Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali

Progetto di Ricerca e Sviluppo

Rigenerazione Sostenibile dell'agricoltura nei territori colpiti da Xylella fastidiosa

CUP: J89J21013750001

DAJS
Distretto Agroalimentare di Qualità Jonico Salentino

Deliverable 2.3.2: Inventario e mappatura degli usi del suolo agricoli.

WP:	**WP2: Il Capitale Naturale**
Responsabile WP:	Prof. Alberto Basset
Attività:	**Task 2.3: Paesaggi e servizi ecosistemici**
Responsabile attività:	Prof.ssa Irene Petrosillo
Deliverable:	**DV2.3.2: Acquisizione ed analisi di dati per la caratterizzazione del Salento**
Autori:	Irene Petrosillo, Donatella Valente, Angela Maria Scardia Scardia, Erica Maria Lovello
Scadenza:	31 dicembre 2022
Versione:	0.1
Stato:	Revisionato

Indice

1 Introduzione 4
1.1 Obiettivo del documento 5
1.2 Definizioni, Acronimi e Abbreviazioni 5
1.3 Struttura del documento 6
2 Contesto 7
2.1 Metodologia per la stima dell'oliveto asintomatico 8
2.2 Necessità di fertilizzanti 8
2.3 Capacità di sequestro di carbonio 12
2.4 Necessità idriche 15
2.5 Capacità di produzione di biomassa 17
3 Risultati 19
3.1 Mappatura dell'oliveto asintomatico 19
3.2 Necessità di fertilizzanti 20
3.3 Capacità di sequestro di carbonio 23
3.4 Necessità idriche 25
3.5 Capacità di produzione di biomassa 26
4 Discussioni 28
5 Conclusioni 30
6 Bibliografia 31

Elenco delle figure

Figura 1: Stima e mappatura degli oliveti asintomatici al 2021 in Salento.

Figura 2: Uso del suolo agricolo del Salento classificato su quattro classi.

Figura 3: Stima dell'apporto medio di azoto nel territorio salentino.

Figura 4: Stima dell'apporto medio di potassio nel territorio salentino in caso di terreni con dotazione normale.

Figura 5: Stima dell'apporto medio di fosforo nel territorio salentino in caso di terreni con dotazione normale.

Figura 6: Stima dello stock di carbonio organico nel suolo (SOC) nei primi 30 cm di suolo del Salento, secondo i diversi tipi di uso del suolo agricolo considerati.

Figura 7: Stima delle necessità idriche delle differenti colture sul territorio salentino.

Figura 8: Media dei volumi produttivi per classe agricola di uso del suolo del Salento nell'anno 2021.

1 Introduzione

I paesaggi agricoli sono sistemi socio-ecologici cruciali, che producono servizi ecosistemici vitali quali, servizi di approvvigionamento (ad es., produzione alimentare), servizi di regolazione (ad es. mitigazione dei cambiamenti climatici attraverso lo stoccaggio del carbonio), e servizi culturali (ad es. opportunità culturali e ricreative) (DeClerck et al., 2015; Liu W.et al., 2019; Power, 2010).

È abbastanza noto che l'agricoltura sostenibile dipende dall'integrazione del capitale naturale e dei processi ecologici nella produzione alimentare (Pretty, 2008). Gli ecosistemi agricoli, infatti, garantiscono la sostenibilità dei paesaggi agricoli fornendo servizi ecosistemici fondamentali (Hodbod et al., 2016) che svolgono un ruolo indispensabile nel garantire la produzione di beni e dunque assicurare la qualità della vita umana (Felipe-Lucia et al., 2020).

Gli ecosistemi agricoli, quali complessi ecosistemi seminaturali, sono profondamente influenzati dalle condizioni naturali e dalle attività umane (Garbach et al., 2014; Swinton et al., 2007). Essi sono costituiti da elementi naturali come la morfologia, il clima, l'idrologia, il suolo; elementi economici come input, output e consumo; e elementi sociali come la popolazione, la cultura e la politica. Tali ecosistemi, inoltre, sono sia i principali siti di produzione di prodotti agricoli sia i fornitori di materiali per la sicurezza dei mezzi di sussistenza.

Collegando funzioni ecosistemiche e benefici sociali, i servizi ecosistemici hanno un grande potenziale nell'influenzare la gestione delle risorse naturali (Villamagna et al., 2013) finalizzata al mantenimento della salute del suolo, delle scorte di carbonio, della regolazione del flusso di aria e acqua, al miglioramento della biodiversità, all'aumento della resilienza dei paesaggi per adattarsi ai cambiamenti climatici e ai disturbi ambientali, al mantenimento della produzione alimentare e al miglioramento della salute e del benessere umano (MEA, 2005; Naumann et al., 2013; Smith et al., 2013; Doswald et al., 2014).

La multifunzionalità agricola, ovvero la capacità dell'agricoltura di fornire contemporaneamente una varietà di servizi, è diventata gradualmente un elemento chiave nella trasformazione dell'agricoltura tradizionale (Waldhardt et al., 2010; Werling et al., 2014). Per soddisfare le esigenze di fornire molteplici servizi ecosistemici, inclusa la produzione alimentare, la multifunzionalità è diventata un obiettivo sempre più centrale, in particolare nei paesaggi agricoli.

Per agricoltura multifunzionale s'intende quell'agricoltura che, oltre ad assolvere la propria funzione primaria, ovvero la produzione di beni alimentari, è in grado di fornire servizi secondari, utili alla collettività.

In particolare, secondo la definizione introdotta dalla Commissione agricoltura dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, "oltre alla sua funzione primaria di produrre cibo e fibre, l'agricoltura multifunzionale può anche disegnare il paesaggio, proteggere l'ambiente e il territorio e conservare la biodiversità, gestire in maniera sostenibile le risorse, contribuire alla sopravvivenza socio-economica delle aree rurali, garantire la sicurezza alimentare."

Il concetto di agricoltura multifunzionale viene introdotto per la prima volta in occasione dell'Earth Summit di Rio nel 1992, per essere poi ripreso nell'ambito delle discussioni relative alla politica agricola comune in ambito europeo.

Il primo riconoscimento ufficiale di questa nuova forma di agricoltura avviene infatti con Agenda 2000, un pacchetto di riforme della PAC approvate nel 1999 e relative al periodo 2000-2006.

A partire da quella data, temi come la tutela dell'ambiente e la biodiversità cominciano ad assumere un ruolo sempre più strategico e un peso sempre maggiore nella politica agricola comune, tanto da condizionare sempre più gli aiuti e i finanziamenti dell'Unione Europea verso il settore. In Italia il concetto di agricoltura multifunzionale è espresso e recepito nel Decreto legislativo n. 228 del 2001 che, in attuazione della cosiddetta "legge di orientamento del settore agricolo", pone le basi per una nuova configurazione giuridica e funzionale dell'impresa agraria.

Il concetto di multifunzionalità non va, inoltre, confuso con quello di diversificazione e multisettorialità, che fanno riferimento a differenti attività agricole, nel primo caso, e a diversi settori di produzione, nel secondo.

1.1 Obiettivo del documento

Obiettivo di tale documento è lo studio ed analisi del paesaggio agricolo multifunzionale del Salento attraverso una riclassificazione degli usi agricoli sulla base cartografica del CORINE Land-cover. Successivamente, gli usi agricoli sono stati classificati sulla base della necessità di fertilizzanti, necessità idriche, capacità di sequestro del sequestro del carbonio e sulla base della produzione di biomassa.

1.2 Definizioni, Acronimi e Abbreviazioni

- GIS, Geographic Information System;
- CLC, Corine Land Cover;
- RF, Random Forest
- N, azoto;
- K, potassio;
- P, fosforo;
- GHG, greenhouse gas;
- SOC, Soil Organic Carbon;
- C, carbonio;
- CO_2, anidride carbonica;
- CH_4, metano;

- N_2O, protossido di azoto;
- HFCs, idrofluorocarburi;
- PFC, perfluorocarburi;
- SF_6, l'esafluoruro di zolfo;
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change; goals;
- SAU, Superficie Agricola Utilizzata;
- DI, Deficit Irrigation.
- SDG, Sustainable Development Goals

1.3 Struttura del documento

Il documento è suddiviso in 4 sezioni per ognuna della quali viene analizzato il contesto e mostrati, tramite cartografie GIS, i risultati delle analisi effettuale attraverso review bibliografiche e banche dati ufficiali. I risultati comprendono l'analisi e la riclassificazione degli usi agricoli del Salento, in ambiente GIS, sulla base:

- dei **fertilizzanti** necessari a garantire produzioni di elevata qualità e in quantità economicamente sostenibili nel rispetto delle esigenze di salvaguardia ambientale;

- del **sequestro del carbonio**, servizio di regolazione fornito dai suoli agricoli di fondamentale importanza nell'ambito delle strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici;

- delle **necessità idriche**, fattore limitante per lo sviluppo economico in un contesto di cambiamenti climatici sempre più estremi dove l'obiettivo principale è quello di raggiungere maggiori efficienze nell'uso dell'acqua in ogni settore produttivo;

- della **produzione di biomassa**, in un periodo storico in cui crisi sanitaria, shock bellico ed emergenza climatica causano effetti negativi sul comparto.

2 Contesto

Lo studio del paesaggio agricolo multifunzionale del Salento, analizzando i servizi ecosistemici forniti dai suoi usi agricoli e i fabbisogni necessari al loro sostentamento, ci permette di avere una visione d'insieme e non di dettaglio del territorio agricolo in modo da prevedere una riorganizzazione del sistema produttivo in un'ottica agro-ecologica e multifunzionale. Al fine dell'analisi, sono state prese in esame le classi agricole della classificazione CORINE Land Cover (CLC). Il CLC è un'iniziativa nata a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela. La prima strutturazione del progetto CLC risale al 1985 quando il Consiglio delle Comunità Europee, con la Decisione 85/338/EEC, vara il programma CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) per dotare l'Unione Europea, gli Stati associati e i paesi limitrofi dell'area mediterranea e balcanica di informazioni territoriali omogenee sullo stato dell'ambiente. Lo scopo principale dell'iniziativa è di verificare dinamicamente lo stato dell'ambiente nell'area comunitaria, al fine di fornire supporto per lo sviluppo di politiche comuni, controllarne gli effetti e proporre eventuali correttivi (ISPRA, 2010). Esempi di applicazione riguardano, ad esempio, la valutazione dell'efficacia delle politiche regionali di sviluppo, la valutazione dell'impatto delle politiche agricole sull'ambiente, l'elaborazione di strategie per una gestione integrata delle aree costiere, l'implementazione delle convenzioni sulla biodiversità e delle direttive sull'habitat e sugli uccelli, la gestione integrata dei bacini idrografici, la valutazione delle emissioni atmosferiche, la misura della qualità dell'aria e la valutazione ambientale strategica delle reti di trasporti. L'elaborazione dei dati CLC è effettuata tramite piattaforme GIS e prevede prodotti basati sulla fotointerpretazione di immagini satellitari realizzata dai team nazionali degli Stati che vi partecipano (Stati membri dell'Unione Europea e Stati che cooperano), seguendo una metodologia e una nomenclatura standard con le seguenti caratteristiche: 44 classi al terzo livello gerarchico della nomenclatura Corine; unità minima cartografabile (MMU) per la copertura di 25 ettari; ampiezza minima degli elementi lineari di 100 metri; unità minima cartografabile (MMU) per i cambiamenti (LCC) di 5 ettari.

Poiché i dati di copertura/uso del suolo CLC sono organizzati su diversi livelli gerarchici, è possibile fornire un'analisi del dato che, in funzione del dettaglio tematico considerato, permette di trarre considerazioni sulle politiche di sviluppo territoriale anche a differenti livelli di scala (ISPRA, 2010). La legenda CLC, in particolare, si articola su tre piani, il primo dei quali è formato da 5 voci che comprendono le maggiori categorie di copertura sulla Terra (territori modellati artificialmente, territori agricoli, territori boscati e ambienti semi-naturali, zone umide, corpi idrici). Il secondo livello si compone di 15 voci, adatte ad una rappresentazione a scala 1: 500.000/1.000.000; il terzo, più dettagliato, comprende 44 voci adatte quindi per una scala 1:100.000. La legenda, per ragioni di omogeneità a livello europeo, è fornita come non modificabile, può comunque essere integrata da livelli di approfondimento per i singoli casi, i cui dati però non devono comparire a livello comunitario. Per l'Italia, infatti, ci sono alcuni approfondimenti tematici al IV livello.

Le classi agricole, al terzo livello CLC, considerate nel presente studio sono state:

- Frutteti: impianti di alberi o arbusti fruttiferi tra cui colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. Sono considerati anche i frutteti con presenza di diverse associazioni di alberi;
- Vigneti: superfici piantate a vigna;
- Seminativi: intesi come la sommatoria delle classi "seminativi semplici in aree non irrigue", "seminativi semplici in aree irrigue", "colture temporanee associate a colture permanenti", "sistemi colturali e particellari complessi", "aree occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali" e "altre colture permanenti";
- Oliveti asintomatici.

La riclassificazione delle classi di uso agricolo, sulla base della necessità di fertilizzanti e delle necessità idriche, sulla capacità di sequestro di carbonio e sulla produzione di biomassa, è avvenuta considerando l'ultimo aggiornamento del CORINE Land Cover fornito da Copernicus, che risale all'anno 2018 e, per gli oliveti asintomatici, una prima stima al 2021 realizzata mediante una classificazione semi-supervisionata.

2.1 Metodologia per la stima dell'oliveto asintomatico

Per la realizzazione di una prima stima di copertura degli oliveti asintomatici nel territorio salentino, al 2021, è stato utilizzato un approccio di classificazione semi-supervisionato, applicando l'algoritmo ottimizzato Random Forest (RF).

L'analisi è avvenuta sulla base di dati di telerilevamento open access, per l'anno 2021, bande di informazioni satellitari composte da sensori ottici, indici di vegetazione, radar ad apertura sintetica (SAR), dati sulla temperatura della superficie terrestre (LST) e la classificazione WORLD COVER ESA 2020.

L'algoritmo RF è stato eseguito una prima volta, in due zone di addestramento, al fine di identificare le caratteristiche da ricercare che più influenzano l'identificazione della classe "Oliveti" tra le classi di uso del suolo presenti e che permettono di discriminare tra oliveti asintomatici e oliveti colpiti da Xylella. La seconda classificazione Random Forest ha ottimizzato il modello di classificazione per tutta la penisola salentina consentendo di ottenere una prima mappatura degli oliveti asintomatici. Sebbene la cartografia ottenuta possa contenere qualche errore di interpretazione, essa sicuramente da indicazioni più attuali rispetto all'ultima classificazione utile disponibile risalente per la Regione Puglia al 2018 che per l'oliveto non contemplava gli effetti della Xylella per cui, a tutti gli effetti, l'ultima classificazione utile per l'oliveto risale al 2011 (pre-Xylella).

2.2 Necessità di fertilizzanti

Per l'agricoltura il suolo è il fattore produttivo primario senza il quale non è possibile la coltivazione delle varie specie; da un punto di vista ambientale il suolo è un elemento primario dell'ecosistema, insieme ad acqua, aria ed organismi viventi e, pertanto, necessita di essere protetto e preservato da possibili fenomeni di degradazione ovvero di alterazione delle sue condizioni dovute alla

riduzione o alla perdita di produttività biologica o economica a causa principalmente dell'attività dell'uomo (ISPRA, 2021).

