

PROGETTI DI RICERCA

ANNO 2018-2019

FONDAZIONE TORRECCHIA VECCHIA

DEMETRIUS SOCIETÀ AGRICOLA

INDICE DEL DOCUMENTO

PREMESSA	3
IMPIANTO DI COGENERAZIONE E CATALIZZATORE PER IL TRATTAMENTO DELLE EMISSIONI	4
OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI	9
CONTENUTI DELLA RICERCA	11
RISULTATI.....	20
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	20
IMPOLLINATORI.....	21
OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI	21
CONTENUTI DELLA RICERCA	22
RISULTATI.....	32
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	32
SINERGIE TRA AGRO-ECOSISTEMI	33
OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI	34
CONTENUTI DELLA RICERCA	34
RISULTATI.....	45
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	46
PROPERTY RIGHTS.....	51
OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI	51
CONTENUTI DELLA RICERCA	51
RISULTATI.....	57
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	57

PREMESSA

La società Demetrius ha deciso per il biennio 2018-2019 di dar seguito al programma di studio, di ricerca applicata e di sviluppo sperimentale iniziato nel 2016, che ha come obiettivo la valorizzazione economica della Tenuta Torrecchia Vecchia. In particolare, si tratta d'individuare in quali forme sia possibile valorizzare il Monumento Ambientale Torrecchia come peculiare *impianto produttivo*.

La particolare complessità dell'impianto Torrecchia risulta costituita da elementi ambientali, energetici, agricoli, forestali, ecologici, archeologici, storici, artistici, che sono intimamente interconnessi. La sfida consiste nel trovare forme innovative che vadano a coniugare i requisiti legali del sito con l'individuazione di attività redditizie che, in gran parte, sono viste dalla proprietà come risorse necessarie proprio alla realistica conduzione sostenibile della tenuta. Le forti limitazioni imposte alle attività permesse impongono, dunque, la ricerca di quali di esse siano al tempo stesse economicamente perseguibili e sostenibili sotto l'aspetto ambientale, monumentale e paesaggistico.

Innovativa è la continua ricerca dell'ottimizzazione del processo produttivo, integrandolo gradualmente con il contesto circostante: una delle fasi più delicate consisterà proprio nel capire come fondere l'esigenza di produrre con l'obbligo di salvaguardare l'ambiente paesaggistico di riferimento, nel rispetto di vincoli ambientali imposti.

Coerentemente con le finalità di sostenibilità dell'intero progetto, la scelta di autoprodurre energia elettrica e termica con un sistema avanzato di pirogassificazione della biomassa non può prescindere dall'obiettivo di ridurre l'emissione dei livelli di composti impattanti sull'ambiente – in particolare, Nox – attraverso lo sviluppo di un prototipo di catalizzatore montato sull'impianto di scarico, che favorisce la completa ossidazione e riduzione dei gas di scarico.

Allo stesso modo, la valorizzazione delle sinergie tra allevamento e colture iniziata nel 2017 è stata portata avanti focalizzando l'attenzione su quelle che sono le relazioni che si instaurano tra bosco e allevamenti – in particolare, di mucche – per comprendere rispettivamente l'impatto che il bosco ha sulle mucche, e viceversa.

Considerato quanto la popolazione di api stia diminuendo in modo preoccupante, si è portato avanti anche lo studio di un modello bioeconomico in grado di testare l'impatto di diversi fattori sull'attività delle api.

Infine, è stato approfondito come le innovazioni legate ai diritti di proprietà possano proporre nuovi sistemi di gestione delle risorse ecologiche, in un atteggiamento diverso dal Command & Control.

IMPIANTO DI COGENERAZIONE E CATALIZZATORE PER IL TRATTAMENTO DELLE EMISSIONI

Oggigiorno, il settore energetico si trova ad affrontare importanti sfide, dalla minaccia di un cambiamento climatico con potenziali effetti distruttivi ed irreversibili alla riduzione progressiva della sicurezza degli approvvigionamenti, fino alla crescita e volatilità dei prezzi dell'energia e la crescente domanda energetica nei paesi in via di sviluppo. Non è esagerato, dunque, affermare che uno sviluppo economico sostenibile sarà possibile solo se il mondo saprà garantire un'offerta di energia affidabile a prezzi accessibili ed effettuare una rapida trasformazione verso approvvigionamenti energetici a basso contenuto di carbonio, efficienti e rispettosi dell'ambiente.

L'analisi dei dati storici e degli scenari tendenziali sviluppati dall'International Energy Agency (IEA) e dall'Energy Information Administration mostra come il sistema energetico internazionale si stia muovendo su un sentiero di sviluppo non sostenibile e come sia, quindi, necessario prevedere degli interventi politici che favoriscano lo sviluppo di una vasta gamma di tecnologie energetiche innovative. L'IEA da tempo sottolinea come sia necessaria una rivoluzione energetica, basata sulla diffusione su scala mondiale di tecnologie a basso contenuto di carbonio che, inizialmente, dovrebbero comportare elevati costi di investimento, ma portare nel lungo termine benefici vantaggiosi in termini di riduzione degli effetti sul clima, miglioramento del livello di sicurezza energetica e sostegno allo sviluppo economico.

Al fine di contenere il surriscaldamento globale medio tra i 2° C e i 2,4° C, il Comitato Intergovernativo delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico (IPCC) prospetta la necessità entro il 2050 di una riduzione delle emissioni globali di CO₂ di almeno il 50% rispetto ai livelli del 2000, valore suscettibile di variazioni a seconda dell'andamento cumulato delle emissioni e della loro concentrazione. La crescente dipendenza dai combustibili fossili continuerebbe a sostenere non solo le emissioni di CO₂, ma anche i prezzi degli stessi combustibili.

Questa dipendenza dai combustibili fossili contribuirà anche a rendere i paesi sempre più dipendenti da importazioni di petrolio e gas provenienti da un ristretto numero di paesi, aumentando conseguentemente il livello di rischio energetico e la stabilità della crescita economica. Il prezzo del petrolio che ha superato, sia pure temporaneamente, i 150 \$ per barile, dovrebbe dare la dimensione del problema che si dovrà affrontare nei decenni futuri, quando le riserve di petrolio inizieranno inevitabilmente a diminuire, e di riflesso il prezzo di tale risorsa comincerà a salire fino a diventare economicamente insostenibile per il nostro sistema.

In questo scenario, dunque, appare universalmente riconosciuta la necessità di dover ricorrere a fonti energetiche alternative che possano accompagnare quelle tradizionali per coprire il fabbisogno crescente di energia. Tra tutte le fonti rinnovabili merita alta considerazione la biomassa, definita

secondo direttiva 2009/28/CE, come la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

La biomassa presenta la peculiarità di avere una natura molto varia, in termini sia di origine che di forma fisica e di utilizzi: le origini possono essere di tipo agro-forestale diretto o da prodotti a fine vita di medesima origine; le forme fisiche possono essere solide (legno), liquide (oli) e gassose (biogas); mentre, le applicazioni possono essere finalizzate alla produzione di elettricità, di calore o al trasporto.

Tuttavia, occorre distinguere tra la biomassa naturalmente disponibile sul territorio e quella rinnovabile: questa è un'altra caratteristica che la distingue dalle altre fonti, dove la risorsa utilizzata è già disponibile e non deve essere coltivata appositamente, aspetto che comporta una valutazione sia sulla convenienza degli utilizzi energetici delle biomasse rispetto ad utilizzi alternativi – quali quello alimentare o quello come materia prima per la chimica – sia sulla possibilità di disporre di territori per colture dedicate.

Ad un'analisi sintetica, la combustione di biomassa ha bilancio neutro della CO₂ poiché i vegetali, durante la loro crescita, la sottraggono dall'atmosfera attraverso la fotosintesi, soprattutto in fase di accrescimento, trasformandola in carboidrati. Per tali ragioni, essa presenta delle ottime potenzialità in termini di uso energetico ma, per valutarne le potenzialità, occorre riuscire ad individuare quali siano le filiere/utilizzi più promettenti.

Nonostante l'elevata qualità, anche la combustione di biomasse genera sottoprodotti e scarti – inquinanti e non – per l'ambiente e per l'uomo. Specificamente, quando la biomassa brucia, le emissioni che ne derivano avranno una composizione chimica che varia a seconda non solo del tipo di biomassa, ma anche del terreno su cui è cresciuta; anche i parametri di reazione influenzano fortemente la formazione di alcuni inquinanti. Specificamente, le emissioni di inquinanti da impianti di combustione possono essere classificate come dipendenti da:

- combustibile, se questo contiene una sostanza inquinante che rimane inalterata o se contiene una sostanza che a seguito della combustione si trasforma producendo composti inquinanti, quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo, acido cloridrico;
- combustione anomala, quando la combustione è incompleta e si generano sostanze non completamente ossidate, quali monossido di carbonio, composti organici volatili, idrocarburi policiclici aromatici, diossine e furani, carbonio organico totale, particolato e idrocarburi incombusti.

Più esattamente, possiamo suddividere gli inquinanti prodotti in:

- ceneri;
- particelle solide e/o liquide e composti condensabili;
- composti in fase gassosa.

Quale residuo ottenuto dalla combustione di un combustibile, le ceneri sono costituite da specie alcaline, metalli pesanti e altri elementi, con percentuali e composizioni che variano a seconda della tipologia di biomassa. Una elevata concentrazione di ceneri può portare all'aumento del numero di interventi per svuotare il box delle ceneri della caldaia; all'aumento della probabilità che si formino scorie e depositi sulla caldaia; all'aumento delle emissioni di polveri. In linea generale, al contrario di biomasse come corteccia, paglia, erba, granella e residui dei frutti – che si caratterizzano per avere un alto residuo di cenere data l'elevata concentrazione di metalli pesanti – il legno produce una bassa percentuale di cenere.

Una delle maggiori problematiche legate ai residui solidi della combustione è la formazione di ceneri basso fondenti, che si manifesta in alcuni tipi di biomasse dove la temperatura di inizio deformazione è bassa: tali ceneri, presenti sul letto di combustione, formano dei duri agglomerati che possono occludere la griglia e ridurre il flusso di aria all'interno della caldaia stessa. Inoltre, i processi di combustione con biomasse erbacee – che presentano un elevato contenuto di elementi alcalini – determinano fenomeni di sinterizzazione delle ceneri. L'agglomerazione e la sinterizzazione risultano più alte quando la biomassa presenta una concentrazione più alta di potassio e una bassa percentuale di calcio e magnesio – rispettivamente, elementi basso-fondenti e alto-fondenti. I problemi relativi alla cenere basso fondente sono dovuti a reazioni tra l'ossido di silicio e i composti di potassio.

Per quanto concerne le particelle solide e/o liquide, è bene ricordare che la combustione di biomassa è una fonte rilevante di particolato inalabile – ovvero, con diametro aerodinamico inferiore a 10 (PM10) o 2.5 micrometri (PM2.5). Proprio in virtù del fatto che risultano inalabili, possono entrare nei tessuti di animali e umani, causando gravi danni per la salute. Queste particelle possono essere suddivise in aerosol primari, emessi direttamente dalla combustione; e aerosol secondari, derivanti dalla ricombinazione in atmosfera delle molecole primarie. La letteratura riconduce la formazione degli aerosol primari a tre fenomeni:

1. i minerali presenti nel combustibile – quali K, Na, S, Cl, Zn, Pb, Cd – conducono alla formazione di ceneri volatili inorganiche, principalmente composte da sali ed ossidi. In regime normale di combustione ed in impianti moderni ed automatici, rappresentano la maggior parte delle emissioni di particelle solide;
2. una combustione che avvenga in condizioni povere – ovvero, in eccesso di aria – è caratterizzata da un abbassamento delle temperature ed è per questo incompleta: ciò può condurre alla formazione di composti organici condensabili (COC) nelle emissioni che, in fase di combustione non controllata, possono superare in quantità le ceneri volatili inorganiche;
3. una combustione che avvenga in condizioni ricche – ovvero, con locale o parziale mancanza di ossigeno – conduce alla formazione di particolato carbonioso, ossia carbonio elementare; inoltre, si rileva la formazione di COV ed IPA, di composti catramosi (TAR) e, inevitabilmente, di CO.

Diversamente, gli aerosol secondari derivano dalla ricombinazione di COV e composti carboniosi nell'atmosfera. Da notare che, contrariamente a quanto ci si può attendere, gli aerosol secondari contribuiscono in modo determinante alla formazione delle polveri fini inalabili nell'atmosfera e, grazie ad un effetto di riflessione e autoriscaldamento, all'amplificazione dell'inquinamento luminoso e del riscaldamento dell'aria.

Infine, ogni reazione di combustione produce tipicamente talune categorie di molecole allo stato gassoso, quali monossido di carbonio, anidride carbonica e vapore acqueo, quali prodotti di combustione. Più specificamente sotto l'aspetto degli inquinanti gassosi, sono da notare le emissioni di gas acidi, che usualmente hanno concentrazioni limitate, ma possono variare in modo consistente a seconda dell'effettivo tipo di biomassa in utilizzo. Tra questi gas acidi, si riscontrano gli ossidi di azoto (NO_x) e gli ossidi di zolfo (SO_x).

La formazione degli ossidi di azoto, che contribuiscono ai fenomeni di acidificazione, eutrofizzazione e formazione di ozono troposferico e particolato secondario, avviene secondo tre meccanismi: NO_x termici, prodotti dall'ossidazione dell'azoto contenuto nell'aria; prompt NO_x, prodotti in maniera rapida dalla reazione tra l'azoto dell'aria e i radicali idrocarburici che si formano in corrispondenza del fronte di fiamma – trascurabili rispetto agli altri; NO_x del combustibile, prodotti appunto dall'ossidazione dell'azoto contenuto nel combustibile, quando la temperatura di combustione è compresa tra 800-1200° C – tale meccanismo di formazione è abbastanza basso nelle biomasse legnose, anche se non trascurabile, mentre è elevato nel caso di pollina, letame e farine animali. Per quanto detto, dunque, i fattori determinanti sono la concentrazione di azoto nella biomassa, la concentrazione di ossigeno e la temperatura nell'area di fiamma.

Le emissioni di ossidi di zolfo, che contribuiscono al fenomeno dell'acidificazione, dipendono dal contenuto di zolfo nel combustibile di partenza, che in parte esce in atmosfera sottoforma gassosa e in parte condensa come solfato sulle pareti interne dell'impianto di combustione o reagisce direttamente con il particolato che si deposita sugli scambiatori di calore. Le emissioni possono dare problemi quando la concentrazione dello zolfo supera 0,2%: l'incremento nella concentrazione dello zolfo può anche risultare da una contaminazione chimica, ad esempio da insetticidi, colla, additivi, vernici e coloranti. La percentuale di zolfo nella cenere dipende dalla presenza di metalli alcalini, e in modo particolare dal calcio. È importante sottolineare che il parametro principale affinché sottoprodotti ed inquinanti siano limitati è la qualità e stabilità della combustione: in linea generale, tale parametro dipende dal livello di controllo e stabilità che caldaia e impianto possono mantenere sulla reazione stessa, ovvero dal livello qualitativo della progettazione della caldaia e dall'utilizzo di combustibile adeguato alle caratteristiche d'impianto. Per giunta, a livello impiantistico è bene considerare la presenza di accumulatori che, cedendo e/o accogliendo la propria riserva di energia termica, facilitino la gestione dei picchi o delle cadute di richiesta di calore, consentendo dunque di smussare repentine modificazioni violente del regime di combustione – variazioni che oltre a diminuire l'efficienza media dell'impianto,

contribuirebbero a produzioni più elevate di inquinanti. Infine, è bene considerare anche l'aspetto manutentivo, sia per la parte di combustione che per quella di abbattimento.

Per quanto detto, dunque, nell'Unione Europea il crescente consumo di biomassa per il riscaldamento degli ambienti domestici e per la produzione di energia è ascrivibile sia a politiche di risposta al cambiamento climatico che favoriscono il ricorso a fonti di energia rinnovabile che, in alcuni casi, a ragioni di convenienza economica, specie laddove si rilevano condizioni di povertà energetica e la materia prima può essere raccolta a livello locale. Tuttavia, questo aumentato e crescente utilizzo è fonte di preoccupazione per via del rilevante contributo della biomassa alle emissioni di particolato, monossido di carbonio, composti organici, rilasciati durante la combustione e ritenute pericolose per la salute umana e per l'inquinamento ambientale.

Relativamente all'Europa, stime condotte su diversi paesi indicano che la combustione della biomassa – soprattutto legnosa – ha contribuito in modo sostanziale ad aumentare la concentrazione di PM nell'aria. Le prospettive non sono ottimistiche nemmeno per il futuro: al 2020, alcune stime indicano che la combustione per uso domestico della biomassa rappresenterà la principale fonte di emissione di particelle primarie sottili, arrivando a pesare per il 38% delle emissioni totali.

Diversi sono gli studi che dimostrano come l'aumento delle particelle in atmosfera è direttamente correlato con gli effetti negativi per la salute della popolazione esposta. Le caratteristiche chimiche come il contenuto di metalli di transizione, gli idrocarburi policiclici aromatici, il materiale organico, il carbonio elementare e l'acidità del particolato fine sono indicate come le proprietà chiave del legame con gli effetti nocivi sulla salute. Tuttavia, le relazioni tra le proprietà fisico-chimiche delle particelle e gli effetti sulla salute dell'umano non sono ancora dimostrate in modo chiaro.

