

Per chi fosse interessato a leggere lo studio integrale del Prof. Mazzatenta in lingua italiana, forniamo di seguito il testo tradotto interamente, tranne schemi e tabelle

La versione originale in lingua inglese, che costituisce il testo ufficiale di riferimento, è disponibile al seguente link: [Wild Boar Management and Environmental Degradation: A Matter of Ecophysiology—The Italian Case | MDPI](#)

*Consigliamo la lettura del testo soprattutto a quegli enti e a quelle associazioni attive nel promuovere azioni conservazione e salvaguardia della fauna selvatica, poiché le conclusioni dello studio conducono a un cambio totale di paradigma nei confronti dei programmi di abbattimenti selettivi. Inoltre, i dati su cui si basa lo studio, lo ricordiamo, sono gli unici che sono stati ufficialmente forniti dagli enti e dagli istituti nazionali preposti allo scopo e scientificamente rilevanti.*

*Buona lettura!*

## **Gestione del cinghiale e degrado ambientale: una questione di ecofisiologia – Il caso italiano -**

Di Andrea Mazzatenta - Dipartimento di Scienze, Università degli Studi di Chieti-Pescara "G. d'Annunzio", 66100 Chieti, Italia

[Traduzione a cura di Brunella Pernigotti]

### **Abstract**

Nonostante la sua distribuzione globale, l'impatto dei cinghiali sull'ambiente è poco compreso. Tuttavia, il cinghiale (*Sus scrofa*) è riconosciuto come una specie infestante, causa ingenti danni all'agricoltura, alla biodiversità e alle foreste e contribuisce agli incidenti veicolari.

Questo studio indaga le cause e i meccanismi alla base dell'esplosione demografica dei cinghiali in Italia. L'analisi si basa esclusivamente su set di dati ufficiali provenienti da istituti governativi italiani, consentendo correlazioni quantitative tra dinamica della popolazione, tassi di abbattimento e impatto economico. Integrando dati storici, biologia della popolazione, fisiologia riproduttiva e comunicazione chimica, lo studio rivela che le pressioni antropiche, controintuitivamente guidate dalle pratiche di gestione della fauna selvatica, hanno contribuito in modo significativo alla crescita della popolazione. Il passaggio da una strategia-K a una strategia-r nel comportamento riproduttivo, indotto da una pressione di controllo sostenuta, ha portato a un aumento dei tassi di natalità e a un'espansione accelerata. Le alterazioni dell'omeostasi delle specie innescano cambiamenti dannosi nella struttura e nella funzionalità dell'ecosistema, delineando un modello di danno ambientale. Questi risultati evidenziano l'urgenza di adottare un approccio integrato alla gestione della fauna selvatica che combini biologia della conservazione e principi fisiologici con interventi operativi mirati per prevenire un ulteriore degrado che colpisca sia le specie che l'ecosistema.

### **1. Introduzione**

*Sus scrofa* (Linnaeus, 1758), comunemente noto come cinghiale, è sempre più riconosciuto come una specie problematica in Europa e nelle Americhe [1–3]. Attualmente classificato come parassita, causa ingenti danni alle colture agricole, alle foreste, alla biodiversità e alle proprietà private, ed è spesso coinvolto in incidenti stradali. Questi impatti sono principalmente legati al suo comportamento alimentare, al rotolarsi, al grufolare, allo sfregamento sugli alberi e agli spostamenti nomadi.

Nonostante la sua ampia distribuzione e il potenziale di degrado ecologico su più scale, l'impatto globale dei cinghiali rimane insufficientemente compreso dal punto di vista scientifico. Quando si pone l'accento sul conflitto antropico, diventa fondamentale valutare la presenza e l'entità del danno ambientale per determinare come, quando e in quali condizioni si verifica.

Un caso paradigmatico di tale conflitto è l'emergenza cinghiali in Italia, che persiste da oltre 25 anni, risultando esclusivamente in strategie di abbattimento basate su dati frammentari e opachi, spesso inaccessibili, di dubbia affidabilità e spesso provenienti da parte di soggetti interessati. Tra il 2015 e il 2021, l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha segnalato danni all'agricoltura per un totale di circa 120 milioni di euro, con aumenti annuali compresi tra 14,6 e 18,7 milioni di euro. Contemporaneamente, gli sforzi di gestione delle emergenze hanno portato a un aumento del 45% degli abbattimenti, con una media di 300.000 capi abbattuti all'anno. In questo periodo di sette anni, sono stati abbattuti circa 2,1 milioni di cinghiali: l'86% attraverso la caccia ordinaria e il 14% tramite misure di controllo della fauna selvatica. Toscana, Emilia-Romagna, Piemonte, Lazio, Umbria, Liguria e Marche hanno rappresentato il 73% del raccolto totale. In particolare, il 94% della caccia è avvenuto su terreni pubblici, con solo il 6% su riserve di caccia private. In risposta alla peste suina africana (PSA), gli interventi di controllo mirati sono aumentati di oltre il 300%, sottolineando l'intensificazione degli sforzi di gestione nelle aree ad alto rischio [9]. Il metodo di caccia predominante in Italia rimane la caccia collettiva con cani, battitori e cacciatori a posta fissa (caccia in braccata, o caccia in battuta), responsabile dell'88% del raccolto totale. Segue la caccia selettiva (9%), la caccia solitaria con un solo cane (girata, 2%) e la caccia libera (1%). Le attività di controllo della fauna selvatica sono state condotte sia in aree formalmente protette (ad esempio, parchi e riserve, 38%) sia in altri territori non classificati come tali (62%) che possono includere forme di protezione parziale, come aree verdi urbane e parchi archeologici, utilizzando l'abbattimento selettivo (52%), la cattura in gabbia (31%), la caccia in braccata (11%) e la caccia in girata (6%). È importante sottolineare che la braccata è stato il metodo più ampiamente utilizzato sia nei contesti venatori che in quelli di controllo, con un conseguente rapporto tra i sessi pressoché equo (51% maschi, 49% femmine) ma una distribuzione per età asimmetrica, con il 60% degli individui abbattuti adulti. L'ISPRA ha stimato una popolazione minima di 1,5 milioni di cinghiali nel 2021.

Per comprendere l'attuale distribuzione dei cinghiali in Italia è necessaria una contestualizzazione storica. Storicamente, la resilienza ecologica della specie e il suo significato simbolico hanno portato famiglie nobili, comuni e province ad adottare il cinghiale come emblema. Dalla fine del 1500, la sua distribuzione è diminuita a causa della caccia spinta dalle necessità umane. Le estinzioni furono registrate progressivamente da nord a sud: in Trentino nel 1600, in Liguria, Friuli e Romagna entro il 1800. Piccole popolazioni furono ristabilite nel nord-est intorno al 1920 da animali introdotti dalla Francia, ma la Seconda Guerra Mondiale portò alla scomparsa delle ultime popolazioni adriatiche.

