figura 62 - Mappatura dei SN nel periodo Maggio-Agosto 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

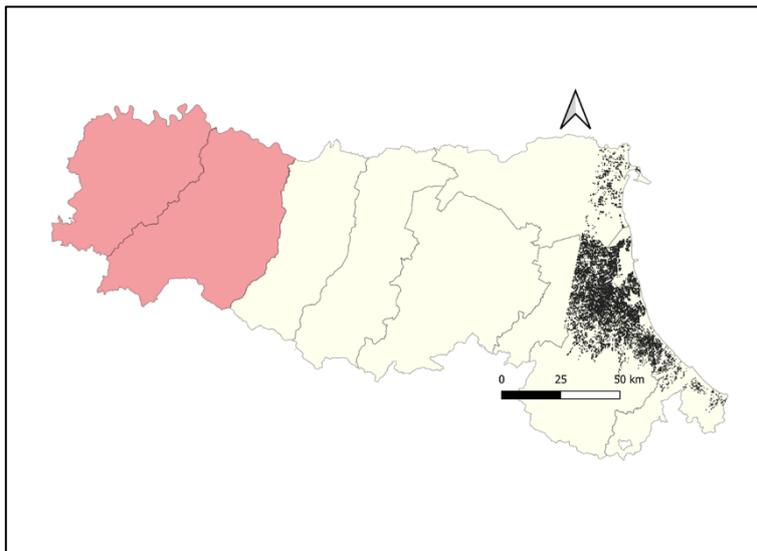


Figura 63 - Mappatura dei SN nel periodo Agosto-Novembre 2017, 3 mesi (Elaborazione QGIS)

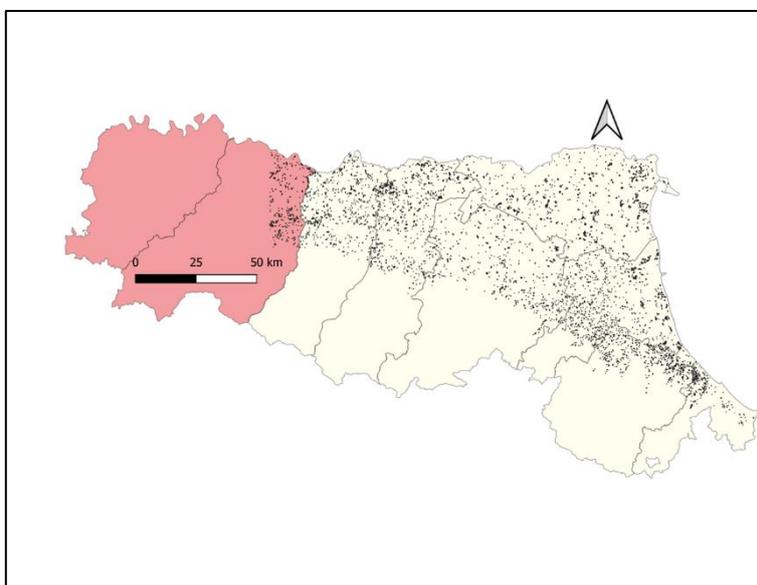


Figura 64 - Mappatura dei SN nel periodo Giugno-Agosto 2017, 2 mesi (Elaborazione QGIS)

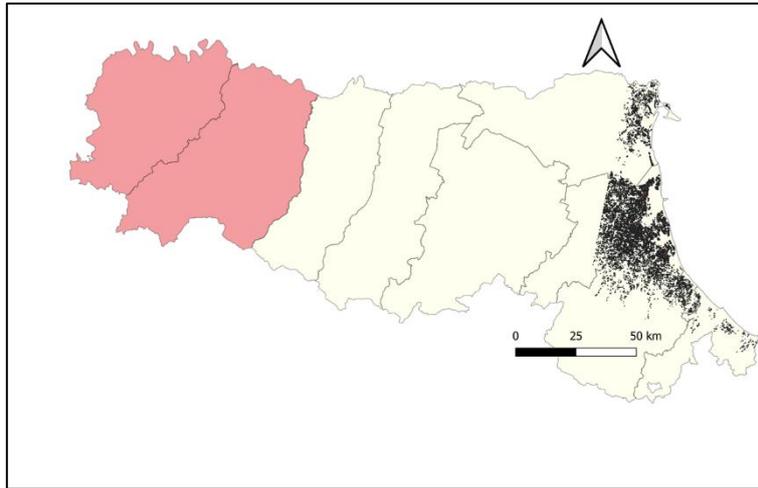


Figura 65 - Mappatura dei SN nel periodo Settembre-Dicembre 2017, 2 mesi (Elaborazione QGIS)

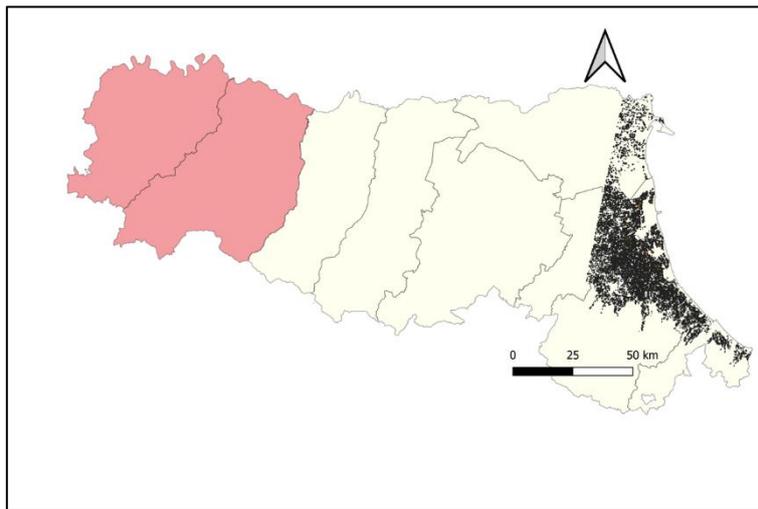


Figura 66 - Mappatura dei SN nel periodo Agosto-Ottobre 2017, 2 mesi (Elaborazione QGIS)

ALLEGATO II

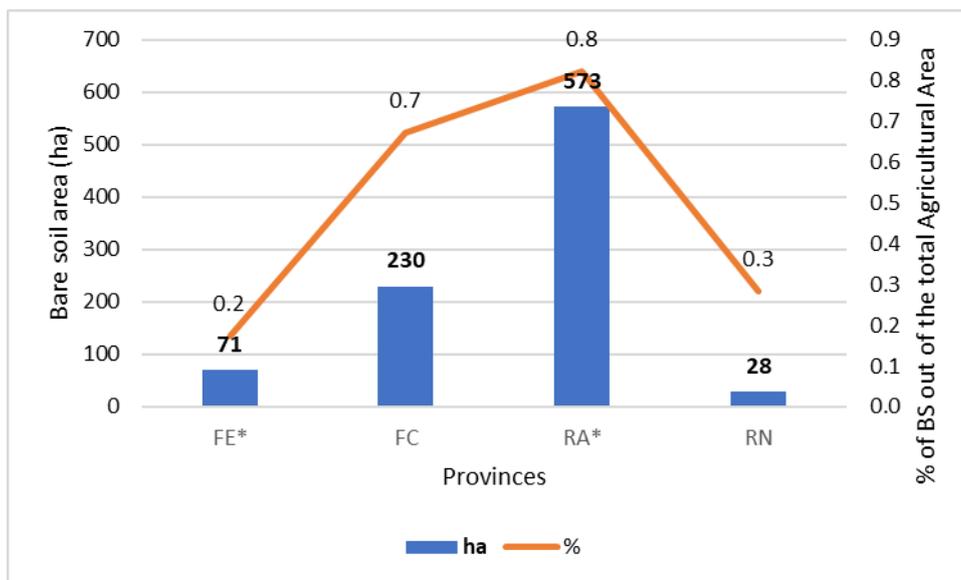


Figura 67 - Istogramma SN Giugno-Novembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