La poca letteratura scientifica disponibile consente di riportare gli esiti di alcuni studi epidemiologici che, tuttavia, forniscono indicazioni parziali e non sempre generalizzabili. Laddove in inverno la combustione di legna per uso residenziale contribuisce in maniera significativa all'inquinamento atmosferico da PM – in città come Seattle e Vancouver – sono state condotte diverse analisi sugli impatti che ne derivano sulla salute umana. Specificamente, è emerso come vi sia una correlazione tra l'elevata presenza di PM 2,5 durante la stagione fredda e la mortalità generale e cardiovascolare, ma non respiratoria; altri studi indicano che la presenza di particolato è correlata positivamente a problemi respiratori, quali congestione toracica e respiro affannoso nei bambini piccoli, all'aumento dell'uso di farmaci, alla diminuzione della funzionalità polmonare, a visite di emergenza per asma e ricoveri; ulteriori analisi hanno evidenziato connessioni positive tra la mortalità generale e la presenza di PM 10 in inverno. Circa gli effetti dell'esposizione cronica o sub-cronica al particolato, gli studi elaborati hanno evidenziato anche correlazioni positive con il basso peso alla nascita, bronchiolite infantile, otite media e ospedalizzazione per broncopneumopatia cronica ostruttiva. Per l'Europa gli studi sono molto scarsi:

in un'analisi condotta a Copenaghen sono emerse correlazioni tra la frazione di biomassa e ricoveri ospedalieri per problemi respiratori nelle persone di età superiore a 65 anni.

La crescente evidenza di effetti negativi sulla salute umana e sull'inquinamento ambientale generati dalle emissioni associate alla combustione incompleta della biomassa, pone questa fonte di energia rinnovabile in conflitto diretto con la sua percezione di fonte sicura e con il ruolo che dovrebbe avere nella lotta ai cambiamenti climatici. Per mitigare l'inquinamento atmosferico e i potenziali effetti correlati è necessario sviluppare tecnologie più efficienti. Oltre a questo, è fondamentale l'armonizzata adozione delle linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS che indicano i valori di PM 10 e PM 2,5 necessari per tutelare la salute pubblica: il rispetto di tali limiti richiede lo sviluppo e l'implementazione di strategie di controllo della qualità dell'aria e l'applicazione delle *best available technologies* in materia di combustione della biomassa, in analogia a quanto l'Unione Europea ha già fatto per il controllo delle emissioni dei veicoli.

OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI

Lo scopo di questa ricerca è la costituzione di un modulo catalizzatore per il trattamento delle emissioni gassose prodotte dagli impianti di cogenerazione, puntato soprattutto all'abbattimento degli NO_x. In particolare, si tratta di un catalizzatore ossidante con impregnazione con metalli nobili.

L'idea è quella di installare una configurazione a modulo estraibile per potere sostituire il substrato catalitico e facilitare la manutenzione mediante l'apertura di un'apposita flangia di ispezione, riducendo i tempi di intervento ed evitando così la rimozione dell'intero corpo dalla linea di scarico. L'obiettivo è di rispettare le norme vigenti per qualsiasi tipo di cippato/umidità del prodotto.

A livello nazionale i valori limite di emissione, specificati per tipologia di impianti, sono definiti nel D.Lgs 152/2006, allegati alla Parte V, Parte III, § 1.1 "Impianti nei quali sono utilizzati combustibili solidi" – ovvero, biomasse combustibili di cui all'allegato X (cippato e pellet di legno vergine).

Nonostante nel D.Lgs 152/2006 non sia specificato con chiarezza – come, invece, è stato fatto per il biogas (Allegato X, Parte II, sez. 6), per il quale sono indicati precisi valori limite di emissione nel caso di suo utilizzo in motori a combustione interna – si ritengono validi i valori limite riportati nella sottostante tabella.

mg/Nm ³ - 11% di O ₂	Potenza termica nominale installata	
	35-150 kW	151-3.000 kW
Polveri totali (PP)	200	100
Carbonio Organico Totale (COT)	-	-
Monossido di carbonio (CO)	-	300
Ossidi di azoto (NO₂)	-	500
Ossidi di zolfo (SO₂)	-	200

Tabella 1. Valori limite di emissione nazionali per impianti a biomasse combustibili

Nella parte I, sezione 1 dell'allegato X alla parte V, lettera s), si definisce gas di sintesi il gas proveniente dalla gassificazione di gas di sintesi, limitatamente allo stesso comprensorio industriale nel quale tale gas è prodotto. Tuttavia, per il syngas da legno non è indicata chiaramente la tecnologia di utilizzo e i relativi valori limite, mentre queste indicazioni sono chiare per i gas di sintesi derivati dagli idrocarburi.

Il concetto di gassificazione delle biomasse è introdotto più tardi nella legislazione ambientale nazionale. Nel Decreto Legge 3 novembre 2008, n. 171 – convertito nella legge 30/12/2008, n. 205 – l'art. 2 bis - *Disposizioni in materia di biomasse combustibili relative alla vinaccia esausta ed al biogas nei processi di distillazione, nelle condizioni di utilizzo di queste biomasse considerate sottoprodotto*, il § 2.1 recita “La conversione energetica delle biomasse di cui al paragrafo 1 può essere effettuata attraverso la combustione diretta, ovvero previa pirolisi o gassificazione. Questo concetto è richiamato anche dalla legislazione regionale in riferimento alle biomasse combustibili.

Relativamente ai criteri per l'installazione e l'esercizio degli impianti di produzione di energia collocati sul territorio regionale, il § 4 riporta – per gli impianti non soggetti all'autorizzazione alle emissioni – specifiche condizioni di installazione a seconda che l'impianto sia localizzato nella Fascia 1 (ex area critica) o nella Fascia 2 (ex aree di risanamento e mantenimento). Specificamente, in Fascia 1 è ammessa l'installazione o la modifica di un impianto a condizione che, nella situazione finale, sia soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- a. autoproduzione di energia elettrica: l'energia elettrica prodotta su base annua deve essere utilizzata dal produttore in una percentuale pari almeno al 70% – non è in ogni caso prevista la possibilità di utilizzo delle biomasse legnose;
- b. cogenerazione: la cogenerazione, in impianti nuovi o oggetto di modifica, è ammessa solo se sono rispettate le condizioni di cogenerazione previste dalla normativa vigente in materia ed è comprovato l'effettivo utilizzo del calore prodotto (riscaldamento/raffrescamento, utilizzo nel ciclo produttivo).

Si ricorda che l'art. 272 del D.Lgs 152/2006 definisce gli impianti e le attività in deroga. In particolare, l'elenco si riferisce a impianti e ad attività le cui emissioni sono scarsamente rilevanti agli effetti dell'inquinamento atmosferico. Sono compresi gli impianti di combustione, compresi i gruppi elettrogeni e i gruppi elettrogeni di cogenerazione, di potenza termica nominale pari o inferiore a 1 MW, alimentati a biomasse di cui all'allegato X alla parte V del D.Lgs 152/2006. Tuttavia, gli impianti che utilizzano biomasse combustibili devono in ogni caso rispettare almeno i valori limite appositamente previsti per l'uso di tali combustibili – nella parte III (e) II, dell'Allegato I alla parte quinta del D.Lgs 152/2006.

CONTENUTI DELLA RICERCA

Il contesto generale di riscaldamento globale e di riduzione delle emissioni di CO₂ ha evidenziato il ruolo importante della gestione boschiva e della produzione di energia derivata dal legno: poiché le foreste immagazzinano grandi quantità di carbonio e contengono più biomassa per ettaro di vegetazione rispetto ad altri biomi, l'aumento della copertura boschiva potrebbe ridurre i tassi di emissione di carbonio nell'atmosfera con impianti benefici contro il riscaldamento globale e il cambiamento climatico.

I sistemi di cogenerazione che funzionano con residui dal legno stanno così diventando più importanti nel panorama politico-economico. In particolare, in Europa, le politiche pubbliche hanno iniziato a sostenere lo sviluppo di impianti di cogenerazione nello scopo di accelerare la transizione energetica, che comunque sembra ancora modesta in confronto agli investimenti necessari.

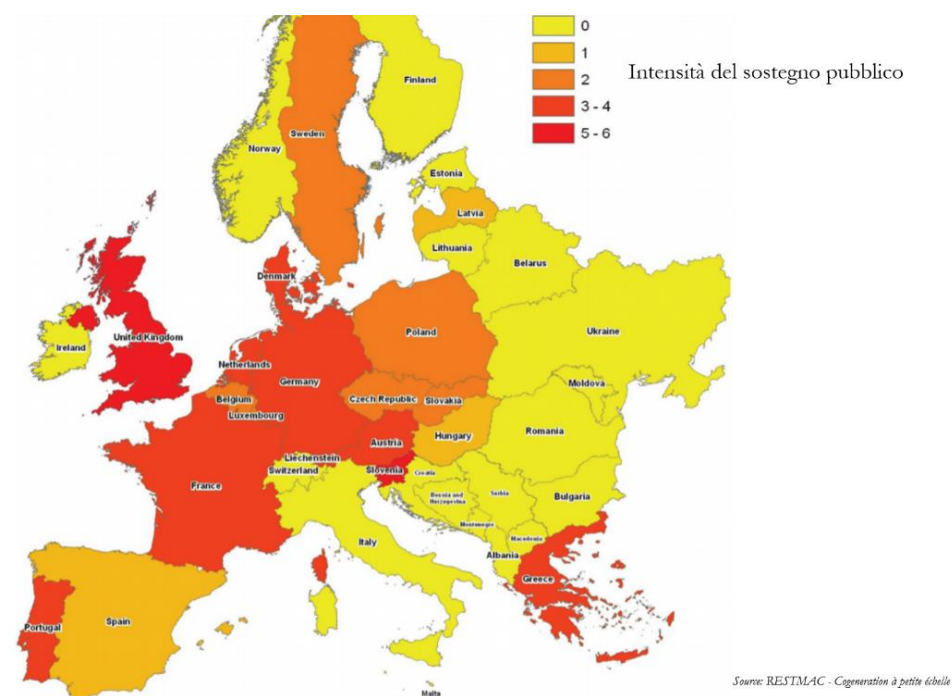


Figura 1. Intensità del sostegno pubblico verso gli impianti di cogenerazione

Come anticipato, il funzionamento degli impianti di cogenerazione a biomassa ha conseguenze sulla produzione di composti impattanti sull'ambiente. In particolare, le emissioni nocive degli apparecchi a biomasse legnose sono composte principalmente da ossidi di azoto (NO_x), ossidi di zolfo (SO_x), monossido di carbonio (CO) e polveri.

Se da un lato sembra ovvio che la transizione energetica comporterà un aumento del numero di impianti di cogenerazione a biomassa legnosa, dall'altro è necessario studiare le possibilità di riduzione

delle emissioni antropogeniche di NO_x e CO₂: le ricerche sperimentali sviluppate rientrano proprio in questo quadro concettuale.

Attualmente, per ricondurre le emissioni entro i limiti più restrittivi si deve ricorrere ad una serie di interventi di *retrofitting*, con l'utilizzo di diverse tecnologie.

Per quel che riguarda le emissioni di ossido di zolfo e altri eventuali composti acidi, è possibile ridurle attraverso alcune metodologie, quali processo ad umido (*wet scrubber*), che consiste nel far reagire i fumi caldi, preventivamente raffreddati in uno scambiatore, con una soluzione contenente il sorbente mediante spray; i gas desolforati vengono, quindi, nuovamente riscaldati e il prodotto di reazione va all'ossidatore per la produzione di gesso. Oppure, mediante processo a semi secco (*spray-dry scrubber*), che consiste nel far reagire i fumi con una soluzione di acqua e CaO sotto forma di spray all'interno di un dispositivo per tempi piuttosto lunghi, per cui l'acqua evapora e i residui prodotti vanno al sistema di rimozione del particolato. Infine, attraverso un processo a secco (*dry scrubber*), dove la reazione con i sorbenti a base di calcio e sodio vengono introdotti in caldaia, nel condotto d'uscita dei fumi, con una soluzione ibrida; anche qui i prodotti vanno al sistema di rimozione del particolato.

Per quanto riguarda il particolato, si ricorre innanzitutto ad una accurata messa a punto dei motori. Può essere conveniente anche riconsiderare il tipo di combustibile impiegato, orientandosi verso soluzioni più pulite – sempre che siano utilizzabili dal punto di vista tecnico su un particolare tipo di motore e che la vigente politica fiscale li renda economicamente convenienti. Nel caso in cui tali rimedi non siano praticabili, o sufficienti, per ridurre il particolato si dovrà ricorrere all'impiego di particolari tecniche basate sulla combustione delle particelle, le quali una volta trattenute su un substrato ceramico o metallico – in forma spugnosa oppure strutturata in cellette – potranno essere ossidate termicamente in modi diversi: riscaldamento periodico con resistenze elettriche, addizione di alcool.

Infine, una significativa riduzione delle emissioni di ossidi di azoto del combustibile e di particolato si ottiene attraverso la cosiddetta combustione a stadi, in cui l'aria comburente o la biomassa vengono introdotti in zone diverse della camera di combustione in modo da realizzare una fase iniziale di gassificazione in difetto d'aria e di completare la combustione con eccesso d'aria in una seconda sezione dell'apparecchio, utilizzando sistemi automatici di controllo e di regolazione della combustione. Alternativamente, si procede rimuovendo le emissioni formate dai gas di combustione attraverso opportuni sistemi di contenimento e riduzione, quali filtri a maniche, precipitatori elettrostatici e cicloni per il particolato e sistemi di riduzione catalitici (SCR) e non catalitici (SNCR) per gli ossidi di azoto.

Specificamente, il filtro elettrostatico è un sistema che, attraverso una differenza di potenziale indotta tra degli elettrodi di emissione e di raccolta, realizza la separazione delle particelle contaminanti dal gas vettore che viene fatto fluire tra gli elettrodi. Un tale sistema è costituito da elettrodi di raccolta, a forma di piastre o tubolari; elettrodi di scarica o di emissione, di forma filiforme, posizionati al centro rispetto alle piastre e parallelamente a esse; gruppo di alimentazione, per generare la differenza di potenziale richiesta al processo. Il forte campo elettrico generato provoca la ionizzazione del gas attorno alla

superficie dell'elettrodo di emissione e, conseguentemente, le polveri caricate vengono attratte verso gli elettrodi di raccolta dove sono trattenute e successivamente rimosse. Per quanto riguarda la pulizia, il metodo maggiormente impiegato è il sistema a secco che realizza il distacco delle polveri fissate sugli elettrodi percuotendo o trasmettendo vibrazioni all'elettrodo; il sistema a umido realizza la rimozione del contaminante attraverso l'impiego di liquidi che, scorrendo lungo le pareti dell'elettrodo di raccolta, rimuovono il contaminante.

Diversamente, il filtro a manica è un sistema che comporta la filtrazione del gas attraverso il passaggio di questo, grazie a un ventilatore, all'interno del bag house, che contiene una serie di compartimenti indipendenti, ciascuno contenente 105-400 maniche. Il materiale di cui sono costituite le maniche è trattato in maniera da avere una permeabilità tale da far passare il gas, ma non la polvere che vi aderisce; inoltre, sul tessuto si deposita velocemente uno strato di particolato che costituisce di fatto la parte più efficace del filtro. Rispetto al filtro elettrostatico, il filtro a manica comporta costi operativi maggiori dovute alle maggiori perdite di carico, ma ha un rendimento superiore, inversamente proporzionale alla velocità di filtrazione che in genere arriva a 99-99.5%.

Per la rimozione degli ossidi di azoto, la soluzione più impiegata è la tecnologia SCR, che consiste in un'iniezione di ammoniaca o suoi precursori nei gas combusti in presenza di ossigeno e di un catalizzatore, a temperature rientranti in un range ben determinato – che dipende dal tipo di catalizzatore usato. Questa tecnologia è quella più utilizzata nelle centrali termoelettriche poiché presenta le più alte efficienze di rimozione (70-90%). Tuttavia, il principale punto debole è che, oltre ad alti costi iniziali, sono alti anche i costi di esercizio, in quanto il quantitativo di ammoniaca da aggiungere deve essere assolutamente dosato perché potrebbe causare un rilascio di questo inquinante in atmosfera, che è altrettanto dannoso. Diversamente, la tecnologia NSCR consiste in un'iniezione nei fumi di un prodotto riducente, come l'ammoniaca, in azoto molecolare. La reazione avviene a una temperatura tra 900-1100° C e, se da un lato presenta minori costi per l'assenza del catalizzatore, dall'altro ha sicuramente minori efficienze di riduzione (25-50%).

I processi più efficaci per la rimozione degli ossidi di azoto sono senz'altro quelli che si basano sulla riduzione catalitica selettiva. Allo stato attuale, l'unico processo che ha trovato larga diffusione è quello che prevede l'impiego di un catalizzatore a base di pentossido di vanadio ed ammoniaca. Questo processo rappresenta la soluzione ottimale ai problemi di emissioni contenenti NOx, determinando inoltre il minore impatto ambientale tra le tecnologie attualmente disponibili. A differenza di altri processi, infatti, la riduzione catalitica selettiva non dà luogo a nessun tipo di effluente liquido e non immette in atmosfera sostanze diverse da quelle normalmente presenti. Questo metodo, ancora poco diffuso in Italia, è ormai diventato uno standard in Nord Europa e negli Stati Uniti.

Allo stato attuale delle conoscenze, dunque, il processo SCR rappresenta l'unico processo in grado di adeguare le emissioni alla normativa sempre più restrittiva. In genere, si interviene con dispositivi SCR a valle del trattamento effettuato con catalizzatori ossidativi o a doppio stadio. In alcune applicazioni, è

necessario un ulteriore stadio per l'eliminazione catalitica dell'ammoniaca in eccesso, eventualmente rilasciata dal catalizzatore SCR, anche se si tratta di una necessità poco frequente.

