

PROGETTO DI RICERCA SULL'ECO-ETOLOGIA DEL MUFLONE
(*Ovis orientalis musimon*) IN AMBIENTE MEDITERRANEO CON
PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA STRUTTURA ED ALLA
DINAMICA DI POPOLAZIONE



RELAZIONE FINALE

DICEMBRE 2006

ANNA PIPIA

SIMONE CIUTI

FABIO GHIANDAI

SIRIANO LUCCARINI

SUPERVISIONE SCIENTIFICA

PROF. MARCO APOLLONIO



DIPARTIMENTO DI ZOOLOGIA E GENETICA EVOLUZIONISTICA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI

DIRETTORE: PROF. M. APOLLONIO

INDICE

RINGRAZIAMENTI	PAG. 3
INTRODUZIONE	PAG. 4
AREA DI STUDIO	PAG. 4
LA SPECIE	PAG. 6
PARTE PRIMA – STRUTTURA DI POPOLAZIONE	PAG. 11
MATERIALI E METODI	PAG. 12
RISULTATI E DISCUSSIONE	PAG. 14
PARTE SECONDA – DINAMICA DI POPOLAZIONE	PAG. 26
DEFINIZIONE DEL MODELLO	PAG. 27
RISULTATI E DISCUSSIONE	PAG. 31
APPENDICE	PAG. 40
BIBLIOGRAFIA	PAG. 42

Ringraziamenti

Si ringrazia la Regione Autonoma della Sardegna, l'Assessorato Difesa dell'Ambiente, con particolare riferimento a Paolo Onida. Si ringrazia l'Ente Foreste della Sardegna della Provincia di Nuoro per il supporto logistico e la collaborazione, con particolare riferimento al direttore F. Corda, la dott.sa M. Zizi, il dott. G. DeSerra, i capocantiere di Montes ed Iseri F. Dettori e P. Sio e tutti gli operai. Si ringraziano inoltre i componenti del gruppo di ricerca del prof. Marco Apollonio e gli studenti universitari che hanno partecipato alle sessioni di cattura e censimento di muflone. Si ringrazia infine la Società Sardegna Resort s.r.l. e la "Fondazione Banco di Sardegna".



Introduzione

Il genere *Ovis* compare in Europa solo intorno al 6000 a.C., con la fauna antropocora che accompagna l'affermazione in ambiente mediterraneo delle colture neolitiche. I primi mufloni (*Ovis orientalis musimon*) dovevano avere già subito una qualche forma di domesticazione da parte dell'uomo anche se non potevano essere considerati delle vere e proprie forme domestiche.

Dopo la sua introduzione in Sardegna ed il ritorno allo stato selvatico di cospicui nuclei di individui, il muflone si diffuse largamente nell'isola, ma già Gighi (1911) ne riportava un rapido declino dovuto al bracconaggio. Dai 300-360 individui del 1969 si passò a 1500-1600 del 1985 (Cassola 1985). Attualmente è presente con 6000 capi, localizzati nell'Ogliastra, Monti del Gennargentu e del Supramonte, sul Monte Albo e in aree in gestione all'azienda Foreste Demaniali (Capo Figari, Pababile, Capo Cesano) e nel Parco Nazionale dell'Asinara dove è stato reintrodotta. Nonostante la popolazione sarda sia considerata "storicamente autoctona", nessuno studio è stato svolto sul comportamento spaziale del muflone in Sardegna: questo bovide risulta peraltro incluso nella categoria "specie vulnerabili" della Lista Rossa della IUCN del 2000, e la legge regionale 23/1998 in materia di protezione della fauna e disciplina dell'esercizio venatorio lo colloca tra le specie "particolarmente protette".

In letteratura scientifica i contributi che riguardano la specie sono molto limitati, specialmente se si considerano quelli svolti in ambiente mediterraneo. Studi sulla struttura e dinamica di popolazione provengono dalla Corsica (Pfeffer 1963, Pfeffer 1967, Pfeffer & Genest 1969), dal sud della Francia (Bon & Campan 1989), dall'arcipelago sub-antartico delle Kerguelen (Boussès *et al.*, 1991) e dai Pirenei Orientali (Gonzales, 1985).