Per l'attività agricola l'utilizzo dei fertilizzanti rappresenta un potente mezzo per aumentare la produttività dei terreni e, quindi, le rese delle colture. Con il termine fertilizzante si intende una qualsiasi sostanza, somministrata al terreno, che per le sue caratteristiche chimico-fisico-biologiche è in grado di agire positivamente sulla fertilità, migliorando la funzione di nutrizione del suolo. I fertilizzanti, a seconda dell'azione esplicata, vengono suddivisi in: concimi (forniscono alle colture gli elementi chimici necessari allo sviluppo), ammendanti e correttivi (modificano le proprietà e le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche del terreno, migliorandone l'abitabilità per le specie vegetali coltivate). L'uso di fertilizzanti non comporta particolari rischi ambientali se condotto con prodotti di qualità (a basso contenuto di elementi estranei indesiderabili), quantitativi e modalità di distribuzione commisurati ai bisogni nutritivi delle culture e alle condizioni di fertilità dei suoli.

Una fertilizzazione irrazionale o non equilibrata, al contrario, può comportare immissioni eccessive nell'ambiente di composti, quali ad esempio quelli dell'azoto e del fosforo, che costituiscono importanti fonti di inquinamento ambientale in tempi più o meno brevi, causando degrado del suolo, inquinamento ed eutrofizzazione delle acque. Il fosforo e l'azoto si muovono, infatti, nell'ambiente nell'ambito di cicli complessi; l'azoto, in particolare, può subire notevoli mutamenti nella sua forma chimica ed i suoi composti possono produrre inquinamento idrico (nitrati e nitriti) ed atmosferico (composti azotati gassosi) (ARPA Puglia). Bisogna tener conto, pertanto, che ogni terreno ha caratteristiche proprie ed una specifica dotazione in elementi minerali e sostanza organica ed ogni pianta ha le proprie esigenze nei diversi periodi di sviluppo e risente dell'andamento climatico.

Gli elementi nutritivi sono presenti nel terreno sotto forma di sali disciolti nella soluzione circolante e vengono assorbiti dalle piante attraverso i loro peli radicali. In funzione delle quantità assorbite dalle piante, è possibile distinguere gli elementi in:

- macro-elementi o elementi principali, maggiormente assorbiti (nell'ordine di kg ha-1); ad essi si ascrivono azoto, fosforo e potassio;
- meso-elementi o elementi secondari, assorbiti in quantità leggermente inferiore ai primi (nell'ordine di kg ha-1), ma spesso sufficientemente presenti nei suoli; ad essi appartengono: calcio, magnesio, zolfo e sodio;
- micro-elementi, assorbiti in limitate quantità (nell'ordine di g ha-1), essi sono: boro (B), manganese, zinco, rame, molibdeno, cobalto, ferro.

In un suolo il contenuto di uno specifico elemento non è sempre indicativo della sua disponibilità per le piante, molteplici sono, infatti, le considerazioni da fare a tal proposito, tra cui la forma in cui l'elemento è presente nel terreno, le sue condizioni di pH, la presenza di altri elementi che ne ostacolano l'assorbimento per fenomeni di competizione, etc. (Regione Campania, 2012). La disponibilità degli elementi principali rappresenta il fattore di nutrizione che maggiormente limita la produzione vegetale e, poiché solitamente nel terreno l'azoto, il fosforo ed il potassio sono

presenti in quantità non sufficiente a garantire produzioni ottimali, la concimazione diventa il mezzo essenziale per sopperire a tali carenze.

La conoscenza delle dinamiche dei diversi nutrienti nel terreno diventa, perciò, fondamentale non solo per ottimizzare la fertilizzazione (con la possibilità di ridurre i costi per gli agricoltori) ma, soprattutto, per ridurre l'impatto ambientale troppo spesso associato a questa pratica. La "concimazione razionale", cioè quella che permette di impiegare al meglio i fattori produttivi deve tener conto di queste specificità, utilizzando la dose di fertilizzante ottimale ed evitando, così, prima di tutto conseguenze negative per l'ambiente, oltre che perdite economiche talvolta significative.

- **Azoto**

La fertilizzazione con azoto (N) svolge un ruolo importante nella sicurezza alimentare globale influenzando la resa delle coltivazioni (Liang, 2022). L'azoto è, infatti, un nutriente minerale fondamentale per la crescita delle piante, il cui utilizzo risulta fondamentale nel sostenere la produzione in quanto è alla base della costruzione delle cellule vegetali e della produzione di clorofilla. Esso esercita una forte azione di stimolo sulla crescita delle piante, che mostrano una notevole espansione dell'apparato fogliare e la produzione di un ampio apparato radicale (Mi et al., 2019). Inoltre, una buona disponibilità di azoto si manifesta con un colore verde intenso delle foglie caratterizzate da un elevato contenuto in clorofilla; non a caso il sintomo visibile della carenza di azoto è costituito proprio dalla perdita progressiva del colore verde che vira al giallo (Koppensteiner et al., 2022). Nel terreno il 97-99% dell'azoto totale è costituito da azoto organico, mentre il rimanente è presente in forma ammoniacale e nitrica. Le piante utilizzano prevalentemente l'azoto inorganico, soprattutto quello nitrico, che, una volta assorbito, viene riorganicato per formare nuovi tessuti vegetali.

Un'eccessiva disponibilità di azoto può determinare, però, numerosi svantaggi (ARPAV, 2007):

- aumento della durata della fase vegetativa con conseguente ritardo nelle date di fioritura, fruttificazione e maturazione con conseguenze notevoli soprattutto per alcune specie: per i cereali, che rischiano di incorrere nella cosiddetta "stretta" da caldo, determinata da condizioni di alta temperatura e scarsità di pioggia; per le specie saccarifere, quale la barbabietola, in cui si può verificare un eccessivo accumulo di azoto;
- minor resistenza alle avversità climatiche e parassitarie, che si può manifestare con una scarsa resistenza meccanica (aumento del rischio di allettamento), un'elevata sensibilità al freddo (a causa della maggiore acquosità) ed una maggiore suscettibilità alle fitopatie;
- aumento dei consumi idrici, in seguito al maggiore sviluppo della superficie traspirante;
- accumulo di nitrati nella pianta (con notevoli limiti, anche commerciali, soprattutto per gli ortaggi da foglia, ad es. lattuga, spinaci, etc.), a causa di un eccesso rispetto alla capacità della nitrato-reduttasi, con conseguenti potenziali danni agli utilizzatori (metaemoglobinemia).

In aggiunta, un input elevato, combinato con una bassa efficienza, si traduce in ultima analisi in problemi ambientali aumentando il rischio di perdite di azoto nell'ambiente attraverso lisciviazione, deflusso superficiale, denitrificazione e volatilizzazione dell'ammoniaca, con conseguente degrado del suolo, eutrofizzazione, inquinamento delle acque sotterranee ed emissione di ammoniaca e gas

serra (Sadras e Calderini, 2009; Spiertz, 2010; Ma et al., 2019; Moitzi et al., 2020; Blandino et al., 2022).

La conoscenza della dinamica di asportazione dell'azoto da parte della pianta è, inoltre, di fondamentale importanza per una corretta gestione della concimazione; in particolare, l'asportazione non è lineare ma segue approssimativamente un andamento sigmoidale: nelle fasi iniziali abbiamo poca fitomassa e, quindi, poco assorbimento (es. cereali); tra la levata e la fioritura l'assorbimento aumenta ed un elevato assorbimento si riscontra anche tra la fioritura e l'allegagione (nei fruttiferi). Pertanto, riuscire a sincronizzare le fasi di massimo assorbimento con la disponibilità dell'azoto sarebbe la soluzione ideale per una gestione ottimale della concimazione azotata. Ricerche recenti sono concordi nell'indicare che il 10-40% dell'azoto dato con i fertilizzanti viene organicato nel suolo, il 5-10% viene perso per dilavamento, il 10-30% viene perso in forma gassosa e solo il 30-70% viene assimilato dalla pianta (ARPAV, 2007). Pertanto, riuscire a sincronizzare le fasi di massimo assorbimento con la disponibilità dell'azoto sarebbe la soluzione ideale per una gestione ottimale della concimazione azotata.

- **Potassio**

Il potassio (K) è uno dei minerali cationici più richiesti per la crescita vegetativa (Chrysargyris et al., 2017; Liu J. et al., 2019) e nella composizione chimica dei tessuti vegetali. Il potassio fa parte degli elementi scambiabili nel terreno, assieme a magnesio e calcio, ovvero fa parte di quegli elementi chimici che in notevole quantità interagiscono, con un legame di tipo ionico, con le superfici delle particelle organiche e minerali del suolo e, poiché le cariche presenti su queste superfici sono negative per i pH più comuni del suolo (tra valori di 5 e 8,5) questi elementi sono dei cationi. Le forme del potassio possono distinguersi in funzione della loro disponibilità ad essere assorbiti dalle colture presenti nel suolo in:

- non disponibile: se costitutiva dei minerali primari per cui deve sottostare a processi di lungo termine per trasformarsi in forme disponibili;
- poco disponibile: se fissato negli interstrati dei minerali argillosi, costituisce una riserva di potassio nel suolo perché in diretta relazione col potassio scambiabile; la sua disponibilità dipende dal tipo di piante presenti e dall'entità delle forme scambiabili e solubili;
- disponibile: se in forma scambiabile o solubile; la prima, prontamente disponibile, si trova adsorbita alle superfici di scambio, la seconda è quella in soluzione che la pianta assorbe direttamente.

La conoscenza delle relazioni fra queste frazioni è più importante della conoscenza di ciascuna di esse presa singolarmente. Ogni suolo è dotato di un "potere tampone" rispetto al potassio, consistente nella capacità di ricostituire la forma solubile partendo da quella scambiabile, e parallelamente nella capacità di trasformare la forma solubile in scambiabile in seguito all'apporto di concime potassico.

Il potassio svolge il fondamentale ruolo di regolatore fisiologico e biochimico, infatti interviene in numerosi processi, regolando la permeabilità cellulare, l'equilibrio acido-basico (neutralizzando gli acidi organici), i sistemi enzimatici della sintesi dei glucidi, delle proteine e dei grassi, la resistenza

alle avversità, in particolare al freddo e ad alcune crittogame, aumentando la turgescenza cellulare e la fotosintesi (Amtmann et al., 2006, White e Karley, 2010). Regola. inoltre, l'apertura degli stomi riducendo la perdita d'acqua (Nieves-Cordones et al., 2016; Ragel et al., 2019) ed è strettamente correlato allo stato nutrizionale, alla resa e qualità post-raccolta dei frutti (Silva et al., 2014; Souto et al., 2018; Haberman et al., 2019a; Daoud et al., 2020), esaltando la produzione soprattutto dal punto di vista qualitativo e riducendo gli effetti dell'eccesso di azoto.

La carenza di potassio si manifesta con sintomi molto diversi nelle diverse specie. In generale essa determina ritardo nell'accrescimento, ridotta espansione del fogliame, scarsa fruttificazione, scarsa colorazione dei frutti, frutti piccoli e deformi (Pujos e Morard, 1997).

- **Fosforo**

Allo stesso modo, il fosforo (P) è un nutriente essenziale richiesto per la crescita e la produzione delle colture. Il fosforo è generalmente presente nella fitomassa secca solo in modeste percentuali; tuttavia, esso ha una duplice funzione nelle piante: fisiologica ed agronomica. Per quanto riguarda il ruolo fisiologico del fosforo, bisogna considerare che esso è un costituente delle proteine fosforate, quali nucleoproteine, fosfoproteine, lecitine e fitine; inoltre, partecipa attivamente alle reazioni biochimiche del metabolismo dei glucidi e nel trasporto di energia nelle cellule (Scholz e Wellmer, 2013, Mitran et al., 2018). Relativamente al ruolo agronomico, invece, il fosforo, insieme all'azoto, partecipa alla crescita generale della pianta, in particolare interviene sullo sviluppo iniziale dell'apparato radicale, favorisce la fioritura, la fruttificazione, la granigione e la migrazione negli organi di riserva ed agisce positivamente sulla qualità del prodotto nella nutrizione (umana e animale), ma al contrario dell'azoto aumenta la precocità della coltura (Meyer et al., 2023). Il maggior fabbisogno di fosforo si riscontra nelle piante giovanissime, per poi diminuire in seguito; una carenza di fosforo si manifesta con sintomi simili a quelli della carenza di azoto, ma con foglie caratterizzate da bordi rossastri, riduzione dello sviluppo dell'apparato radicale, fenomeni di nanismo, ritardo nella fioritura e maturazione e produzione di frutti e semi piccoli (Regione Campania, 2012). Gli eccessi di fosforo (in seguito ad eccessive concimazioni fosfatiche) possono determinare ugualmente problemi alle piante come cali di produzione, anticipo della maturazione, carenze di microelementi come ferro e zinco.

I suoli contengono una grande quantità di fosforo rispetto al fabbisogno delle piante, ma la maggior parte delle forme di fosforo nel suolo hanno una solubilità molto bassa e una bassa disponibilità per l'assorbimento da parte delle piante (Zhu et al., 2018; Kratz et al., 2019). Per questi motivi, sono tradizionalmente applicati fertilizzanti minerali contenenti fosforo altamente solubile per mantenerne uno stato ottimale nel suolo, soprattutto nei sistemi agricoli gestiti in modo intensivo (Richardson et al., 2009). Tuttavia, le rocce fosfatiche che sono la principale fonte attuale di P per la produzione di fertilizzanti non sono rinnovabili, il che mette a rischio la sua futura fornitura come fertilizzante naturale (Scholz e Wellmer, 2013).

2.3 Capacità di sequestro di carbonio

Nel corso degli ultimi anni il clima ha subito diversi cambiamenti per l'aumento, l'intensità e la maggiore irregolarità degli eventi meteorici; questo fenomeno, dovuto sia a cause strettamente

naturali sia all'azione dell'uomo, ha portato ad un aumento significativo dei gas effetto serra (GHGs) (Chiani et al., 2013; Sallustio et al., 2015). L'effetto maggiore dei gas ad effetto serra, quello responsabile del cambiamento climatico, è causato dall'attività dell'uomo che emettono GHGs nell'atmosfera, come ad esempio: anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), protossido di azoto (N_2O), idrofluorocarburi (HFCs), perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF_6).

I sistemi alimentari mondiali sono responsabili di oltre un terzo delle emissioni globali di gas serra di origine antropica: dal cambiamento dell'uso del suolo e dalla produzione agricola agli imballaggi e alla gestione dei rifiuti, le emissioni del sistema alimentare sono state stimate a 18 miliardi di tonnellate di anidride carbonica equivalente nel 2015 (Crippa et al., 2021). Circa due terzi delle emissioni dei sistemi alimentari globali provengono dal settore terrestre e in termini di quota di tutte le emissioni di gas serra antropogeniche, i sistemi alimentari dei paesi industrializzati sono sostanzialmente stabili intorno al 24%, mentre nei paesi in via di sviluppo è diminuita notevolmente, in parte a causa di aumenti molto elevati delle emissioni non alimentari, al 39% nel 2015 dal 68% nel 1990. I principali emettitori sono, nell'ordine: Cina, Indonesia, Stati Uniti d'America, Brasile, Unione Europea e India (FAO, 2021b). In particolare, le emissioni dei sistemi agroalimentari sono quelle generate dalle attività di produzione agricola (colture e bestiame), cambiamento di destinazione dei terreni e processi pre- e post-produzione. Le prime due componenti danno emissioni generate sui terreni agricoli, mentre la terza si riferisce alle emissioni derivanti dai processi della catena di approvvigionamento compresi i trasporti, la trasformazione e la produzione di input, nonché i consumi delle famiglie e rifiuti (FAO, 2021a).