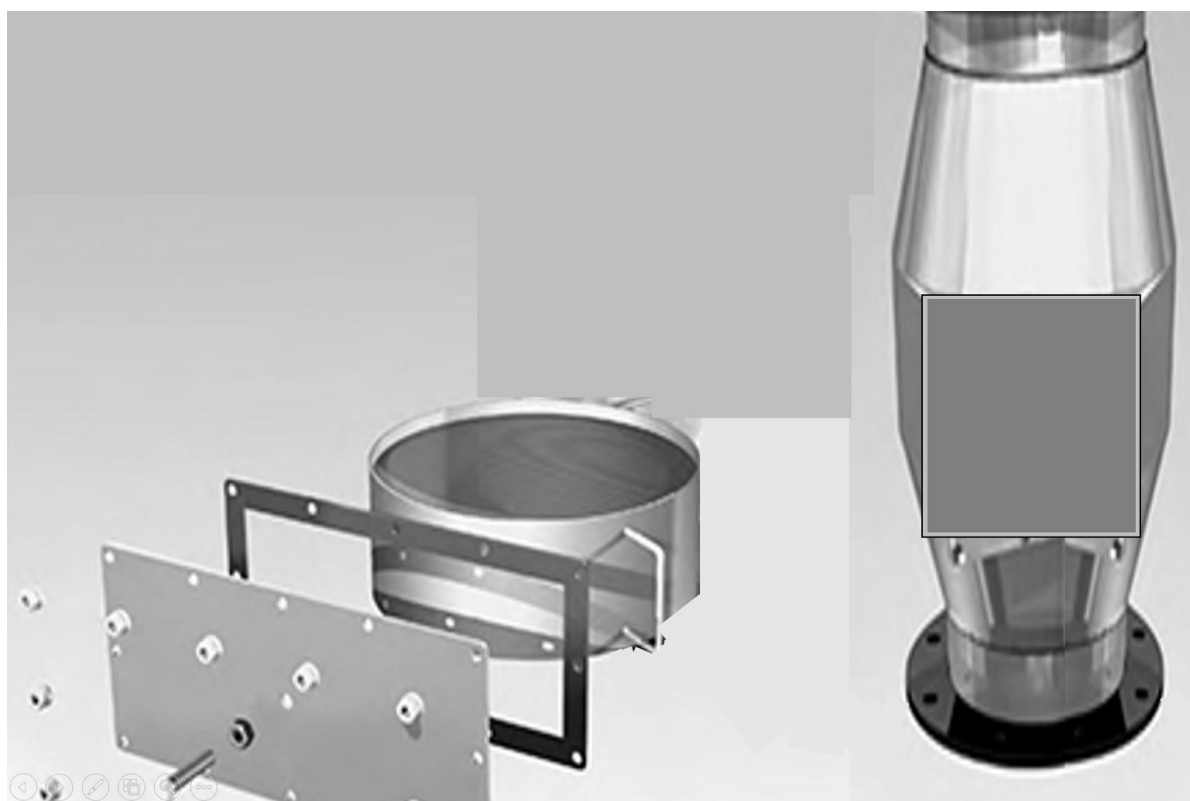


Figura 2. Disegno iniziale

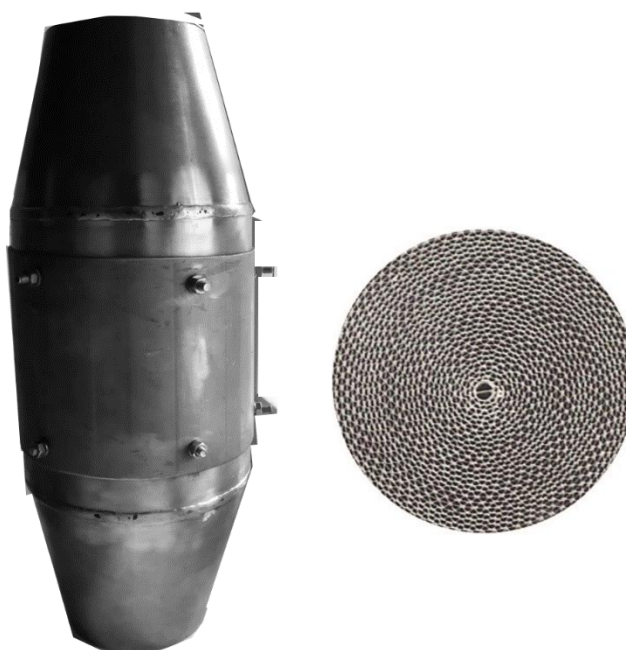


Figura 3. Realizzazione



Figura 4. Impatto del catalizzatore sui emissioni (NOx)

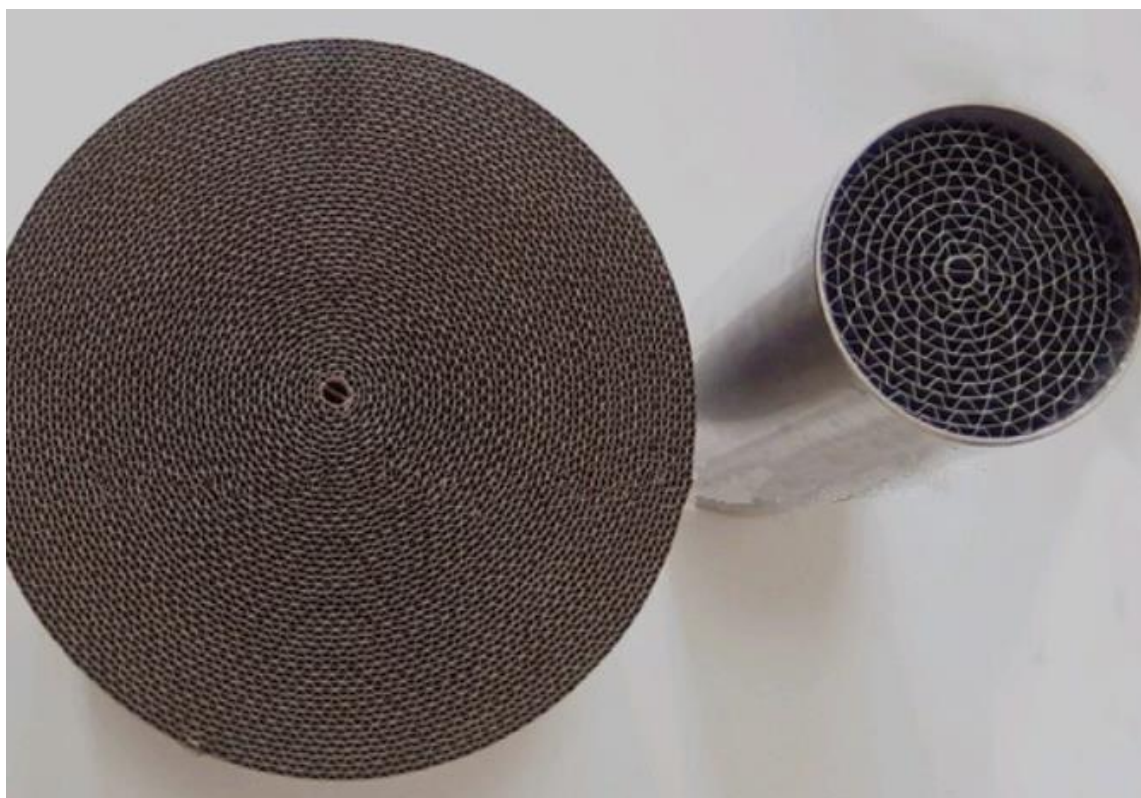


Figura 5. Degradazioni dopo 140 ore di funzionamento

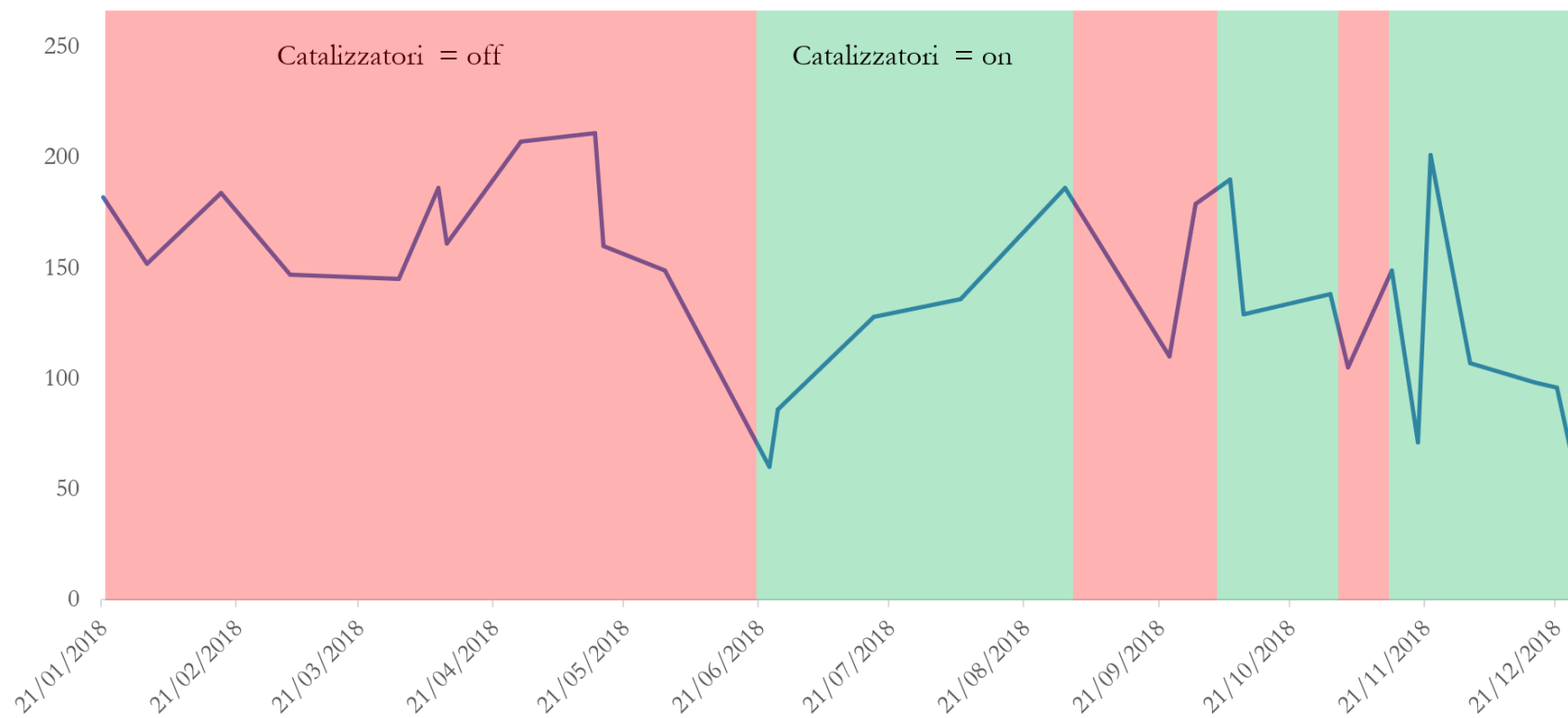


Figura 6. Diversi componenti testati

	Nox	Cipp type	Catal.	Average cat.	Average non cat.
21/01/2018	182	1	-	122	163
31/01/2018	152	1	-		
17/02/2018	184	1	-		
05/03/2018	147	1	-		
30/03/2018	145	1	-		
08/04/2018	186	2	-		
10/04/2018	161	2	-		
27/04/2018	207	2	-		
14/05/2018	211	2	-		
16/05/2018	160	3	-		
30/05/2018	149	3	-		
23/06/2018	60	4	1		
25/06/2018	86	4	1		
17/07/2018	128	4	1		
06/08/2018	136	5	1		
30/08/2018	186	5	1		
23/09/2018	110	5	-		
29/09/2018	179	6	-		
07/10/2018	190	6	1		
10/10/2018	129	6	1		
30/10/2018	138	7	1		
03/11/2018	105	7	-		
13/11/2018	149	8	1		
19/11/2018	71	8	1		
22/11/2018	201	9	1		
01/12/2018	107	10	1		
16/12/2018	98	10	1		
21/12/2018	96	11	1		
26/12/2018	51	11	1		

Figura 7. Dettaglio dei risultati

Analizzando i primi risultati ottenuti, è possibile ipotizzare che la modifica legata all'aggiunta del catalizzatore ha un certo impatto sui NOx in emissioni – in particolare, la media senza il catalizzatore è di 163, rispetto a 122 con il catalizzatore. Tuttavia, questa prima analisi deve essere approfondita dal momento che, durante il periodo di analisi, ci sono stati diversi parametri variati, tra cui innanzitutto il catalizzatore – modificato per diversi motivi, quali impermeabilità, montaggio di filtri diversi, posizione – ma anche la tipologia di cippato in ingresso.

In definitiva, le analisi devono essere ripetute seguendo un processo più omogeneo, con caratteristiche del catalizzatore che devono rimanere uguali su tutto il periodo della ricerca.

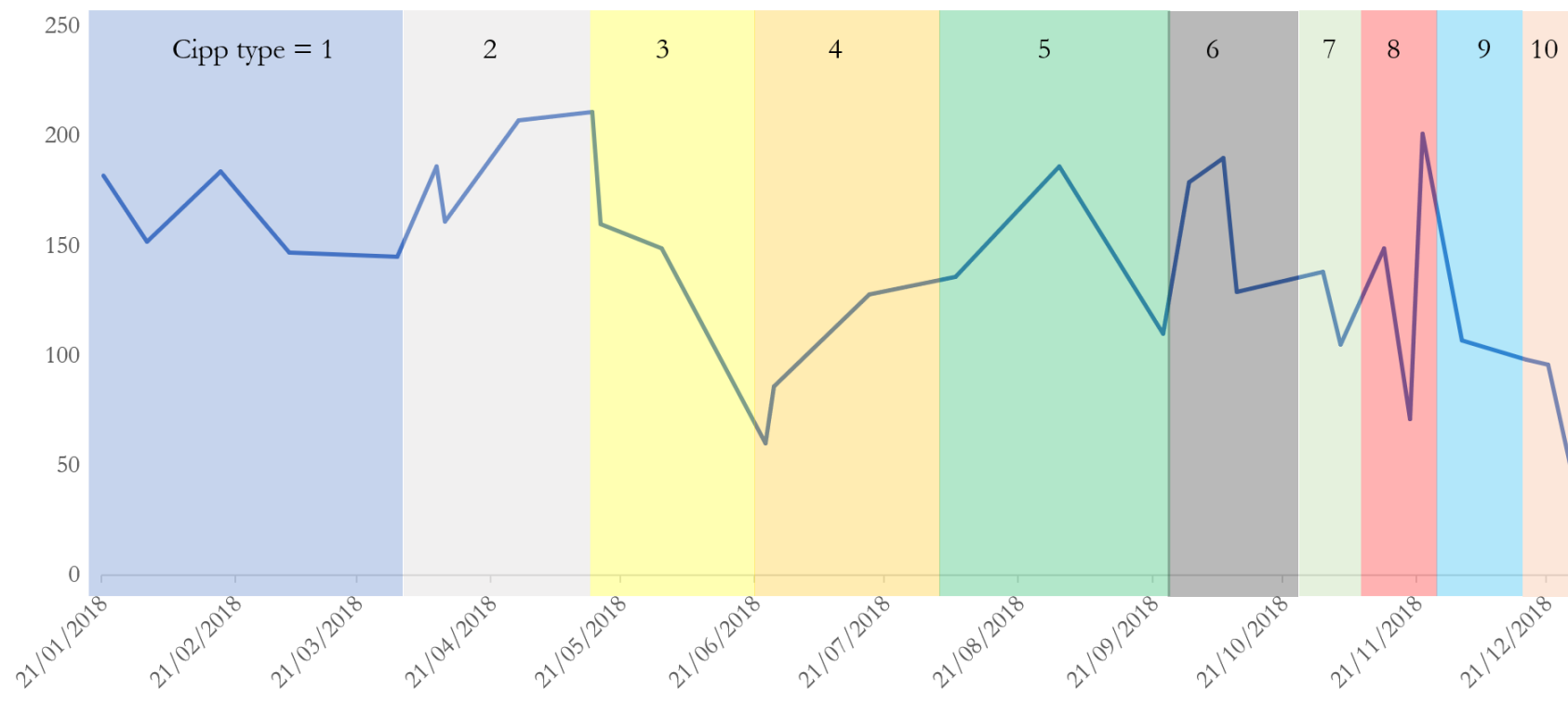


Figura 8. Impatto del cippato sulle emissioni NOx

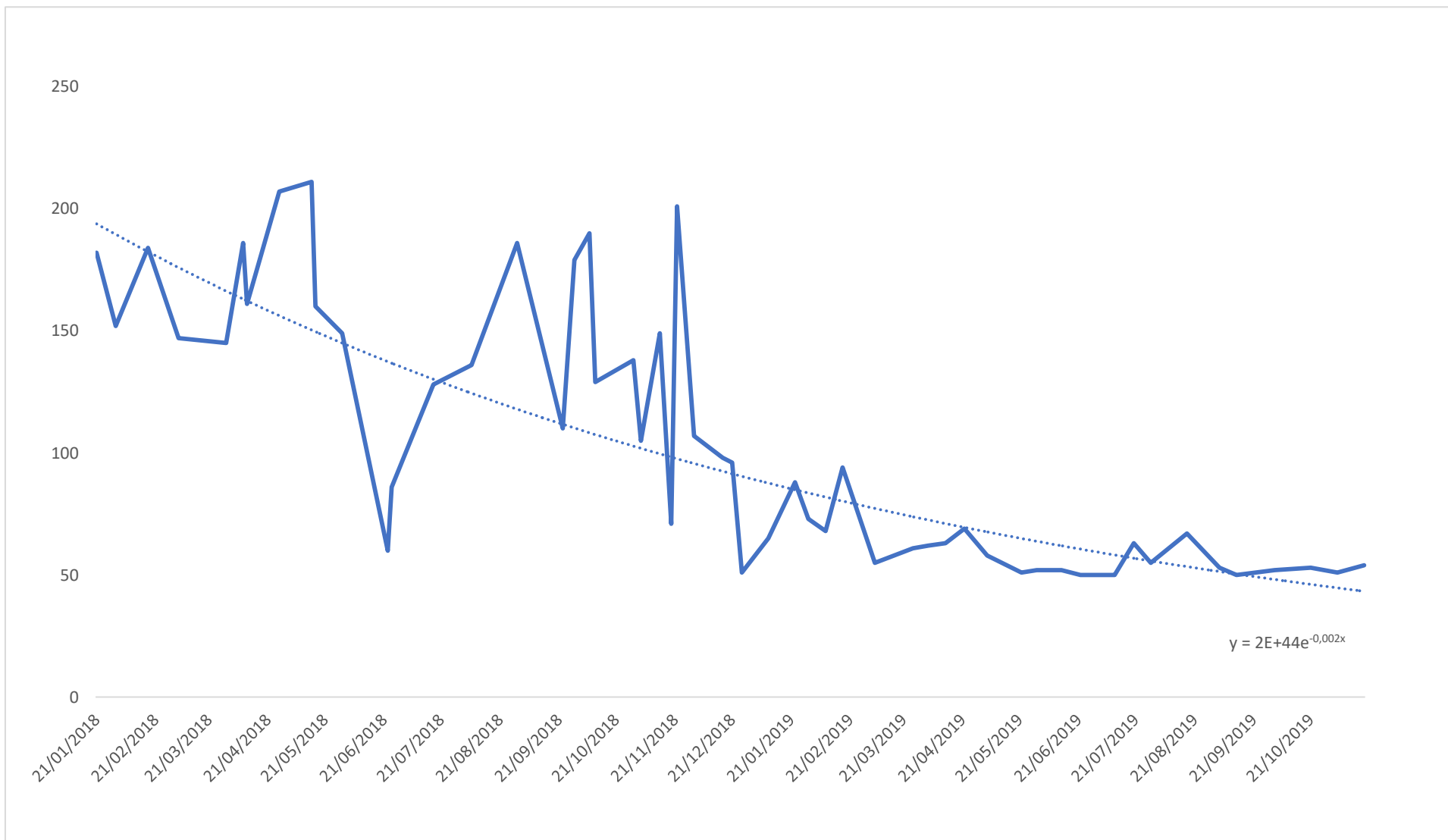


Figura 9. Miglioramenti del catalizzatore nel 2019

RISULTATI

Se l'impatto del catalizzatore sulla riduzione delle emissioni – in particolare, NOx – può essere affermata, questa ricerca sperimentale dovrebbe essere ripetuta per assicurare un valore costante di diversi parametri critici che ad oggi hanno un'alta variabilità:

- a. essenze legno
- b. pezzatura cippato
- c. umidità cippato
- d. qualità filtro catalizzatore
- e. posizione catalizzatore

Una volta confermata, diverse ipotesi sui parametri d) ed e) possono essere sviluppati per cercare di ottimizzare la riduzione delle emissioni.