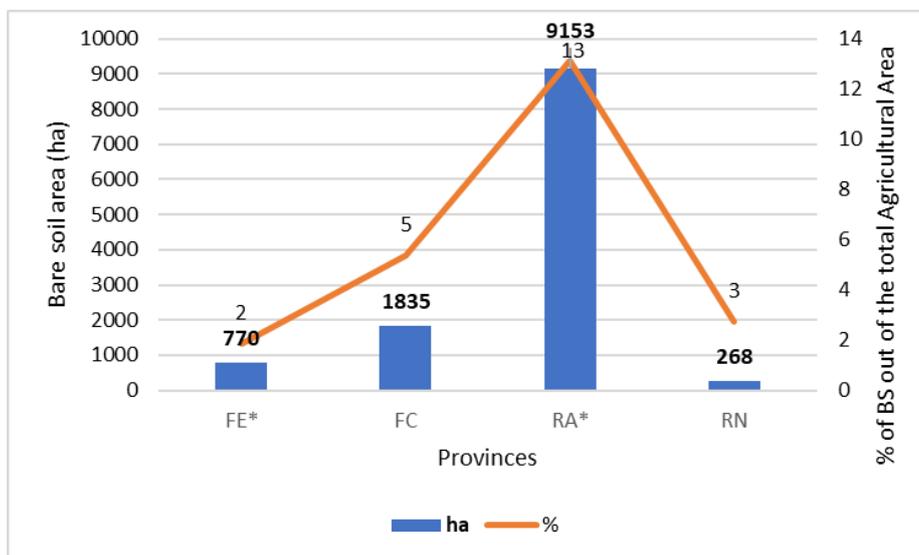


Figura 68 - Istogramma SN Luglio-Dicembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

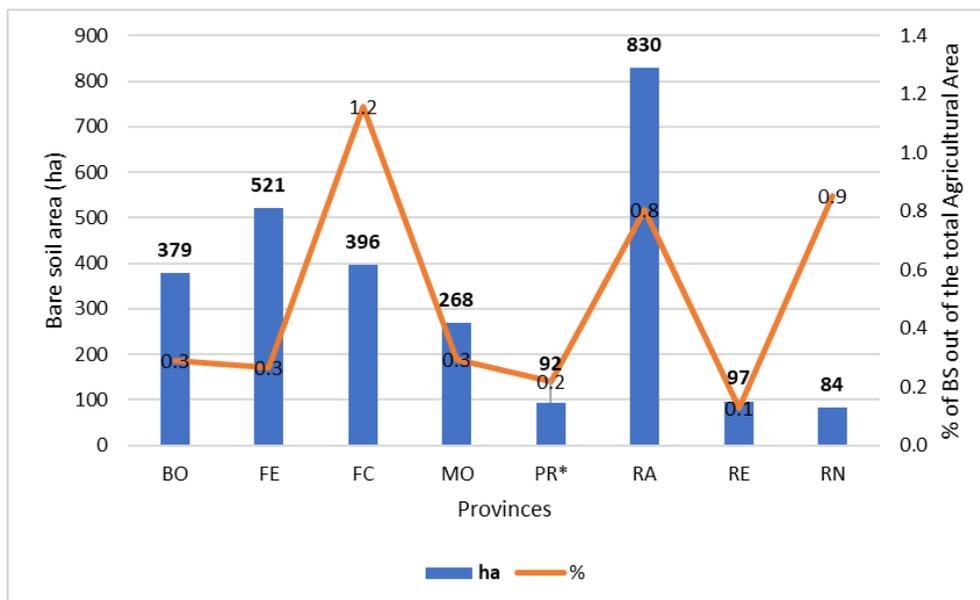


Figura 69 - Istogramma SN Aprile-Agosto 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

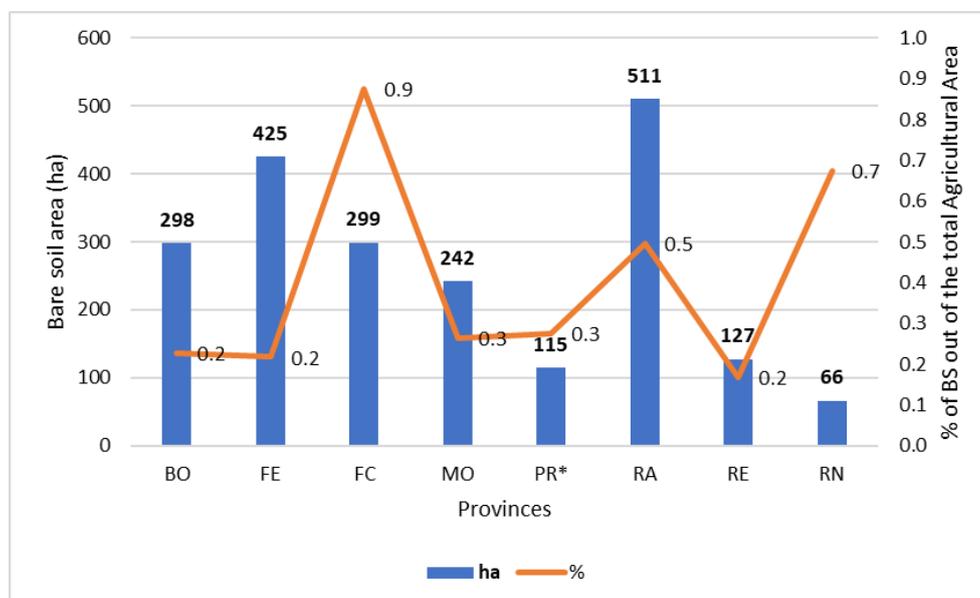


Figura 70 - Istogramma SN Maggio-Settembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

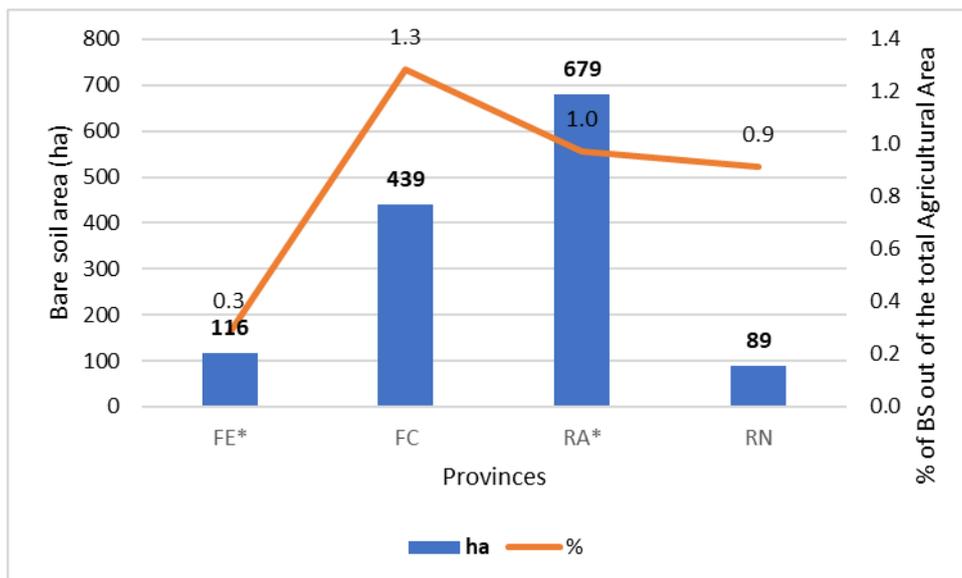


Figura 71 - Istogramma SN Giugno-Ottobre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