Dagli anni '50 in poi, introduzioni su larga scala di cinghiali a scopo venatorio, inizialmente dall'Europa orientale (Ungheria, Polonia ed ex Cecoslovacchia) e successivamente con individui allevati in cattività, si sono verificate in quasi tutte le regioni italiane. Tali introduzioni sono state in gran parte casuali in termini genetici, introducendo linee evolutive non correlate alla sottospecie mediterranea di *Sus scrofa*. Di conseguenza, questi animali presentano tratti fenotipici e comportamentali nettamente diversi dagli ecotipi autoctoni: sono più grandi, più prolifici e spesso incrociati con suini domestici per aumentare il contenuto di grasso per la produzione di carne trasformata. La colonizzazione di diverse sottospecie, ulteriormente facilitata dall'assenza di predatori naturali, ha portato alla formazione di popolazioni altamente adattabili che prosperano dalle zone costiere alle praterie d'alta quota. Per queste ragioni, il cinghiale è talvolta

percepito come una specie aliena in Italia; tuttavia, la specie in sé non può essere considerata aliena. Piuttosto, è opportuno fare distinzioni tra sottospecie storicamente tipiche e non tipiche, linee autoctone e non autoctone e popolazioni colpite o meno dalla peste suina. Queste sfumature sono particolarmente rilevanti in contesti naturali o di rewilding, mentre in paesaggi altamente antropizzati tendono a perdere significato a causa della natura artificiale di tali sistemi. Circa cinquant'anni dopo, si è osservato un aumento esponenziale della popolazione, con una crescita del 60% in soli due anni. Nel 2023, Coldiretti, la principale organizzazione nazionale degli agricoltori, ha stimato una popolazione nazionale di 2,3 milioni di cinghiali. Tuttavia, l'assenza di un sistema nazionale standardizzato di raccolta dati ostacola valutazioni accurate della dimensione della popolazione e dei danni. Paradossalmente, l'incompletezza, l'eterogeneità e la mancanza di standardizzazione nei sistemi regionali di raccolta dati sono un punto focale di questo studio: le politiche di gestione e controllo del cinghiale in Italia sono state implementate sulla base di dati frammentati e incoerenti, che hanno contribuito direttamente all'aumento della popolazione della specie. Questo lavoro evidenzia come l'assenza di un quadro scientifico condiviso abbia portato a decisioni inefficaci, sottolineando la necessità di un approccio eco-fisiologico integrato alla gestione sostenibile. A livello globale, l'esplosione demografica dei cinghiali è spesso attribuita allo spopolamento rurale, alla riforestazione di ex terreni agricoli, alla ridotta lotta contro di essi e al cambiamento climatico; tuttavia, i modelli ambientali e climatici supportano solo parzialmente queste spiegazioni. Per comprendere le dinamiche di popolazione della specie, è essenziale considerarne i tratti biologici ed ecologici.

Appartenenti all'ordine degli Artiodattili, i cinghiali presentano una struttura sociale e una fisiologia riproduttiva complesse [10]. L'unità sociale di base è la famiglia guidata da una matriarca (matrona), composta dalle sue figlie, dalla prole e dai maschi immaturi, che occupa un territorio domestico definito. I maschi dominanti maturi (salengani o solenghi), spesso solitari o accompagnati da maschi più giovani, difendono territori riproduttivi più ampi che comprendono più gruppi matriarcali.

Questa organizzazione sociale riflette una strategia riproduttiva K-selezionata, caratterizzata da una lenta crescita della popolazione, bassa mortalità e strutture di età stabili. Energia e risorse sono indirizzate alla sopravvivenza e all'adattamento piuttosto che alla rapida riproduzione.

Le strategie K presentano bassa fertilità, lunghi cicli di sviluppo, un ricambio generazionale differito e comportamenti che minimizzano la competizione intraspecifica, come la territorialità e la comunicazione feromonale. Fattori di controllo naturali come malattie e predazione hanno un impatto limitato.

Al contrario, seguendo le strategie R, i gruppi famigliari si riproducono rapidamente, con una maturità sessuale precoce, elevata fecondità e un'elevata mortalità, dando luogo a popolazioni prevalentemente giovani.

Il passaggio dalla strategia-K alla strategia-r nei cinghiali sottoposti a pressione antropica è una questione chiave che potrebbe spiegare l'esplosione demografica.

Un ulteriore meccanismo di regolazione è la comunicazione chimica. Nei mammiferi, compreso l'uomo, la regolazione riproduttiva è mediata dai feromoni. Meccanismi come la sincronizzazione dell'estro, la soppressione del ciclo e l'effetto Lee-Boot (1955) sono tipici delle popolazioni stabili e supportano le dinamiche della strategia K.

L'Italia è stata selezionata come area di studio per i suoi eventi di reintroduzione documentati in modo unico e per il ruolo paradossale della gestione della popolazione, essenzialmente pratiche venatorie come la caccia in battuta, l'abbattimento selettivo e altre misure di controllo che potrebbero aver agito come fattori chiave della crescita della popolazione di cinghiali. Ciò lo rende un caso esemplare per la comprensione degli impatti antropici sulle dinamiche della fauna selvatica.

Questo studio intraprende un'analisi eco-fisiologica basata su dati estratti da rapporti istituzionali riguardanti programmi di ripopolamento e azioni di gestione della fauna selvatica. Il suo obiettivo è indagare le cause profonde del drammatico aumento delle popolazioni di cinghiali e della conseguente

emergenza ecologica e socio-economica. L'obiettivo principale della ricerca è identificare e comprendere le complesse interazioni tra tratti biologici della specie, come strategie riproduttive, plasticità comportamentale, adattabilità e fattori antropici, tra cui pratiche di ripopolamento, cambiamenti nell'uso del suolo e politiche venatorie. Colmando questa lacuna, lo studio contribuisce a una comprensione più articolata dei meccanismi che guidano l'esplosione demografica, indagando in particolare il passaggio da strategie riproduttive selezionate-K a strategie riproduttive selezionate-r in condizioni ambientali e gestionali alterate. Questa comprensione è fondamentale per lo sviluppo di modelli predittivi e quadri di gestione adattivi.

L'importanza pratica di questa ricerca risiede nel suo potenziale per l'orientamento di politiche di gestione della fauna selvatica più efficaci e sostenibili. Il modello omeostatico proposto offre uno strumento concettuale per anticipare le risposte della popolazione di animali selvatici a vari interventi e cambiamenti ambientali. Può supportare i decisori nella progettazione di strategie mirate, come l'abbattimento adattativo, la modifica dell'habitat o il controllo della fertilità, basate su realtà ecologiche e fisiologiche. In definitiva, lo studio mira a contribuire al ripristino dell'equilibrio ecologico, alla riduzione dei conflitti tra uomo e fauna selvatica e alla minimizzazione dei costi economici e ambientali associati alla sovrabbondanza di cinghiali.

## **2. Materiali e metodi**

### **2.1. Area di studio e raccolta dati**

L'analisi è stata condotta su scala nazionale, concentrandosi sulle aree con una significativa crescita della popolazione di Sus scrofa. L'acquisizione dei dati si è basata su fonti istituzionali terze convalidate e archivi open access, ad esempio, il National Ungulate Database: status, distribution, abundance, management and hunting of Ungulate populations in Italy, che copre l'intervallo temporale 1900-2023. Le fonti istituzionali e archivistiche includevano dataset e registrazioni provenienti da: autorità nazionali (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA; e Ministero dell'Agricoltura); autorità regionali (Assessorato all'Agricoltura – Dipartimento Regionale dell'Agricoltura); ed enti locali (Amministrazioni Provinciali e Unità Territoriali di Caccia – Ambiti Territoriali di Caccia, ATC). Queste fonti hanno fornito dati strutturati e longitudinali sulla distribuzione, sull'abbondanza e sulle pratiche di gestione dei cinghiali, consentendo la ricostruzione delle tendenze spaziali e demografiche.