L'agricoltura, però, svolge diversi ruoli in relazione al cambiamento climatico (Pardo et al., 2017), infatti, ha anche un ruolo di mitigazione dei cambiamenti climatici in quanto può potenzialmente fungere da serbatoio di carbonio atmosferico attraverso, ad esempio, il sequestro di carbonio organico nel suolo (SOC).

Il ciclo del carbonio riguarda lo scambio di carbonio (esistente in varie forme, come ad esempio l'anidride carbonica) tra l'atmosfera, l'oceano, la biosfera terrestre e i depositi geologici. La maggior parte dell'anidride carbonica presente nell'atmosfera proviene dalle reazioni biologiche che avvengono nel terreno e l'influenza dell'attività antropica sul sistema climatico ha spezzato il ciclo del carbonio, producendo CO_2 in quantità superiori alla capacità di assorbimento della biosfera, portando all'accumulo di anidride carbonica in oceani e atmosfera. Il sequestro del carbonio nel suolo si verifica quando il carbonio dell'atmosfera viene assorbito e immagazzinato nel suolo. Tale funzione è molto importante perché più carbonio viene immagazzinato nel suolo, meno anidride carbonica viene rilasciata nell'aria, aggravando così il cambiamento climatico (FAO, 2015).

Il sequestro e lo stoccaggio di carbonio costituiscono un servizio di regolazione assicurato dai diversi ecosistemi terrestri e marini grazie alla loro capacità di fissare gas serra, seppur con diversa entità (Hutyra et al., 2011). A livello globale, infatti, i suoli sono il più grande serbatoio di carbonio nella biosfera terrestre, secondi solo agli oceani e capaci di contenere il doppio del carbonio dell'atmosfera e tre volte quello immagazzinato nella vegetazione globale (IPCC, 2003; Caddeo et al., 2019). Questo servizio contribuisce alla regolazione del clima e gioca un ruolo fondamentale

nell'ambito delle strategie di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici (Mondini et al., 2012).

Gli stock di carbonio organico nel suolo a livello regionale o nazionale sono fortemente influenzati da molti fattori, tra cui l'uso del suolo (Houghton, 1999; Guo e Gifford, 2002, Muñoz-Rojas et al., 2015; Farina et al., 2017) e, in questo contesto, la gestione agricola risulta un modo efficace ed economicamente vantaggioso per mitigare le emissioni di gas serra rispetto ad altre tecnologie, con ulteriori benefici per la qualità del suolo e la sicurezza alimentare (Lal, 2004; Lugato et al., 2015). La possibilità di comprendere e prevedere, inoltre, il modo in cui lo stoccaggio di carbonio organico nel suolo risponderà ai cambiamenti climatici per le diverse categorie di copertura del suolo è fondamentale per sostenere sia la politica del paesaggio sia la pianificazione e gestione sostenibile. Prevedere la risposta del SOC stock ai cambiamenti climatici sembra, quindi, particolarmente pertinente ai fini dello sviluppo sostenibile innovativo nella:

i. prospettiva di un'intensificazione sostenibile, soprattutto in agricoltura (Schröder et al., 2018; Weltin et al., 2018);
ii. mobilitazione e rivitalizzazione delle terre marginali promuovendo prodotti e processi innovativi come le colture bioenergetiche e servizi ecosistemici (Sallustio et al., 2018);
iii. applicazione di opzioni di gestione intelligente per il clima in agricoltura (Lipper et al., 2014), gestione del paesaggio (Scherr et al., 2012), e la silvicoltura (Tognetti, 2017).

Secondo l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014), la maggior parte del carbonio presente negli ecosistemi terrestri è contenuta in quattro principali pools costituiti da: biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e sostanza organica morta. La valutazione di questo servizio di regolazione viene effettuata sia rispetto al valore di stock sia al valore del flusso di servizio. Per quanto riguarda il valore di stock, la valutazione viene fatta con riferimento alla stima del quantitativo di carbonio stoccato a seconda della tipologia d'uso/copertura del suolo e, poiché si tratta di stime funzionali a rappresentare le variazioni di copertura del suolo, lo schema adottato tende a semplificare il ciclo del carbonio, considerando costante il quantitativo di carbonio nel tempo e non prendendo in considerazione i trasferimenti di carbonio tra un pool e un altro (Assennato et al., 2018).

Ad oggi, studi a scala nazionale sono stati condotti combinando le misurazioni del SOC stock da diversi set di dati: Regno Unito (Howard et al., 1995; Smith et al., 2000), Spagna (Rodríguez-Murillo, 2001; Doblas-Miranda et al., 2013; Rodriguez Martín et al., 2016), Francia (Arrouays et al., 2001) e Italia (Chiti et al., 2012). Altri ricercatori hanno utilizzato modelli empirici per prevedere stock di SOC in funzione di variabili ambientali, come la copertura del suolo, informazioni pedologiche e climatiche (Martin et al., 2011; Meersmans et al., 2012, 2013), o modelli SOC dinamici collegati a Sistemi di Informazione Geografica per stimarne lo stock e le variazioni (Jones et al., 2005; Easter et al.,2007; Alvaro-Fuentes et al., 2011). Tuttavia, sono attualmente disponibili solo pochi studi che si occupano di SOC stock e delle sue future variazioni nelle aree mediterranee, a livello regionale (Alvaro-Fuentes et al., 2011; Lugato et al., 2014).

Le stime del SOC stock globali sono ancora in discussione, mostrando un contenuto di carbonio variabile da 600 a 800 Pg immagazzinato nello strato superiore di 0.2-0.3m di spessore a 2300-3000

Pg nello strato a 2-3m di profondità (Jobbagy e Jackson, 2000; Guo e Gifford, 2002; Stockmann et al., 2013; Sanderman et al., 2018). Di conseguenza, è necessario migliorare l'accuratezza delle stime del SOC stock attraverso studi regionali (Milne et al., 2007) che sono altamente influenzati da fattori quali clima, proprietà del suolo, uso del suolo, cambiamento di uso del suolo e gestione agricola (Yagasaki e Shirato, 2014), che agiscono e interagiscono con relazioni complesse e presentano una forte variabilità spaziale. Uso del suolo e copertura del suolo, che a loro volta determinano gli input di C al suolo, possono altamente influenzare il contenuto e le dinamiche di SOC (Guo e Gifford, 2002; Muñoz-Rojas et al., 2015). All'interno di un uso del suolo, infatti, il potenziale sequestro di C di un suolo in un dato tempo dipende dalla successione delle colture e dalla gestione dell'agricoltura (van Wesemael et al., 2010). Diversi tipi di suolo mostrano un diverso potenziale di accumulo di C a causa delle caratteristiche intrinseche del suolo (basate sulla tessitura, mineralogia, ecc.) e l'uso del suolo deve essere considerato quando si studia la dinamica di sequestro nel suolo di C a livello regionale (Muñoz-Rojas et al., 2015).

Il quadro della politica comunitaria in materia di clima e di energia svolge un ruolo cruciale in quanto definisce l'ambizione globale in materia di clima e impone obblighi a determinati settori dell'economia. Nell'ultimo decennio, gli obiettivi di mitigazione del clima del l'UE sono diventati più ambiziosi, passando da una riduzione del 20% dai livelli del 1990 entro il 2020 (pacchetto UE 2020 sul clima e l'energia) al 55% entro il 2030 e alla neutralità climatica a livello economico entro la metà del secolo. Allo stesso tempo, il campo di applicazione della normativa pertinente è cambiato, con implicazioni per l'azione sul clima nei settori dell'agricoltura e dell'uso del suolo.

I settori dell'uso del suolo (sia agricolo che forestale), pertanto, hanno un ruolo importante da svolgere nel raggiungimento dell'obiettivo dell'UE di raggiungere emissioni nette pari a zero entro il 2050. Inoltre, come previsto nel Green Deal dell'UE la Commissione europea ha, inoltre, adottato una comunicazione sui cicli del carbonio sostenibili nel dicembre 2021 (EC, 2021b) in cui promuove l'aumento del Carbon Farming (letteralmente "coltivazione di carbonio"), come modello di business verde e definisce una serie di azioni a breve e medio termine per affrontare le sfide attuali per raggiungere questo obiettivo. Il Carbon Farming consiste in un modo innovativo di fare agricoltura per sequestrare il carbonio nel suolo, tale procedimento è efficace solo se combinato con pratiche di agricoltura rigenerativa e biologica. Lo studio ha esplorato questioni chiave, sfide, compromessi e opzioni di progettazione, concludendo che il Carbon Farming può contribuire in modo significativo agli sforzi dell'UE per affrontare il cambiamento climatico, migliorando la gestione dei terreni e delle colture per rimuovere, potenzialmente, grandi quantità di CO_2 attraverso il sequestro del carbonio nel suolo (McDonald et al., 2021).

2.4 Necessità idriche

L'agricoltura dovrebbe nutrire una popolazione stimata di oltre 9 miliardi di persone entro il 2050 attraverso un aumento del 50% rispetto all'attuale livello di produzione alimentare che è essenzialmente possibile grazie all'irrigazione. L'agricoltura irrigua è il principale consumatore di risorse di acqua dolce in tutto il mondo, rappresentando oltre il 70% del consumo totale di acqua (FAO, 2017). Ciò rende il settore agricolo fortemente dipendente dalle risorse idriche e particolarmente vulnerabile alla scarsità d'acqua (Alcaide Zaragoza et al., 2020).

Secondo l'ultimo Censimento Generale dell'Agricoltura ISTAT (ISTAT, 2014) l'Italia è tra i paesi europei che maggiormente fanno ricorso all'irrigazione. È seconda in termini di superficie irrigata (escludendo colture protette e orti familiari) solo alla Spagna con più di 2,4 milioni di ettari e quarta in termini di incidenza della superficie irrigata sulla SAU con circa il 19 per cento. Nelle aziende agricole italiane l'acqua irrigua proviene per il 63 per cento da acquedotti e consorzi di irrigazione e bonifica, per il 17,9 per cento da acque sotterranee prelevate all'interno o nelle vicinanze delle aziende, per l'11,0 per cento da acque superficiali presenti al di fuori dell'azienda come laghi, fiumi o corsi d'acqua e, infine, per il 4,7 da acque superficiali incluse nel perimetro aziendale.

In questo contesto, è stato sottolineato come il crescente consumo di risorse di acqua dolce, risultato della crescita della popolazione globale, stia accelerando la scarsità di acqua con conseguenti problemi di qualità in tutto il mondo (Pellegrini et al., 2016; Dinar et al., 2019). La maggior parte delle proiezioni climatiche, inoltre, prevede che i cambiamenti climatici influenzeranno in modo significativo il ciclo idrologico portando, in molte aree agricole del pianeta, siccità e ondate di calore più frequenti, alterazione dei modelli spaziali e temporali delle precipitazioni, aumento dell'evapotraspirazione delle colture e una generale riduzione delle risorse idriche disponibili per l'agricoltura (IPCC 2014; Ortuani et al., 2019). A questo proposito, le incertezze sulla disponibilità di acqua e l'accelerazione dell'inquinamento idrico stanno facendo riconoscere sempre più ai settori pubblico, privato e della ricerca che la sicurezza idrica è una preoccupazione globale (Lamastra et al., 2014) che deve essere affrontata ora. La competitività economica regionale può essere messa in pericolo a causa della crescente domanda di acqua dolce e dei conseguenti maggiori rischi di interruzioni dell'approvvigionamento se la domanda si avvicina o supera l'offerta rinnovabile annuale (Daccache et al., 2014).

Questo rappresenta un fattore limitante per lo sviluppo economico, specialmente nelle regioni a stress idrico, come il Mediterraneo, dove l'agricoltura è uno dei settori più produttivi e vitali (Lamastra et al., 2014). La regione mediterranea, grazie alle sue caratteristiche di inverni miti ed estati calde e secche, è particolarmente adatta per la produzione di una vasta gamma di colture come olive, agrumi, uva e cereali, nonché per l'orticoltura di alto valore (Daccache et al., 2014). Poiché le precipitazioni in tutta la regione subiscono un'elevata variabilità interannuale e stagionale (Correia et al., 2009), l'irrigazione è una componente essenziale della produzione per sostenere la diversificazione delle colture, contribuire a garantire buone rese e alta qualità e garantire la sicurezza dell'approvvigionamento alimentare (Hanjra e Qureshi, 2010).

La Puglia, in particolare, presenta problemi ambientali riferibili al particolare assetto idrogeologico del territorio e all'uso non sostenibile delle risorse naturali, in particolare di suolo e acqua (INEA, 2000). Nel territorio carsico salentino le problematiche più importanti sono dovute allo sviluppo intenso dei centri urbani, che causano in particolare: scarsità di acque sotterranee, dovuta alla crescente pressione demografica e aggravata dal cambiamento climatico, e deterioramento della qualità delle acque sotterranee, dovuto all'intrusione di acqua salata e agli impatti delle attività produttive (De Filippis et al., 2020). Questi problemi sono ulteriormente aggravati dalla natura carsica del paesaggio dove l'acquifero è caratterizzato da un elevato grado di permeabilità d'insieme, con bassi carichi idraulici e alimentato per lo più dalle precipitazioni direttamente influenti sul territorio. Negli ultimi decenni si è assistito alla progressiva salinizzazione delle acque

di falda, per intrusione marina sia laterale che dal basso, a causa del massiccio emungimento (Polemio et al., 2009; De Filippis et al., 2016).

In questo scenario è quindi fondamentale che la ricerca si concentri sullo sviluppo di tecnologie e tecniche di 'water saving', con l'ambizioso obiettivo di produrre di più con meno risorse (Monaghan et al., 2013). Anche l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite con i suoi 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG), sottolinea la necessità di soluzioni per aumentare la sostenibilità e la resilienza dei sistemi agricoli ai cambiamenti climatici (Obiettivo 2, Target 24) per il periodo 2015-2030. Questi obiettivi di sviluppo sostenibile mirano esplicitamente al miglioramento della qualità dell'acqua, all'aumento della sua efficienza d'uso e alla riduzione della sua scarsità in tutto il mondo. In particolare, l'Obiettivo 6 è interamente dedicato alla risorsa idrica e mira a raggiungere maggiori efficienze nel suo uso in ogni settore produttivo, incluso agricoltura, entro il 2030 (UN, 2015). Questo obiettivo contribuirà a garantire forniture pronte e sostenibili di acqua dolce per ridurre il numero di persone che soffrono di scarsità d'acqua. Inoltre, a livello europeo, la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), offrendo un quadro normativo per le politiche e le pratiche finalizzate alla protezione e all'uso sostenibile delle risorse idriche, incoraggia il settore agricolo a trovare soluzioni concrete per una sempre più efficiente uso dell'acqua.