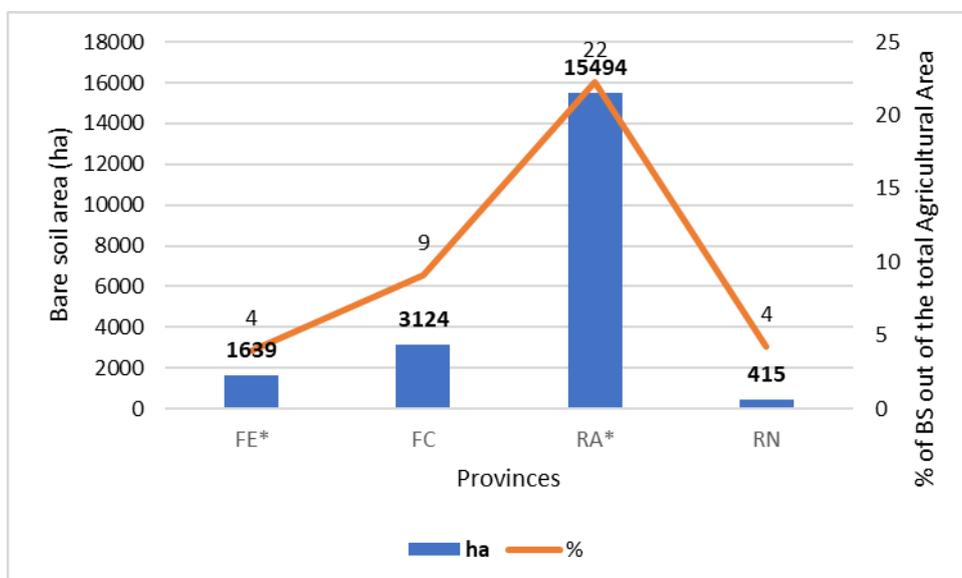


Figura 72 - Istogramma SN Agosto-Dicembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

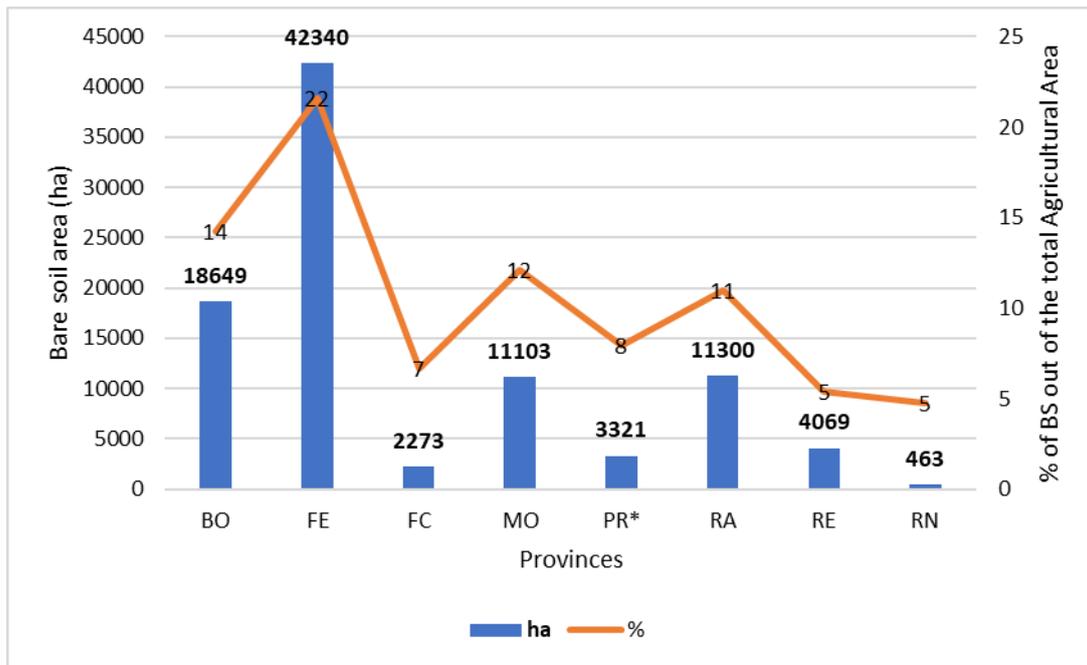


Figura 73 - Istogramma SN Febbraio-Maggio 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

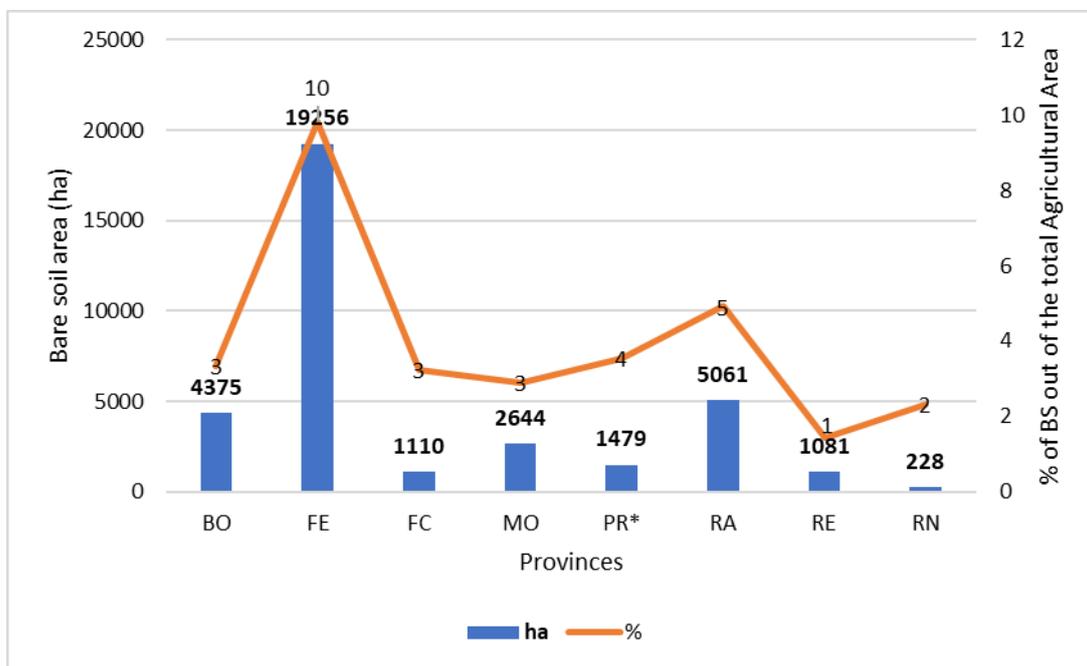


Figura 74 - Istogramma SN Marzo-Giugno 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