L'impatto sulle altre emissioni – oltre ai Nox – potrebbe essere interessante e dovrebbe essere approfondito in una fase successiva.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Carrosio G. Strategie urbane di riqualificazione energetica: teleriscaldamento contro retrofit energetico delle abitazioni? *Culture della sostenibilità* 13, 130–142, 2014.
- Kalam A, King A, Moret E, Weerasinghe U. Combined heat and power systems: economic and policy barriers to growth. *Chem Cent J*. 2012;6 Suppl 1(Suppl 1): S3. Published 2012 Apr 23.
- Karltorp K. Challenges in mobilising financial resources for renewable energy. The cases of biomass gasification and offshore wind power. *Environ. Innovation Soc. Transitions*, 2015.
- Markovska N, Duić N, Mathiesen BV, Guzović Z, Piacentino A, Schlör H, Lund H. Addressing the main challenges of energy security in the twenty-first century—contributions of the conferences on sustainable development of energy, water and environment systems. *Energy*, 115, 1504-1512, 2016.
- Mion. *Analisi teorica di un impianto cogenerativo a biomassa legnosa*, 2014.
- Wild O, Prather MJ, Akimoto H. Indirect long-term global radiative cooling from NOx emissions. *Geophysical Research Letters*, 28(9), 1719-1722, 2001.

IMPOLLINATORI

Più dell'85% delle piante sulla terra hanno bisogno delle api e degli impollinatori per sopravvivere: tuttavia, per un complesso insieme di cause, quali la gestione intensiva delle aree agricole, la semplificazione del paesaggio e la riduzione/scomparsa di habitat, l'uso di pesticidi, la diffusione di malattie e parassiti, i mutamenti climatici, la perdita di comunità vegetali ricche di fiori, api e impollinatori sono a rischio estinzione. Il declino della popolazione di questi insetti indica ormai da diversi anni la necessità di un'inversione di tendenza.

Il tema ha attirato l'attenzione pubblica: le api e gli altri insetti impollinatori sono, infatti, essenziali per i nostri ecosistemi e il mantenimento della biodiversità: con il declino degli impollinatori, molte specie vegetali potrebbero a loro volta subire un declino o addirittura sparire insieme agli organismi che direttamente o indirettamente dipendono da esse; non solo, il declino degli impollinatori sia in termini di quantità che di varietà ha un impatto sulla sicurezza dell'approvvigionamento alimentare con potenziali perdite per i raccolti agricoli.

Attualmente, non esistono dati scientifici che descrivano la situazione nella sua interezza, ma esiste la prova di un declino considerevole tra gli impollinatori dovuto principalmente alle attività umane. Le cause sono molte: il cambiamento nell'uso del suolo per agricoltura o urbanizzazione, che produce perdita e degrado degli habitat naturali; l'agricoltura intensiva porta a paesaggi omogenei e alla scomparsa di varietà di specie vegetali, causando una perdita di risorse alimentari e di luoghi di nidificazione per gli uccelli; pesticidi e altri agenti inquinanti possono colpire gli impollinatori in maniera diretta e indiretta; anche la diffusione di specie esotiche invasive – come il calabrone asiatico – e parassiti sono particolarmente pericolose per le api da miele. Tra gli altri fattori, il cambiamento climatico e l'aumento delle temperature, con conseguenti eventi climatici estremi.

In virtù di ciò, negli ultimi anni sono state promosse diverse iniziative politiche per affrontare il declino delle popolazioni di api e impollinatori in Europa e Nord America. In particolare, per contrastare il problema e combinare gli sforzi a livello nazionale ed europeo, nel quadro delle politiche ambientali, agricole e sanitarie, la Commissione europea ha presentato nel 2018 la prima iniziativa per gli impollinatori dell'UE, il cui obiettivo è quello di sensibilizzare sul tema, informare sul declino degli impollinatori e contrastarne le cause.

OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI

La conservazione dell'habitat degli impollinatori può migliorare la biodiversità complessiva e i servizi ecosistemici che fornisce, proteggere la qualità del suolo e dell'acqua mitigando il deflusso e

proteggendo dall'erosione del suolo e migliorare l'estetica rurale. È probabile che l'integrazione di questi vantaggi secondari nei processi decisionali aiuti le parti interessate a valutare i compromessi impliciti nella fornitura di servizi ecosistemici. Per tali ragioni, la presente linea di ricerca ha lo scopo di costruire un modello di popolazione delle api, per testare l'impatto di diversi fattori sull'attività delle api.

CONTENUTI DELLA RICERCA

Il modello bioeconomico che si propone si concentra sull'impatto dell'eterogeneità sull'attività di api e impollinatori – che è noto per avere un impatto enorme, sebbene paradossalmente non sia così ben modellato in letteratura.

Questa eterogeneità è valutata in termini di:

1. Eterogeneità come parte di elementi semi-naturali

Valutata selezionando diverse posizioni vicino agli alveari in cui sono stati seminati molti fiori che attirano api e impollinatori (*strisce fiorite*).

2. Eterogeneità basata sull'HE compositivo

L'eterogeneità compositiva è la misura relativa al numero e al tipo di uso del suolo, ovvero la modalità di utilizzo del suolo - per fare ciò ovviamente è necessario acquisire molte informazioni per ogni porzione di terreno del dominio (metodo di gestione attuale, composizione dettagliata dell'impianto per ogni porzione).

3. Eterogeneità basata su HE configurazionale

Una volta registrata la composizione dettagliata di ciascun uso del suolo, è possibile calcolare quella che viene chiamata eterogeneità configurazionale: una misura dell'eterogeneità nei modelli di uso del suolo.

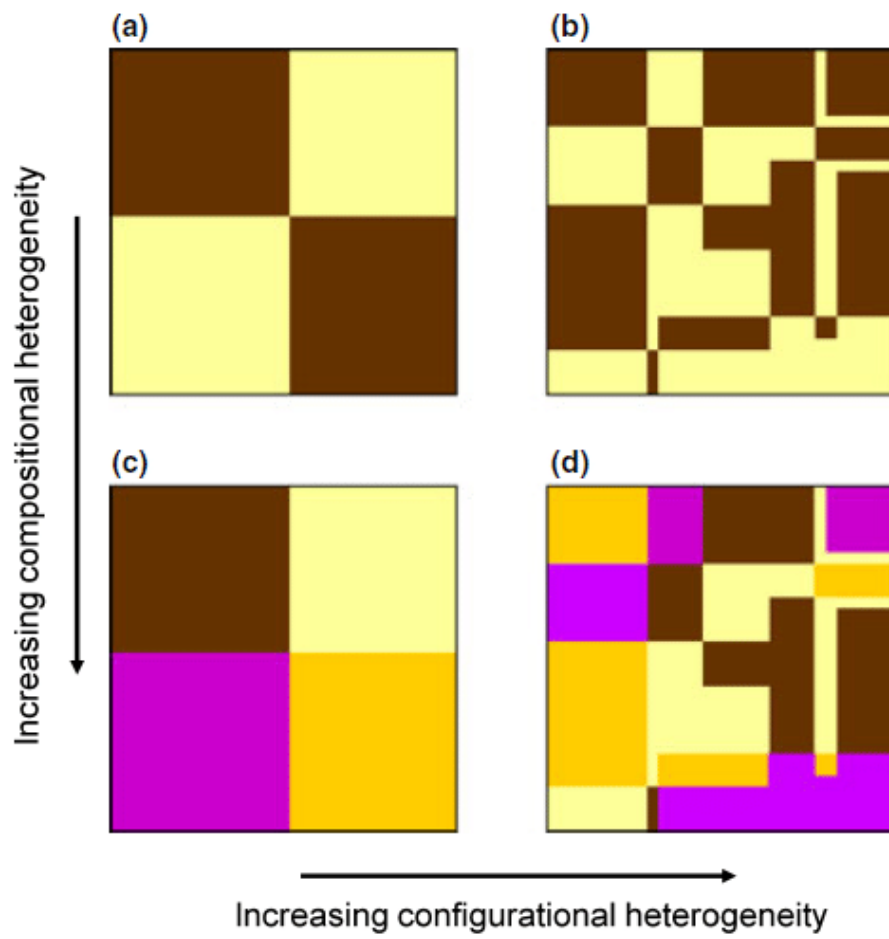




Figura 10. Mappatura intensiva ad altissima granulosità per eseguire una prima versione del modello

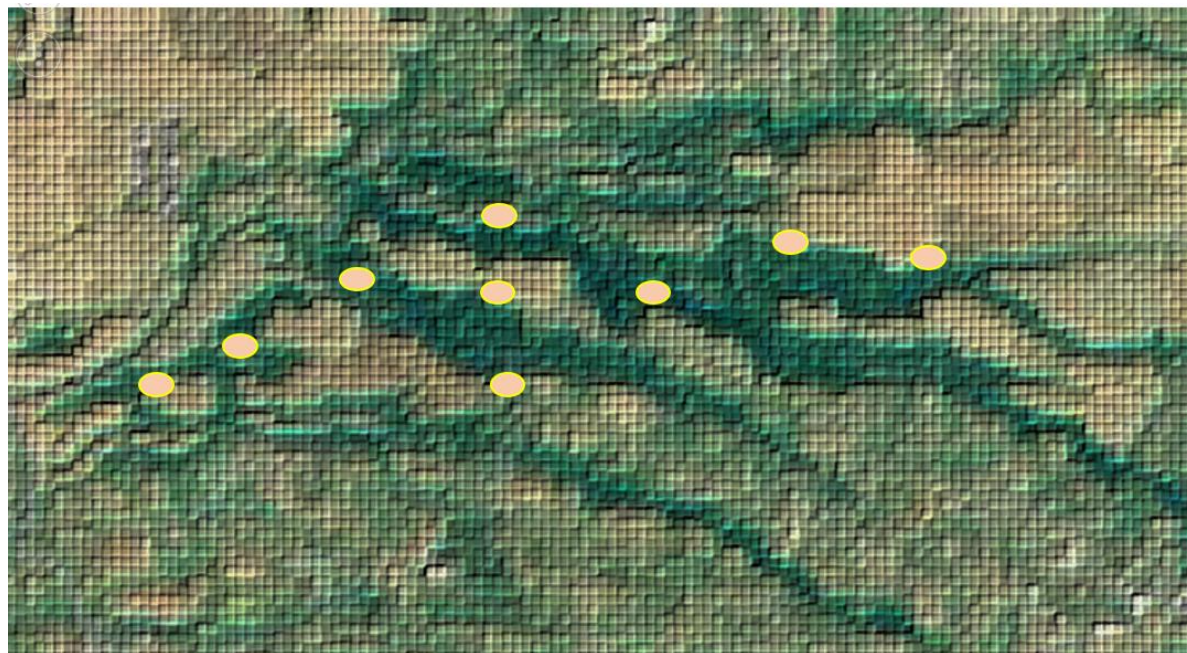
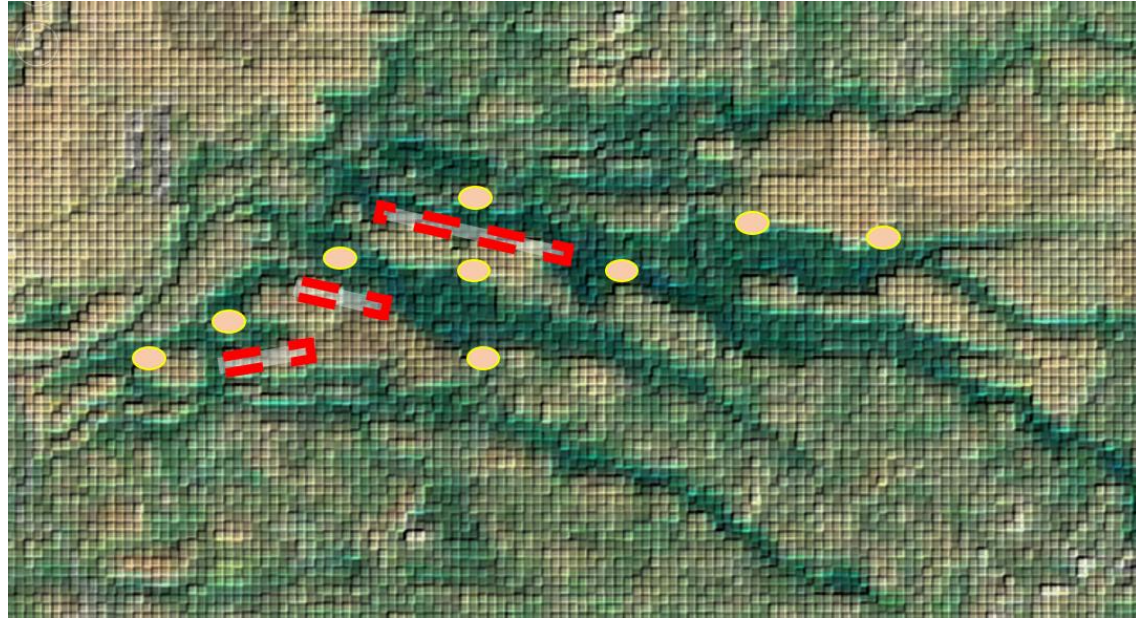


Figura 11. Posizionamento e sistemazione dell'alveare



Example of sewed semi natural flower-rich strips



Tested hive (Type 1)

Figura 12. Determinazione delle strisce fiorite



Figura 13. Aggiunta strisce fiorite

Values of the different spatial types																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
HE - %Semi-nat.	0%	68%	74%	32%	66%	100%	100%	43%	5%	52%	29%	19%	0%	21%	22%	65%	66%	34%	55%	74%
HE - Compo	13%	55%	69%	72%	4%	97%	92%	35%	31%	77%	69%	77%	39%	75%	43%	76%	10%	83%	35%	12%
HE - Config	93%	97%	18%	53%	34%	93%	45%	39%	59%	47%	31%	55%	88%	32%	17%	62%	83%	47%	16%	83%
Prod - direct (+/- in %)	9%	11%	20%	6%	12%	(20%)	18%	15%	5%	0%	(6%)	2%	(2%)	(13%)	(10%)	17%	(11%)	(3%)	14%	(6%)
Prod - non direct (+/- in %)	(13%)	(12%)	(3%)	20%	11%	(3%)	(15%)	(8%)	(10%)	1%	(12%)	(19%)	(10%)	4%	9%	6%	(15%)	18%	(8%)	(2%)

Hive Activity		% in the hive zone (kilometer)																			
#	(+/- %)	%1	%2	%3	%4	%5	%6	%7	%8	%9	%10	%11	%12	%13	%14	%15	%16	%17	%18	%19	%20
1	(3,0%)	8%	3%	10%	0%	0%	0%	6%	3%	6%	1%	1%	0%	9%	2%	3%	10%	8%	6%	7%	17%
2	7,6%	0%	10%	6%	10%	10%	3%	3%	7%	3%	6%	7%	1%	0%	8%	5%	1%	9%	3%	8%	0%
3	9,3%	4%	4%	5%	4%	3%	9%	5%	6%	8%	6%	1%	1%	2%	7%	1%	8%	6%	3%	8%	9%
4	5,6%	4%	4%	8%	7%	9%	10%	0%	0%	2%	1%	8%	9%	4%	5%	7%	5%	1%	4%	9%	3%
5	(7,3%)	5%	5%	18%	4%	2%	0%	7%	3%	7%	9%	6%	3%	1%	7%	4%	4%	7%	5%	0%	3%
6	9,7%	7%	10%	5%	8%	6%	7%	4%	1%	7%	8%	7%	4%	2%	1%	0%	6%	0%	6%	7%	4%
7	2,2%	4%	7%	8%	3%	3%	10%	10%	5%	1%	7%	4%	4%	6%	0%	10%	5%	0%	0%	6%	7%
8	(7,1%)	8%	10%	8%	9%	3%	4%	0%	1%	10%	8%	2%	8%	1%	7%	2%	7%	0%	1%	3%	8%
9	0,7%	8%	1%	9%	0%	9%	7%	9%	0%	3%	1%	3%	3%	4%	7%	0%	9%	6%	8%	7%	6%