Questo bovide mediamente dimorfico e gregario ha una spiccata tendenza alla socialità e tende a formare gruppi di dimensioni anche notevoli. Come in altre pecore selvatiche, il muflone mostra un alto grado di segregazione sessuale al di fuori del periodo riproduttivo. In genere si costituiscono gruppi monosessuali con arieti di oltre due anni, che durante il secondo anno di vita hanno completamente sciolto ogni tipo di legame con la madre (Briedermann, 1993), e gruppi di femmine accompagnate da piccoli e giovani di un anno (Pfeffer, 1967; Bon & Campan, 1989). Questi gruppi si sciolgono durante il periodo riproduttivo (ottobre-novembre) nel corso del quale la formazione dei gruppi misti e la presenza di maschi isolati in cerca di femmine sembra essere la regola; gruppi misti sono spesso presenti durante tutto l'inverno (Pfeffer, 1967; Turche & Schminke, 1965; Bon *et al.*, 1993).

Alla luce delle scarse conoscenze sulla struttura e dinamica di popolazione del muflone a livello internazionale e della completa mancanza di dati riferiti alla specie nell'unica regione europea dove può essere ritenuta storicamente autoctona, questo studio si propone per la prima volta di colmare le lacune nella conoscenza di alcuni rilevanti aspetti della biologia del muflone.

Area di studio

L'area di studio è situata nella foresta demaniale di Montes, presso Orgosolo (NU). Questa comprende una superficie di circa 4600 ettari, che raggiunge i 7000 se vengono inclusi gli appezzamenti affidati dal comune di Orgosolo all'Ente Foreste. Si estende dal massiccio del Gennargentu all'alta valle del Cedrino, al Supramonte sino al rio Flumineddu. L'area di studio è un vasto altopiano carsico con altitudine compresa tra 800 e 1400 metri. Le condizioni climatiche sono di tipo mediterraneo, con estati molto secche e calde, le temperature massime superano i 30° nei mesi di luglio e agosto; in contrasto, gli inverni risultano anche severi con temperature minime registrabili nei mesi di gennaio e febbraio. Le precipitazioni nevose possono essere abbondanti. È importante sottolineare la presenza della più antica foresta primaria d'Europa, in cui si possono ritrovare secolari esemplari di leccio (*Quercus ilex*) e ginepro (*Juniperus oxicedrus* e *Juniperus phoenicea*) in forma arbustiva. Possono essere raggiunte in alcuni casi anche notevoli dimensioni e

un'età millenaria. Sono presenti inoltre agrifogli (*Ilex aquifolium*), tasso (*Taxus baccata*) e macchia mediterranea cui si aggiungono pino (*Pinus spp.*) e cedro (*Cedrus spp.*), alloctoni introdotti nei rimboschimenti. A seguito dell'incendio verificatosi nel 1931, la lecceta ha lasciato spazio a stadi di degradazione più o meno accentuati: formazioni a macchia mediterranea, gariga, sino alla roccia affiorante. Nella zona vi è una consistente presenza di bestiame al pascolo e non è raro osservare ibridi di maiale domestico (*Sus scrofa domesticus*) e cinghiale (*Sus scrofa meridionalis*). L'importanza dei predatori è limitata, e solo l'aquila reale (*Aquila chrysaetes*) e la volpe (*Vulpes vulpes*) possono rappresentare un pericolo soprattutto per i piccoli di muflone. Tra gli uccelli sono presenti l'astore (*Accipiter gentilis arrigonii*), lo sparviere (*Accipiter nisus*), il gheppio (*Falco tinnunculus*), il colombaccio (*Columba palumbus*), la cornacchia grigia (*Corvus corone cornix*), il corvo imperiale (*Corvus corax*). Tra i mammiferi, oltre a muflone, cinghiale e volpe, sono presenti anche il gatto selvatico sardo (*Felis silvestris lybica*), la martora (*Martes martes*), il topo quercino (*Eliomys quercinus*) e il ghiro (*Myoxus glis melonii*). Ai margini del bosco troviamo invece la lepre (*Lepus capensis*) e il coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*). Utilizzando la carta dell'uso del suolo della Regione Autonoma della Sardegna (edizione 2003) all'interno dell'area di studio sono state individuate le seguenti tipologie vegetazionali:

Bosco di latifoglie: formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi, ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali latifoglie. La superficie a latifoglie costituisce almeno il 75% della componente arborea forestale. Sono comprese anche le sugherete miste con altre latifoglie, qualora non possano essere classificate come boschi puri di sughera.