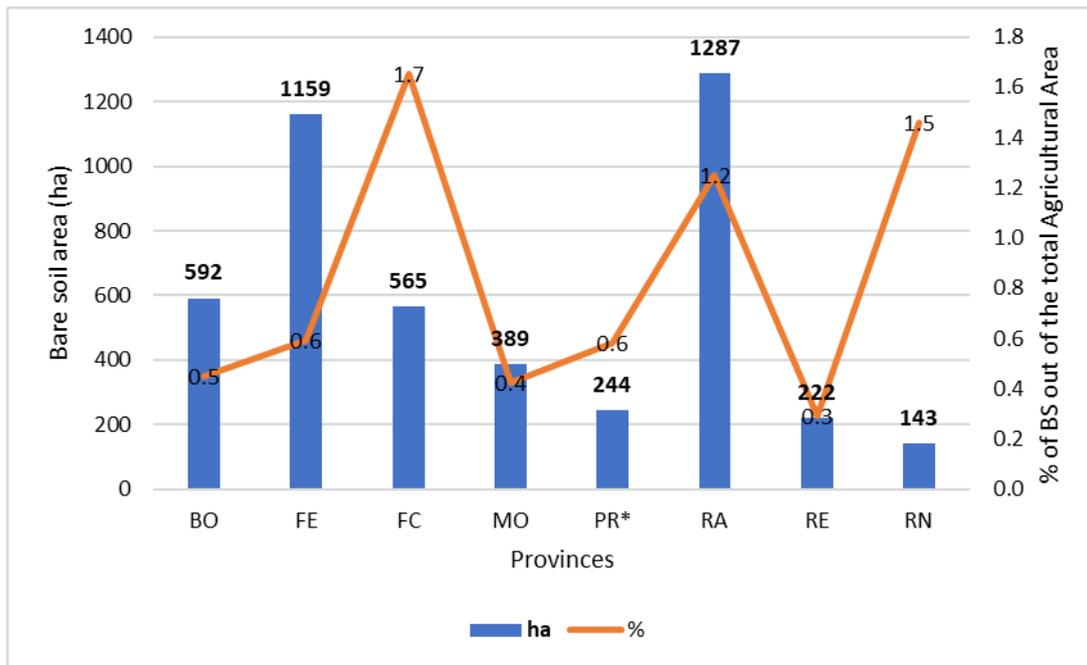


Figura 75 - Istogramma SN Aprile-Luglio 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

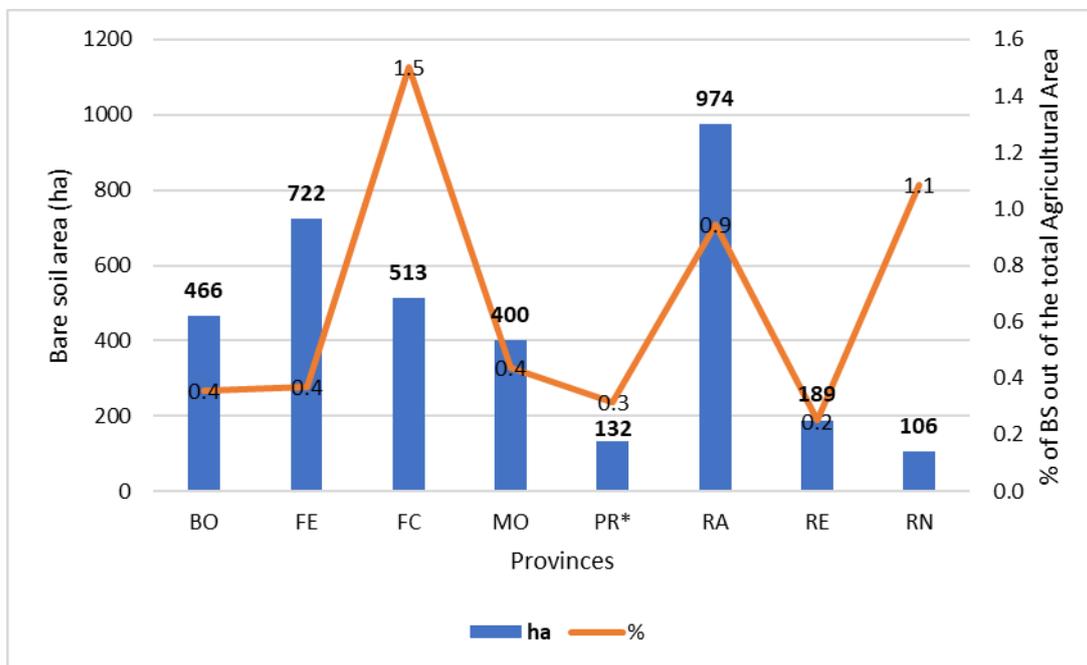


Figura 76 - Istogramma SN Maggio-Agosto 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

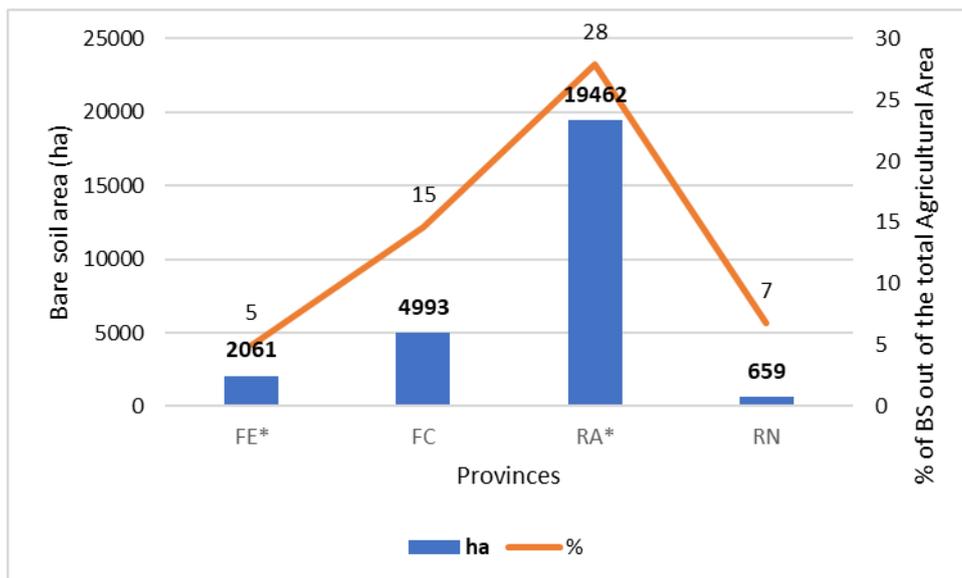


Figura 77 -Istogramma SN Agosto-Novembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

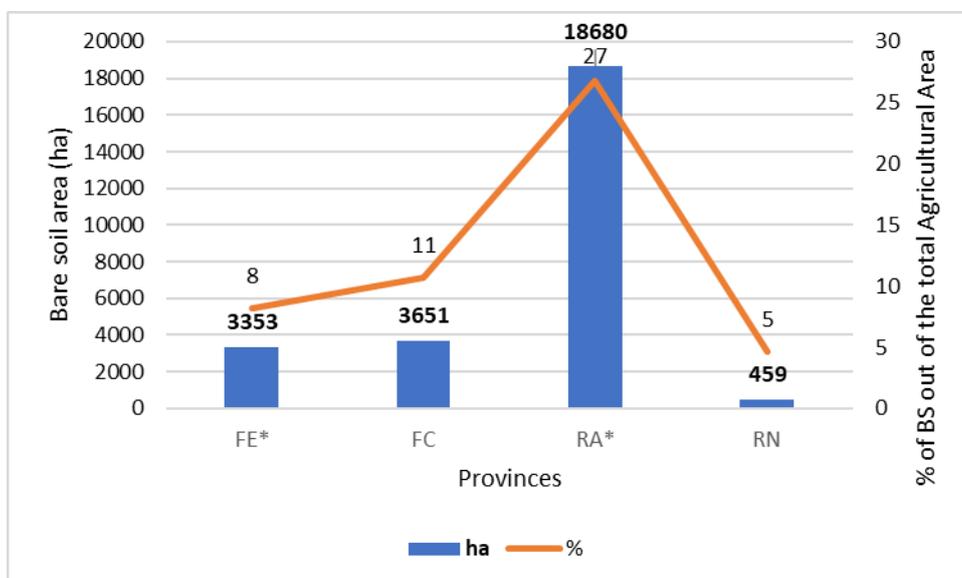


Figura 78 -Istogramma SN Settembre-Dicembre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