I dati sui feromoni, sulla comunicazione chimica e sulle strategie riproduttive sono stati estratti dalla letteratura peer-reviewed e analizzati sistematicamente utilizzando database molecolari curati - ChemSpider e Pherobase - per determinare l'identità dei composti, identificare le molecole candidate e dedurre la funzione fisiologica.

I dati sono stati utilizzati per l'analisi statistica e la modellazione concettuale per caratterizzare l'espansione geografica, l'adattamento riproduttivo sotto pressione antropica, le risposte fisiologiche specifiche per sesso, il passaggio strategico dalla selezione-K alla selezione-r, l'impatto ambientale e l'inferenza molecolare dei composti bioattivi coinvolti nella comunicazione chimica.

### **2.2. Analisi dei dati**

I dati sulla dimensione della popolazione sono stati trasformati in log10 per ridurre l'asimmetria della distribuzione e stabilizzare la varianza per l'analisi temporale.

La dinamica della popolazione è stata quantificata utilizzando la formula del Tasso di Crescita Relativo (RGR):

$$RGR = (\ln M2 - \ln M1) / (t2 - t1)$$

dove M1 e M2 corrispondono alla dimensione della popolazione rispettivamente ai tempi t1 e t2; ln è il

logaritmo naturale.

Un'ulteriore analisi dei segmenti RGR è stata condotta per identificare correlazioni con le pressioni antropiche e gli eventi di ripopolamento, e per rilevare soglie temporali nelle dinamiche di crescita della popolazione. La pendenza di ciascun segmento riflette il tasso di variazione della crescita della popolazione: pendenze positive più ripide indicano un'espansione accelerata. Le intercette, che rappresentano il valore iniziale di RGR all'inizio di ogni intervallo, sono state confrontate per rilevare variazioni nei tassi di crescita di base. Queste metriche sono state utilizzate congiuntamente per caratterizzare le transizioni demografiche e la loro associazione con le pressioni esterne.

Sono stati impiegati modelli di regressione lineare per esaminare la relazione tra dimensione della popolazione e tempo, valutare l'impatto degli interventi di gestione sui trend di crescita e quantificare il contributo predittivo dei tassi di riproduzione e mortalità all'espansione della popolazione.

La diagnostica del modello includeva il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) per valutare la bontà di adattamento, l'errore standard di stima per valutare la precisione del modello e l'analisi dei residui per verificare le ipotesi di linearità e omoscedasticità. Inoltre, sono stati testati modelli di regressione multipla per incorporare termini di interazione (ad esempio, ripopolamento  $\times$  tasso di fertilità) e valutare gli effetti composti.

Il coefficiente di correlazione di Pearson ( $r$ ) è stato calcolato per valutare le relazioni lineari tra le variabili (ad esempio, dimensione della popolazione rispetto al tasso di fertilità), con una soglia di significatività fissata a  $0,05$ . Interpretazione:  $r = 1$ , correlazione positiva perfetta;  $r = -1$ , correlazione negativa perfetta;  $r = 0$ , nessuna correlazione lineare.

Tutte le analisi sono state eseguite utilizzando il software statistico OriginPro (versione 2.2) e Jamovi (versione 2.2) [33,34].

### **3. Risultati**

L'analisi della diffusione e dell'incremento demografico dei cinghiali in Italia mira a chiarire sia i meccanismi fisiologici alla base del fenomeno sia il suo impatto ambientale. Questa indagine è stata condotta attraverso tre approcci principali: (i) l'esame dei database degli enti governativi (nazionali, regionali e locali) utilizzati per la gestione della fauna selvatica; (ii) lo studio della biologia della popolazione della specie; e (iii) l'analisi della sua fisiologia riproduttiva e della comunicazione chimica. Il risultato è un modello che illustra gli effetti sull'omeostasi della specie, intesa come componente inscindibile dell'ecosistema più ampio, e sull'ambiente da una prospettiva olistica.

#### **3.1. Le cause della diffusione del cinghiale in Italia**

I dati storici dei primi del '900 indicano una presenza limitata e localizzata di cinghiali in Italia, che copre circa l'1% del territorio nazionale. Secondo i dati del 1958, dopo entrambe le guerre mondiali, la distribuzione dei cinghiali è rimasta sostanzialmente invariata. Per quasi mezzo secolo, le popolazioni sono rimaste stabili, con solo piccole fluttuazioni all'interno dei loro areali stabiliti. Al contrario, il monitoraggio condotto nel 1998 ha rivelato una presenza diffusa di cinghiali in tutto il Paese, ad eccezione delle regioni nord-orientali e della Sicilia. Nell'arco di circa 40 anni, diversi eventi chiave hanno contribuito a questa trasformazione. In primo luogo, un gran numero di cinghiali fu importato dall'Europa orientale e rilasciato nelle campagne italiane per scopi venatori. In secondo luogo, in meno di un decennio, la specie si è diffusa in quasi tutte le regioni, accompagnata da una continua crescita demografica. Negli ultimi anni, i cinghiali sono aumentati in modo incessante, invadendo aree urbane, zone di traffico e soprattutto parchi e riserve naturali. Questo fenomeno sarà esaminato in dettaglio.

Un'analisi completa dei dati disponibili sull'abbondanza, la distribuzione e la frequenza dei cinghiali identifica due fattori critici che richiedono un esame approfondito per comprendere lo scenario attuale: gli sforzi di ripopolamento e le pratiche di gestione della fauna selvatica.

### 3.1.1. Ripopolamento e gestione

I dati sulle popolazioni di cinghiali in Italia dall'inizio alla metà del XX secolo indicano numeri stabili e costanti, con solo lievi fluttuazioni nelle aree di presenza. Al contrario, dalla seconda metà del secolo in poi, i cinghiali hanno iniziato a comparire in quasi tutte le regioni italiane, principalmente a causa dell'importazione e del rilascio a fini venatori. Successivamente, le pratiche di gestione della fauna selvatica sono diventate strettamente associate alla crescita esponenziale della specie.

Per caratterizzare le dinamiche temporali dell'espansione della popolazione, abbiamo utilizzato il Tasso di Crescita Relativo (RGR), una metrica che esprime il tasso di variazione rispetto alla dimensione attuale della popolazione. Questo approccio consente confronti dell'efficienza di crescita nel tempo, indipendentemente dai valori assoluti della popolazione. I dati RGR sono stati modellati utilizzando una funzione esponenziale a due parametri (Exp2P), che ha fornito un adattamento robusto ai dati ( $R^2 = 0,793$ ,  $AIC = -10,01$ ,  $BIC = -10,43$ ), superando un modello lineare ( $R^2 = 0,500$ ,  $AIC = 12,30$ ,  $BIC = 11,89$ ).

Sono stati identificati due punti di flesso: il 1958 e il 2000, corrispondenti a significative transizioni ecologiche e gestionali. Il primo segna l'inizio dei programmi di reintroduzione del cinghiale in Italia, che prevedono la traslocazione di individui da popolazioni dell'Europa orientale. Nonostante l'assenza o la bassa densità di predatori naturali, il tasso di crescita durante questo periodo è rimasto relativamente lento, come indicato dalla pendenza e dall'intercetta del segmento RGR (Tabella 1). Il secondo punto di svolta, intorno al 2000, rivela una marcata accelerazione nella crescita della popolazione. Questo cambiamento coincide con l'implementazione di nuove strategie di gestione della fauna selvatica, tra cui l'istituzionalizzazione di piani di abbattimento ai sensi della Legge 157/1992, e l'adozione diffusa di metodi di caccia collettiva come la braccata, importata dall'Europa orientale. Sebbene queste pratiche fossero intese a controllare le dimensioni della popolazione, potrebbero aver inavvertitamente facilitato una maggiore dispersione e un maggiore successo riproduttivo.