Bosco di conifere: formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi, ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali conifere. La superficie a conifere costituisce almeno il 75% della componente arborea forestale.

Pascolo naturale: aree foraggere localizzate nelle zone meno produttive talvolta con affioramenti rocciosi non convertibili a seminativo.

Macchia mediterranea: associazioni vegetali dense composte da numerose specie arbustive, ma anche arboree in prevalenza a foglia persistente, in ambiente mediterraneo.

Gariga: associazioni cespugliose basse e discontinue su substrato calcareo o siliceo. Sono spesso composte da lavanda, cisti, rosmarino e timo. Può comprendere alberi isolati.

Aree a ricolonizzazione artificiale: aree in cui sono evidenti gli interventi e le opere preparatorie agli impianti come gradonamenti e buche, anche se talvolta, attualmente, la vegetazione spontanea può avere preso il sopravvento sulle specie impiantate.

Area con vegetazione rada: affioramenti con copertura vegetale compresa tra il 5% e il 40%. Comprende le steppe xerofile, le steppe alofite e le zone calanchive con parziale copertura vegetale.

Prati Artificiali: colture foraggere ove si può riconoscere una sorta di avvicendamento con i seminativi

Seminativi: superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione (cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere, prati temporanei, coltivazioni industriali erbacee, radici commestibili e maggesi).

La specie

Inquadramento tassonomico:

SUPERORDINE:	Ungulati
ORDINE:	Artiodattili
SOTTORDINE:	Ruminanti
FAMIGLIA:	Bovidi
SOTTOFAMIGLIA:	Caprine
TRIBU':	Caprini
GENERE:	<i>Ovis</i>
SPECIE:	<i>Ovis orientalis musimon</i>

I Bovidi costituiscono una famiglia di ruminanti diffusa in tutte le regioni zoogeografiche del mondo. Presentano corna permanenti costituite da un'apofisi frontale su cui si inserisce un astuccio corneo, in genere presenti in entrambi i sessi, in alcuni casi possono mancare. A seconda dei generi si hanno notevoli variazioni nella forma del corpo e delle corna. La colorazione del mantello va dal marrone al grigio, al bianco al giallo al nero; alcune specie presentano macchie o strie (Apollonio e Meneguz 2003). La famiglia comprende nove sottofamiglie, tra queste la sottofamiglia Caprine è rappresentata da tre generi e cinque specie nella fauna italiana. Il genere *Ovis* comprende specie di Caprine come il muflone (*Ovis orientalis musimon*), l'argali (*Ovis ammon*), l'urial (*Ovis orientalis gmelini*), la pecora delle Montagne Rocciose (*Ovis canadensis*), la pecora di Dall (*Ovis dalli*). E' sempre difficile definire in modo chiaro la sistematica di questo genere; si ritiene comunque che comprenda sei specie di cui due neartiche e quattro paleartiche (Corbet, 1984). Si tratta di bovidi di medie dimensioni con pelame folto ed a volte lanoso. Entrambi i sessi sono dotati di corna in molte specie; anche se queste possono mancare in altre come accade nella maggior parte di popolazioni di muflone.

Distribuzione pregressa e attuale: L'areale di origine del muflone comprendeva i territori montuosi dell'Asia minore, del Caucaso e dell'Iran Settentrionale. Si ritiene che questo ungulato sia finito nel Mediterraneo occidentale, circa 8000 anni fa, a seguito di popolazioni in migrazione verso Occidente che praticavano già la pastorizia. Si pensa che il muflone presente in Sardegna e Corsica discenda da esemplari parzialmente addomesticati che poi progressivamente tornarono in natura. Studi condotti su materiale osteologico hanno rivelato l'esistenza di poche differenze morfotipiche tra gli attuali mufloni delle isole mediterranee e i loro progenitori del Medio Oriente. Queste differenze riguardano principalmente le dimensioni generali e lo sviluppo delle corna.