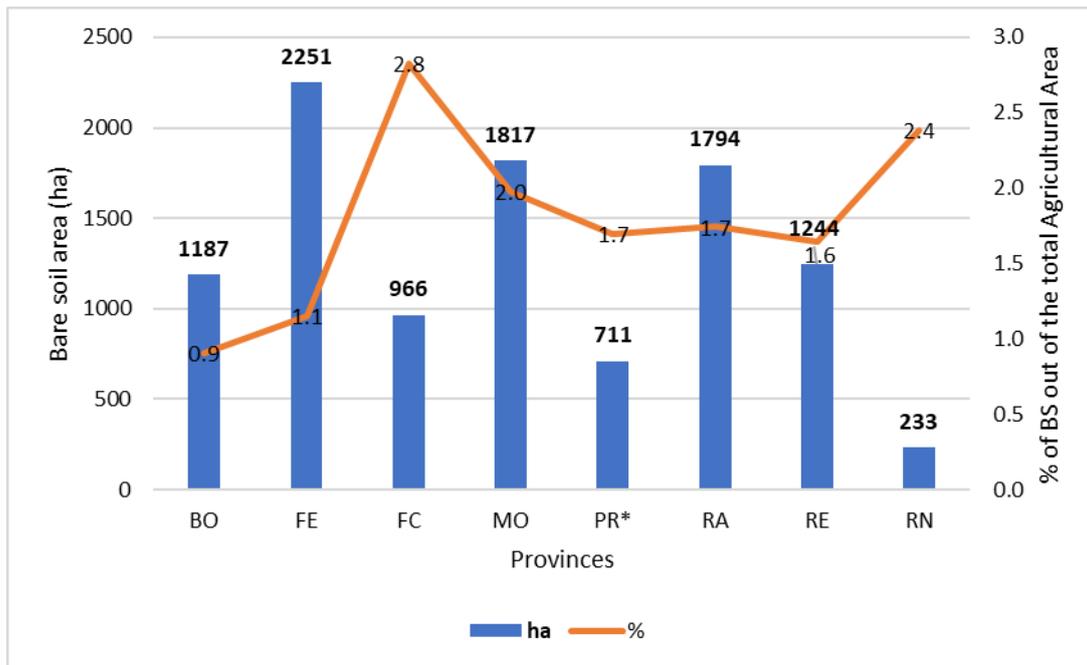


Figura 79 - Istogramma SN Giugno-Agosto 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e l'asterisco identifica la provincia coperta dell'immagine solo parzialmente

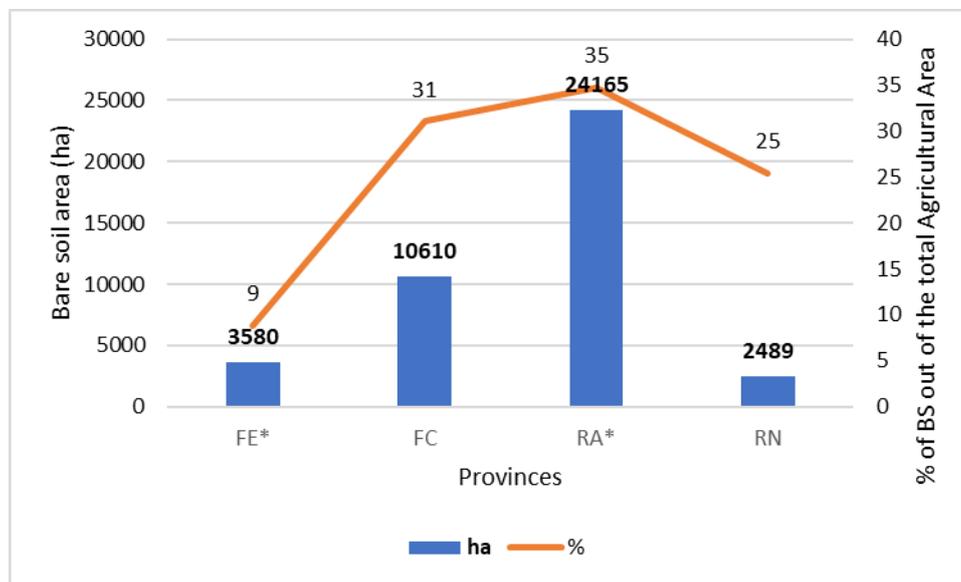


Figura 80 - Istogramma SN Agosto-Ottobre 2017. I numeri in grassetto esprimono gli ettari di SN, i numeri della linea arancione indicano la percentuale sulla superficie agricola totale e gli asterischi identificano le province coperte dell'immagine solo parzialmente

BIBLIOGRAFIA

- Alcantara, C., Kuemmerle, T., Baumann, M., Bragina, E.V., Griffiths, P., Hostert, P., et al. (2013). *Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data*. Environmental Research Letters, 8, 035035.
- Allodi, A., Antolini, G., Celano, M., Lorenzo, M., Di Marletto, V., Nanni, S., Valentini, A. (2018). *Rapporto Idrometeoclima Emilia-Romagna*.
- Antenucci, John C.; Brown, Kay; Croswell, Peter L.; Kevany, Michael J.; and Archer, Hugh N. (1991). *Introduction, Evolution of the Technology, and Applications. Chaps. 1-3 in Geographic Information Systems: A Guide to the Technology*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- APAT – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (2008). *Il suolo, la radice della vita*. Roma, pp. 34-35, 58-63, 80-81.
- Ardito, G., Bobbio, D., & Leonardi, M. (2012). *Obiettivo 2050-Per una roadmap energetica al 2050: Rinnovabili, efficienza, decarbonizzazione*. Report.
- Arpa. (2019). *Dati ambientali 2017, la qualità dell'ambiente in Emilia-Romagna*. 162. Report.
- As-syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., & Nuarsa, I. W. (2012). *Enhanced built-UP and bareness index (EBBI) for mapping built-UP and bare land in an urban area*. Remote Sensing, 4(10), 2957–2970.
- Azzali, S., Menenti, M., (2000). *Mapping vegetation–soil–climate complexes in southern Africa using temporal Fourier analysis of NOAA AVHRR NDVI data*, Int. J. Remote Sens., 21(5), 973–996.
- Baraldi, A. (2011). *Satellite Image Automatic Mapper; (SIAM) - A Turnkey Software Executable for Automatic Near Real-Time Multi-Sensor Multi-Resolution Spectral Rule-Based Preliminary Classification of Spaceborne Multi-Spectral Images*. Recent Patents on Space Technology, 1(2), 81–106.
- Baraldi, A. (2018). *Satellite Image Automatic Mapper TM - SIAM TM - System and Products Description*.
- Bellini, G., Lipizzi, F., Consentino, F., & Giordano, P. (2013). *Sesto Censimento generale dell'Agricoltura: Atlante dell'agricoltura italiana*. Report.

- Betti, L. (2018). *Annata Agraria 2018 (Cia Romagna)*. Report.
- Boateng, A. A., Mullen, C. A., & Goldberg, N. M. (2010). *Producing stable pyrolysis liquids from the oil-seed presscakes of mustard family plants: Pennycress (Thlaspi arvense L.) and camelina (Camelina sativa)*. *Energy and Fuels*, 24(12), 6624–6632.
- Bolzonella, D., Bozzetto, S., Dale, B., Foglia, P., & Gattoni, P. (2018). *Biogasdoneright®: Digestione Anaerobica e Sequestro Di Carbonio Nel Suolo*. Report.
- Buscaroli, A., Dinelli, E., & Zannoni, D. (2011). *Evoluzione geoidrologica ed ambientale dell'area compresa tra il basso corso del fiume Lamone e la costa adriatica*. *Air, Water, Soil Pollution, EQA Environmental Quality*, 5, 11-22.
- Campana, S. (2003). *Geografia storica, telerilevamento e tecnologia GIS: una rassegna bibliografica*.
- Castaldia, F., Huenib, A., Chabrilatc, S., Wardc, K., Buttafuocod, G., Bomanse, B., Van Wesemaela, B. (2019). *Evaluating the capability of the Sentinel 2 data for soil organic carbon prediction in croplands*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 147, 267-282.
- Chen, F.; Kissel, D.E.; West, L.T. & Adkins, W. (2000). *Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery*. *Soil Sci. Soc. Am. J*, Vol.64, 746-753.
- Chen, W., Liu, L., Zhang, C., Wang, J., Wang, J., & Pan, Y. (2004). *Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multi-temporal TM images*. *IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5(3), 3379–3382.
- Chirici, G., Corona, P., Dessena, M. A., Melis, M. T., Gomasasca, M., & Rees, W. (2008). *Manuale per la fotointerpretazione di immagini satellitari multispettrali e multitemporali*.
- Commission of the European Communities e CEC, 2006. *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions e Thematic Strategy for Soil Protection*. Commission of the European Communities, Brussels. COM 2006/231.
- Commissione Europea (2006), *Strategia tematica per la protezione del suolo*, COM (2006) 231. Bruxelles, 22.9.2006.