L'analisi di regressione segmentata e il test di Chow hanno confermato la significatività statistica di queste discontinuità. Il test di Chow, confrontando il primo e il secondo segmento, ha prodotto una statistica F prossima all'infinito ( $F \rightarrow \infty$ ), indicando una rottura strutturale nel trend di crescita. Le diagnosi residue hanno supportato la validità del modello, soddisfacendo le ipotesi di normalità ( $p = 0,38$ ) e indipendenza (Durbin-Watson 2), senza rilevare valori anomali influenti ( $D$  di Cook  $< 1$ ). Questi risultati sottolineano il profondo impatto delle decisioni gestionali sulla traiettoria di crescita della popolazione di cinghiali in Italia.

### 3.1.2. Biologia di popolazione

Fino agli anni '80, le popolazioni di cinghiali in Italia presentavano un andamento della mortalità coerente con una strategia-K di regolazione della popolazione, caratterizzata da capacità di carico ambientale ed equilibrio omeostatico. Nel primo anno dopo il parto, i tassi di mortalità e sopravvivenza erano pressoché uguali. Nel secondo anno, la sopravvivenza è diminuita significativamente, mentre la mortalità è leggermente aumentata. Entro il terzo anno, la mortalità ha quasi raddoppiato il tasso di sopravvivenza, determinando una dinamica di popolazione stabile. Durante questo periodo, il numero di sopravvissuti al terzo anno è stato sufficiente a compensare la perdita di individui adulti e anziani dovuta a predazione, malattie o invecchiamento, mantenendo un equilibrio omeostatico all'interno dell'ecosistema.

Dopo gli anni '80, si sono verificati cambiamenti significativi, come precedentemente illustrato. Per analizzare questi cambiamenti, i dati della regione Toscana sono stati selezionati per la loro coerenza a lungo termine e per i metodi di raccolta omogenei. Una normalizzazione log<sub>10</sub> dei dati ha rivelato una

correlazione eccezionalmente forte ( $r$  di Pearson = 0,99997,  $p = 0,05$ ) tra l'attività di abbattimento e la dimensione della popolazione.

Questa correlazione suggerisce che l'aumento degli abbattimenti non riduce le dimensioni della popolazione, ma piuttosto è correlato alla sua crescita, probabilmente a causa di cambiamenti fisiologici nei meccanismi di riproduzione e dispersione, come discusso in precedenza.

### 3.1.3. Fisiologia riproduttiva: regolazione feromonale

La filopatria femminile nei cinghiali promuove la selezione parentale, migliorando la fitness inclusiva e plasmando la struttura sociale matrilineare delle popolazioni. Questa struttura gioca un ruolo cruciale nel determinare l'architettura socio-genetica della specie.

Fino agli anni '80, i cinghiali in Italia producevano in genere una cucciolata all'anno, in linea con un modello riproduttivo basato sulla strategia-K. Tuttavia, a seguito dell'aumento esponenziale della pressione degli abbattimenti, hanno iniziato a emergere casi di più cucciolate all'anno. Questo cambiamento suggerisce un adattamento fisiologico allo stress antropico, con conseguente aumento della produttività riproduttiva.

L'insorgenza di nascite plurime annuali deve essere interpretata attraverso la lente della comunicazione chimica, in particolare della segnalazione feromonale e dei meccanismi di difesa sesso-specifici. I cinghiali mostrano una precisa sincronizzazione dei cicli riproduttivi all'interno dei gruppi sociali femminili, indipendente dai vincoli stagionali, probabilmente mediata dai feromoni.

La Tabella 2 presenta le molecole identificate nelle secrezioni delle scrofe [35], classificate in base al loro potenziale ruolo fisiologico e comportamentale. Tra queste, acidi grassi volatili, esteri, indoli e alcoli, molti dei quali sono feromoni riconosciuti nei suidi.

Le risposte fisiologiche sesso-specifiche alla pressione antropica sono così riassunte: nei maschi, l'aumento della pressione antropica porta a una maggiore produzione di sperma, guidata dalla più precoce attivazione riproduttiva degli individui più giovani; analogamente, le femmine più giovani entrano nei cicli riproduttivi prima, con conseguente aumento della fertilità e fecondità, che si manifesta con una minore età alla prima riproduzione e una maggiore frequenza di cucciolate durante l'anno. Durante la stagione della caccia, la percentuale di femmine riproduttive aumenta e la soglia di massa corporea per la prima riproduzione diminuisce significativamente.

Meccanismi di difesa fisiologici specifici per sesso nei cinghiali sottoposti a pressione antropica.

Nei maschi, il ringiovanimento della popolazione porta a un aumento della produzione di spermatozoi dovuto alla più precoce attivazione riproduttiva degli individui più giovani. Nelle femmine, si traduce in una riproduzione più precoce e frequente, con un'età ridotta alla prima riproduzione e un numero maggiore di cucciolate all'anno. Questi meccanismi contribuiscono al ringiovanimento della popolazione e supportano la crescita esponenziale della specie, segnando una transizione da una strategia-K a una strategia-r sotto pressione antropica prolungata.

### 3.2. I fattori ambientali

L'analisi attuale ha esaminato i fattori ambientali che si ipotizza possano influenzare la crescita della popolazione di cinghiali, tra cui i cambiamenti nell'uso del suolo, la frammentazione dell'habitat, le dinamiche di riforestazione e lo stress fisiologico indotto dal clima.

I dati sull'uso del suolo in Italia indicano una marcata e progressiva riduzione degli habitat naturali, accompagnata da una significativa frammentazione. I rapporti documentano una sostanziale espansione delle aree urbane e periurbane, con conseguente diffusa perdita di habitat. L'aumento delle superfici artificiali e la conversione del territorio associata allo sviluppo delle infrastrutture hanno portato al degrado degli ambienti naturali, in particolare nei contesti urbani. Inoltre, i dati CORINE Land Cover dal 2012 al 2018

indicano una netta riduzione della copertura forestale in Italia. Tra le transizioni vegetazionali più significative si segnala la conversione di circa 15.900 ettari di foreste di latifoglie in copertura erbacea permanente, 5.033 ettari in copertura erbacea periodica e 4.340 ettari di foreste di conifere in vegetazione erbacea permanente. Dati complementari tratti dal rapporto della Direttiva Habitat italiana mostrano che il 54% della flora terrestre e interna, il 53% della fauna e l'89% degli habitat terrestri e interni sono attualmente classificati in uno stato di conservazione sfavorevole.