Other data						Hives Activity
HE - %Semi-nat.	HE - Compo	HE - Config	Prod - direct (+/- in %)	Prod - non direct (+/- in %)		(+/- %)
49%	44%	60%	5%	(5%)	✓	(1,9%)
50%	52%	48%	4%	(1%)	✓	6,3%
53%	53%	57%	3%	(3%)	✓	4,5%
47%	56%	50%	2%	(1%)	✓	4,9%
48%	57%	49%	5%	(3%)	✓	3,4%
49%	57%	57%	5%	(2%)	✓	6,1%
55%	58%	54%	4%	(4%)	✓	(0,4%)
43%	54%	59%	4%	(3%)	✓	8,4%
54%	53%	55%	4%	(3%)	✓	(3,8%)

Figura 14. Analisi di correlazione basata su parametri selezionati

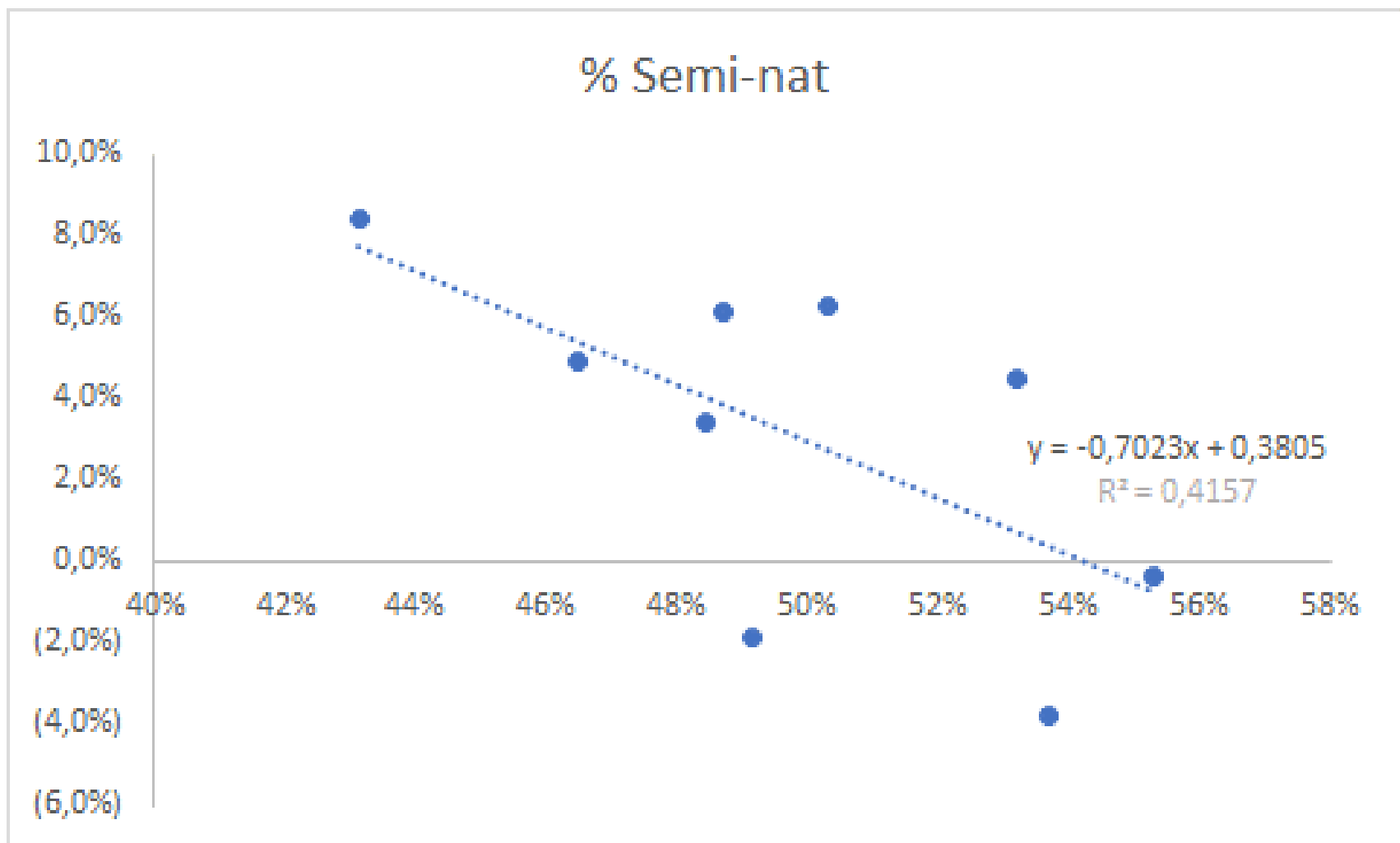


Figura 15. Eterogeneità basata sulla % di elementi semi-naturali

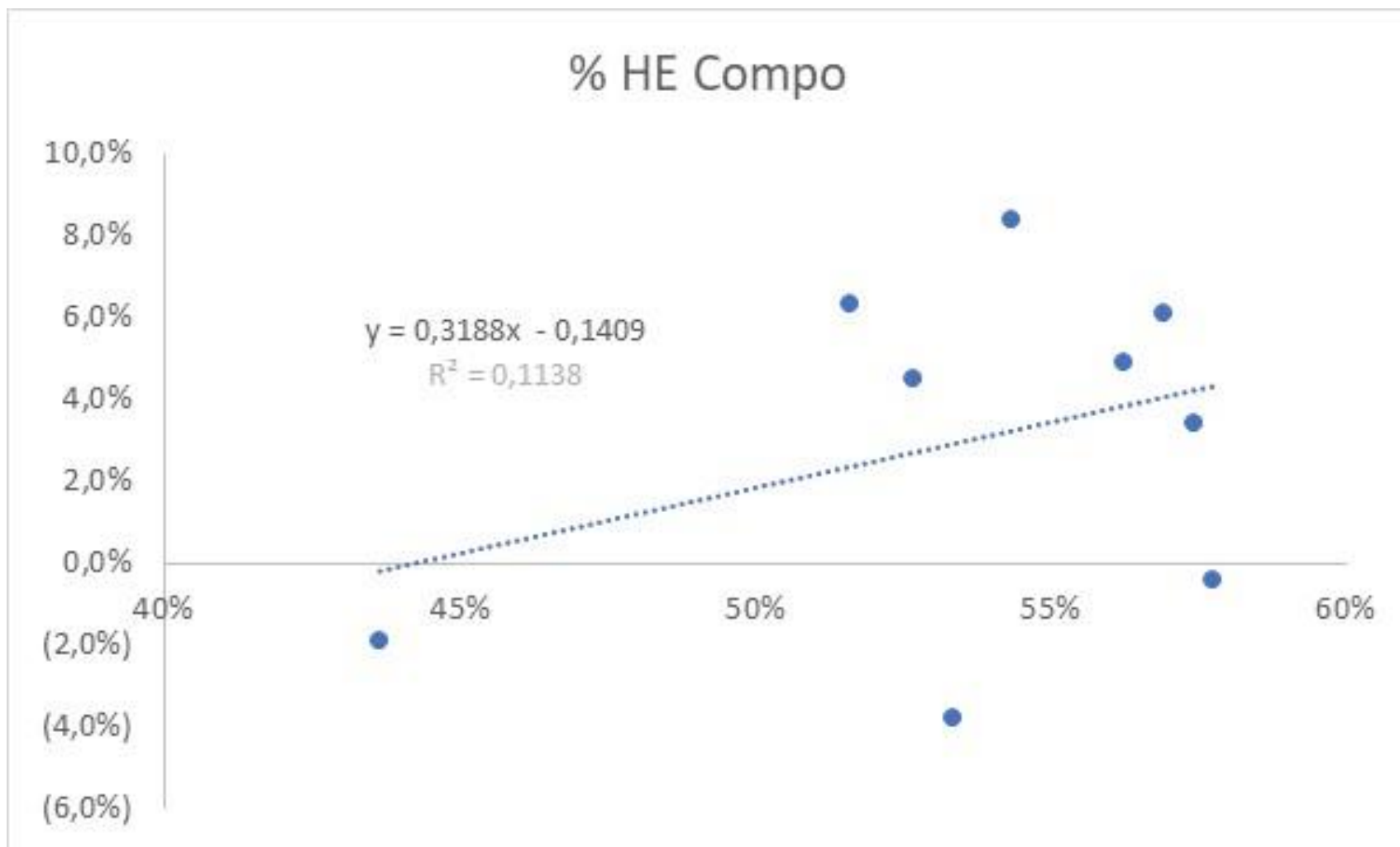


Figura 16. Eterogeneità basata sull'HE compositivo

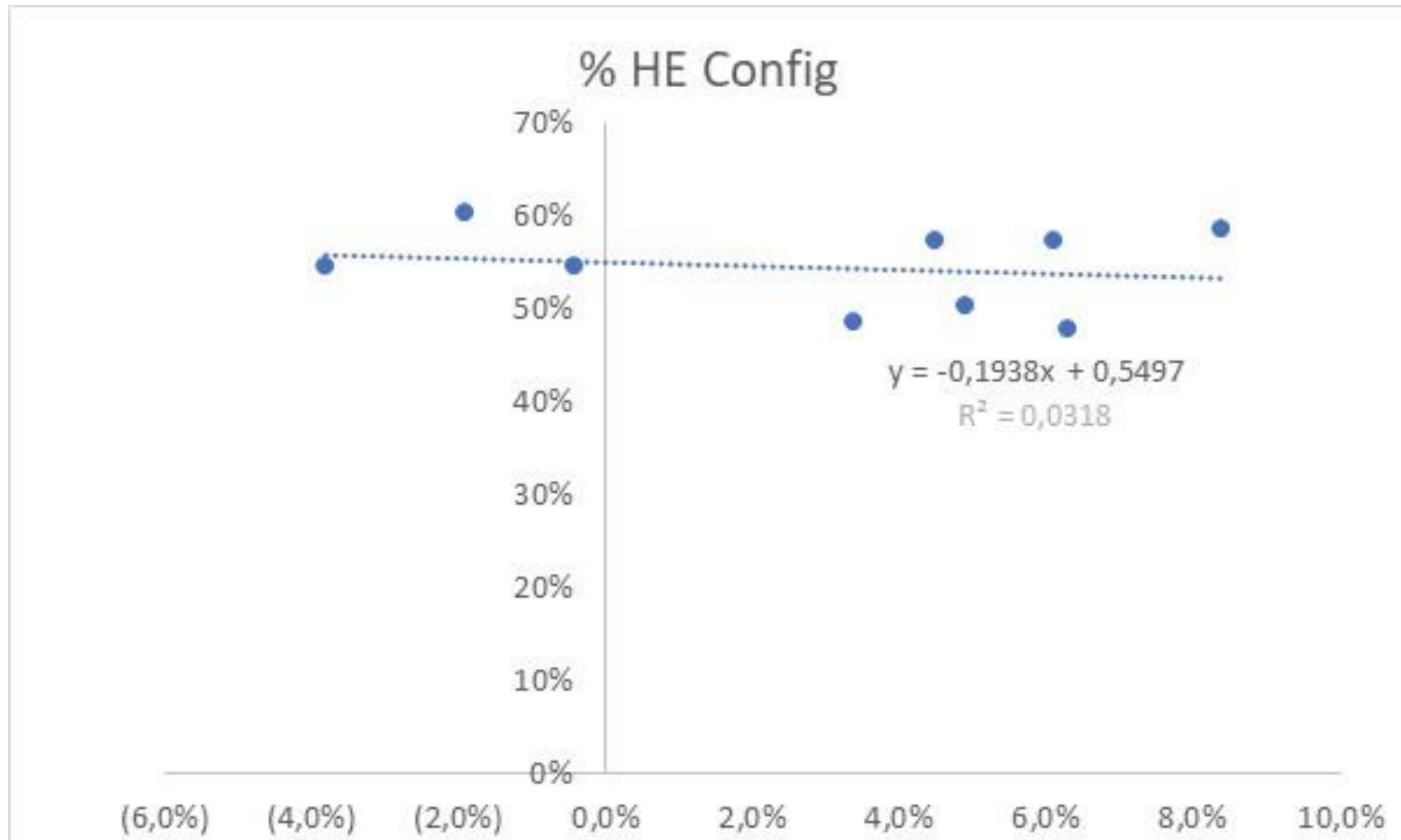


Figura 17. Eterogeneità basata sull'HE configurazionale

RISULTATI

L'attività degli alveari è stata monitorata per identificare le correlazioni esistenti tra attività dell'alveare e i tipi di eterogeneità. Dai risultati raccolti emerge chiaramente come l'attività degli alveari sia più sensibili (positivamente) all'HE compositivo e (negativamente) alle strisce fiorite, mentre risulta sorprendentemente non sensibile all'HE configurazionale.

La costruzione del modello è ancora in corso al fine di includere e valutare nuovi parametri da testare per trovare, includendone alcuni come l'uso di fertilizzanti.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Boomsma JJ, Schmid-Hempel P, Hughes WHO. Life histories and parasite pressure across the major groups of social insects, in Fellowes MDE, Holloway GJ, Rolff J. (Eds.), *Insect Evolutionary Ecology*, CABI Publishing, London, pp. 139–176, 2005.
- Brady SG, Sipes S, Pearson A, Danforth BN. Recent and simultaneous origins of eusociality in halictid bees. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1643–1649. Brosi BJ, Daily GC, Shih TM, Oviedo F, 2006.
- Brussard PF. The role of ecology in biological conservation, *Ecol. Appl.* 1, 6–12, 1991.
- Buchmann SL, Nabhan GP. *The Forgotten Pollinators*, Island Press, Washington, DC, 1006.
- Byrne A, Fitzpatrick Ú. Bee conservation policy at the global, regional and national levels, *Apidologie* 40, 194–210, 2009.
- Cane JH. Soils of ground-nesting bees (Hymenoptera: Apoidea): texture, moisture, cell depth, and climate, *J. Kans. Entomol. Soc.* 64, 406–413, 1991.
- Cane JH. Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict? *Conserv. Ecol.* 5, 2001.
- Durán G. The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside, *J. Appl. Ecol.* 45, 773–783, 2008.

SINERGIE TRA AGRO-ECOSISTEMI

Superare la netta separazione creata tra foreste, colture ed allevamenti animali può aumentare la biodiversità e mitigare i cambiamenti climatici. L'agroforestazione rappresenta così la chiave per mantenere e migliorare la fertilità del suolo attraverso la fissazione dell'azoto, beneficiando dell'assorbimento di nutrienti dal suolo e del mantenimento della materia organica; le condizioni fisiche del suolo migliorano anche per quanto riguarda gli apparati radicali, contrastando attivamente la compattazione del suolo, riducendo il deflusso superficiale e l'erosione e migliorando l'infiltrazione d'acqua.

Nelle moderne pratiche colturali intensive, foreste, agricoltura e zootecnia sono attività nettamente separate tra loro – sebbene non fosse così fino a pochi decenni fa. Ridurre le barriere tra alberi, colture ed allevamenti animali può, quindi, avere conseguenze positive sulla biodiversità degli agroecosistemi e per combattere e mitigare la crisi climatica.

L'agroforestazione è una nuova disciplina scientifica che, partendo dall'ecologia forestale ed agraria, studia le consociazioni tra alberi forestali e specie agrarie, nonché i servizi ecosistemici emergenti da sistemi complessi. Specificamente, l'agroforestazione indica un sistema agricolo promiscuo che prevede la combinazione di alberi e/o arbusti ed affini, gestiti razionalmente con la coltura agraria o con l'attività zootecnica di riferimento nell'appezzamento aziendale. Lo scopo di questa pratica consiste in una gestione basata su sistemi ecologici e sull'uso sostenibile di risorse naturali che attraverso l'integrazione di alberi nel sistema agricolo diversifica e sostiene la produzione per aumentare i benefici sociali, economici ed ambientali dell'uso della terra a tutti i livelli. Rispetto alla monocoltura, quindi, i sistemi agroforestali determinano un più efficiente uso delle risorse naturali alla base della produzione primaria – ovvero, la radiazione solare per la fotosintesi, l'acqua e i nutrienti minerali del suolo per l'assorbimento radicale.

I suoli e le foreste possono trarre importanti benefici da una crescita dell'agroselvicoltura. È in questo quadro della post-modernizzazione del settore agroforestale contro la crisi climatica e per la sicurezza alimentare e di materia prima legnosa che si instaura l'interesse verso i sistemi agroforestali.

In particolare, l'agroforestazione ottimizza la produzione riducendo, allo stesso tempo, il consumo di terreno; garantisce maggiore diversificazione della produzione, protezione del suolo da erosione e inquinamento e, infine, aumento della fertilità e stoccaggio di carbonio all'interno del terreno. A questi vantaggi, si uniscono una maggiore stabilizzazione dei suoli, che a cascata porta una mitigazione del cambiamento climatico e di adattamento, nonché benefici per la biodiversità del territorio. Altre ricadute positive dell'agroforestazione sono caratterizzate dall'azione frangivento, dal recupero della biomassa ricavata, dalla creazione delle cosiddette fasce tampone, in grado di diminuire il ruscellamento delle acque superficiali.

OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI

Nella possibilità di valorizzare i sistemi agroforestali tradizionali, secondo i principi dell'innovazione tecnologica sostenibile, questa ricerca si pone l'obiettivo di sviluppare un modello innovativo che includa un numero importante di parametri, che aiutino i gestori di agro-ecosistemi a valutare l'impatto bioeconomico delle loro decisioni.

CONTENUTI DELLA RICERCA

Il valore ricreativo del paesaggio è diventato una preoccupazione crescente in Europa ed è sempre più incluso nelle strategie globali di bioeconomia dei decisori. In questo scenario, si propone un modello bioeconomico spazialmente esplicito che includa il valore ricreativo dell'uso del suolo e le pratiche di gestione, attraverso l'identificazione di diversi scenari di utilizzo del suolo e diverse pratiche di gestione per analizzarne l'impatto su un'ampia gamma di servizi.