Molte strategie di irrigazione sono state sviluppate, a tal proposito, per far fronte alla scarsità d'acqua e tra queste, l'irrigazione deficitaria (DI) si è dimostrata promettente. Molti studi hanno dimostrato che le strategie di irrigazione deficitarie possono risparmiare acqua e migliorarne, in una certa misura, l'efficienza d'uso per le colture (Yu et al., 2020; Abdou et al., 2021; Li et al., 2021). E' una strategia di irrigazione in deficit, spesso utilizzata nelle aree aride e semi-aride (Abyaneh et al., 2017), in cui l'acqua viene applicata durante le fasi di crescita sensibili alla siccità di una coltura e consente alle piante di tollerare o resistere allo stress idrico riducendo l'irrigazione durante l'intero ciclo colturale o eliminando l'irrigazione in determinate fasi. I risultati degli studi hanno mostrato che è un approccio efficiente per migliorare l'efficienza dell'uso dell'acqua dell'impianto e la qualità con una riduzione accettabile della resa (Du et al., 2015, Jia et al., 2017).

Ad esempio Lu et al. (2019) e Zhang et al. (2021) hanno rilevato che l'applicazione della DI allo stadio di piantina di pomodoro e allo stadio di fioritura e sgusciatura delle arachidi non ha comportato una riduzione significativa della resa, ma ha migliorato significativamente l'efficienza dell'uso dell'acqua e la qualità dei frutti. Li et al. (2019a, 2019b) hanno dimostrato che la DI (50% di FC) nella fase di rapida crescita della chioma della barbabietola da zucchero ha soppresso la crescita della chioma, ma non ha ridotto la resa delle radici.

2.5 Capacità di produzione di biomassa

Nella sua ultima relazione, l'IPCC ha esaminato i vari modelli di stima dell'impatto del cambiamento climatico sulla frequenza e la gravità degli eventi climatici estremi (ondate di calore, siccità, inondazioni, tempeste tropicali e incendi) e come questi avranno grandi conseguenze sulla produzione agricola e sull'insicurezza alimentare. I cambiamenti climatici possono influenzare, infatti, le proprietà nutrizionali di alcune colture diminuendo, ad esempio, in condizioni di elevati livelli di anidride carbonica, le concentrazioni di minerali in alcune colture (ad es. grano, riso e soia) fino all'8% rispetto ai normali livelli, come anche la concentrazione di proteine e dei carboidrati

(FAO, 2015). Il cambiamento climatico potrebbe anche aumentare l'incidenza di malattie e temperature più elevate e meno precipitazioni renderanno l'acqua pulita meno disponibile in molti settori, compromettendo l'igiene e facilitando la diffusione di agenti patogeni attraverso l'alimentazione. Una valutazione dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) stima che in futuro (2030-2050) l'impatto del cambiamento climatico sulla sicurezza alimentare globale non riguarderà solo l'approvvigionamento alimentare, ma anche la qualità del cibo, l'accesso e l'utilizzo di tale risorsa e la stabilità della sicurezza alimentare. Temperature più elevate e forniture d'acqua meno affidabili creeranno, inoltre, gravi difficoltà per i piccoli allevatori, in particolare nei pascoli aridi e semi-aridi e negli ecosistemi delle praterie a basse latitudini (Hoffman e Vogel, 2008).

Per gli ecosistemi agricoli, si è dimostrato come alcune specie e varietà di colture attualmente coltivate in una determinata area potrebbero non essere in grado di adattarsi abbastanza rapidamente ai cambiamenti. Poiché diverse specie reagiranno in modo diverso, le complesse interazioni tra di esse saranno interrotte, influenzando potenzialmente i servizi ecosistemici come l'impollinazione e parassiti e malattie di piante e animali potrebbero diffondersi in aree dove prima erano sconosciuti (Porter et al., 2014). Il cambiamento climatico contribuirà anche ai problemi ambientali a lungo termine, come l'esaurimento delle acque sotterranee e il degrado del suolo, che influenzeranno i sistemi di produzione alimentare e agricola.

In Italia, dai primi risultati dell'ultimo Censimento Generale dell'Agricoltura (ISTAT, 2022) risulta che ad ottobre vi erano attive 1.133.023 aziende agricole. Nell'arco dei 38 anni intercorsi dal 1982, anno di riferimento del 3° Censimento dell'Agricoltura, i cui dati sono comparabili con quelli del 2020, sono scomparse quasi due aziende agricole su tre. La riduzione è stata più accentuata negli ultimi vent'anni: il numero di aziende agricole si è infatti più che dimezzato rispetto al 2000, quando era pari a quasi 2,4 milioni. Nello specifico, si attesta che in Puglia il numero di aziende agricole dal 2010 al 2020 sia diminuito del 29,6% mentre la percentuale della superficie agricola utilizzata è variata dello 0.2%.

Il paesaggio agricolo salentino, caratterizzato da sempre da un'antica cultura olearia, dal maggio 2013 è stato, in particolar modo, modificato da casi sempre più gravi di disseccamenti di oliveti, mai riscontrati negli anni precedenti, a causa dell'agente eziologico *Xylella fastidiosa subsp. Pauca*. Gli effetti dell'emergenza Xylella sono molteplici, a partire dai contraccolpi importanti per l'economia agricola locale: la produzione di olive da tavola e olio d'oliva è, infatti, diminuita notevolmente negli anni a causa di una riduzione della quantità e della qualità dei frutti a seguito della morte, del deperimento, della crescita ritardata degli olivi e del divieto di impianto di varietà sensibili. Il reimpianto di cultivar di olivo parzialmente resistenti è una delle strategie più promettenti per ridurre l'impatto a lungo termine (Abou Kubaa et al., 2019; Saponari et al., 2019b).Tuttavia, si traduce anche in una riduzione a breve termine dell'approvvigionamento alimentare a causa dei periodi non produttivi e meno produttivi delle colture perenni appena piantate. Occorrono fino a 20 anni nei sistemi tradizionali e 5-8 anni nei sistemi di agricoltura intensiva con irrigazione affinché gli olivi appena piantati diventino pienamente produttivi (Panel EFSA PLH, 2011; Panel EFSA PLH, 2014). Inoltre, il reimpianto di cultivar resistenti potrebbe portare a un'uniformità genetica che renderebbe le cultivar suscettibili ad altri parassiti/malattie.

3 Risultati

3.1 Mappatura dell'oliveto asintomatico

In Figura 1 viene mostrata una prima mappatura dell'oliveto asintomatico nel Salento, a seguito dell'epidemia da *Xylella fastidiosa,* cartografata mediante una classificazione semi-supervisionata.

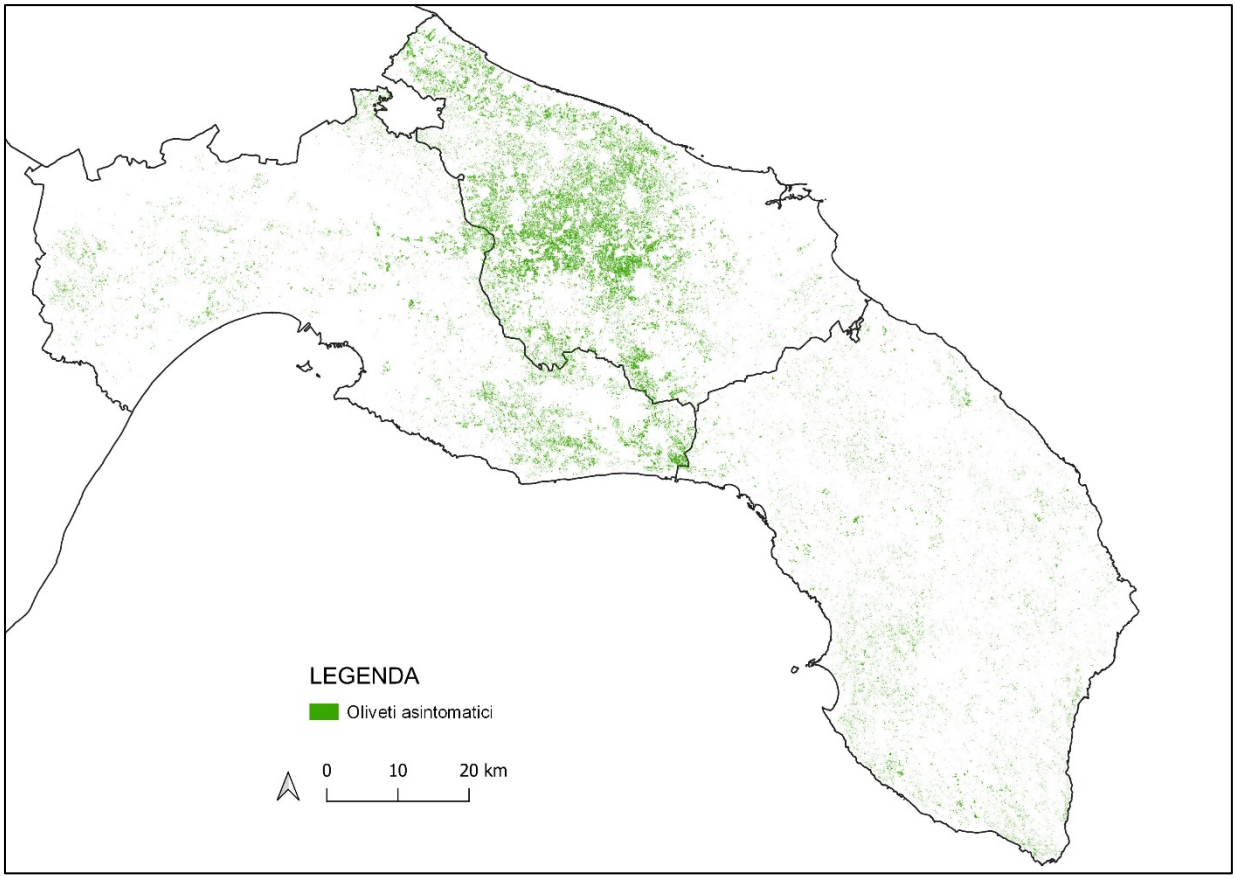

Figura 1: Stima e mappatura degli oliveti asintomatici al 2021 in Salento.

La mappatura degli oliveti asintomatici al 2021 è da considerarsi un prima stima, già in fase di aggiornamento e di miglioramento nel contesto di un territorio dinamico quale quello salentino colpito da Xylella.

Di seguito (Figura 2) viene riportata la cartografia dell'uso del suolo agricolo considerato per l'analisi di riclassificazione sulla base dei fertilizzanti, sequestro di carbonio necessità idriche e produzione di biomassa, come da obiettivo di ricerca.

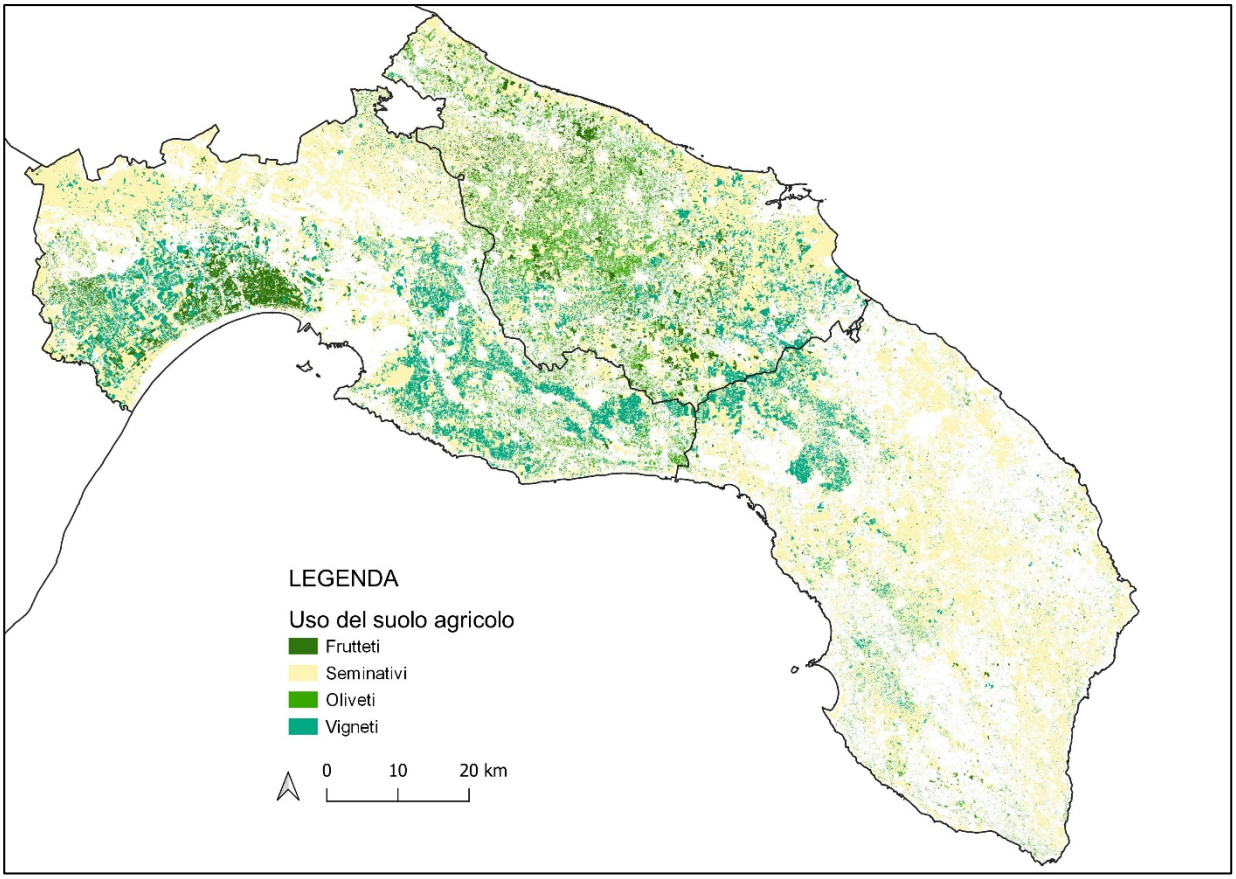

Figura 2: Uso del suolo agricolo del Salento classificato su quattro classi aggiornato al 2018 per Frutteti, Seminativi e Vigneti, ed al 2021 per Oliveti (Elaborazione su base cartografica Copernicus).

3.2 Necessità di fertilizzanti

Al fine di coniugare tecniche produttive compatibili con la tutela dell'ambiente naturale e le esigenze tecnico-economiche dei moderni sistemi produttivi, innalzando il livello di salvaguardia della salute degli operatori e dei consumatori, la Regione Puglia ha redatto il "Disciplinare di Produzione Integrata (DPI) della Regione Puglia" (2022) definendo i criteri generali in materia di tecniche agronomiche. Per produzione integrata si intende quel sistema di produzione agro-alimentare che utilizza tutti i metodi e mezzi produttivi e di difesa dalle avversità delle produzioni agricole, volti a ridurre al minimo l'uso delle sostanze chimiche di sintesi e a razionalizzare la fertilizzazione, nel rispetto dei principi ecologici, economici e tossicologici.