Lo stress fisiologico indotto da fattori climatici è stato misurato nei suini attraverso le concentrazioni di cortisolo e cortisone nei campioni di pelo. È stato dimostrato che questo stress influenza negativamente la capacità riproduttiva. L'espansione osservata delle popolazioni di cinghiali è caratterizzata da cambiamenti nella struttura per età, tassi riproduttivi accelerati, inizio anticipato della maturità sessuale e aumento dell'investimento riproduttivo, in particolare tra le femmine giovani. Questi tratti sono incoerenti con le dinamiche cicliche o pulsatili tipicamente indotte da fattori ambientali e indicano invece le pressioni antropiche come fattori principali. Di conseguenza, i dati sull'abbattimento mostrano un costante aumento dell'intensità di abbattimento: +40% tra il 1998 e il 2005 e +45% tra il 2015 e il 2021, con una media annua di circa 300.000 individui rimossi. Inoltre, in risposta all'emergenza sanitaria causata dalla peste suina africana (PSA), gli interventi di abbattimento in alcune aree sono aumentati di oltre il 300%.

### 3.3. Il modello del danno ambientale

Il caso dell'espansione del cinghiale in Italia offre un modello prezioso per comprendere come le alterazioni dell'omeostasi delle specie possano portare a cambiamenti significativi nelle dinamiche di popolazione, tra cui abbondanza, densità e distribuzione spazio-temporale. Questi cambiamenti rappresentano una modifica dell'equilibrio ecologico.

Quando tali modifiche superano le soglie di resilienza e stabilità dell'ecosistema o della specie stessa, possono innescare alterazioni in entrambe le componenti strutturali (ad esempio, biodiversità) e i processi funzionali (ad esempio, l'omeostasi dell'ecosistema) dell'ambiente. Nel caso specifico dei cinghiali in Italia, l'introduzione di individui non nativi senza uno screening genetico preventivo ha portato a un'alterazione permanente del pool genico nativo. Ciò costituisce una forma di danno ambientale irreversibile, con conseguenze a lungo termine sia per l'integrità della specie che per la funzionalità dell'ecosistema, in particolare in termini di variazioni nelle dimensioni corporee e nelle dimensioni della cucciolata.

## 4. Discussione

L'attuale emergenza cinghiale in Italia rappresenta un esempio significativo di esiti paradossali, in cui le politiche basate sui dati hanno esacerbato proprio i problemi che avrebbero dovuto risolvere.

Questo lavoro fornisce un'interpretazione critica e innovativa del fenomeno, basata sulle stesse basi di dati ufficiali utilizzate per convalidare le decisioni di gestione della fauna selvatica. Nonostante la loro frammentazione, eterogeneità e suscettibilità a distorsioni politiche, economiche e amministrative, questi dati sono stati sistematicamente rianalizzati per estrarre modelli coerenti e trarre conclusioni che divergono sostanzialmente da quelle alla base delle attuali strategie di controllo.

L'analisi rivela che i principali tratti fisiologici di *Sus scrofa* (tra cui la comunicazione chimica, la plasticità riproduttiva, l'adattabilità comportamentale e la resilienza ecologica) sono stati ampiamente ignorati nella progettazione e nell'attuazione dei piani di gestione. Questa svista ha contribuito al fallimento degli sforzi di contenimento e alla progressiva espansione della specie in un'ampia gamma di habitat. Inoltre, lo studio valuta le conseguenze a lungo termine di un approccio gestionale univoco e riduzionista. Interventi ripetuti, come il ripopolamento e l'abbattimento selettivo, hanno indotto cambiamenti omeostatici e squilibri ecologici, esacerbando il problema anziché risolverlo. L'espansione dell'areale della specie è attribuibile sia a cause remote (ad esempio, programmi di ripopolamento) sia a cause prossime (ad esempio, pratiche di gestione errate e reattive), che insieme hanno rimodellato le dinamiche ecologiche delle regioni colpite.



I risultati hanno mostrato che il danno ambientale osservato è strettamente legato alle pratiche di gestione e sottolineano l'urgente necessità di una transizione verso un quadro scientificamente fondato per la gestione della fauna selvatica, basato su (i) sistemi di acquisizione dati standardizzati, continui e interoperabili, in grado di catturare variabili eco-fisiologiche rilevanti per le dinamiche di popolazione e le interazioni con l'habitat; e (ii) ridefinire i piani di gestione sulla base di principi ecologici e fisiologici integrativi, andando oltre le misure di controllo reattive verso strategie proattive basate sull'evidenza.

L'approccio fisiologico e omeostatico adottato in questo studio dimostra che, anche lavorando con set di dati imperfetti e distorti, è possibile superare la frammentazione delle informazioni puntuali e ricostruire un quadro generale affidabile delle dinamiche di popolazione e degli effetti delle strategie di gestione.

#### 4.1. Le cause dell'emergenza

L'attuale espansione dell'areale del cinghiale è stata determinata sia da cause remote che prossime, che riflettono l'impatto cumulativo degli interventi antropici a lungo termine e delle recenti pratiche di gestione.

##### 4.1.1. Le cause remote: il "ripopolamento"

Tra le cause remote, come accertato dalla Commissione Agricoltura della Camera dei Deputati (26 luglio 2011) e dall'ISPRA, vi sono i rilasci di animali a scopo venatorio, effettuati in modo non pianificato e senza il rispetto dei principi fondamentali di gestione della fauna selvatica e di profilassi sanitaria.

A partire dagli anni '50, sono stati introdotti nel territorio nazionale grandi contingenti di cinghiali, inizialmente importati dall'Europa orientale e successivamente derivati da animali nati in allevamenti che si sono progressivamente sviluppati in diverse regioni italiane. Questi individui sono stati successivamente incrociati con nuclei residui di cinghiali autoctoni.

È degno di nota che, tra il 2001 e il 2010, in un periodo in cui un'emergenza cinghiale stava già colpendo gran parte dell'Italia e venivano attuate contromisure per ridurre il numero di cinghiali, la Provincia di Catanzaro ad esempio ha rilasciato 436 cinghiali a scopo venatorio. La giustificazione fornita era: "Il ripopolamento di cinghiali è stato estremamente efficace perché la specie si è stabilmente insediata in molte aree della provincia; l'insediamento è stato favorito dalla mancanza di nemici naturali e antagonisti nella ricerca di cibo". Questo esempio illustra chiaramente una totale mancanza di coordinamento, pianificazione e valutazione scientifica nella gestione dei cinghiali.

Un'altra pratica diffusa in quegli anni è stata il rilascio non autorizzato di incroci tra cinghiali e suini domestici, finalizzati ad aumentare il contenuto di grasso nella carne a fini commerciali e a migliorare la capacità riproduttiva. Storicamente, questa pratica ha portato allo sviluppo di razze uniche in tutta Italia, tra cui la Cinta Senese, la Sarda, la Casertana, il Suino Nero Abruzzese e il Nero dei Nebrodi. Tuttavia, l'incrocio ha portato sia all'erosione genetica delle popolazioni selvatiche sia all'introduzione di malattie infettive.

Sebbene i cinghiali siano riconosciuti come il principale serbatoio del virus della peste suina africana, i principali fattori di trasmissione a lunga distanza sono le attività umane, come il trasporto e il commercio illegale di suini.

##### 4.1.2. Cause prossime: Gestione

L'assenza di un quadro tecnico-scientifico strutturato, unita a sistemi di acquisizione dati frammentati e non standardizzati, alla mancanza di coordinamento negli interventi di gestione e alla mancata considerazione dei meccanismi biologici che regolano la riproduzione in *Sus scrofa*, hanno contribuito in modo significativo all'attuale emergenza. I rilasci continui e incontrollati da allevamenti illegali hanno generato una dinamica

incrementale, particolarmente evidente nelle regioni alpine, dove le popolazioni di cinghiali mostrano una caratteristica distribuzione a chiazze.