L'introduzione del bestiame tra foreste e aree agroforestali produttive ha diversi impatti, che devono essere studiati per valutarne i costi bioeconomici nonché i vantaggi derivanti – spesso trascurati dai gestori degli agro-ecosistemi. Oltre all'impatto dell'introduzione del bestiame nei sistemi agroforestali, è importante includere nel modello la relazione dell'introduzione del bestiame con l'emissione di gas serra – la fermentazione enterica dei bovini è un'importante fonte di metano, che contribuisce a rendere l'agricoltura un grande contributore delle emissioni di gas serra, considerata una delle maggiori minacce per gli ecosistemi, insieme all'intensificazione dell'uso del suolo.

In linea generale, poche ricerche sono state condotte sulle emissioni di metano enterico nei sistemi agroforestali. In particolare, la relazione bioeconomica dovrebbe essere una situazione senza compromessi poiché la bassa produttività degli animali è associata a un'elevata produzione di metano per unità. Una modellazione spazialmente esplicita sarebbe molto interessante da mettere in atto per indagare la relazione tra qualità del pascolo e produzione di metano, dal momento che una bassa qualità del pascolo è spesso associata ad un'elevata produzione di metano/unità di sostanza secca.

Per analizzare la modellizzazione delle emissioni di metano, dovrà essere effettuata l'indagine della relazione con altri fattori quali razza, età di turn-off, dimensione della mandria, variazioni delle condizioni pedoclimatiche. Questi modelli di emissione di gas serra dovranno essere inclusi in un più complesso modello bioeconomico che confronterà, attraverso una conversione di tutte le emissioni di gas serra in CO₂, la produzione di metano a benefici ecologici in termini di stoccaggio del carbonio, in una prospettiva di cambiamento di uso del suolo, e impatti delle praterie/agroforestali sullo stoccaggio del carbonio.

Un altro importante parametro incluso nel modello è relativo all'invasione di cespugli. Sono poche le ricerche che indagano la relazione tra bovini e invasione di arbusti, nonostante le significative conseguenze in termini paesaggistiche. Infatti, oltre al pascolo del bestiame, l'impatto diretto sulle comunità vegetali – attraverso azioni come mangiare le piante, compattare il suolo con il calpestio – l'invasione di cespugli è un'altra conseguenza degli ecosistemi di pascolo.

Come dettagliato di seguito, sono elencati diversi servizi ecosistemici derivati dall'invasione della macchia. Ad esempio, la modellazione bioeconomica può indagare la riduzione della disponibilità e dell'eterogeneità del foraggio implicata dall'attività del bestiame. In effetti, si può notare una significativa riduzione dell'erba e di altri prodotti simil-foraggi di alta qualità contemporaneamente all'aumento delle specie di bassa qualità/invasive.

L'invasione di cespugli ha molti impatti diversi e, talvolta, può anche migliorare la resilienza di alcuni ecosistemi, fornendo in alcuni casi foraggio per il bestiame dalle foglie e proteggendo erba e semi che possono facilitare la rigenerazione del pascolo.

Ecosystem service	Communal	Private	Wildlife management area
Provisioning (grazing resources for livestock or wildlife)	Potentially significant reductions in cattle production may be offset by increased goat and sheep production (Reed et al., 2007). Bushes may be used as an energy source or for charcoal production (Cunningham, 1998; Smit, 2004; Reed et al., 2007). Resins can be eaten and have medicinal uses, and resins from some species may have an economic value (Reed, 2005; Abdeta, 2011; Worku et al., 2011). Wood from bushes may provide materials for fencing and livestock corrals (Ellis et al., 1984; Jensen, 1984)	Grazing intensities are typically lower and cattle production may be maintained using herbicide or mechanical operations in large-scale ranches, so less impact of bush encroachment on cattle production (Archer and Smeins, 1991; Reed et al., 2007; McGranahan, 2008). Focus on cattle production means energy, food and medicinal uses more likely to be overlooked	These areas are not used intensively for livestock production, so few impacts of bush encroachment on provisioning services
Supporting (seed dispersal and nutrient cycling)	Protection of perennial grasses from grazing under juvenile bushes may provide a seed source from which surrounding rangeland can be recolonized in future (Dougill et al., 1999). Some evidence of higher concentrations of soil nutrients under bushes due to formation of nebkha dunes around base of bushes and formation of biological soil crusts (Dougill and Thomas, 2002; Dougill and Thomas, 2004; Thomas and Dougill, 2007). Reduced ground cover under bushes may increase soil erosion rates (Smit, 2004), however there is evidence that bush encroachment can reduce erosion, particularly on hillslopes, and can lead to the retreat of soil gullies where this increases vegetation cover (Grellier et al., 2012; Caviezel et al., 2014).	Same as for communal areas, though effects likely to be less pronounced assuming less encroachment or more bush removal	Bushes unlikely to reach densities that would have major impacts on seed dispersal or nutrient cycling in WMAs

Regulating (climate regulation)	<p>Bush encroached areas have greater biomass (including long tap roots) than grass-dominated areas, so they sequester and store more carbon from the atmosphere in their vegetation (Wiegand et al., 2005; Ward, 2005; O'Connor et al., 2014). Soil carbon sequestration and storage typically increases under bush encroachment but then declines if bush densities become so high as to inhibit understorey growth (Hudak et al., 2003) but this is may be offset by removal of trees for fuelwood in communal areas (Reed, 2005).</p>	<p>Assuming trees remain intact, bush encroached ranches will store more carbon than grass-dominated ranches. However this carbon is unlikely to meet additionality³ criteria for carbon to be traded on the voluntary carbon market</p>	Same as for private rangeland
Cultural (recreational activities)	<p>Where bush encroachment prevents cattle production, this compromises cultural services because cattle are a powerful status symbol in Batswana culture (Reed, 2005). However, if game are introduced, bush encroached areas may be able to support wildlife whilst providing recreational benefits for tourists (Perkins et al., 2002; Reed et al., 2007). Bush encroachment has been shown to reduce plant species richness in a number of studies (Reed et al., 2008; Ratajczak et al., 2012), although increases in plant species richness have been associated with particular encroacher species (e.g. Shackelton and Gambiza, 2008; Belay et al., 2013). There is evidence that decreased diversity of habitat structure in bush encroached systems reduces the diversity of lizard species in Namibia (Meik et al., 2002)</p>	Same as for communal areas	Same as for communal areas

Figura 18. Servizi ecosistemici da includere nella modellazione bioeconomica

In casi particolari, il pascolo del bestiame può aiutare ad aumentare la biodiversità anche attraverso l'eterogeneità degli habitat e fornendo nuovo habitat e cibo per una grande biodiversità, preda di specie più grandi come uccelli, pipistrelli, rane e altri mammiferi che a volte sono in pericolo – come sono gli scarabei stercorari, in declino in tutto il mondo a causa della frammentazione dell'habitat, dei cambiamenti nelle pratiche agricole e del declino della popolazione dei grandi mammiferi.

Altresì, possono aiutare a ridurre l'impatto negativo correlato al bestiame come la compattazione del suolo, l'aumento dell'infiltrazione e dell'umidità nel suolo, il miglioramento dell'aerazione e il portare il sottosuolo in superficie. Migliorando la struttura del suolo, possono migliorare il ciclo dei nutrienti e lo stoccaggio del carbonio nel suolo, aumentando così la fertilità del suolo e la crescita di piante e colture e diminuendo il consumo di fertilizzanti. Possono anche ridurre la lisciviazione di nutrienti nei corsi d'acqua, migliorando la sostenibilità dell'intero agroecosistema. Questa relazione è importante da modellare – e il monitoraggio degli scarabei stercorari può essere un ottimo indicatore da monitorare.

È particolarmente importante valutare la modellizzazione bioeconomica della situazione di trade-off tra il miglioramento della biodiversità rispetto alla compattazione del suolo da parte del bestiame che rende l'habitat inadatto per alcuni invertebrati con effetti dannosi per piccoli animali, come toporagni e rane che si nutrono di tali invertebrati. I modelli spazialmente espliciti possono consentire un'analisi incrociata di queste relazioni con i dati sull'uso del suolo – che è uno dei principali motori dei cambiamenti di fauna e flora.

La modellizzazione dell'uso del suolo degli scarabei stercorari può confortare l'impatto significativo dei sistemi agroforestali – e più in generale il ruolo degli elementi naturali nei paesaggi – poiché i boschi forniscono habitat adatti per gli scarabei stercorari e altri decompositori, con benefici sul ciclo dei nutrienti. Peraltro, questa modellazione spazialmente esplicita è interpretata anche alla luce dell'attuale dibattito scientifico sul risparmio di terra e la condivisione della terra, in relazione all'impatto della connettività dell'uso naturale del suolo tra i paesaggi su un insieme di servizi ecosistemici e biodiversità.

<i>Species</i>	<i>†Mass (mg)</i>	<i>Abundance ungrazed</i>	<i>Abundance cattle grazed</i>
<i>Catharsius renaudpauliani</i> Ochi & Kon	914.65	45	354
<i>Liatongus femoratus</i> Illiger	23.86	0	2
<i>Onthophagus (Onthophagus) orientalis</i> Harold	20.66	178	485
<i>Onthophagus (Serrophorus) rectecornutus</i> Lansberge	17.33	1	4
<i>Onthophagus (Onthophagus) waterstradi</i> Boucomont	14.61	98	0
<i>Oniticellus tessellatus</i> Harold	11.74	0	1
<i>Pharaphodius</i> aff. <i>marginellus</i> Fabricius	10.06	0	3
<i>Onthophagus (Gibbonthophagus) aff. obscurior</i> Boucomont	9.92	123	1891
<i>Onthophagus (Gibbonthophagus) aff. ventralis</i> Lansberge	8.17	115	30
<i>Onthophagus</i> aff. <i>foedus</i> Boucomont	8.17	1	0
<i>Onthophagus (Micronthophagus) vigilans</i> Boucomont	6.51	25	28
<i>Onthophagus (Gibbonthophagus) aff. limbatus</i> Herbst	6.51	2	23
<i>Onthophagus (Paraphanaeromorphus) trituber</i> Wiedemann	5.62	31	33
<i>Onthophagus (Onthophagiellus) crassicollis</i> Boucomont	5.24	253	1199
<i>Onthophagus (Micronthophagus) aff. echinus</i> Boucomont	4.52	68	48
<i>Onthophagus (Gibbonthophagus) luridipennis</i> Boheman	4.27	1	2
<i>Onthophagus (Furconthophagus) aff. liliputanus</i> Lansberge	2.31	0	1
<i>Eodrepanus</i> aff. <i>striatulus</i> Paulian	2.12	0	6
<i>Caccobius unicornis</i> Fabricius	1.18	61	88
Total		1002	4198

† taken from similar species in Slade *et al.* (2011) and Gray *et al.* (2014)

Figura 19. Abbondanza e massa di specie di scarabei stercorari catturati in bovini pascolati e non pascolati

In sostanza, questo progetto costituisce l'occasione per studiare modelli innovativi legati al bestiame. Un modello bioeconomico interno potrà, infatti, essere calibrato con i dati inerenti all'impatto delle caratteristiche fisiche dei boschi legati all'ombra e alla protezione dal vento e altri effetti stabilizzanti del clima – quali, ridurre lo stress da calore e il vento freddo del bestiame. Questo impatto significativo può ridurre l'effetto del freddo diretto di circa il 50% e ridurre la forza del vento di circa il 70%, a seconda di un ampio numero di fattori. L'impatto bioeconomico è valutato in quanto le conseguenze economiche di questi effetti sono importanti e possono essere correlate, ad esempio, alla riduzione della mortalità del bestiame, al miglioramento della produttività, alla riduzione dei costi di produzione. Infatti, la protezione fisica dalla radiazione solare è considerata uno degli approcci più immediati ed economici per aumentare la produttività dei ruminanti – più precisamente, è stato dimostrato che la struttura dell'ombra può ridurre il calore di circa il 30% nei bovini.

Il modello spazialmente esplicito tiene conto delle condizioni pedoclimatiche poiché si ottengono benefici più consistenti nei climi caldi e aridi rispetto alle regioni calde e umide – principalmente a causa delle differenze nelle sorgenti di radiazione e nei pozzi rispetto alla copertura nuvolosa.

Un particolare elemento delle aree boschive e agroforestali da tenere in considerazione è l'impatto ricreativo del bestiame. In particolare, diverse ricerche hanno evidenziato il fatto che le foreste e le praterie senza segni visibili di gestione forestale sono molto apprezzate. L'integrazione del bestiame tra i boschi ha diversi impatti sul valore ricreativo, aggiungendo valore attraverso la pulizia naturale della foresta e la creazione/manutenzione di percorsi. Le pratiche di gestione possono avere un impatto controverso a questo proposito, poiché ampie aree di taglio della rigenerazione, preparazione del suolo e residui di disboscamento riducono il valore ricreativo del diverso uso del suolo.

Nella prospettiva del Millennium Ecosystem Assessment, dunque, includere il valore ricreativo del paesaggio tra i modelli bioeconomici costituirebbe uno sviluppo molto interessante – il valore ricreativo dipende fortemente da un'ampia serie di fattori, incluso l'uso del suolo, che evidenzia l'importanza di modelli spazialmente espliciti. Le variazioni del valore ricreativo possono avere conseguenze economiche su diversi fattori, quali beni immobili, organizzazione di escursioni/turismo naturale/birdwatching o attività legate alla caccia. Queste particolari produzioni a volte richiedono un'analisi indiretta della disponibilità a pagare del consumatore, attraverso metodi alternativi come il costo del viaggio, la valutazione contingente o i prezzi edonistici.

Calibration model

Item	V	Index HE1	Index HE2	%A	%B	%C	%D	%E
Soil fertility (nitrogen fixation)	2,0	(75,6%)	70,0%	(51,7%)	(44,5%)	28,1%	(32,8%)	49,4%
Soil compaction /erosion	2,3	10,0%	(57,7%)	94,7%	12,4%	(31,7%)	69,3%	58,8%
Increase prod weeding reduction	5,5	68,2%	(66,4%)	(1,2%)	37,9%	0,8%	70,0%	72,9%
Fertilizer consumption	(1,6)	(31,4%)	(74,2%)	(95,6%)	(95,1%)	(36,0%)	26,3%	(92,0%)
GHG Emission	(3,2)	58,6%	9,5%	(67,5%)	33,9%	38,5%	80,1%	25,9%
Grass quality/invasive species	(0,4)	95,2%	33,0%	39,2%	(48,1%)	(15,3%)	(86,7%)	(45,8%)
Biodiversity	7,3	30,0%	86,1%	(48,0%)	(88,1%)	(47,8%)	(22,6%)	(13,5%)
Shade/wind protection	(4,5)	(93,4%)	58,7%	(79,2%)	3,5%	(12,6%)	9,3%	(88,3%)
Recreational value	2,1	76,8%	(18,5%)	(51,3%)	26,3%	88,3%	(59,2%)	(67,3%)
Total	107%	15%	5%	(29%)	(18%)	1%	6%	(11%)

Figura 20. Calibrazione parametri del modello bioeconomico

Different strategies								
	V	Index HE1	Index HE2	%A	%B	%C	%D	%E
Type 1	18	74%	31%	20	13	14	51	2
Type 2	96	49%	30%	22	4	6	60	8
Type 3	10	2%	11%	40	30	19	10	1
Type 4	84	71%	72%	7	6	3	82	2
Type 5	86	50%	24%	17	18	13	45	7
Type 6	95	31%	37%	23	9	18	40	10

	V Profit	Index HE1 Profit	Index HE2 Profit	%A Profit	%B Profit	%C Profit	%D Profit	%E Profit
Type 1	19,3	11%	1%	(5,8)	(2,3)	0,2	3,0	(0,2)
Type 2	102,7	8%	1%	(6,4)	(0,7)	0,1	3,6	(0,9)
Type 3	10,7	0%	0%	(11,6)	(5,4)	0,3	0,6	(0,1)
Type 4	89,9	11%	3%	(2,0)	(1,1)	0,0	4,9	(0,2)
Type 5	92,0	8%	1%	(4,9)	(3,2)	0,2	2,7	(0,8)
Type 6	101,7	5%	2%	(6,7)	(1,6)	0,2	2,4	(1,1)

Figura 21. Valutazione di diverse strategie basate sull'agroecosistema di Torrecchia¹

¹ HE1 e HE2 sono indici di eterogeneità. A, B, C, D ed E sono gli usi del suolo (A= dominato da cereali, B= dominato da leguminose, C= dominato dal fieno, D= dominato dalla foresta, E= misto). V è un indice relativo al numero di bovini.