Il DPI è redatto in conformità alle "Linee Guida Nazionali di Produzione Integrata" vigenti, approvate dall'Organismo Tecnico Scientifico per la Produzione Integrata istituito con legge 3 febbraio 2011, n. 4, nonché al Decreto ministeriale 8 maggio 2014 n. 4890 "Attuazione dell'articolo 2, comma 6, della legge 3 febbraio 2011, n. 4 recante «Disposizioni in materia di etichettatura e di qualità dei prodotti alimentari», che disciplina il Sistema di qualità nazionale di produzione integrata (SQNPI)".

Gli usi agricoli del Salento sono stati, quindi, riclassificati sulla base alle dosi standard (Kg/ha) di azoto, fosforo e potassio, riportate dal DPI dalla Regione Puglia, necessarie alle differenti colture in condizioni ritenute ordinarie di resa produttiva, fertilità del suolo e condizioni climatiche.

- **Azoto**

La modalità di determinazione degli apporti di azoto, proposta dalla Regione Puglia, prevede livelli "standard" di impiego dei fertilizzanti, calcolati ipotizzando alcune condizioni di riferimento come: rese produttive medio/alte, dotazione normale di sostanza organica nel suolo, piovosità non elevata e conseguenti perdite di azoto per lisciviazione contenute. La seguente mappa (Figura 3) mostra l'apporto standard di azoto, necessario alle coltivazioni, stimato mediando i valori riportati dal DPI della Regione Puglia.

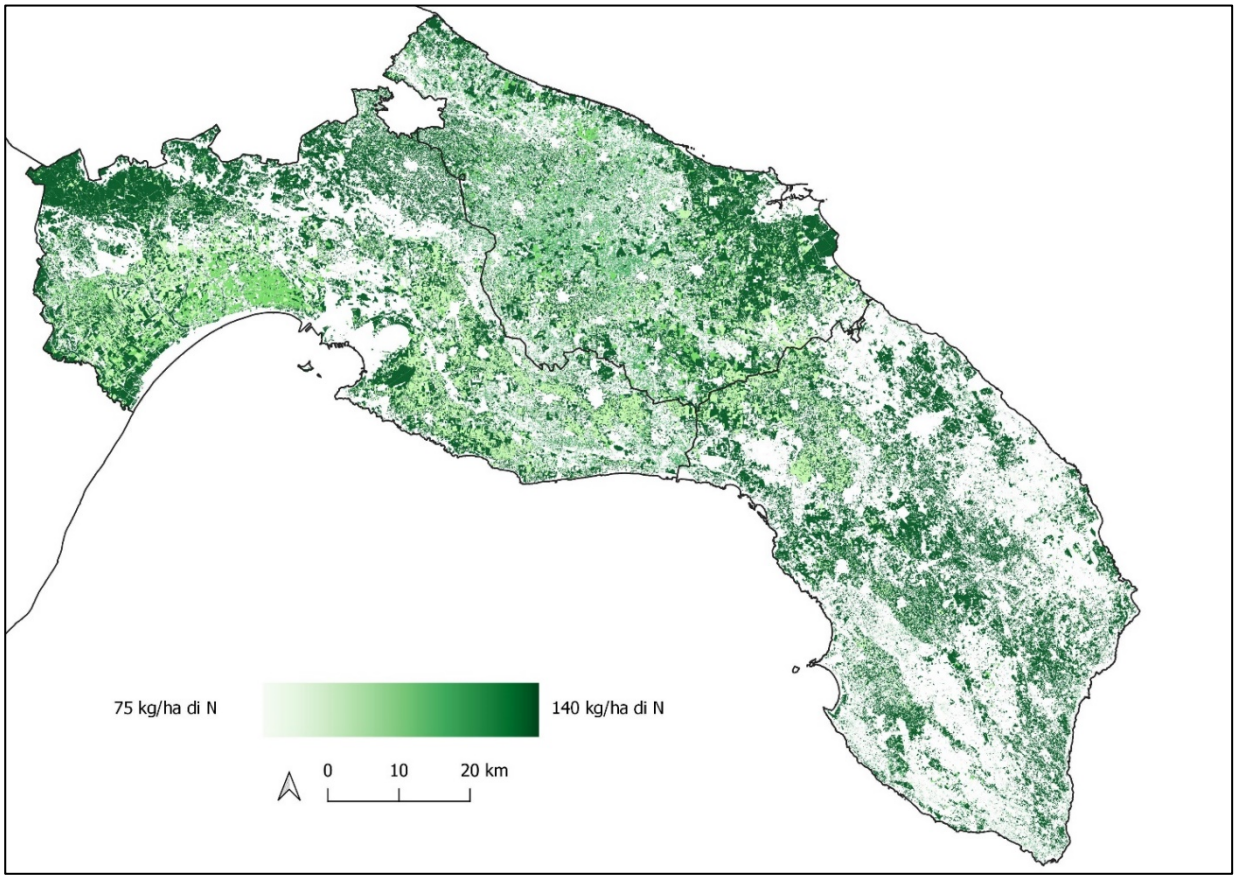

Figura 3: Stima dell'apporto medio di azoto nel territorio salentino.

La fertilizzazione dei seminativi è una pratica agronomica indispensabile per il conseguimento di risultati produttivi quanti-qualitativi ottimali (Shanmugam et al., 2022), l'apporto medio di azoto risulta essere, quindi, per questa tipologia di uso del suolo il più alto, con una media di circa 140 kg/ha. Seguono gli oliveti e i frutteti, rispettivamente con un fabbisogno medio di azoto di circa 95 e 90 kg/ha necessario a fornire una riserva energetica e nutrizionale endogena da impiegare nello sviluppo di fusti e fogliame (Haberman et al., 2019b). Infine, i vigneti che necessitano di circa 78

kg/ha di azoto necessario a sostenere l'intensa attività metabolica e vegetativa della vite e migliorare i composti azotati negli acini dell'uva, al fine di ottimizzare il processo di fermentazione e la qualità del vino (Pingel et al., 2019).

- **Potassio e Fosforo**

Le modalità di determinazione degli apporti per il fosforo ed il potassio, proposte dal DPI, sono del tutto simili a quelle descritte per l'azoto, con l'unica differenza rilevante nella determinazione dell'apporto standard, che varia in relazione alla dotazione del terreno del macroelemento considerato. In caso di dotazione elevata l'apporto è nullo, in caso di dotazione scarsa l'apporto aumenta. Nelle seguenti mappe (Figure 4 e 5) gli usi agricoli sono stati riclassificati mediando, per coltivazione, l'apporto standard necessario di potassio e fosforo, proposto dal DPI, in caso di terreni con dotazione normale.

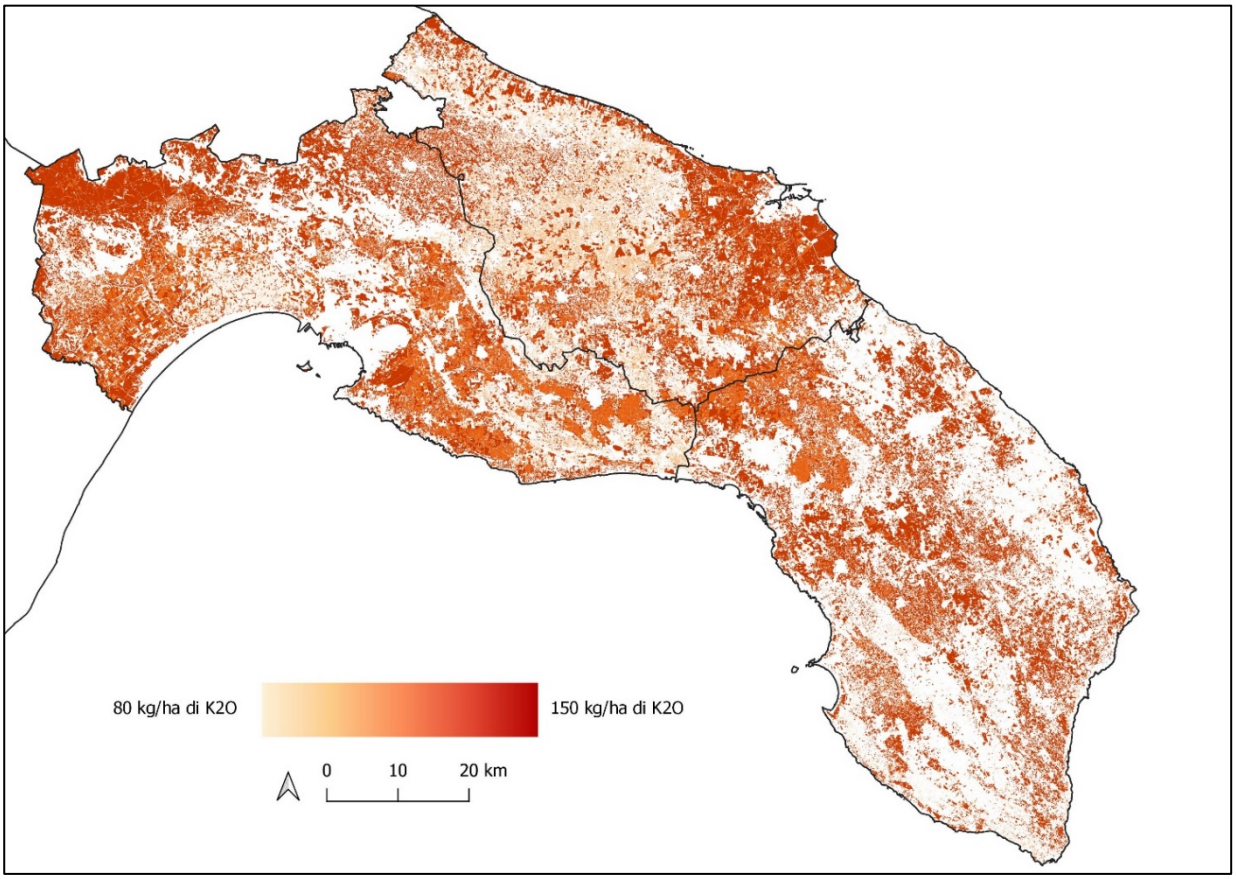

Figura 4: Stima dell'apporto medio di potassio nel territorio salentino in caso di terreni con dotazione normale.

Le coltivazioni che necessitano di un quantitativo di ossido di potassio (K2O) (Figura 4) maggiore risultano essere i seminativi con una media di circa 150 kg/ha. Seguono i vigneti, con un media di circa 115 kg/ha, per i quali il potassio risulta essere un promotore della fotosintesi ed è coinvolto nella traslocazione attiva degli zuccheri dalla foglia al frutto. Infine, gli oliveti con un fabbisogno medio di circa 90 kg/ha e i frutteti con 83 kg/ha. Per le coltivazioni arboree il potassio è

fondamentale per garantire il buon sapore dolce dei frutti e per dare alla cellula vegetale resistenza al freddo invernale e ad alcune patologie (Fernandes et al., 2017; Soratto et al., 2020).

In Figura 5 notiamo che le colture che necessitano di maggiore fertilizzazione di anidride fosforica (P2O5) risultano essere i seminativi con un fabbisogno di fosforo pari in media a 90 kg/ha e i vigneti con 70 kg/ha. Seguono le coltivazioni da frutto con 46 kg/ha e gli oliveti con 45 kg/ha, dove il fosforo risulta necessario a soddisfare le esigenze nutrizionali per lo sviluppo e la produzione di frutti (Gouveia et al., 2018; Cavalcante et al., 2019).

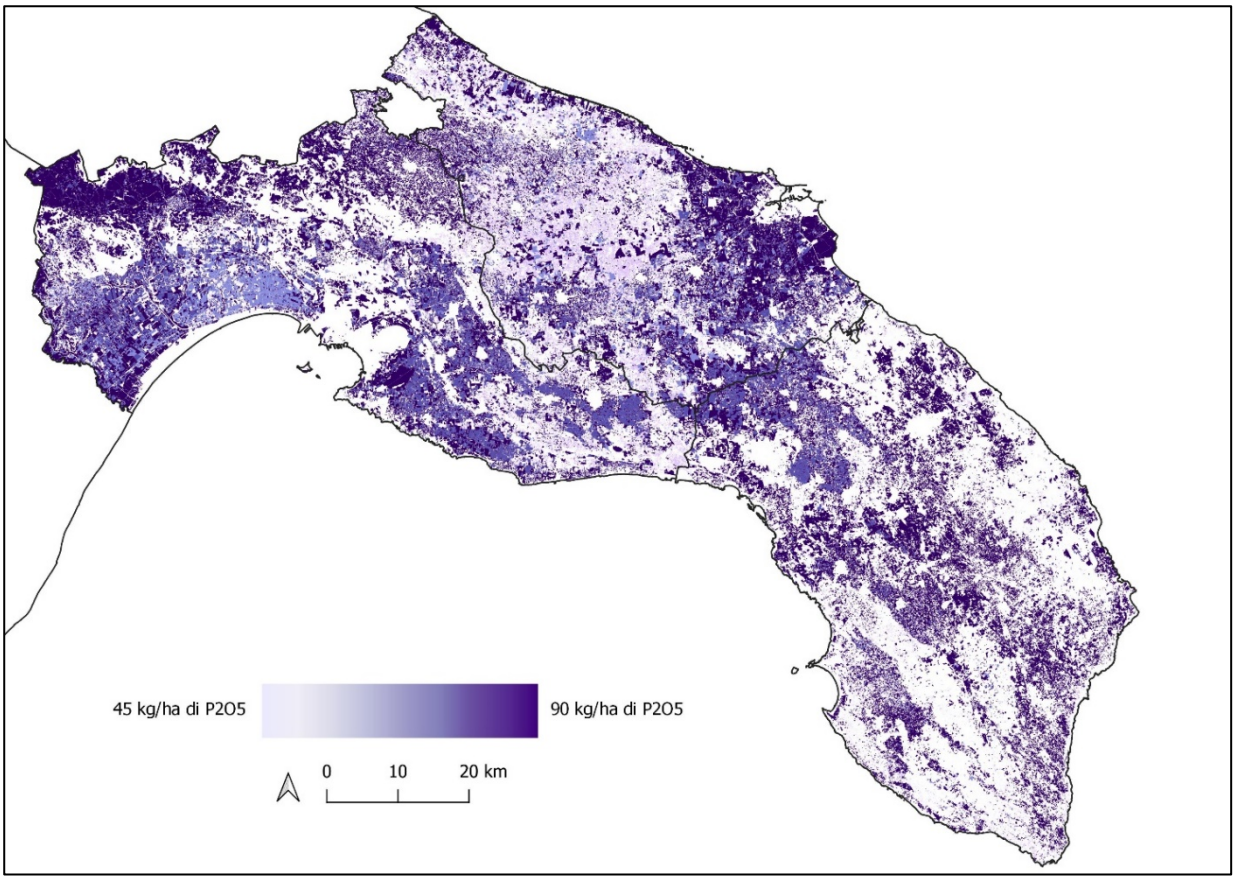

Figura 5: Stima dell'apporto medio di fosforo nel territorio salentino in caso di terreni con dotazione normale.

3.3 Capacità di sequestro di carbonio

Sulla base di una review bibliografica sono stati stimati i valori di SOC stock per le diverse tipologie di uso del suolo agricolo considerate (frutteti, vigneti, oliveti, seminativi). La distribuzione spaziale dello stock di carbonio organico nel suolo è mostrata in Figura 6.