- Comunicazione della Commissione, COM (2011) 112 definitivo, (2011). “*Una tabella di marcia verso un’economia competitiva a basse emissioni di carbonio nel 2050*”, 8 marzo.
- Conant, R.T., Ogle, S.M., Paul, E.A., Paustian, K., (2011). *Measuring and monitoring soil organic carbon stocks in agricultural lands for climate mitigation*. *Front. Ecol. Environ.* 9, 169–173.
- Congedo, L., & Munafò, M. (2012). *Development of a Methodology for Land Cover Classification in Dar es Salaam using Landsat Imagery*. Tech. rep. Rome: Sapienza University, ACC Dar Project Sapienza University.
- Consiglio Europeo, (2009). Conclusioni della Presidenza del Consiglio Europeo (15265/1/09 REV1) 29-30 ottobre.
- Cosentino, S. L., Copani, V., Patanè, C., Mantineo, M., & D’Agosta, G. M. (2008). *Agronomic, energetic and environmental aspects of biomass energy crops suitable for Italian environments*. *Italian Journal of Agronomy*, 3(2), 81–95.
- Cristiani, E. (2018). *Modelli di agricoltura “sostenibile” con particolare attenzione al settore vitivinicolo*. I (1), 133–141.
- Dahunsi, S. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Osueke, C. O., Lawal, A. I., Olayanju, T. M. A., Ojadiran, J. O., & Izebere, J. O. (2019). *Biogas generation from Sorghum bicolor stalk: Effect of pretreatment methods and economic feasibility*. *Energy Reports*, 5, 584–593.
- Dale, B. E., Sibilla, F., Fabbri, C., Pezzaglia, M., Pecorino, B., Veggia, E., Bozzetto, S. (2016). *BiogasdonerightTM: An innovative new system is commercialized in Italy*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(3), 246–256
- De Beurs, K.M., & Ioffe, G. (2013). *Use of Landsat and MODIS data to remotely estimate Russia's sown area*. *Journal of Land Use Science*, 1–25.
- De Beurs, K.M., Henebry, G.M., & Gitelson, A.A. (2004). *Regional MODIS analysis of abandoned agricultural lands in the Kazakh steppes. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International (739–741)*.
- De Fries, R. S., Hansen, M., Townshend, J. R. G., Sohlberg, R., (1998). *Global land cover classifications at 8 km spatial resolution: the use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers*. *Int. J. Remote Sens.*, 19(16), 3141–3168.

Delincé J. 2001. A European approach to area frame survey. Proceedings of the Conference on Agricultural and Environmental Statistical Applications in Rome, Vol. 2, pp. 463-472.

Demattê, J. A. M., Troula, C., Rizzo, R., & Lucas, J. (2018). *Remote Sensing of Environment Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images*. Remote Sensing of Environment, 212, 161–175.

Dematte, J.A.M., Huete, A.R., Ferreira Jr., L.G., Nanni, M.R., Alves, M.C., Fiorio, P.R., (2009). *Methodology for bare soil detection and discrimination by Landsat TM image*. Bentham Open - Open Remote Sens. J. 2, 24–35.

Diek, S., Fornallaz, F., Schaepman, M.E., de Jong, R., (2017). *Barest pixel composite for agricultural areas using landsat time series*. Remote Sens. 9, 1245.

Diek, S., Schaepman, M., de Jong, R., (2016). *Creating multi-temporal composites of airborne imaging spectroscopy data in support of digital soil mapping*. Remote Sens. 8, 906.

Dobos, E., Hengl, T., Reuter, H., (2006). *Digital Soil Mapping as a Support to Production of Functional Maps*. 68 Off. Off. Publ. Eur.

Dose, L. H., Eberle, C.A., Forcella, A., Gesch, R.W, (2017). *Early planting dates maximize winter annual field pennycress (*thlaspi arvense L.*) yield and oil content*. Industrial Crops and Products 97, 477-483.

Drusch, M. & 14 co-authors (2012). *Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services*, Rem. Sens. Env. (accepted).

ERSAF – Ente di Ricerca per lo Sviluppo Agricolo e Forestale (2004). *Strumenti ed indirizzi per la gestione multifunzionale dei suoli agricoli (SIGMA). Piano di Tutela delle Acque della regione Lombardia, Allegato 10 “Definizione delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari”*, 14-28.

Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A., & Hostert, P. (2015). *Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series*. Remote Sensing of Environment, 163, 312–325.

- Falasca, S. L., Flores, N., Lamas, M. C., Carballo, S. M., & Anschau, A. (2010). *Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina*. International Journal of Hydrogen Energy, 35(11), 5808–5812.
- Fan, J., Shonnard, D. R., Kalnes, T. N., Johnsen, P. B., & Rao, S. (2013). *A life cycle assessment of pennycress (Thlaspi arvense L.) derived jet fuel and diesel*. Biomass and Bioenergy, 55, 87–100.
- Fanfani, R., & Boccaletti, S. (2018). *Il sistema agro-alimentare dell'Emilia-Romagna*. Report.
- Fanfani, R., & Pieri, R. (2017). *Il Sistema Agro-Alimentare dell'Emilia-Romagna*. Retrieved from <https://www.ucer.camcom.it/osservatori-regionali/os-agroalimentare/pdf/2017-rapporto-osservatorio-agroalimentare-er.pdf>
- Filippo, S., Gennaro, D., Matese, A., Rocchi, L., Berton, A., & Vagnoli, C. (2018). *Il telerilevamento e l'agricoltura di precisione per la gestione del territorio e le produzioni agricole di qualità*.
- Franceschelli, C. (2015). *Riflessioni sulla centuriazione romana: paradigmi interpretativi, valenza paesaggistica, significato storico*.
- Gallego J., Bamps C. 2008. *Using CORINE land cover and the point survey LUCAS for area estimation*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 10, pp. 467-475.
- Geie Agrosynergie, (2008). *Evaluation of measures regarding producer organisations in the fruit and vegetable sector, executive summary*, study financed by the European Commission.
- Gomasasca, M.A. (2010). *Basics of geomatics*. Applied Geomatics, 2(3): 137-146.
- Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M., & Lorenzoni, C. (2004). *Performances of biomass sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) under different water regimes in Mediterranean region*. Industrial Crops and Products, 20(1), 23–28.
- Hamelin L., Borzecka M., Kozak M., Pudelko E.R., (2019). *A spatial approach to bioeconomy: quantifying the residual biomass potential in the EU-27*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 100, 127-142.
- Hansen J., Kharecha P., Sato M., Masson-Delmotte V., Ackerman F., Beerling DJ., (2013). *Assessing “Dangerous Climate Change”: Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature*. PLoS ONE 8(12): e81648.