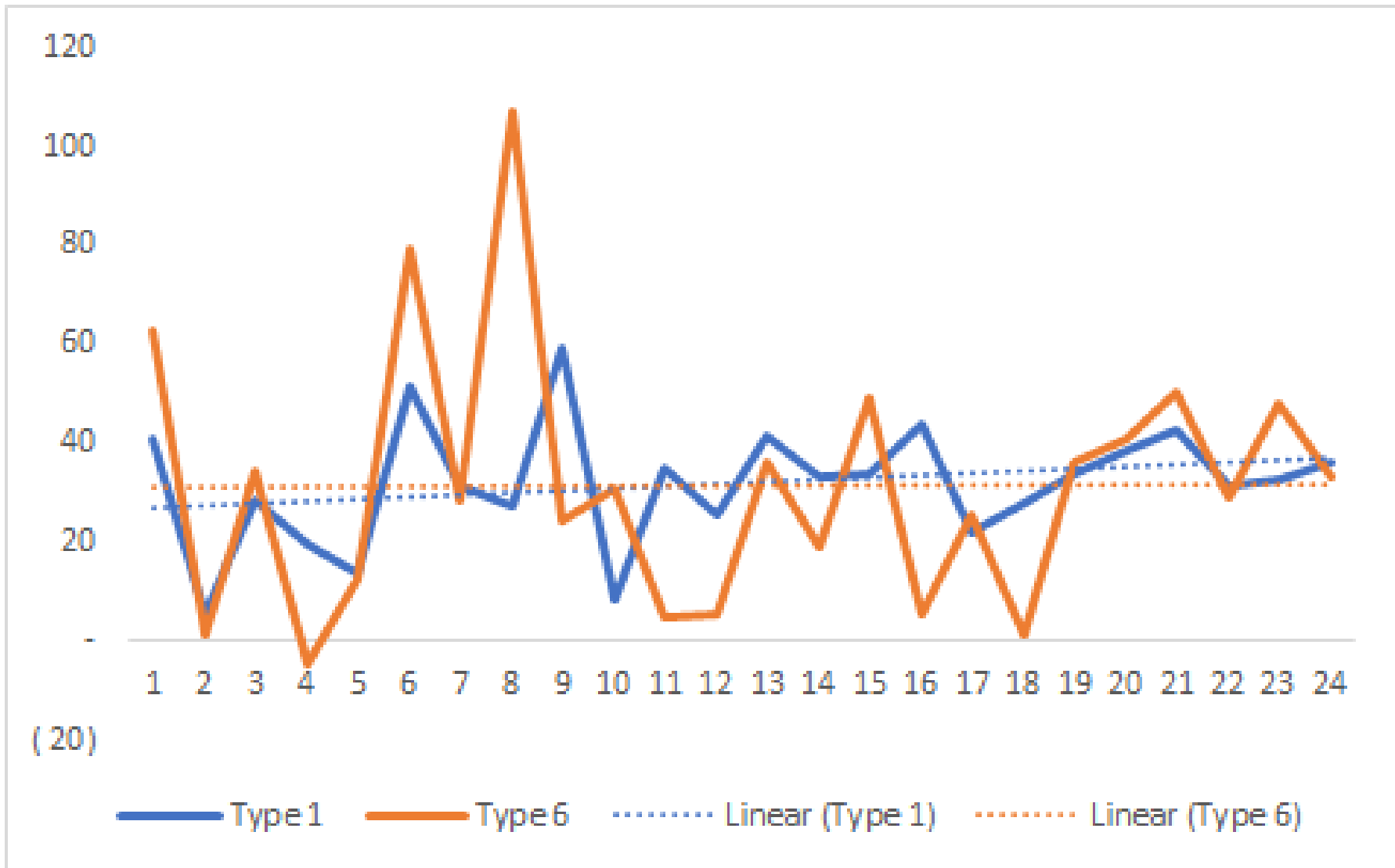


Figura 22. Evoluzione del profitto



Figura 23. Campionamento del suolo per l'analisi di qualità



Figura 24. Valutazione della biodiversità

RISULTATI

La presente ricerca è riuscita a utilizzare i metodi alternativi approfonditi precedentemente per aiutare le parti interessate nel processo decisionale ad analizzare le tendenze quantitative che indicano la funzione

dell'ecosistema delle decisioni di cambiamento dell'uso del suolo, che potrebbero implementare per mantenere o aumentare il valore ricreativo.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Arthurson V. Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land—potential benefits and drawback. *Energies*, 2(2), 226-242, 2009.
- Baker JM. Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, ecosystems & environment* 118.1-4 (2007): 1-5.
- Balmford B, Green RE, Onial M, Phalan B, Balmford A. How imperfect can land sparing be before land sharing is more favourable for wild species?. *Journal of applied ecology*, 56(1), 73-84, 2019.
- Biedenweg K, Williams K, Cervený L, Styers D. Is recreation a landscape value?: Exploring underlying values in landscape values mapping. *Landscape and urban planning*, 185, 24-27, 2019.
- Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95.1-2 (2007): 240-254.
- Börjesson P, Tufvesson LM. Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 108–120, 2011.
- Bruno JC, Ortega-López V, Coronas A. Integration of absorption cooling systems into micro gas turbine trigeneration systems using biogas: Case study of a sewage treatment plant. *Applied Energy*, 86(6), 837–847, 2009.
- Charmley E, Stephens ML, Kennedy PM. Predicting livestock productivity and methane emissions in northern Australia: development of a bio-economic modelling approach. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 109-113, 2008.
- Chinese D, Patrizio P, Nardin G. Effects of changes in Italian bioenergy promotion schemes for agricultural biogas projects: insights from a regional optimization model. *Energy Policy* 75, 189–205, 2014.
- Clark JH, Deswarte FE. *The Biorefinery Concept-An Integrated Approach*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2008.
- Clark JH, Deswarte F. *Introduction to Chemicals from Biomass*. John Wiley & Sons, 2015.
- Conway G. *The Doubly Green Revolution: Food for All in the 21st Century*. Cornell University Press, Ithaca, 1999.
- Daniel JB, Abaye AO, Alley MM, Adcock CW, Maitland JC. Winter annual cover crops in a Virginia no-till cotton production system: II. Cover crop and tillage effects on soil moisture, cotton yield, and cotton quality. *J. Cotton Sci*, 3(3), 84-91, 1999.

-
- De Groot R, Hein L. Concept and valuation of landscape functions at different scales. In: Multifunctional Land Use: Meeting Future Demands for Landscape Goods and Services, 2007.
- De Vita P, Di Paolo E, Fecondo G, Di Fonzo N, Pisante M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1-2), 69-78, 2007.
- Doyen L. Mathematics for scenarios of biodiversity and ecosystem services. *Environmental Modeling and Assessment*, 2018.
- Doyen L, Martinet V. Maximin, viability and sustainability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 36(9), 1414-1430, 2012.
- Doyen L, Bene C, Bertignac M, Blanchard F, Cisse AA, Dichmont C, Gourguet S, Guyader O, Hardy PY, Jennings S, Little LR, Macher C, Mills DJ, Noussair A, Pascoe S, Pereau JC, Sanz N, Schwarz AM, Smith T, Thebaud O. Ecoviability for ecosystem-based fisheries management. *Fish and Fisheries*, 18(6), 1056-1072, 2017.
- Eurobserv'Er. Biogas Barometer. (Paris). 2014.
- Eurobserv'Er. The State of Renewable Energies in Europe. (Paris), 2015.
- Elalamy Y, Doyen L, Mouysset L. Contribution of the land use allocation model for agroecosystems: The case of Torrecchia Vecchia. *Journal of environmental management*, 252, 109607, 2019.
- Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 2008.
- Foley J, Defries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard E, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz J, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK. Global consequences of land use. *Science (New York, N.Y.)*, 2005.
- Geertsema W, Bianchi FJ, Rossing WA. Designing multifunctional agro-landscapes: a multi-objective optimization approach. Dundee (Scotland, UK) March 29-31, 2017, 122, 117-121, 2017.
- Ghaley BB, Porter JR, Sandhu HS. Soil-based ecosystem services: a synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(3), 177-186, 2014.
- Godfray HCJ, Garnett T. Food security and sustainable intensification. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 2014.
- Grass I, Loos J, Baensch S, Batáry P, Librán-Embíd F, Ficičyan A, Udy K. Land-sharing/-sparing connectivity landscapes for ecosystem services and biodiversity conservation. *People and Nature*, 1(2), 262-272, 2019.
- Hendrickx F, Maelfait JP, Van Wingerden W, Schweiger O, Speelmans M, Aviron S, Augenstein I, Billeter R, Bailey D, Bukacek R, Burel F, Diekötter T, Dirksen J, Herzog F, Liira J, Roubalova M, Vandomme V, Bugter R. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect

-
- components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 2007.
- Holzhammer A, Seppelt R. Evaluating cost-effectiveness of conservation management actions in an agricultural landscape on a regional scale. *Biological Conservation*, 2007.
- Janssen K, Saatkamp H, Komen H. Cost-benefit analysis of aquaculture breeding programs. *Genetics Selection Evolution*, 2018.
- Kassawmar T, Eckert S, Hurni K, Zeleke G, Hurni H. Reducing landscape heterogeneity for improved land use and land cover (LULC) classification across the large and complex Ethiopian highlands. *Geocarto International*, 2018.
- Kimball S, Lulow M, Sorenson Q, Balazs K, Fang YC, Davis SJ, O'Connell M, Huxman TE. Cost-effective ecological restoration. *Restoration Ecology*, 2015.
- Kladivko EJ. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, 61(1-2), 61–76, 2011.
- Klijn JA. Driving forces behind landscape transformation in Europe, from a conceptual approach to policy options. Volume 4 - The New Dimension of the European Landscapes, 2004.
- Klopfenstein NB, Rietveld WJ, Carman RC, Clason TR, Sharrow SH, Garrett G, Anderson B. *Silvopasture: an agroforestry practice*, 1997.
- Kremen C. Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1355(1), 52-76, 2015.
- Laiolo P. Spatial and Seasonal Patterns of Bird Communities In Italian Agroecosystems. *Conservation Biology*, 19(5), 1547{1556, 2005.
- Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environment international*, 30(7), 981-990, 2004.
- Lal R. Enhancing ecosystem services with no-till. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(02), 102–114, 2013.
- Lindenmayer DB, Laurance WF, Franklin JF. *Ecology: Global decline in large old trees*, 2012.
- Mäntymaa E, Tyrväinen L, Juutinen A, Kurttila M. Importance of forest landscape quality for companies operating in nature tourism areas. *Land Use Policy*, 104095, 2019.
- McLaughlin A, Mineau P. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 55(3), 201-212, 1995.
- Mohan SV, Nikhil GN, Chiranjeevi P, Reddy CN, Rohit MV, Kumar AN, Sarkar O. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: critical review and future perspectives. *Bioresource technology*, 215, 2-12, 2016.
- Molina JR, y Silva FR. Valuation of the economic impact of wildland fires on landscape and recreation resources: a proposal to incorporate them on damages valuation. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-261 (English). Albany, CA: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest, 2019.
- Mouysset L, Assa CR, Ay JS, Jiguet F, Lorriliere R, Doyen L. Bioeconomic impacts of agroforestry policies in France. *Land Use Policy*, 85, 239{248, 2019.
-

-
- Mouysset L, Doyen L, Jiguet F. How does economic risk aversion affect biodiversity? *Ecological Applications*, 2013.
- Mouysset L, Doyen L, Jiguet F. From population viability analysis to coviability of farmland biodiversity and agriculture. *Conservation Biology*, 2014.
- Mouysset L, Doyen L, Jiguet F, Allaire G, Leger F. Bio economic modeling for a sustainable management of biodiversity in agricultural lands. *Ecological Economics*, 70(4), 617-626, 2011.
- Mouysset L, Miglianico M, Makowski D, Jiguet F, Doyen L. Selection of dynamic models for bird populations in farmlands. *Environmental Modeling & Assessment*, 21(3), 407-418, 2016.
- Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A, Solorio B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654-1663, 2011.
- Nalle DJ, Montgomery CA, Arthur JL, Polasky S, Schumaker NH. Modeling joint production of wildlife and timber. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(3), 997-1017, 2004.
- Quijas S, Schmid B, Balvanera P. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, 11(7), 582-593, 2010.
- Reed MS, Stringer LC, Dougill AJ, Perkins JS, Athhopheng JR, Mulale K, Favretto N. Reorienting land degradation towards sustainable land management: Linking sustainable livelihoods with ecosystem services in rangeland systems. *Journal of Environmental Management*, 151, 472-485, 2015.
- Robinson RA, Sutherland WJ. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of applied Ecology*, 39(1), 157-176, 2002.
- Rockstrom J, Williams J, Daily G, Noble A, Matthews N, Gordon L, Wetterstrand H, DeClerck F, Shah M, Steduto P, de Fraiture C, Hatibu N, Unver O, Bird J, Sibanda L, Smith J. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4-17, 2017.
- Sabatier R, Doyen L, Tichit M. Reconciling Production and Conservation in Agrolandscapes: Does Landscape Heterogeneity Help? *1-10*. 2010.
- Sharrow SH, Fletcher RA. *Trees and pastures: 40 years of agrosilvopastoral experience in western Oregon*, 1995.
- Stoate C, Boatman ND, Borralho RJ, Carvalho CR, De Snoo GR, Eden P. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of environmental management*, 63(4), 337-365, 2001.
- Struik PC, Kuyper TW, Brussaard L, Leeuwis C. Deconstructing and unpacking scientific controversies in intensification and sustainability: Why the tensions in concepts and values?, 2014.
- Tilman D, Clark M. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518, 2014.
- Venkata Mohan S, Velvizhi G, Krishna KV, Babu ML. Microbial catalyzed electrochemical systems: a bio-factory with multi-facet applications. *Bioresource Technol.* 165, 355-364, 2014a.

Wall DH, Nielsen UN, Six J. Soil biodiversity and human health, 2015.

Watzold F, Drechsler M, Armstrong CW, Baumgartner S, Grimm V, Huth A, Perrings C, Possingham HP, Shogren JF, Skonhøft A, Verboom-Vasiljev J, Wissel C. Ecological-economic modeling for biodiversity management: Potential, pitfalls, and prospects, 2006.

Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Du JE, Folke C, Halpern BS, Jackson JBC, Lotze HK, Micheli F, Palumbi SR. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *science*, 314(5800), 787-790, 2006.

PROPERTY RIGHTS

La *tragedia dei beni comuni* è una situazione descritta da Hardin nel famoso articolo uscito nel 1968 nella rivista Science, in cui i diritti di proprietà non sono chiari, portando a un uso eccessivo delle risorse.

Diverse soluzioni sono state studiate per evitare questa situazione, di cui una implica il maggior intervento del governo tra investimenti, regole e norme, mentre l'altra una chiarificazione dei diritti di proprietà, concedendoli alla società civile (società, persone, associazioni).

OBIETTIVI E TRAGUARDI ATTESI

L'idea di questo studio è di capire se una innovazione legata ai diritti di proprietà potrebbe partecipare a una migliore gestione dei servizi economici. I risultati che si desidera ottenere rappresenterebbero, dunque, un miglioramento degli impatti ecologici a confronto di una situazione *Command & Control*. Specificamente, il fatto di acquisire diritti di proprietà sulla biodiversità potrebbe avere conseguenza positive sul recupero di benefici economici legati a questa proprietà: in questi termini, il manager dell'agroecosistema dovrebbe avere tutti gli incentivi e l'interesse finanziario per tutelare e preservare questa biodiversità.

In sostanza, lo scopo di questo studio è quello di approfondire le innovazioni legate ai diritti di proprietà per proporre nuovi sistemi di gestione delle risorse ecologiche agli enti gestori, in un atteggiamento diverso dal *Command & Control*.

CONTENUTI DELLA RICERCA

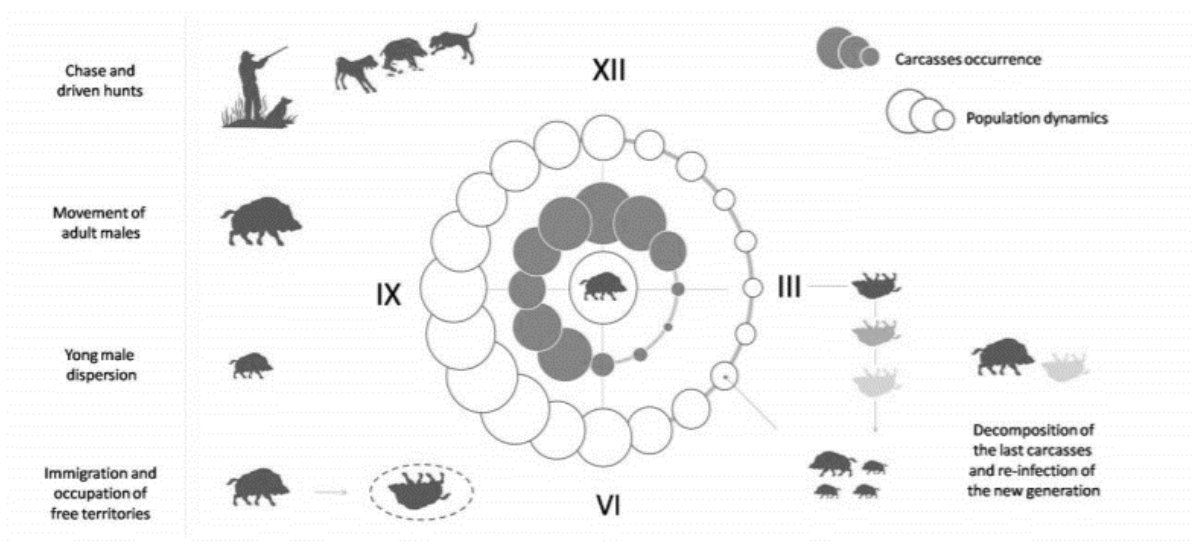
Con l'istituzione del Monumento Naturale, Torrecchia Vecchia fa parte delle aree protette dallo Spazio Economico Europeo (EEA), dal Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) ed è anche stata classificata come "Natural Monument" dall'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN). Quindi, l'agroecosistema è soggetto a una politica tipica di *Command & Control*: lo stato ha impostato numerosi vincoli ed obblighi per salvaguardare, valorizzare e proteggere la fauna selvaggia, l'abbondante vegetazione così come gli immobili e i siti archeologici presenti all'interno del territorio.

Il lavoro portato avanti è teso a valutare e testare due diversi sistemi di protezione dell'ambiente naturale:

1. sistema attuale, *Command & Control* con forti vincoli ecologici e di costruzione, tra cui l'impossibilità di vendere/utilizzare animali ed avere un beneficio economico – lo scenario, dunque, è quello in cui la natura è protetta perché la legge vieta al proprietario di alterarla.
2. Diritti di proprietà, in cui il proprietario della terra ha diritto su tutto ciò che si trova nella sua terra (compresi gli animali) per cui può vendere/beneficiare degli animali - la natura è, dunque, protetta perché il proprietario vuole trarne un profitto economico.

Per modellare le dinamiche sono stati raccolti molti dati sulla biodiversità, e in particolare su popolazioni di lupi, maiali selvatici, uccelli. Quindi, l'evoluzione di tale fauna è stata testata in entrambe le ipotesi:

- in un ambiente di *Command & Control* in cui è impossibile interagire/incidere sull'evoluzione della fauna;
- in un mondo di diritto di proprietà in cui è possibile cacciare /mantenere/vendere/controllare



alcune popolazioni di fauna.