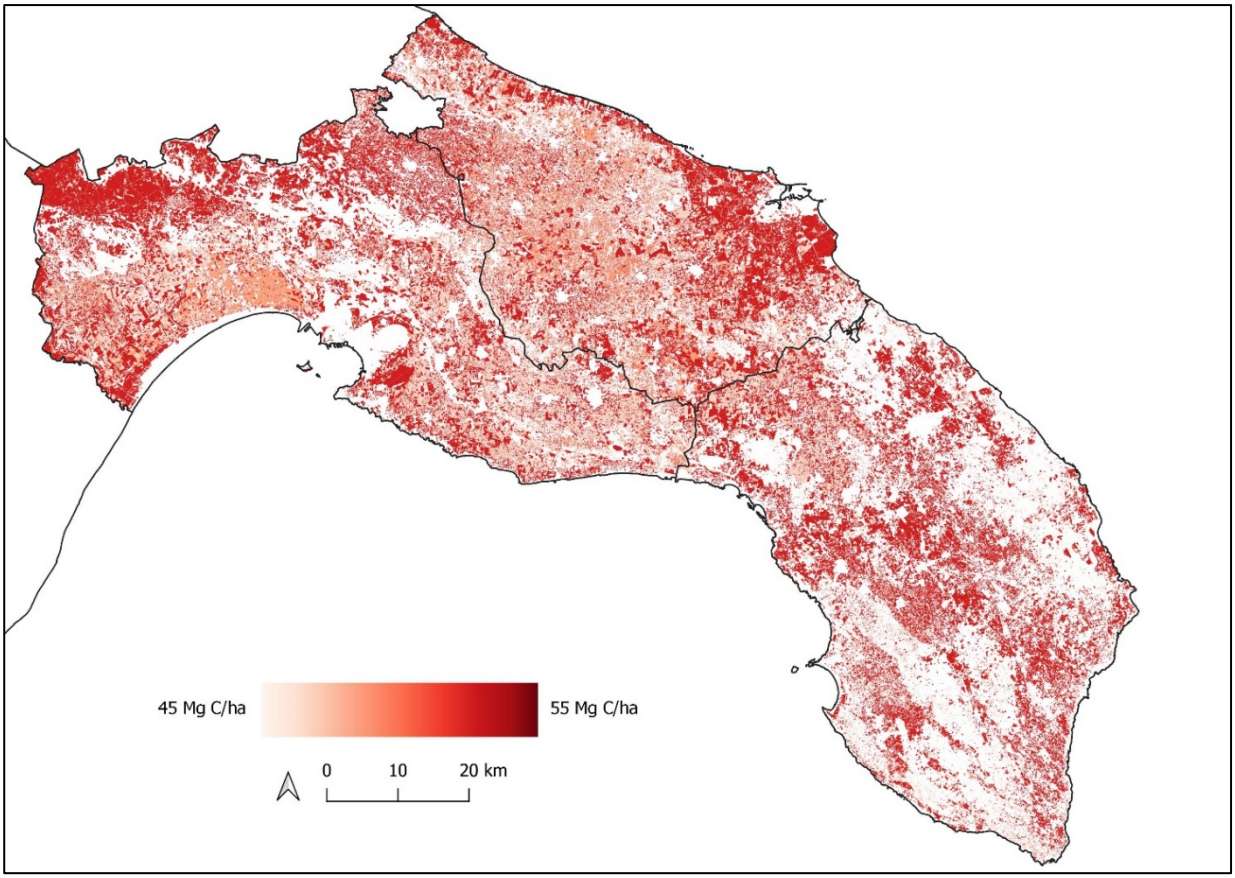

Figura 6: Stima dello stock di carbonio organico nel suolo (SOC) nei primi 30 cm di suolo del Salento, secondo i diversi tipi di uso del suolo agricolo considerati.

L'attuale stock medio di carbonio organico nei suoli, stimato per le diverse tipologie di suoli agricoli nel territorio salentino, ad una profondità di 30 cm, varia da circa 55 Mg C/ha per i seminativi a circa 45 Mg C/ha per i vigneti, con valori intermedi per frutteti e oliveti.

I valori di SOC stimati per le 4 tipologie di uso di suolo agricolo prese in considerazione non variano molto tra di loro, il più grande pool di carbonio organico risulta infatti essere, da letteratura, l'ecosistema forestale, non preso in considerazione nella presente analisi poiché non rientrante nella categoria dei suoli agricoli. Gli ecosistemi forestali immagazzinano circa il 70-80% del carbonio terrestre (Six et al., 2002, Smith et al., 2005; Raj e Jhariya, 2021), mantengono l'equilibrio climatico fungendo da importante serbatoio e pozzo di C atmosferico nella biomassa vegetale e come C organico e inorganico in diversi profili del suolo. L'IPCC nel 2000 ha riportato lo stock medio di C delle foreste globali a 86 Mg C/ha durante il 1990, che è sceso a 81 Mg C/ha entro il 2005 (FAO, 2005), mentre al 2018 l'ISPRA riporta il valore di 76,1 Mg C/ha (Sallustio et al., 2018).

Ad oggi, ci sono stati diversi tentativi di stimare lo stock di carbonio dei suoli agricoli, con metodi diversi e a diverse scale; la ricerca bibliografica si è maggiormente incentrata sui valori di SOC raccolti a livello nazionale, ma solo pochi articoli si riferiscono specificamente al territorio salentino. I dati raccolti sono da considerarsi, perciò, una stima aggiornabile con analisi in campo.

3.4 Necessità idriche

La stima delle necessità idriche delle coltivazioni per il territorio salentino (Figura 7) è stata calcolata sulla base di una review bibliografica, dati ISTAT (ISTAT, 2014) e indicazioni della Regione Puglia sul "Disciplinare di Produzione Integrata della Regione Puglia" (2022).

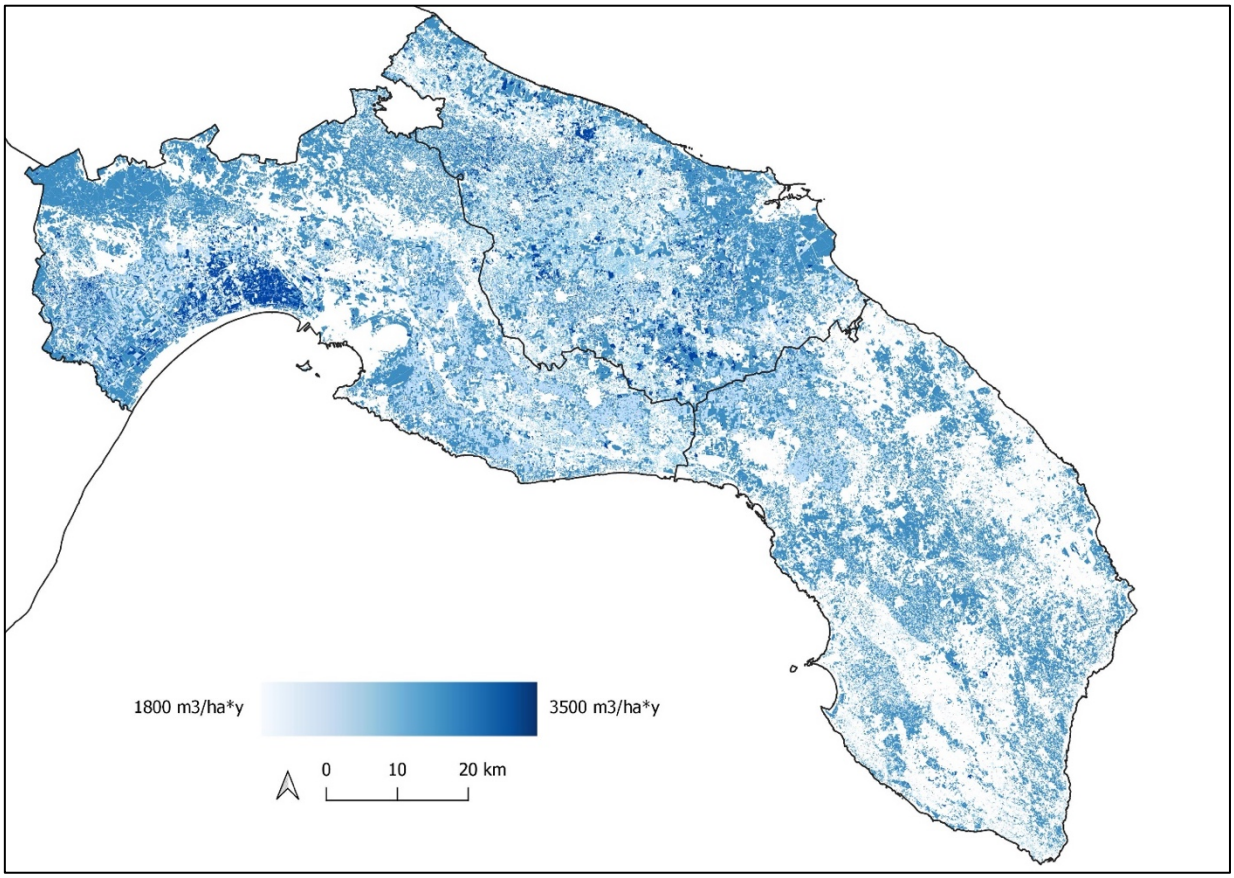

Figura 7: Stima delle necessità idriche delle differenti colture sul territorio salentino.

Le colture che necessitano di un fabbisogno idrico maggiore risultano essere agrumeti e frutteti, con una media di circa 3500-3000 m3/ha*y, e i seminativi, soprattutto per la presenza di ortive in piena aria che rappresentano circa la metà della produzione agricola di seminativi sul territorio, con un fabbisogno medio di circa 3000-2500 m3/ha*y. Seguono gli oliveti con un fabbisogno idrico medio di circa 2000 m3/ha*y e i vigneti con 1800-2000 m3/ha*y. I dati sono da considerarsi delle medie variabili a seconda della pratica agricola, della tipologia di terreno, del grado di intensità della specifica coltivazione e delle altre caratteristiche proprie delle singole colture e del luogo di coltivazione.

Inoltre, si stima che il fabbisogno idrico futuro, a livello globale in un contesto di cambiamento climatico sempre più preoccupante, aumenterà ancora a causa dell'innalzamento delle temperature, siccità ed erosione dei suoli.

La FAO ha, inoltre, previsto un rallentamento sostanziale, pari alo 0,1, dell'area globale attrezzata per l'irrigazione che raggiungerebbe 337 milioni di ettari nel 2050, rispetto ai circa 325 milioni di ettari del 2013.

3.5 Capacità di produzione di biomassa

Dai dati Istat si denota che nel 2021 l'agricoltura, che l'anno precedente si era distinta come uno dei settori meno penalizzati dai lockdown, non ha beneficiato del generale clima di ripresa che ha caratterizzato il secondo anno della pandemia da Covid-19. Particolarmente colpiti, a livello nazionale, sono stati i volumi produttivi delle coltivazioni mentre, in generale, si è registrato un sensibile rialzo dei prezzi che ha sostenuto il valore delle produzioni ma ha indotto un peggioramento della ragione di scambio, penalizzando gli operatori del settore. Agli effetti negativi sul comparto, dovuti agli strascichi della crisi sanitaria e allo shock bellico, nel 2022 si è aggiunta l'emergenza climatica. Quest'anno è infatti caratterizzato da una siccità che, per portata, già si qualifica come il terzo evento grave nell'arco di un decennio (ISTAT, 2022).

In Figura 8 vengono mostrati i volumi medi produttivi, per classe agricola di uso del suolo, del Salento nell'anno 2021.

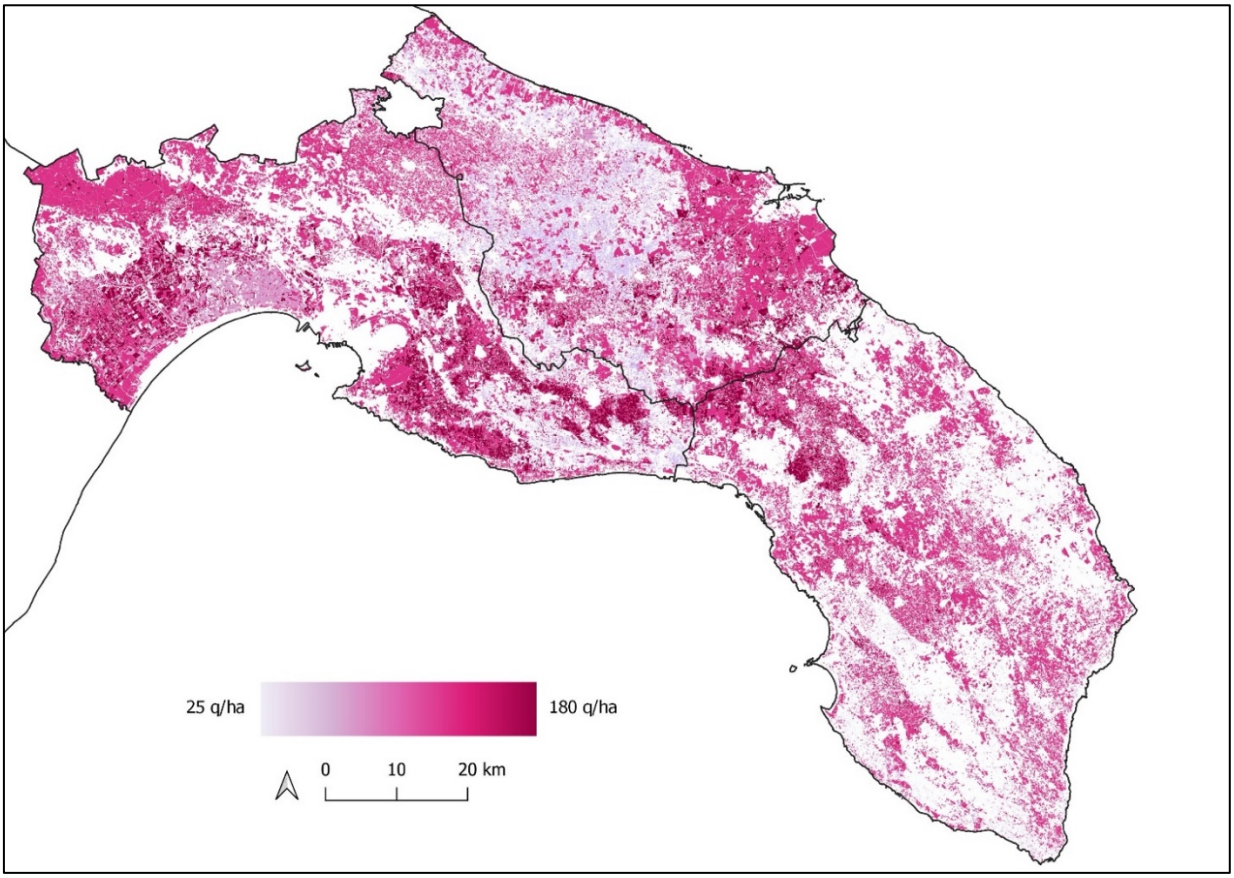

Figura 8: Media dei volumi produttivi per classe agricola di uso del suolo del Salento nell'anno 2021.