- Hansen, M., De Fries, R. S., Townshend, J. R. G., Sohlberg, R., (2000). *Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach*, Int. J. Remote Sens., 21(6), 1331–1364.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., Kempen, B., Leenaars, J.G.B., Walsh, M.G., Shepherd, K.D., Sila, A., MacMillan, R.A., De Jesus, J.M., Tamene, L., Tondoh, J.E., (2015). *Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: random forests significantly improve current predictions*. PLoS One 10, e0125814.
- Hussain, M.; Chen, D.M.; Cheng, A.; Wei, H.; Stanley, D. (2013). *Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches*. ISPRS J. Photogram Remote Sen. 80, 91–106. 13.
- Istat. (2015). La struttura delle aziende agricole. Report annuale.
- Jones H.G. & Vaughan R.A. (2010): *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*, Oxford University Press.
- Kanjir, U., Đurić, N., & Veljanovski, T. (2018). *Sentinel-2 Based Temporal Detection of Agricultural Land Use Anomalies in Support of Common Agricultural Policy Monitoring*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(10), 405.
- Landi, R. (2000). *Sistemazioni idraulico-agrarie*. 407–409. Report tecnico.
- Li, H., Wang, C., Zhong, C., Su, A., Xiong, C., Wang, J., & Liu, J. (2017). *Mapping urban bare land automatically from Landsat imagery with a simple index*. Remote Sensing, 9(3).
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., (1994) *Remote Sensing and image interpretation*, New York, Wiley.
- Lloyd D. (1990) *A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery*, International Journal of Remote Sensing, 11:12, 2269-2279.
- Low, F., Fliemann, E., Abdullaev, I., Conrad, C., & Lamers, J. P. A. (2015). *Mapping abandoned agricultural land in Kyzyl-Orda, Kazakhstan using satellite remote sensing*. Applied Geography 62 (2015) 377e390 Contents.
- Marconi, V., Raggi, M., & Viaggi, D. (2015). *Assessing the impact of RDP agri-environment measures on the use of nitrogen-based mineral fertilizers through spatial econometrics: The case study of Emilia-Romagna (Italy)*. Ecological Indicators, 59(2015), 27–40.

- Marsh, W.M., (2010). *Landscape Planning: Environmental Applications*. Wiley.
- Romani M., Rapi B., Battista P., (2017) *Stima della radiazione solare (teoria e applicazioni)*.
- McBratney, A., Mendonca Santos, M., Minasny, B., (2003). *On digital soil mapping*. *Geoderma* 117, 3–52.
- Montola, V., Colonna, N., Alfano, V., Gaeta, M., Sasso, S., De Luca, V., Braccio, G. (2009). *Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS*. *Ricerca Sistema Elettrico*, RSE/2009/1, 141.
- Morini, G. (2012). *Prontuario delle principali colture agrarie praticate nel parco e parametri per l'indennizzo dei danni da fauna selvatica*.
- Mulder, V.L., de Bruin, S., Schaepman, M.E., Mayr, T.R., (2011). *The use of remote sensing in soil and terrain mapping, a review*. *Geoderma* 162, 1–19.
- Munafò, M. (2019). *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Report annuale.
- Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L., Batjes, N., Dijkshoorn, K., van Engelen, V., Fischer, G., Jones, A., Montanarella, L., Petri, M., Prieler, S., Teixeira, E., Wiberg, D., Shi, X., (2009). *Harmonized World Soil Database – Version 1.1*, FAO.
- Nanni, M.R., Demattê, J.A.M., (2006). *Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 393–407.
- Nolasco de Carvalho, C.C., Nunes, F.C., Homem Antunes, M.A., Nolasco, M.C., 2015. *Soil surveys in Brazil and perspectives in digital soil mapping*. *Soil Horiz.* 56.
- Pan, G., Li, L., Wu, L., Zhang, X., (2004). *Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China's paddy soils*. *Glob. Chang. Biol.* 10, 79–92.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Jones, A., Montanarella, L., (2012). *European Soil Data Centre: response to European policy support and public data requirements*. *Land Use Policy* 29, 329–338.
- Parlamento europeo e Consiglio (2013), *Decisione n. 1386/2013/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 novembre 2013 su un programma generale di azione dell'Unione in materia di ambiente fino al 2020 «Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta», GUUE, L 354, 28.12.2013: 171-200.*

- Peters, D., Zabeti, M., Kühner, A.-K., Spöttle, M., Wopke, Van der W., & Stomph, T. J. (2016). *Assessing the case for sequential cropping to produce low ILUC risk biomethane*, Final report.
- Portmann, F.T., Siebert, S., & Döll, P. (2010). *MIRCA2000—Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling*. *Global Biogeochemical Cycles*, 24 GB1011.
- Powlson, D. S., Whitmore, A. P. and Goulding, K. W. T. (2011). *Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false*. *European Journal of Soil Science*.62 (1), pp. 42-55.
- Provolo, G., & Sarteel, M. (2015). *Buone pratiche per ridurre la perdita di sostanze nutritive in Lombardia (Italia)*. Report.
- Ramírez-Cando L., Guiso A., Spugnolo P., Angelini L., Tavarini S., Matteo R., Lazzeri L., (2016). *Analisi ambientale di una filiera oleaginosa di Camelina sativa per la produzione di bioprodotti*. 10.13140/RG.2.2.10303.41121.
- Richards, J.A., & Jia, X. (2006). *The Interpretation of Digital Image Data. In: Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Berlin, Germany: Springer, 67-82.
- Riedel, M., Sliva, J., Schneider, T., & Guerrero, N. (2015). *Development of land-cover classification focusing on wetlands impacted by subsistence farming using satellite remote sensing*, Tropentag, Berlin, Germany September 16-18, 2015. (September), 0–4.
- Rogge, D., Bauer, A., Zeidler, J., Mueller, A., Esch, T., & Heiden, U. (2018). *Remote Sensing of Environment Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984-2014)*. *Remote Sensing of Environment*, 205 (October 2017), 1–17.
- Romli, M., Anggraini, A., Purwoko, S., Suprihatin, S., (2015). *Co-digestion of sorghum stalk and sludge for biogas production*. *Mak. J. Sci.* 19 (4), 143–149.
- Sartori, F. (2001). *Per una cartografia tematica lombarda. Telerilevamento. Metodologia di raccolta, elaborazione e rappresentazione di dati ambientali territoriali*. Fondazione lombarda per l’Ambiente/Università degli Studi di Pavia, 380-404.

- Sbaffoni, S., Beltrani, T., Cortesi, S., Fantin, V., Innella, C., Cutaia, L., Brunori, C. (2019). *Rapporto sull'Economia Circolare in Italia*, 2019. Enea, 1–128.
- Siebert, S., Portmann, F.T., & Döll, P. (2010). *Global patterns of cropland use intensity*. *Remote Sensing*, 2, 1625–1643.
- Skole, D. L., (1994). *Data on global land-cover change: acquisition, assessment and analysis*. In: Meyer W B, Turner B L, II (Eds.), *Changes in land use and land cover: a global perspective* (pp.437–471), Cambridge: Cambridge University Press.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., (2007). *Sirotenko: Agriculture, in Climate Change: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ed. by Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Smith T.M & Smith R.L (2013) *Elementi di ecologia*, 8 edizione, Pearson.
- Southworth, J., (2004). *An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions*. *Int. J. Remote Sens.*, 25(4), 689–706.
- Sridhar, B.B.M. & Vincent, R.K. (2009). *Mapping and estimation of phosphorus and copper concentrations in fly ash spill area using LANDSAT TM Images*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.75, Nb.9, 1030-1033.
- Sridhar, B.B.M.; Vincent, R.K.; Witter, J.D. & Spongberg, A.J. (2009) *Mapping the total phosphorus concentration of biosolid amended surface soils using LANDSAT TM data*. *Science of Total Environment*, Vol.47, 2894-2899.
- Stolarski, M. J., Krzyżaniak, M., Tworkowski, J., Załuski, D., Kwiatkowski, J., & Szczukowski, S. (2019). *Camelina and crambe production – Energy efficiency indices depending on nitrogen fertilizer application*. *Industrial Crops and Products*, 137(April), 386–395.
- Sukristiyanti, R.; Suharyadi; Jatmiko, R.H. (2007). *Evaluasi Indeks Urban pada citra Landsat Multitemporal dalam ekstraksi kepadatan bangunan*. *J. Riset Geol. Pertamb.* 17, 1–10.
- Sullivan, D.G.; Shaw, J.N. & Rickman, D. (2005) *IKONOS imagery to estimate surface soil property variability in two Alabama physiographies*. *Soil Sci. Soc. Am. J*, Vol.69, 1789-1798.