Figura 25. Maiali selvatici: dispersione in ambito abilitato

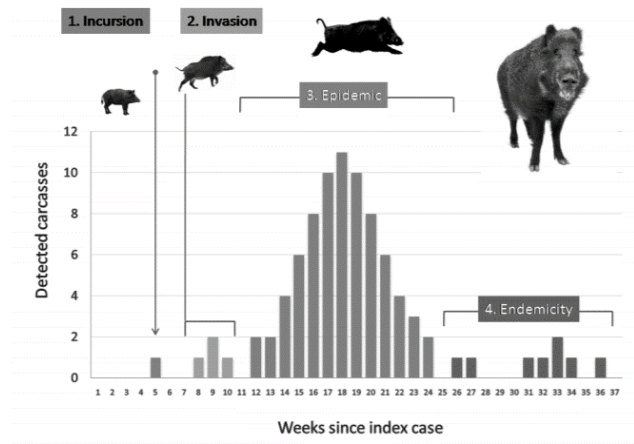


Figura 26. Maiali selvatici: evoluzione delle epidemie e relazione con popolazione

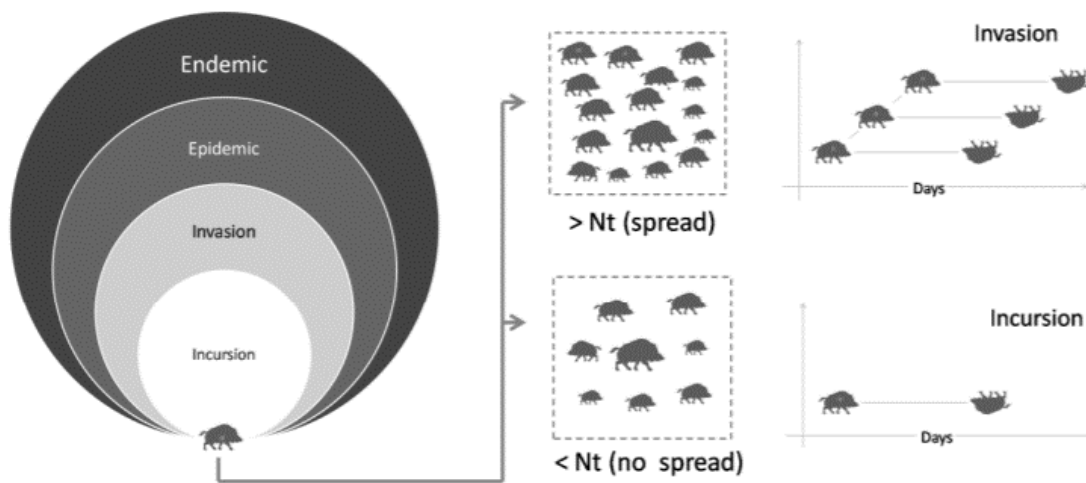
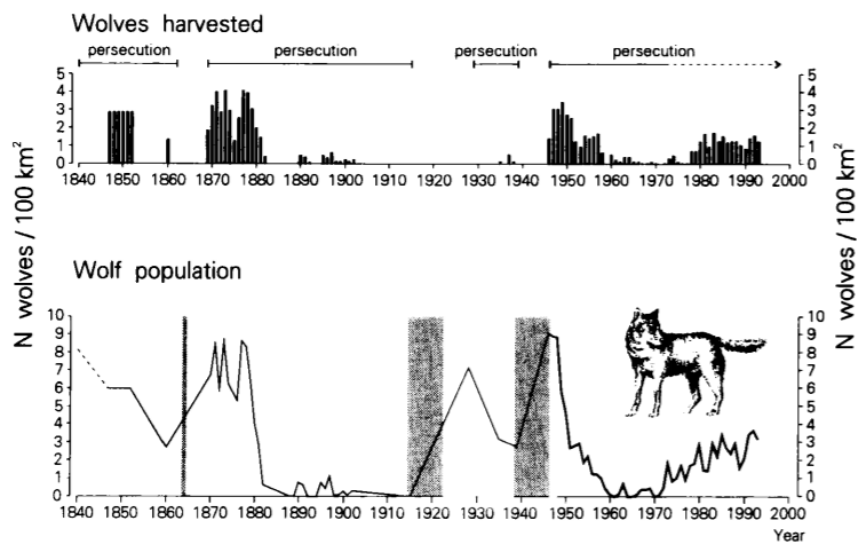


Figura 27. Maiali selvatici: evoluzione delle epidemie con e senza caccia controllata



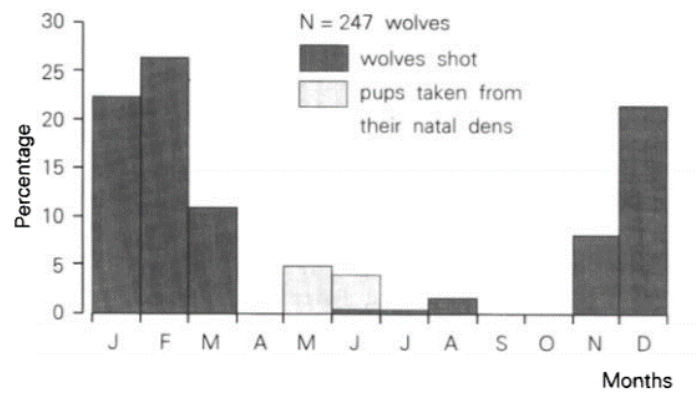


Figura 28. Lupi: dinamiche della popolazione



Figura 29. Monitoring degli uccelli

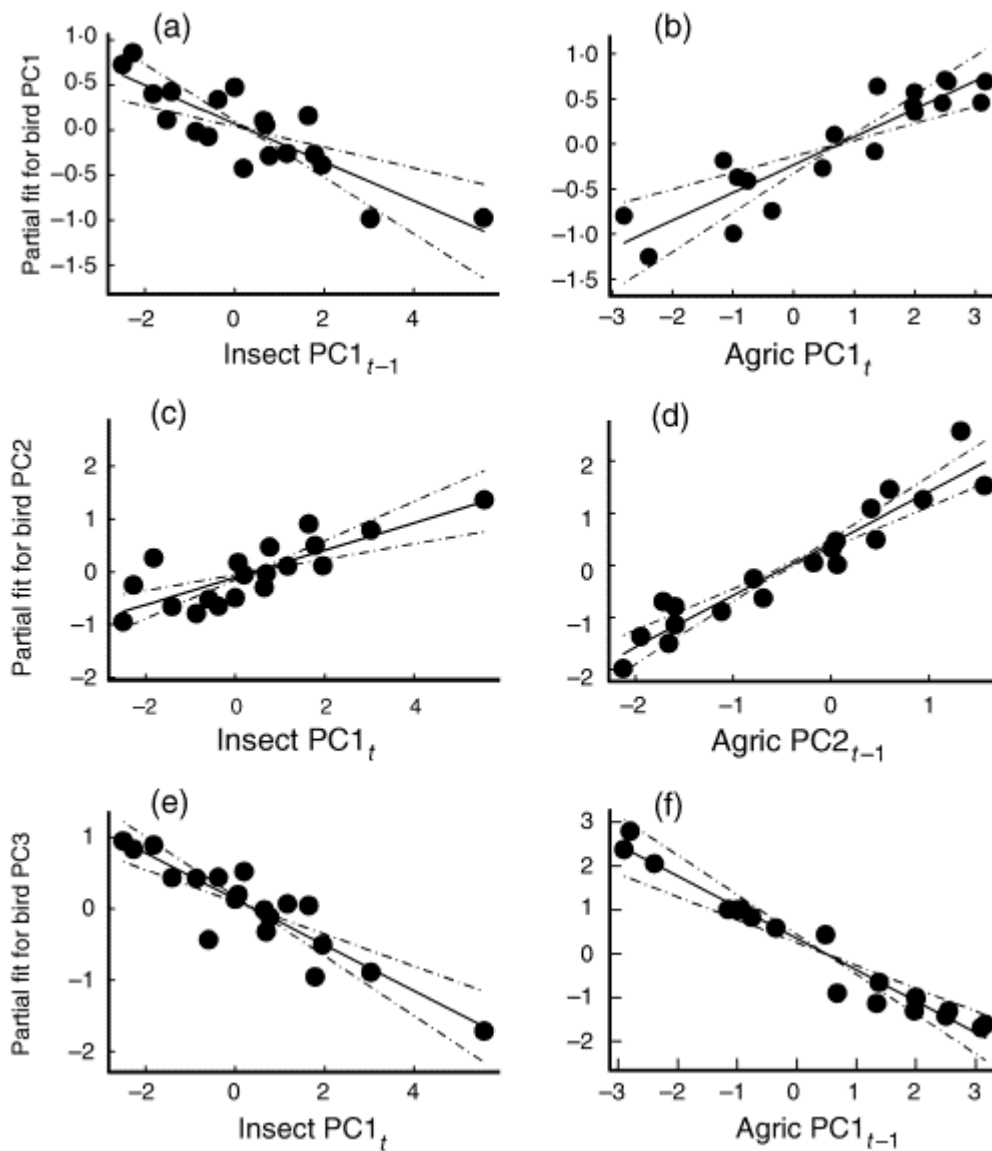


Figura 30. Relazione tra pratiche agricole e popolazioni di uccelli

Impostato e calibrato il modello, sono state testate diverse ipotesi (--,-,+, ++) legate all'impostazione delle attività commerciali sui quali abbiamo definito i diritti di proprietà:

- per i cinghiali, l'attività commerciale è stata calibrata come zona di caccia con vendita dei diritti di caccia;
- per i lupi, sono state ipotizzate due attività commerciale, una legata alla riproduzione e commercializzazione dei lupi, l'altra legata a un'attività turistica tipo rewilding;
- per gli uccelli, è stata ipotizzata un'attività turistica di rewilding.

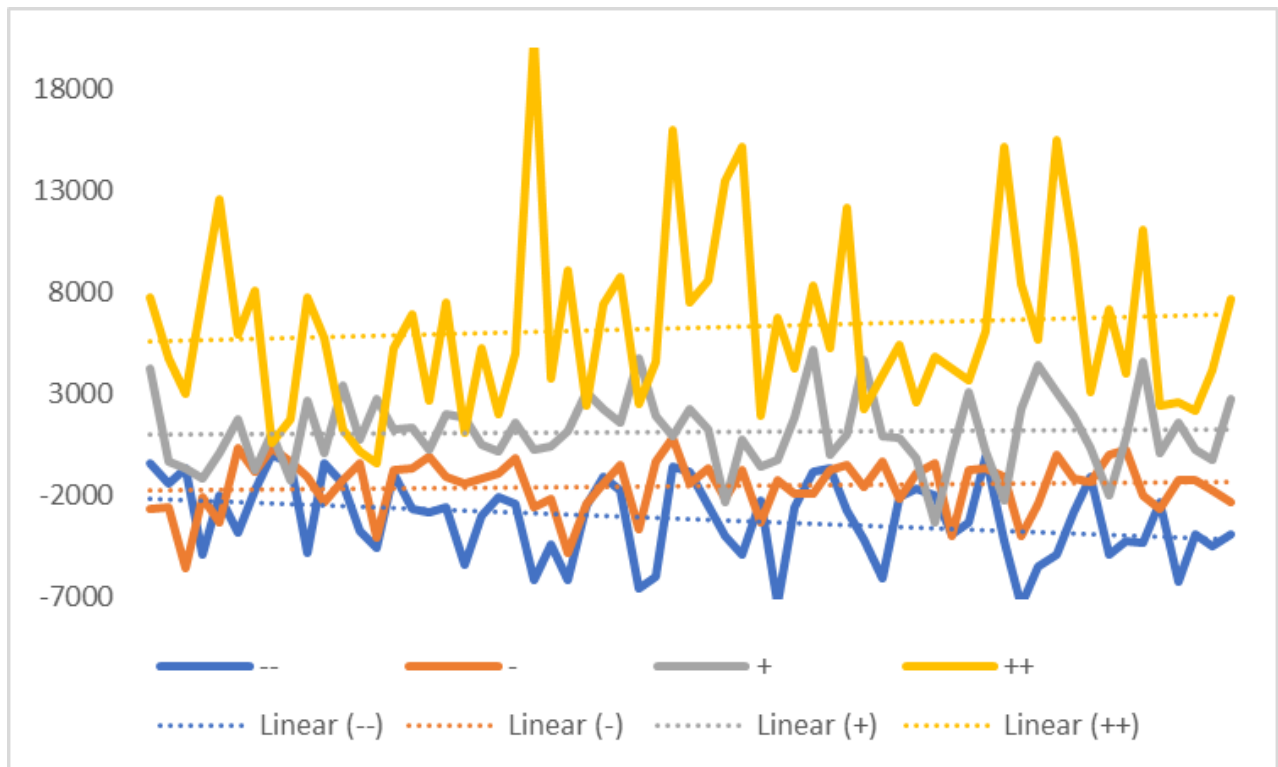


Figura 31. Profitto in relazione alle diverse ipotesi

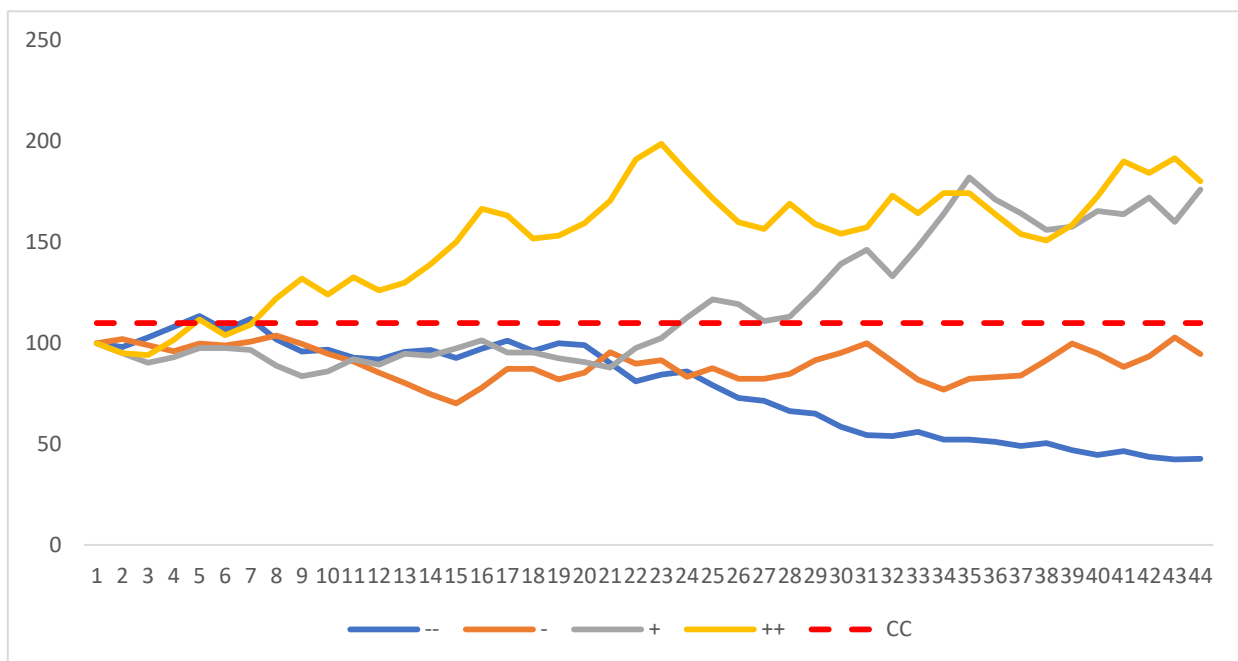


Figura 32. Indice di biodiversità calibrata sulle diverse ipotesi, rispetto alla situazione di *Command & Control*

I risultati ottenuti permettono di identificare un pattern molto interessante: specificamente, l'impatto dell'innovazione legata ai diritti di proprietà è legato al successo dell'attività commerciale messa in opera. – ovvero, se le attività commerciali sperimentano difficoltà economiche (scenario --). allora l'impatto sulla biodiversità sarà fatale a medio termine.

Complessivamente, l'analisi condotta conferma parzialmente i lavori di Walter Block sui diritti di proprietà nel senso che, nella maggiore parte degli ipotesi, questa innovazione permette al manager di beneficiare di un profitto. In altre parole, la possibilità di sfruttare il diritto di proprietà da parte degli enti implicati nella difesa dell'ambiente crea un incentivo che ha un effetto molto forte. Peraltro, i risultati ottenuti dimostrano che i vincoli del *Command & Control* assicurano un livello minimo di biodiversità, con restrizioni forti legate in particolare al divieto di caccia e alla raccolta intensiva.

RISULTATI

I diritti di proprietà possono costituire un'interessante alternativa al *Command & Control*, che solitamente viene imposto in tutte le aree protette con costi molto elevati e risultati discutibili.

Le analisi condotte, dunque, confermano che un'innovazione legata alla concessione di diritti di proprietà dovrebbe costituire l'oggetto di ricerche sperimentali per valutare precisamente la possibilità di aumentare il profitto dell'ente gestore di agroecosistemi che, tutelando la biodiversità, non richiede un controllo governativo.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Elalamy Y, Doyen L, Mouysset L. Contribution of the land use allocation model for agroecosystems: The case of Torrecchia Vecchia. *J. Environ. Manag.* 2019, 252, 1–10.
- Fox AD. Has Danish agriculture maintained farmland bird populations?. *Journal of Applied Ecology*, 41(3), 427-439, 2004.
- Fuller RJ, Gregory RD, Gibbons DW, Marchant JH, Wilson JD, Baillie SR, Carter N. Population declines and range contractions among lowland farmland birds in Britain. *Conservation Biology*, 9(6), 1425-1441, 1995.
- Holling C, Meffe G. *Command and Control and the Pathology of Natural Resource Management.* "Conservation Biology, 1996.
- Newton I. The recent declines of farmland bird populations in Britain: an appraisal of causal factors and conservation actions. *ibis*, 146(4), 579-600, 2004.

Vickery JA, Tallowin JR, Feber RE, Asteraki EJ, Atkinson PW, Fuller RJ, Brown VK. The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of applied ecology*, 38(3), 647-664, 2001.

Wilson JD, Evans AD, Grice PV. *Bird conservation and agriculture* (Vol. 394). Cambridge: Cambridge University Press, 2009.