Il settore agricolo che presenta i maggiori volumi di produzione risulta essere quello dei vigneti, con una produzione media per le tre Province di circa 180 q/ha e con una produzione massima per le

Province di Brindisi e Taranto. Seguono seminativi e frutteti con una produzione media rispettivamente di 155 e 145 q/ha, in questo contesto la Provincia di Brindisi risulta essere il principale produttore per i seminativi (maggioranza di ortive in piena aria) e Taranto per i frutteti, in particolare con gli agrumeti. Infine, si posiziona il settore olivicolo, in decrescita da ormai vari anni con una produzione media di 25 q/ha. Tra le cause principali, oltre al moltiplicarsi dei danni dovuti alle condizioni atmosferiche sfavorevoli (gelate e piogge intense), si annoverano gli effetti persistenti della Xylella fastidiosa. Le Province con la maggiore produzione di olive da olio e da tavola risultano, comunque, essere Lecce e Brindisi con una produzione di circa 30 q/ha

In particolare, ISTAT attribuisce al Salento una produzione al 2021 di sole 331.630 tonnellate di olive da tavola e da olio, quasi la metà della produzione raggiunta nel 2012, pari a 569.760 tonnellate.

4 Discussioni

Il suolo è un ecosistema essenziale, complesso, multi-funzionale e vitale di importanza cruciale sotto il profilo ambientale e socioeconomico, che svolge molte funzioni chiave e fornisce servizi vitali per l'esistenza umana e la sopravvivenza degli ecosistemi affinché le generazioni attuali e future possano soddisfare le proprie esigenze (EC, 2021a). L'importanza di proteggere il suolo e di promuoverne la salubrità, tenendo conto del persistere del degrado di tale ecosistema vivente, di tale componente della biodiversità e di tale risorsa non rinnovabile, deriva anche dai costi dell'inazione riguardo al degrado del suolo, con stime che nell'Unione Europea superano i 50 miliardi di euro all'anno (EC, 2021a). Le funzioni ecologiche che un suolo di buona qualità è in grado di assicurare garantiscono, infatti, oltre al loro valore intrinseco, anche un valore economico e sociale attraverso la fornitura di diversi servizi ecosistemici. Inoltre, il cambiamento climatico ha già causato impatti sulle risorse idriche, sicurezza alimentare e salute umana (Magadza & Assessment, 2000) e studi sulle caratteristiche del suolo agricolo associato a strategie di adattamento stanno progressivamente diventando i principali settori di interesse scientifico.

La produzione agricola salentina è in calo, seguendo sia il trend nazionale sia a causa dell'emergenza Xylella. In questo contesto di grande cambiamento per il territorio salentino, risulta necessario disporre di una banca dati con una mappatura degli usi del territorio aggiornata che consentirà di avere una base certificata per valutare il potenziale produttivo danneggiato dal batterio e di procedere alla riorganizzazione agricola delle aree interessate in un'ottica sempre più sostenibile e riducendo l'impronta ambientale del settore agricolo.

Il sistema dinamico quale quello dell'oliveto in Salento è in continuo cambiamento e studi più approfonditi, con il perfezionamento della metodologia supervisionata, sono già in corso al fine di renderne la mappatura sempre più dettagliata.

L'agricoltura, infatti, se ben gestita, è in grado di apportare benefici non solo di tipo produttivo all'uomo ma di aiutarlo anche nella fornitura di altri servizi ecosistemici essenziali alla sua sopravvivenza. La fornitura di servici ecosistemici, infatti, è influenzata dai sistemi alimentari e viceversa (Cruz-Garcia et al., 2016) e l'importanza di valutarne il nesso è ampiamente riconosciuta, nonostante la grande difficoltà di misura delle esternalità positive e negative e la persistente mancanza di una "metrica" accettata e condivisa. La valutazione delle esternalità dell'agricoltura richiede la comprensione degli ecosistemi, oltre che di un vasto ed interattivo insieme di aspetti sociali ed economici (Sukhdev et al., 2016; La Notte et al., 2017). I servizi ecosistemici non producono effetti immediati e di grande impatto, ma operano con i ritmi dei processi naturali e, per questo, risultano spesso invisibili.

Un suolo sano, ad esempio, rappresenta il principale deposito di carbonio del pianeta. Se gestito in maniera sostenibile, esso svolge una funzione essenziale nel processo di mitigazione del cambiamento climatico, diminuendo le emissioni di gas serra nell'atmosfera. Al contrario, una cattiva gestione del terreno e il ricorso a pratiche agricole non sostenibili, come l'utilizzo indiscriminato di fertilizzanti e l'utilizzo della risorsa idrica in modo non controllato, fanno sì che l'agricoltura favorisca l'aggravare del degrado delle risorse naturali.

La fertilizzazione delle colture necessaria, ma talvolta deleteria, per l'ambiante, ad esempio, deve avere l'obiettivo di garantire produzioni di elevata qualità e in quantità economicamente sostenibili ma nel rispetto delle esigenze di salvaguardia ambientale, del mantenimento della fertilità e della prevenzione delle avversità. Inoltre, l'agricoltura irrigua è il principale consumatore di risorse di acqua dolce in tutto il mondo e il crescente utilizzo, risultato anche della crescita della popolazione globale, sta accelerando la scarsità di acqua con conseguenti problemi di qualità in tutto il mondo.

Monocoltura, colture intensive e uso di pesticidi e fertilizzanti impattano, inoltre, la biodiversità, impoveriscono i terreni e aumentano i gas serra. Riorganizzare l'agricoltura dal punto di vista multifunzionale ed ecologicamente sostenibile dovrebbe diventare, quindi, la sfida principale per scienziati ed agricoltori.

5 Conclusioni

Diverse conclusioni chiave possono essere tratte dalle analisi effettuate:

- In primo luogo, la domanda globale di cibo continuerà ad aumentare, e lo farà nel contesto di una crescente scarsità di risorse naturali e di importanti cambiamenti nella composizione strutturale della domanda di prodotti alimentari e agricoli. I cambiamenti climatici e l'accresciuta competizione per le risorse naturali continueranno a contribuire al degrado delle risorse naturali, con impatti negativi sui mezzi di sussistenza delle persone e sulla sicurezza alimentare. In aggiunta, i disastri naturali sono in aumento in numero e intensità e si prevede che, assieme agli eventi meteorologici estremi legati al cambiamento climatico, aumenteranno la necessità globale di assistenza umanitaria.
- In questo contesto, il bisogno di una gestione del suolo maggiormente sostenibile è diventato sempre più urgente come mezzo sia per mitigare e adattarsi al cambiamento climatico, sia come importante strategia per il raggiungimento della sicurezza globale alimentare. I cambiamenti climatici hanno un forte impatto sul suolo; inoltre, variazioni nell'uso del territorio e del suolo possono accelerare oppure rallentare tali cambiamenti. Al fine di superare le sfide relative alla sicurezza alimentare globale e al cambiamento climatico, è necessario, quindi, che l'agricoltura e le pratiche di gestione del territorio subiscano trasformazioni sostanziali.

Tener conto delle necessità delle colture quali fabbisogni idrici e di fertilizzanti, e dei servizi ecosistemici erogati quali produzione di biomassa e sequestro di carbonio permette di porre le basi per una riorganizzazione del paesaggio salentino multifunzionale. I sistemi agricoli progettati e gestiti sulla base della multifunzionalità, con opzioni innovative che integrino la gestione delle risorse territoriali, forniscono risultati più vantaggiosi come garantire la sicurezza alimentare e dei mezzi di sussistenza, aumentando al contempo la quantità e la qualità di diversi servizi ecosistemici (Hodbod et al., 2016).

Infine, risulta essenziale che si elaborino analisi di dettaglio sulle necessità di fertilizzanti ed idriche per le diverse colture agricole anche nel contesto del cambiamento climatico. Questo fornirebbe sicuramente informazioni utili alla rigenerazione della produzione agricola come settore portante del Salento. Ad oggi tali dati non sono disponibili.

6 Bibliografia

Abdou, N M et al. (2021). "High nitrogen fertilization modulates morpho-physiological responses, yield, and water productivity of lowland rice under deficit irrigation". In: *Agronomy* 11.7, 1291.

Abou Kubaa, R et al. (2019). "Insights into differential responses of olive cultivars to Xylella fastidiosa infections". In: Proceedings of the 2nd European Conference on Xylella fastidiosa, How Research Can Support Solutions; Ajaccio (France), 29-30 October 2019. DOI:10.5281/zenodo.3562377

Abyaneh, H Z et al. (2017). "Effect of regulated deficit irrigation, partial root drying and N-fertilizer levels on sugar beet crop (Beta vulgaris L.)". In: *Agriculture Water Management* 194, pp. 13-23.

Alcaide Zaragoza, C et al. (2020). "Open source application for optimum irrigation and fertilization using reclaimed water in olive orchards". In: *Computers and Electronics in Agriculture* 173, 105407.

Alvaro-Fuentes, J et al. (2011). "Modelling soil organic carbon stocks and their changes in the northeast of Spain". In: *European Journal of Soil Science* 62, pp. 685–695.

Amtmann, A et al. (2006). "Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus". In: *Advances in Botanical Research* 43, pp. 209–257.

ARPAV (2007). "L'interpretazione delle analisi del terreno Strumento per la sostenibilità ambientale". A cura di: Dipartimento Provinciale di Treviso–Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti. Veneto, 74 pp. https://www.arpa.veneto.it/arpavinforma/pubblicazioni/linterpretazione-delle-analisi-del-terreno.

Arrouays, D et al. (2001). "The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France". In: *Soil Use Management*. 17, pp. 7–11.

Assennato, F et al. (2018). "Mappatura e valutazione dell'impatto del consumo di suolo sui servizi ecosistemici: proposte metodologiche per il Rapporto sul consumo di suolo". In: ISPRA, 2018. Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2018. Rapporti 288/2018. 292 pp. https://www.isprambiente.gov.it/public_files/ConsumoSuolo2018/Rapporto_Consumo_Suolo_2018_2.pdf

Blandino, M et al. (2022). "The synergistic effect of nitrogen and phosphorus starter fertilization sub-surface banded at sowing on the early vigor, grain yield and quality of maize". In: *European Journal of Agronomy* 137, 126509.

Caddeo, A et al. (2019). "Soil organic carbon in Italian forests and agroecosystems: Estimating current stock and future changes with a spatial modelling approach". In: *Agricultural and Forest Meteorology* 278, 107654.

Cavalcante, A C P et al. (2019). "Adubaçao com potassio e calcio na nutriçao e produçao de goiabeira 'Paluma'". In: *Revista Ceres* 66, pp. 54–62.

Chiani, F et al. (2013). "Importanza della mitigazione. In: MiPAAF, ISMEA, 2013. Progetto speciale. Ricognizione degli studi e delle ricerche riguardanti il potenziale di mitigazione di talune pratiche colturali e delle lavorazioni". 270 pp. https://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/8855

Chiti, T et al. (2012). "Soil organic carbon stock assessment for the different cropland land uses in Italy". In: *Biology and Fertility of Soils* 48, pp. 9–17.

Chrysargyris, A et al. (2017). "Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of Lavandula angustifolia Mill". In: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 17, pp. 291–306.

Cruz-Garcia, G S (2016). "Are the major imperatives of food security missing in ecosystem services research?" In: *Ecosystem Services* 19, pp. 19–31.

Çolpan, E et al. (2013). "The effects of potassium on the yield and fruit quality components of stick tomato". In: *Horticulture, Environmental and Biotechnoly* 54, pp. 20–28.

Crippa, M et al. (2021). "Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions". In: *Nature Food*, pp. 198–209.

Daoud, B et al. (2020). "Different potassium fertilization levels influence water-use efficiency, yield, and fruit quality attributes of cocktail tomato—A comparative study of deficient-to-excessive supply". In: *Scientia Horticulturae* 272, 109562.

Commissione europea (2021). "Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima". COM (2021) 699 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0699&from=EN

Correia, F.N et al. (2009). "Water resources in the Mediterranean region". In: *International Water Resources Association* 24, pp. 22-30.

Daccache, A et al. (2014). "Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region". In: *Environmental Research Letters* 9, pp. 1-12.

DeClerck, F et al. (2015). "Biodiversity and ecosystem services of agricultural landscapes: reversing agriculture's externalities". In: *Agroecology for Food Security and Nutrition - Proceedings of the FAO International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition*. FAO, pp. 140–157.

De Filippis, G et al. (2016). "Seawater intrusion in karstic, coastal aquifers: current challenges and future scenarios in the Taranto area (southern Italy)". In: *Science of The Total Environment* 573, pp. 1340-1351.

De Filippis, G et al. (2020). "Open questions about the hydrodynamic behaviour of the deep, coastal aquifer of the Salento peninsula (south-eastern Italy): Coupling expert knowledge, data, and

numerical modelling for testing hydrogeological conceptual models". In *Science of The Total Environment* 715, 136962.

Dinar, A et al. (2019). "Water scarcity impacts on global food production". In: *Global Food Security* 23, pp. 212-226.

Doblas-Miranda, E et al. (2013). "Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain". In: *Biogeosciences* 10, pp. 8353–8361.

Doswald, N et al. (2014). "Effectiveness of ecosystem-based approaches for adaptation: review of the evidence- base". In: *Climate. Development.* 6, pp. 185–201.

Du, T et al. (2015). "Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security". In: *Journal of Experimental Botany* 66.8, pp. 2253-2269.

Easter, M et al. (2007). "The GEFSOC soil carbon modelling system: a tool for conducting regional-scale soil carbon inventories and assessing the impacts of land use change on soil carbon". In: *Agriculture, Ecosystem & Environment* 122, pp. 13–25.

EEA (2013). "Trends and projections in Europe 2013. Tracking progress towards Europe's climate and energy targets until 2020". In: *Publications Office of the European Union*, Luxembourg. 10, pp.148. doi: 10.2800/93693

EFSA PLH Panel (2011). "Guidance on the environmental risk assessment of plant pests". In: EFSA Journal, 9.12, pp. 2460. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2460

EFSA PLH Panel (2014). "Scientific Opinion on the environmental risk assessment of the apple snail for the EU" In: EFSA Journal, 12.4, pp. 364. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3641

Farina, R et al. (2017). "Modeling regional soil C stocks and CO2 emissions under Mediterranean cropping systems and soil types". In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 238, pp. 128–141.

FAO (2005). "The Global Forest Resource Assessment FAO". Rome, Italy, pp. 13. https://www.fao.org/forestry/8985-0111a23c0f0e01652d74651cdb5aca229.pdf

FAO (2015). "I suoli permettono di contrastare il cambiamento climatico e di adattarsi ai suoi effetti grazie alla funzione che svolgono all'interno del ciclo del carbonio". Rome, Italy, 4 pp. https://www.fao.org/3/i4737o/i4737o.pdf

FAO (2016). "Global Forest Resources Assessment 2015-how Are the world's Forests Changing?" (2nd edn.). Rome, Italy. pp. 54. https://www.fao.org/3/i4793e/i4793e.pdf

FAO (2017). "The future of food and agriculture: Trends and challenges., The future of food and agriculture: Trends and challenges". Rome, Italy. 180 pp https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf

FAO (2021a). "The share of food systems in total greenhouse gas emissions. Global, regional and country trends, 1990–2019". In FAOSTAT Analytical Brief Series. Rome, Italy. 31, 12 pp. https://www.fao.org/3/cb7514en/cb7514en.pdf

Felipe-Lucia, M R et al. (2020). "Land-use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services". In: *Proceedings of the National Academy of Science*s 117.45, pp. 28140-28149.