L'impovertimento genetico è il risultato dell'incrocio con i suini domestici, finalizzato ad aumentare il contenuto di grassi a fini commerciali e a migliorare la capacità riproduttiva. Questa pratica ha portato a una semplificazione della variabilità genetica nelle popolazioni selvatiche, come ampiamente documentato dalla comunità scientifica.

Nonostante l'esistenza di linee guida nazionali emanate dall'ISPRA e dei principi ecologici delineati nella legislazione vigente, la gestione del cinghiale in Italia continua a basarsi prevalentemente su pratiche di abbattimento – come la caccia, la fucilazione selettiva e le operazioni di controllo – spesso eseguite senza un'adeguata pianificazione, coordinamento o fondamento scientifico.

Questi interventi, attuati in assenza di un quadro eco-fisiologico strutturato e di una raccolta dati standardizzata, si sono dimostrati non solo inefficaci ma controproducenti, facilitando spesso l'espansione della specie sul territorio.

La continua espansione della distribuzione geografica della specie è un fenomeno significativo. Negli ultimi 30 anni, l'areale è più che quintuplicato, una tendenza attribuibile a strategie di gestione incentrate esclusivamente sull'abbattimento. La mancanza di criteri di gestione scientificamente rigorosi, razionali e omogenei rende difficile l'attuazione di piani di controllo efficaci. Inoltre, l'uso di braccate (caccia in battuta), sebbene inammissibile, è stato impiegato anche per il controllo della popolazione.

Tra le cause prossime più critiche vi è la negligenza dei meccanismi biologici alla base della riproduzione e della dispersione, in particolare il ruolo della comunicazione chimica nella fisiologia riproduttiva. Ad esempio, quando la matriarca viene abbattuta, le sue figlie, liberate dall'inibizione feromonale e comportamentale, entrano simultaneamente in stato di prontezza riproduttiva. Ciò interrompe l'equilibrio omeostatico sotto pressione antropica. A differenza dei grandi carnivori, che predano selettivamente i giovani, gli esseri umani tendono ad abbattere gli individui più anziani (matriarche e maschi dominanti), rimuovendo così i segnali di sincronizzazione dell'estro e innescando una riproduzione asincrona e prematura. Ciò porta a nascite al di fuori della stagione riproduttiva naturale (fine inverno-inizio primavera), che normalmente garantisce condizioni di alimentazione ottimali per la prole. Le giovani femmine mostrano un potenziale riproduttivo più elevato rispetto alle matriarche più anziane, e i giovani maschi hanno una conta spermatica più elevata rispetto ai maschi dominanti più anziani. Di conseguenza, l'inizio precoce della riproduzione nei giovani di entrambi i sessi sposta la popolazione verso una strategia-r, caratterizzata da una crescita esponenziale. Questo spostamento ha indubbiamente contribuito all'aumento numerico e all'espansione territoriale delle popolazioni di cinghiali. Mentre l'obiettivo dei piani di controllo è quello di stabilizzare i numeri della popolazione (ovvero, mantenere una strategia K), le pratiche attuali hanno invece indotto una dinamica tipica delle popolazioni con strategia-r: rapida espansione e alti tassi riproduttivi, producendo così effetti antitetici agli obiettivi prefissati. La densità di popolazione rimane scarsamente documentata in tutta Italia; in alcune aree, le stime superano i 40 individui ogni 100 ettari.

#### 4.2. Biologia di popolazione

Una gestione basata esclusivamente sull'abbattimento innesca una risposta omeostatica nella specie, spostando la sua strategia riproduttiva da K a r. Questa plasticità è una caratteristica biologica del cinghiale, storicamente preda elettiva dei grandi carnivori e, successivamente, dell'uomo. Nel corso dell'evoluzione, la specie ha sviluppato meccanismi adattativi per garantire la sopravvivenza sotto tutte queste pressioni predatorie.

La strategia-r è definita dalle dinamiche di popolazione guidate dal potenziale riproduttivo, con brevi cicli ontogenetici, elevata fecondità, rapido ricambio generazionale e ampie piramidi d'età. È tipicamente

rappresentata da una curva di crescita a forma di J. Tali popolazioni sono altamente diffuse e instabili, con intensa competizione intraspecifica e mortalità elevata, che paradossalmente ringiovaniscono la popolazione e ne accelerano la crescita. La dinamica di popolazione può seguire un modello chiuso o aperto. Il modello chiuso, raro in natura, è descritto matematicamente dalle equazioni predatore-preda di Lotka-Volterra, in cui vengono mantenuti cicli oscillatori delle popolazioni di predatori e prede. Al contrario, le popolazioni di cinghiali mostrano una dinamica aperta, in cui pressioni esterne, come l'abbattimento, stimolano la compensazione riproduttiva attraverso l'adozione di tratti di strategia-r.

L'efficacia dei piani di controllo dei cinghiali può essere compromessa se non sono costantemente informati dal monitoraggio della fauna selvatica, inclusa l'abbondanza dei predatori. Di conseguenza, una gestione efficace richiede una conoscenza dettagliata delle dinamiche di popolazione, inclusi il numero, l'età e il profilo genetico delle femmine e dei maschi riproduttori, le dimensioni della famiglia, l'home range, i tassi di sopravvivenza della prole e i meccanismi di comunicazione chimica. Inoltre, lo sforzo effettivo in termini di tempo, risorse e investimenti economici necessari per un efficace contenimento deve essere quantificato.

#### 4.3. Fattori ambientali

Un'ipotesi attribuisce la crescita delle popolazioni di cinghiali principalmente a fattori meteorologici e ambientali. Tuttavia, questa ipotesi non è supportata da solide prove scientifiche. Esaminiamo questi postulati in dettaglio.

Il primo postulato si basa sul graduale spopolamento delle aree rurali a favore dei centri urbani, che sono stati citati come un fattore che contribuisce alla proliferazione dei cinghiali. Tuttavia, questo fenomeno è controbilanciato dal drammatico aumento del consumo di suolo causato dall'espansione delle aree antropizzate/urbanizzate. Il continuo aumento delle superfici artificiali, caratterizzato da una maggiore densità edilizia a scapito dei terreni agricoli e naturali, insieme alla frammentazione delle aree circostanti i sistemi infrastrutturali, ha portato a una perdita diffusa di habitat. Queste zone sono particolarmente vulnerabili a causa della loro accessibilità e della crescente domanda di spazio per la logistica, l'espansione urbana, il decentramento e la densificazione. Di conseguenza, preziose aree naturali all'interno delle città vengono perse. I rapporti italiani sul consumo di suolo documentano chiaramente una riduzione esponenziale e una frammentazione degli habitat naturali, contraddicendo la teoria dell'abbandono rurale. Un altro postulato riguarda la riforestazione. Tuttavia, i dati CORINE Land Cover rivelano una contrazione della copertura arborea, con significativi cambiamenti nella vegetazione, tra cui la conversione di aree boschive in terreni erbacei. Inoltre, l'ultimo rapporto sulla Direttiva Habitat italiana evidenzia un drastico declino della qualità dell'habitat e della biodiversità. Questo postulato è quindi contraddetto da prove oggettive.