- Cringoli, G., Taddei, R., Rinaldi, L., Veneziano, V., Musella, V., Cascone, C., Sibilio, G., Malone, J.B., (2004). *Use of remote sensing and geographical information systems to identify environmental features that influence the distribution of paramphistomosis in sheep from the southern Italian Apennines*. *Veterinary Parasitology*, 122, 15–26.
- Tei, F., & Pannacci, E. (2005). *La gestione integrata della flora infestante nelle colture orticole*. *Italus Hortus*, 12(4), 45–62.
- Thomas B. & Vince-prue D. (1996) *Photoperiodism in plants*, 2 edizione, Academic Press.
- Menzani Tito, (2010). *La bonifica fra cultura economica e ambientale. Il caso delle valli emiliano-romagnole (secc. XVII-XVIII)*, "Storicamente", no. 29.
- Valentini, E., Taramelli, A., Filipponi, F., & Giulio, S. (2015). *An effective procedure for EUNIS and Natura 2000 habitat type mapping in estuarine ecosystems integrating ecological knowledge and remote sensing analysis*. *Ocean & Coastal Management*, 108: 52-64
- Valli, L., Rossi, L., Fabbri, C., Sibilla, F., Gattoni, P., Dale, B. E., Bozzetto, S. (2017). *Greenhouse gas emissions of electricity and biomethane produced using the Biogasdoneright™ system: four case studies from Italy*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 6(3), 246–256.
- Varvel, G.E.; Schlemmer, M.R. & Schepers, J.S. (1999). *Relationship between spectral data from an aerial image and soil organic matter and phosphorus levels*. *Precision Agric*, Vol.1, 291-300.
- Vitousek, P. M., (1994). *Beyond global warming: ecology and global change*. *Ecology*, 75(5), 1861–1876.
- Von Cossel, M., Lewandowski, I., Elbersen, B., Staritsky, I., Van Eupen, M., Iqbal, Y., Alexopoulou, E. (2019). *Marginal agricultural land low-input systems for biomass production*. *Energies*, 12(16).
- Voorde, T. Van De, Vlaeminck, J., & Canters, F. (2008). *Comparing Different Approaches for Mapping Urban Vegetation Cover from Landsat ETM+ Data: A Case Study on Brussels*. *Sensors* 2008, 8, 3880–3902.
- Wardlow, B.D., & Egbert, S.L. (2008). *Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.S. Central Great Plains*. *Remote Sensing of Environment*, 112, 1096–1116.

Weng, Q. (2008). *Remote Sensing of Impervious Surfaces: An Overview*. In *Remote Sensing of Impervious Surfaces*; CRC Press: Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA.

Wu, J., Zhu, Z.L., Zheng, J.G., 2006. *Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* 19 (2), 192–195.

Zanetti, F., Eynckb, C., Christouc, M., Krzyżaniakd M., Righinia, D., Alexopoulouc, E., M.J., Stolarskid, E.N., Van Looe, Puttickb, D., Montia, A., (2017). *Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (Camelina sativa L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada*. *Industrial Crops and Products*, 107, 602-608.

Zanetti, F., Christouc, M., Alexopoulouc, E., Berti, M. T., Vecchi, A., Borghesi, A., & Monti, A. (2019). *Innovative double cropping systems including camelina (camelina sativa (L.) crantz) a valuable oilseed crop for bio-based applications*. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, (May), 127–130.

Zanetti, F., Isbell, T. A., Gesch, R. W., Evangelista, R. L., Alexopoulouc, E., Moser, B., & Monti, A. (2019). *Turning a burden into an opportunity: Pennycress (Thlaspi arvense L.) a new oilseed crop for biofuel production*. *Biomass and Bioenergy*, 130 (November 2018), 105354.

Zha, Y.; Gao, J.; Ni, S. (2003). *Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery*. *Int. J. Remote Sens.* 24, 583–594.

Zhao, H.M.; Chen, X.L. (2005). *Use of Normalized Difference Bareness Index in Quickly Mapping Bare Areas from TM/ETM+*. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, July 2005, Seoul, Korea; Volume 3, 1666–1668.

SITOGRAFIA

- http://www3.weforum.org/docs/WEF_IP_NVA_Roadmap_Report.pdf McKinsey & Company 2010 (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://webbook.arpae.it> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:347:0487:0548:EN:PDF> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_IT (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://www.comune.ra.it/Aree-Tematiche/Ambiente-Territorio-e-Mobilita/Sistema-Informativo-Territoriale-SIT/Cos-e-un-GIS> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- http://dipsa.unibo.it/catgis/pdf/Vol_3_2.pdf (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://www.isprambiente.gov.it/it/programma-copernicus> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Italy/Copernicus_20_anni_dopo (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://www.ecoage.it/la-radiazione-solare-al-suolo.htm> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://sunrise.rse-web.it/> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://www.inbiosystem.com/la-radiazione-solare/> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://siam.andreabaraldi.com/> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://magic-h2020.eu/project-overview/> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- https://arpae.datamb.it/dataset/consumi-energetici-comunali/resource/c64d857c-9e63-4f86-9299-ee4fc23c4804?inner_span=True (Ultima consultazione: marzo 2020)
- [http://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/agricoltura-in-cifre/censimenti-general-dell-
agricoltura](http://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/agricoltura-in-cifre/censimenti-general-dell-
agricoltura) (Ultima consultazione: marzo 2020)
- [https://maps1.ldpgis.it/grosseto/?q=indice_normativa_ru&normativa=_ru&sottoalbero=19&
id_variante=12](https://maps1.ldpgis.it/grosseto/?q=indice_normativa_ru&normativa=_ru&sottoalbero=19&
id_variante=12) (Ultima consultazione: marzo 2020)
- https://ec.europa.eu/info/departments/energy_it (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <http://agricoltura.regione.emilia-romagna.it> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://progeu.regione.emilia-romagna.it> (Ultima consultazione: marzo 2020)
- <https://www.medicalpdfbooks.org/photoperiodism-in-plants.pdf> (Ultima consultazione: marzo 2020)

RINGRAZIAMENTI

Al termine di questa esperienza, desidero ringraziare coloro che in vari modi hanno contribuito alla mia crescita scientifica, al raggiungimento dell'obiettivo e alla realizzazione dell'elaborato, prestando il loro aiuto e la loro preziosa assistenza.

Un sentito ringraziamento al Dott. Greggio e al Professor Contin rispettivamente relatore e correlatore di questa tesi di laurea per la disponibilità, la professionalità e la gentilezza che mi hanno dimostrato.

Un doveroso grazie va al Dott. Baraldi per avermi fornito il supporto tecnico e per essersi dimostrato disponibile offrendomi consigli importanti per il mio percorso formativo.

Infine, senza l'aiuto di due enti Regionali molto importanti, quali ARPAE ed AGREA questo elaborato non avrebbe preso forma; per cui un caro ringraziamento per aver condiviso le vostre informazioni con l'Università di Bologna – Campus di Ravenna.