Fernandes, A.M et al. (2017). "Yield and nutritional requirements of cassava in response to potassium fertilizer in the second cycle". In: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 40, pp. 2785–2796.

Garbach, K et al. (2014). "Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems". In: *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* 2, pp. 21–40.

Garske, B et al. (2020). "Sustainable phosphorus management in European agricultural and environmental law". In: *RECIEL* 29, pp. 107-117.

Gouveia, A.M et al. (2018). "Macro and micronutrients accumulation in radish (Raphanus sativus L.) subjected to potassium (K) fertilization". In: *Australian Journal of Crop Science* 12, pp. 1738–1742.

Guo, L.B et al. (2002). "Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis". In: *Global Change Biology* 8, pp. 345–360.

Haberman, A et al. (2019a). "Long-term impact of potassium fertilization on soil and productivity in intensive olive cultivation". In: *Agronomy* 9, pp. 1–14.

Haberman, A et al. (2019b). "Significance of proper nitrogen fertilization for olive productivity in intensive cultivation". In: *Scientia Horticulturae* 246, pp. 710-717.

Hanjra, M et al. (2010). "Global water crisis and future food security in an era of climate change". In: *Food Policy* 35, 365-377.

Hodbod, J et al. (2016). "Managing adaptively for multifunctionality in agricultural systems". In: *Journal of Environmental Management* 183, pp. 379–388.

Hoffman, M et al. (2008). "Climate change impacts on African rangelands". In: *Rangelands,* 30, pp. 12-17.

Houghton, R.A (1999). "The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850–1990". In: *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology* 51, pp. 298–313.

Hutyra, L et al. (2011). "Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle. WA region". In: *Global Change Biology* 17.2, pp. 783–797.

Howard, P J A et al. (1995). "The carbon content of soil and its geographic distribution in Great Britain". In: *Soil Use Management* 11, pp. 9–15.

INEA (2000). "Stato dell'irrigazione in Puglia. Rapporto irrigazione. Programma Operativo Multiregionale "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e di distribuzione delle risorse idriche nelle Regioni dell'Obiettivo 1" Reg (CEE) n. 2081/93 - QCS 1994/99 Sottoprogramma III Misura 3 "Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività". 244 pp.
IPCC (2003). "Good practice guidance for land use, land-use change and forestry". In: Penman, J et al. (2003). In: *Intergovernmental Panel on Climate Change*. IGES, Hayama, Japan Available at http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_ FULL.pdf

IPCC (2014). "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Core Writing Team: Pachauri R.K. et al.. In: *IPCC*: Geneva, Switzerland, 169 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

ISPRA (2010). "La realizzazione in Italia del Progetto Corine Land Cover 2006". RAPPORTI 131/2010 https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00008300/8329-rapporto-131-2010.pdf/

ISTAT (2022). "Rapporto annuale 2022. La situazione del paese". Rome, 295 pp. https://www.istat.it/storage/rapporto-annuale/2022/Rapporto_Annuale_2022.pdf

Jobbagy, E G et al. (2000). "The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation". In: *Ecological Application* 10, pp. 423–436.

Jones, R J A et al. (2005). "Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support". In: *European Journal of Soil Science* 56, pp. 655–671.

Koppensteiner, L J et al. (2022). „Yield and yield components of facultative wheat are affected by sowing time, nitrogen fertilization and environment". In: *European Journal of Agronomy* 140, 126591.

Kratz, S et al. (2019). "Agronomic performance of P recycling fertilizers and methods to predict it: a review". In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 115, pp. 1– 39.

La Notte, A et al. (2017). "Implementing an EU System of Accounting for Ecosystems and Their Services: Initial Proposals for the Implementation of Ecosystem Services Accounts". Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp.124. Implementing an EU system of accounting for ecosystems and their services - Publications Office of the EU (europa.eu)

Lal, R (2004). "Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security". In: *Science* 304, pp. 1623–1627.

Lamastra, L et al. (2014). "A new approach to assessing the water footprint of wine: an Italian case study". In: Science of The Total Environment 490, pp. 748-756.

Li, Y et al. (2019a). "Regulated deficit irrigation at special development stages increases sugar beet yield". In: *Agronomy Journal* 111, pp. 1293-1303.

Li, Y et al. (2019b). "Effects of deficit irrigation on photosynthesis, photosynthate allocation, and water use efficiency of sugar beet". In: *Agriculture Water Management* 223, 105701.

Li, H et al. (2021). "Optimizing irrigation and nitrogen management strategy to trade off yield, crop water productivity, nitrogen use efficiency and fruit quality of greenhouse grown tomato". In: *Agriculture Water Management* 245, 106570.

Liang, G (2022). "Nitrogen fertilization mitigates global food insecurity by increasing cereal yield and its stability". In: *Global Food Security* 34, 100652.

Liu, W et al. (2019). "Using bibliometric analysis to understand the recent progress in agroecosystem services research". In: *Ecological. Economics* 156, 293–305.

Liu, J et al. (2019). "Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages". In: PLoS One 14.3, 0213643.

Lu, J et al. (2019). "Yield, fruit quality and water use efficiency of tomato for processing under regulated deficit irrigation: a meta-analysis". In: *Agriculture Water Management* 222, pp.301-312.

Lugato, E et al. (2014). "A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach". In: *Global Change Biol*oly 20, pp. 313–326.

Lugato, E et al. (2015). "Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices". In: *Global Change Biology* 20, pp. 3557–3567.

Ma, Z et al. (2019). "Mitigation of ammonia volatilization and nitrate leaching via loss control urea triggered H-bond forces". In: *Scientific Reports* 9, 15140.

Martin, M P et al. (2011). "Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France". In: *Biogeosciences* 8, pp. 1053–1065.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005). "Ecosystems and human well-being". In: *Washington, DC: Island press* 5, pp. 563-563. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.765.aspx.pdf.

Meersmans, J et al. (2012). "A high resolution map of French soil organic carbon". In: *Agrononomy for Sustainable Developmen*t 32, pp. 841–851.

Meersmans, J et al. (2013). "Estimation of soil carbon input in France: an inverse modelling approach". In: *Pedosphere* 23.4, pp. 422–436.

Meyer, G et al. (2023). "Mobility and lability of phosphorus from highly concentrated fertiliser bands". In: *Geoderma* 429, 116248.

Mi, W et al. (2019). "Medium-term effects of different types of N fertilizer on yield, apparent N recovery, and soil chemical properties of a double rice cropping system". In: *Field Crops Research* 234, pp. 87–94.

Milne, E et al. (2007). "National and sub-national assessments of soil organic carbon stocks and changes: the GEFSOC modelling system". In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 122, pp. 3–12.

Mitran, T et al. (2018). "Role of soil phosphorus on legume production". In: Meena, R et al. (2018). "Legumes for Soil Health and Sustainable Management". In*: Springer Nature, Singapore*, 487–510 pp.

Moitzi, G et al. (2020). "Efficiency of mineral nitrogen fertilization in winter wheat under Pannonian climate conditions". In: *Agriculture*10, 541.

Monaghan, J.M et al. (2013). "More 'crop per drop': Constraints and opportunities for precision irrigation in European agriculture". In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, pp. 977–980.

Mondini, C et al. (2012). "Spatially explicit modelling of changes in soil organic C in agricultural soils in Italy, 2001–2100: Potential for compost amendment". In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 153, pp. 24–32.

Muñoz-Rojas, M et al. (2015). "Impact of Land Use and Land Cover Changes on Organic Carbon Stocks in Mediterranean Soils (1956–2007)". In: *Land Degradation and Development* 179, pp. 168–179.

Naumann, S et al. (2013). "The social dimension of ecosystem-based adaptation". In: *UNEP Policy Series- Ecosystem Management.* Ecologic Institute, United Nations Environment Programme (UNEP), Cornell University.

Nieves-cordones, M et al. (2016). "Roles and transport of sodium and potassium in plants". In: Sigel, A et al. (2016). "The Alkali Metal Ions: Their Role for Life". In *Springer*, Switzerland, pp. 291–324.

Ortuani, B et al. (2019). "Assessing the Effectiveness of Variable-Rate Drip Irrigation on Water Use Efficiency in a Vineyard in Northern Italy". In: *Water* 11, 1964.

Pardo, G et al. (2017). "Orchard and horticulture systems in Spanish Mediterranean coastal areas: Is there a real possibility to contribute to C sequestration?". In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 238, pp. 153–167.

Pellegrini, G et al. (2016). "Application of water footprint to olive growing systems in the Apulia region: a comparative assessment". In: *Journal of Cleaner Production* 112, pp. 2407-2418.

Pingel, M et al. (2019). "A 30-years vineyard trial: Plant communities, soil microbial communities and litter decomposition respond more to soil treatment than to N fertilization". In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 272, pp. 114-125.

Polemio, M et al. (2009). "Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, Southern Italy)". In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9.4, pp. 1461-1470.

J Porter. J et al. (2014). "What do we know about UK household adaptation to climate change? A systematic review". In: *Climate Change* 127.2, pp. 371-379.

Power, A G (2010). "Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies". In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 365.1554, pp. 2959–2971.

Pretty, J. (2008). "Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence". In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363, pp. 447–465.

Pujos, A et al. (1997). "Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage". In: *Plant Soil* 189, pp. 189–196.

Jia, Q et al. (2017). "Deficit irrigation and planting patterns strategies to improve maize yield and water productivity at different plant densities in semi-arid regions". In: *Scientific Reports* 7, 13881

Ragel, P et al. (2019). "Regulation of K+ nutrition in plants". In: *Frontiers in Plant Science* 10, pp. 1–21.

Raj, A et al. (2021). "Carbon storage, flux and mitigation potential of tropical Sal mixed deciduous forest ecosystem in Chhattisgarh. In: *India Journal of Environment Management* 1.293, 112829.

Regione Campania, (2012). Guida alla concimazione. Metodi, procedure e strumenti per un servizio di consulenza. Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale. Regione Campania – Assessorato Agricoltura - Settore Sperimentazione, Informazione, Ricerca e Consulenza in Agricoltura (SeSIRCA). 217 pp.

Regione Puglia, (2022). Bollettino Ufficiale della Regione Puglia - n. 38 del 31-3-2022. DETERMINAZIONE DEL DIRIGENTE SEZIONE COMPETITIVITA' DELLE FILIERE AGROALIMENTARI 22 marzo 2022, n. 75 Legge n. 4 del 3 febbraio 2011 - Sistema di Qualità Nazionale di Produzione Integrata (SQNPI): approvazione "Disciplinare di Produzione Integrata, Sezione Tecniche Agronomiche ", adozione "Piano di Controllo Nazionale". Anno 2022.

Richardson A E et al. (2009). "Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus". In: *Crop and Pasture Science* 60, pp. 124–143.

Rodriguez Martín, J et al. (2016). "Assessment of the soil organic carbon stock in Spain". In: *Geoderma* 264, pp. 117–125.

Rodríguez-Murillo, J C (2001). "Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain". In: *Biology and Fertility of Soils* 33, pp. 53–61.

Sadras, V O et al. (2009). Crop Physiology – Applications for Genetic Improvement and Agronomy. Elsevier, London. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.X0001-1

Sallustio, L et al. (2015). "Assessing land take by urban development and its impact on carbon storage: Findings from two case studies in Italy". In: *Environmental Impact Assessment Review* 54, pp. 80–90.

Sanderman, J et al. (2018). "Soil carbon debt of 12,000 years of human land use". In: *PNAS* 115.7, pp. 9575–9580.

Saponari M.et al. (2019). "Further acquisition on the response of a large number of olive cultivars to infections caused by Xylella fastidiosa subsp. pauca, ST53". In: Proc. Of the 2nd European Conference on Xylella fastidiosa 2019, How Research Can Support Solutions; Ajaccio (France), 29-30 Oct 2019. DOI: 10.5281/zenodo.3564486

Scholz, R W et al. (2013). "Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: what we may learn from the case of phosphorus". In: *Global Environmental Change* 23, pp. 11–27.

Shanmugam, S et al. (2022). "Intercropping and fertilization strategies to progress sustainability of organic cabbage and beetroot production". In: *European Journal of Agronomy* 140, pp.126590.

Silva, J J M et al. (2014). Cattle manure and potassium in the mineral composition of noni plants". In: *Forest science* 24, pp.1017–1026.

Six, R T et al., (2002). "Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Review". In: *Plant Soil*, 241, pp. 155-176.

Smith, P et al. (2000). "Revised estimates of the carbon mitigation potential of UK agricultural land". In: *Soil Use Management*. 16.4, pp 293–295.

Smith P et al. (2005). "Projected changes in mineral soil carbon of European forests, 1990–2100". In: *Canadian Journal of Soil Science*, 86(Special Issue), pp.159-169.

Smith, P et al. (2013). "The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality". *Journal of Applied Ecology* 50.4, pp. 812–829.

Smith, P et al. (2014). "Agriculture, forestry and other land use (AFOLU)". In: Edenhofer O., et al. (Eds.), IPCC 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Soratto, R P et al. (2020). "Biomass accumulation and nutritional requirements of potato as affected by potassium supply". In: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20, pp. 1051–1066.

Souto, A G et al. (2018). "Nutritional status and production of noni plants fertilized with manure and potassium". In: *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18, pp. 403–417.

Swinton, S M et al. (2007). "Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits". *Ecological Economics* 64.2, pp. 245–252.

Spiertz, J H J (2010). "Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review". In: *Agronomy for Sustainable Development* 30, pp. 43–55.

Stockmann, U et al. (2013). "The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon". In: *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 164, pp. 80–99.

Sukhdev, P (2016). "Fix food metrics". In: *Nature* 540, pp. 33–34.

United Nations, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Ocean Year 30, pp. 782–824.

Waldhardt, R et al. (2010). "Evaluating today's landscape multifunctionality and providing an alternative future: a normative scenario approach". In: *Ecology &. Society* 15.3, pp. 30.

van Wesemael, B et al. (2010). "Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks". In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, pp. 14926–14930.

Villamagna, A et al. (2013). "Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery". In: *Ecological Complexity* 15:114–121

Werling, B P et al. (2014). "Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioe- nergy landscapes". In: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 111, pp. 1652–1657.

White, P et al. (2010). "Potassium". In: Hell R., Mendel R., (Eds.), Cell Biology of Metals and Nutrients, Plant Cell Monographs 17. Springer, Berlin, 199–224 pp. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-10613-2

Yagasaki, Y et al. (2014). "Assessment on the rates and potentials of soil organic carbon sequestration in agricultural lands in Japan using a process-based model and spatially explicit land-use change inventories-Part 1: Historical trend and validation based on nation-wide soil monitoring". In*: Biogeosciences* 11, pp. 4429– 4442.

Yu, L et al. (2020). "Improving/maintaining water-use efficiency and yield of wheat by deficit irrigation: a global meta-analysis". In: *Agriculture Water Management* 228, 105906.

Zhang, J et al. (2021). "Continuous regulated deficit irrigation enhances peanut water use efficiency and drought resistance" In: *Agriculture Water Management* 255, 106997.

Zhu, J al. (2018). "Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review". In: *Science of The Total Environment* 612, pp. 522–537.

Sitografia

ARPA Puglia: https://www.arpa.puglia.it/pagina3153_distribuzione-ed-uso-agricolo-dei-fertilizzanti.html

FAO, 2021b https://www.fao.org/news/story/en/item/1379373/icode/