Il cambiamento climatico globale è spesso postulato come un fattore contribuente. Sebbene eserciti ampi effetti ecologici su più specie e sia stato suggerito che influenzi l'espansione demografica del cinghiale, induce contemporaneamente stress fisiologico cronico nei suidi, con conseguenze negative per l'efficienza riproduttiva e la produttività complessiva. Ma, a differenza dei fattori ambientali, che tipicamente generano dinamiche di popolazione cicliche o pulsatili, l'aumento esponenziale e sostenuto delle popolazioni di cinghiali osservato nell'ultimo decennio si discosta da tali modelli. Questa tendenza supporta invece l'ipotesi che interventi di gestione intensificati, in particolare l'abbattimento selettivo e la pressione venatoria, siano i principali fattori di un passaggio demografico da strategie riproduttive selezionate con K a strategie riproduttive selezionate con r. Queste pressioni alterano significativamente la struttura per età, i tempi riproduttivi e i tassi di sopravvivenza.

Attualmente, la riproduzione avviene annualmente alla fine della stagione di caccia, indipendentemente dalla massa corporea, dalla disponibilità di cibo o dalle condizioni climatiche. Come documentato in altri contesti ecologici, le popolazioni di cinghiali sono soggette a una pressione venatoria senza precedenti per

un grande mammifero. Di conseguenza, l'inizio della maturità sessuale prima del raggiungimento della piena massa corporea adulta sembra essere una conseguenza diretta dello stress indotto dalla caccia.

Di conseguenza, i dati disponibili indicano un marcato aumento dell'intensità degli abbattimenti dal 1998, con interventi localizzati in aumento di oltre il 300%. L'affermazione che la persecuzione ridotta abbia contribuito alla crescita della popolazione è incoerente con questi risultati ed è parimenti confutata da prove oggettive.

Contrariamente all'ipotesi dei fattori ambientali, le attuali evidenze provenienti da popolazioni sottoposte ad elevata pressione venatoria supportano l'influenza predominante della gestione antropica. La ridotta aspettativa di vita dovuta all'elevato rischio di caccia porta a un maggiore investimento riproduttivo, in particolare tra le giovani femmine con bassa massa corporea. Questo adattamento fisiologico agli stress antropici spiega gli elevati tassi riproduttivi osservati nelle popolazioni di cinghiali, indipendentemente dalle condizioni ambientali.

#### 4.4. Comunicazione chimica

È altamente plausibile che i feromoni svolgano un ruolo chiave nella regolazione della fisiologia riproduttiva, contribuendo al passaggio da una strategia-K a una strategia-r. La comunicazione sessuale nei mammiferi è fondamentalmente mediata da segnali chimici, principalmente feromoni. La comunicazione chimica regola sia i comportamenti appetitivi che quelli consumistici legati alla riproduzione e alla fecondazione. Segnali specifici di ogni specie sono secreti dalle ghiandole del corpo, e persino le uova emettono feromoni che attraggono gli spermatozoi. I feromoni (ormone fereina = ormoni trasportati esternamente) sono sostanze invisibili fisiologicamente attive in entrambi i sessi. Agiscono sull'ipotalamo, modulando la fisiologia riproduttiva.

Esempi di effetti dei feromoni maschili sulle femmine includono la sincronizzazione dell'estro (effetto Whitten), l'accelerazione della pubertà (effetto Vandenbergh), l'estro postpartum (effetto Zalesky), il blocco della gravidanza e l'estro indotto dall'esposizione a un nuovo maschio (effetto Bruce) e il comportamento di lordosi indotto dall'androstenone, essenziali per la fecondazione sia nei suini domestici che nei cinghiali. Esempi di effetti dei feromoni femminili sui maschi includono l'inizio del corteggiamento maschile al di fuori della stagione riproduttiva (effetto Mazzatenta), il rinvigorimento sessuale (effetto Coolidge), la soppressione o l'allungamento del ciclo nei gruppi di femmine (effetto Lee-Boot) e la sincronizzazione del ciclo (effetto McClintock). Questi meccanismi sono cruciali per la regolazione della riproduzione e, di conseguenza, della strategia riproduttiva adottata. Ad esempio, l'acido miristico (acido 1-tetradecanoico), un feromone fecale secreto dalle scrofe, insieme allo scatolo, influenza positivamente la crescita dei suinetti svezzati. I suinetti mostrano un'affinità per le feci materne, che ha un effetto calmante, riduce l'aggressività e stimola l'assunzione di cibo, favorendo in definitiva tassi di crescita più elevati. Nei cinghiali, la sincronizzazione dell'estro è stata documentata dal 1990. Le femmine all'interno dei gruppi familiari mostrano cicli estrali sincronizzati (effetto McClintock). Questo meccanismo funge da strategia naturale di controllo della popolazione. La Matrona rilascia feromoni che sincronizzano e sopprimono l'estro nelle femmine subordinate (effetto Lee-Boot), limitando così la riproduzione. Di conseguenza, i cinghiali, come tutti i mammiferi, possiedono meccanismi fisiologici altamente raffinati per la regolazione riproduttiva. Quando la Matrona viene rimossa, le sue figlie vengono liberate dall'influenza soppressiva dei feromoni, consentendo loro di entrare in estro, anche al di fuori della stagione riproduttiva, e di produrre numerose cucciolate. Le giovani femmine mostrano un potenziale riproduttivo più elevato rispetto alle Matrone più anziane e, analogamente, i giovani maschi hanno una conta spermatica più elevata rispetto ai solenghi più anziani. Ciò porta a una riproduzione precoce in entrambi i sessi, determinando uno spostamento verso una strategia-r, che supporta una crescita esponenziale della popolazione. L'elevata pressione venatoria contribuisce direttamente a questo risultato.

In questo contesto, il conflitto antropogenico, spesso privo di un chiaro fondamento scientifico, amplifica la percezione pubblica del problema e favorisce la ricerca di soluzioni non scientifiche.

Questi meccanismi rientrano nel dominio della comunicazione chimica, una forma ancestrale e fondamentale di comunicazione animale essenziale per la vita stessa. Pertanto, la gestione delle popolazioni di cinghiali deve essere affrontata da una prospettiva ecofisiologica. Al contrario, il degrado ambientale e il conflitto antropico possono emergere quando tali meccanismi fisiologici vengono trascurati.

#### 4.5. Il modello del danno ambientale

Il modello proposto, basato sull'esperienza italiana, potrebbe avere una più ampia applicabilità oltre i confini nazionali. Ad esempio, il cinghiale, introdotto in Nord America come specie aliena intorno al 1900, è passato da 17 stati nel 1982 a oltre 35 stati entro il 2024, con stime di popolazione che raggiungono i 7 milioni di individui. In risposta a ciò, gli sforzi di abbattimento mirato in particolare nell'ambito del Programma Nazionale di Gestione dei Danni ai Suini Feriti dell'USDA, sono aumentati di oltre il 300%. Sebbene i vincoli ecologici differiscano a causa dello status di specie non autoctona del cinghiale in Nord America, le risposte fisiologiche e i modelli riproduttivi della specie rispecchiano da vicino quelli osservati in Italia. Questa convergenza suggerisce l'esistenza di principi biologici generali che trascendono i contesti regionali, rafforzando la rilevanza e la potenziale applicabilità del modello attuale all'interno di quadri più ampi di gestione ecologica e faunistica.

Come illustrato nel modello di impatto concettuale, le pressioni antropiche come la caccia intensiva possono essere interpretate come eventi avversi che innescano modifiche sistemiche nelle dinamiche di popolazione e nell'equilibrio degli ecosistemi. Queste pressioni portano a impatti sia ambientali che sociali, che vanno dalla perdita di biodiversità all'aumento del conflitto tra uomo e fauna selvatica, e richiedono una valutazione rigorosa per distinguere tra deterioramento reversibile e danno irreversibile. Questo modello, basato su meccanismi fisiologici e sulla comunicazione chimica, offre un valido quadro per comprendere e gestire queste dinamiche in diversi contesti ecologici.

#### 5. Conclusioni

La biologia della conservazione mira a salvaguardare specie, habitat ed ecosistemi dall'estinzione e dal degrado. Sebbene spesso si intersechi con la gestione delle risorse naturali, la sua missione fondamentale diverge: la biologia della conservazione dà priorità alla conservazione e al ripristino della biodiversità in risposta alle pressioni antropiche, mentre la gestione tradizionale delle risorse è emersa da paradigmi industriali e burocratici. Questa distinzione concettuale è esemplificata dalle sfide della gestione della fauna selvatica in Italia, in particolare dalla crescita senza precedenti della popolazione di cinghiali. Il successo della conservazione dipende dall'integrità scientifica, dalla comprensione delle dinamiche degli ecosistemi e dalla libertà di perseguire la ricerca guidata dalla curiosità piuttosto che da interessi personali o tendenze politiche.

Nel caso italiano, la mancanza di competenze ecofisiologiche ha portato a strategie di abbattimento ad alta pressione che paradossalmente alimentano una crescita esponenziale della popolazione. I fattori scatenanti di questo fenomeno sono multifattoriali: tra le cause remote rientrano l'introduzione non regolamentata di cinghiali per la caccia e l'ibridazione con i suini domestici, mentre le cause prossime derivano da pratiche di gestione, in particolare metodi di caccia, che promuovono involontariamente l'espansione della popolazione e intensificano il conflitto tra uomo e fauna selvatica.

La caccia ricreativa e selettiva, in teoria, perseguono scopi diversi rispetto alle misure di controllo, ma tutte si traducono in abbattimenti continui e non sistematici. Ciò impone una significativa "pressione predatoria" sulle popolazioni di cinghiali, che la percepiscono biologicamente come uno squilibrio nelle classi di età. La caccia colpisce in modo sproporzionato gli individui più anziani, spesso a causa dei loro comportamenti difensivi. Ad esempio, le femmine matriarche si espongono frequentemente per proteggere il loro gruppo, rendendole più vulnerabili al fuoco. Metodi di caccia collettiva come la braccata sconvolgono ulteriormente le strutture familiari e spostano gli individui oltre i loro territori. Questo spostamento favorisce il comportamento nomade, spingendo i cinghiali a cercare rifugio e cibo nei campi coltivati e nei rifiuti urbani. Questi adattamenti comportamentali esacerbano i conflitti antropici e i danni all'agricoltura, gli incidenti

stradali e l'"effetto spugna", che porta gli animali a concentrarsi in zone vietate alla caccia come parchi e aree industriali.

Oltre ai fattori storici e gestionali, l'aumento esponenziale della popolazione è meglio spiegato dalla risposta biologica della specie alla pressione di prelievo, che innesca un passaggio da una strategia riproduttiva K-selezionata a una r-selezionata. Affrontare questo problema richiede un approccio integrato. L'ecofisiologia offre un quadro promettente che collega la biologia della conservazione e la gestione operativa della fauna selvatica, consentendo soluzioni sostenibili per prevenire un ulteriore degrado ambientale.

Questo studio presenta un modello completo dei fattori che influenzano la dinamica della popolazione di cinghiali in Italia. Evidenzia l'impatto delle attività antropiche, come il ripopolamento e la caccia, sulla crescita della popolazione e gli adattamenti fisiologici che facilitano l'accelerazione riproduttiva e l'espansione territoriale. Questi risultati sottolineano la necessità di pratiche di gestione sostenibili per mitigare il danno ecologico. Per invertire le tendenze attuali, si raccomanda di promuovere l'invecchiamento demografico all'interno delle popolazioni di cinghiali. Ciò implica l'interruzione dell'abbattimento indiscriminato e il divieto di caccia in battuta e di prendere di mira femmine matriarcali e maschi dominanti, la cui rimozione destabilizza le strutture sociali e accelera il ricambio riproduttivo. Una volta stabilizzate le dinamiche di popolazione, la caccia dovrebbe concentrarsi esclusivamente sugli individui giovani (rossicci).

Predatori naturali come lupi, poiane e volpi svolgono un ruolo cruciale nella regolazione delle popolazioni di cinghiali.

Tra tutti i predatori naturali, il lupo è il regolatore più efficace, esercitando una pressione selettiva sui giovani cinghiali. Questo modello di predazione favorisce l'invecchiamento demografico e contribuisce a mantenere stabili gerarchie riproduttive.

I limiti dello studio derivano dalla scarsa disponibilità di dati ufficiali, che ha limitato l'analisi e ha richiesto un approccio interpretativo basato su fonti frammentate. Il modello teorico risultante, pur offrendo una prospettiva innovativa, potrebbe essere arricchito con ulteriori input e produrre risultati diversi in altri contesti ecologici. In questo contesto di evidente danno ambientale, le future scelte gestionali sollevano serie preoccupazioni. Ad esempio, l'uso di grandi trappole "pig-brig" per uccidere i cinghiali viola tutti i principi del benessere animale, poiché gli animali catturati vengono abbattuti collettivamente a colpi d'arma da fuoco, una pratica paragonabile a un'esecuzione di massa. Inoltre, l'aumento del numero di lupi, inizialmente favorito dall'aumento delle popolazioni di cinghiali, viene ora contrastato attraverso misure di controllo. Questo approccio rischia di aggravare il danno ambientale innescando un aumento del numero di cinghiali durante le epidemie di peste suina africana e causando la disintegrazione dei branchi di lupi, che a sua volta intensifica i conflitti tra uomo e fauna selvatica.

Una gestione della fauna selvatica non coordinata spesso comporta costi economici più elevati rispetto a strategie scientificamente guidate. Studi ecologici continui e standardizzati sono essenziali per garantire sia l'efficacia che la sostenibilità. Una gestione sostenibile del cinghiale non può basarsi esclusivamente sull'abbattimento. Deve basarsi su un approccio ecofisiologico basato su conoscenza fisiologica e comportamentale specifica per ogni specie, in particolare sulla comunicazione chimica. Ciò richiede reti di monitoraggio territoriale supportate da tecnologie avanzate, ad esempio droni con immagini termiche, sistemi LiDAR e sensori ambientali, per consentire la valutazione in tempo reale della struttura della popolazione e delle interazioni ecologiche. Solo attraverso l'integrazione di fisiologia, ecologia e tecnologia è possibile progettare interventi adattivi e scientificamente fondati, coerenti con la complessità dei sistemi faunistici. Questo approccio contribuirà ad affrontare le dimensioni socio-politiche della gestione della fauna selvatica e a facilitare l'integrazione delle politiche.

Questo manoscritto si qualifica come un documento di posizione in fisiologia ambientale, offrendo un'interpretazione scientificamente fondata di dati ufficiali limitati. Chiarisce le cause di fallimento della gestione e propone un modello concettuale potenzialmente applicabile ad altri contesti ecologici, come il Nord America, dove si osservano dinamiche simili.