Dopo la sua introduzione in Sardegna e il suo inselvatichimento il muflone si è largamente diffuso nell'isola andando ad occupare un areale molto vasto. Il bracconaggio ha portato però ad una drastica diminuzione del numero di capi, tanto che già nel 1911 Ghigi ne denunciava il declino (Ghigi, 1917); nel 1969 gli individui erano circa 300-360, ma arrivarono a 1500-1600 nel 1985 (Cassola, 1985). Il minimo storico si ebbe nel 1978 con meno di 300 individui. Da questo periodo in avanti, conseguentemente ad una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica, che ha portato ad una diminuzione del bracconaggio e del pascolo ovino nelle aree interessate, e in seguito alla creazione di numerose aree protette, si è avuta una ripresa nella crescita delle popolazioni.

Attualmente il muflone è presente in Sardegna con circa 6000 capi (Apollonio et al. 2005) che si trovano tra l'Ogliastra, i monti del Gennargentu e del Supramonte; sul Monte Albo e in aree dell'Azienda Foreste Demaniali (Capo Figari, Capo Cesano, Pabarile e l'Asinara, dove sono presenti popolazioni reintrodotte). La specie è presente anche sugli Appennini e sulle Alpi dove è stata introdotta a partire dalla fine del XVIII secolo (Fig 1.1). Individui provenienti dalle popolazioni autoctone di Sardegna e Corsica sono stati utilizzati anche per la creazione di colonie nell'Europa continentale, queste contano in totale circa 60000 capi

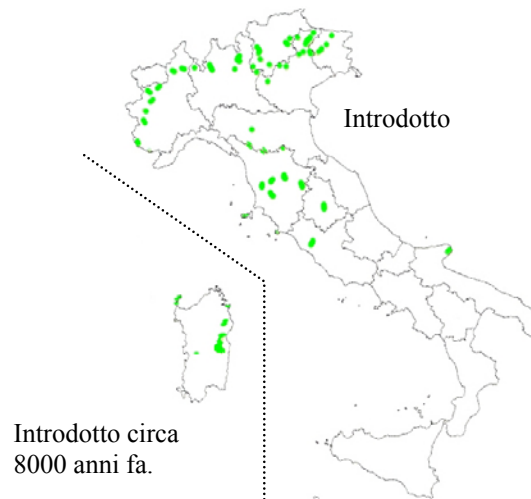


FIG 1.1: Attuale distribuzione del muflone in Italia

Descrizione morfologica: Il muflone è un bovide di taglia medio-piccola, presenta arti corti ma muscolosi e appare molto robusto, perfettamente adattato alla vita in ambienti rocciosi, aspri e selvaggi come quelli che costituiscono il suo habitat. La lunghezza totale in un adulto è compresa tra i 125 e i 140 cm nei maschi e tra i 115 e i 125 cm nelle femmine; mentre l'altezza al garrese tra i 75 e gli 85 cm nei maschi e tra i 65 e i 75 cm nelle femmine. I maschi raggiungono pesi massimi tra i 40 e i 50 kg, le femmine tra i 30 e i 40 kg (Mustoni et al. 2002). I mufloni sardi e corsi hanno dimensioni inferiori rispetto a queste (Pfeffer, 1967), infatti i maschi non superano i 40 kg e le femmine i 30. Il muso è allungato e convesso, carattere che si accentua con l'età. Gli occhi sono grandi con pupilla ovale, posti in orbite sporgenti. La testa di medie dimensioni è dotata di corna, queste sono sempre presenti nel maschio, nella femmina spesso mancano, come accade di regola nelle popolazioni sarde, nelle quali la presenza di corna nella femmina rappresenta un'eccezione. Nelle popolazioni corse, invece, fino al 70% delle femmine presenta le corna (Pfeffer, 1967), anche se più sottili e distanziate rispetto a quelle maschili. Le corna, che possono raggiungere una lunghezza di 80-90 cm, sono appendici molto robuste e larghe alla base, aventi sezione triangolare. Terminano con punte in genere ritorte verso l'esterno, ma che possono convergere ferendo il collo. La superficie delle corna è di colore bruno scuro con numerosi solchi trasversali, che possono essere consumati a causa di urti subiti durante combattimenti nel periodo riproduttivo. Fino al quinto anno di età sono evidenti gli accrescimenti annuali che poi diminuiscono considerevolmente, e consentono di determinare l'età nei maschi.(Fig 1.2).

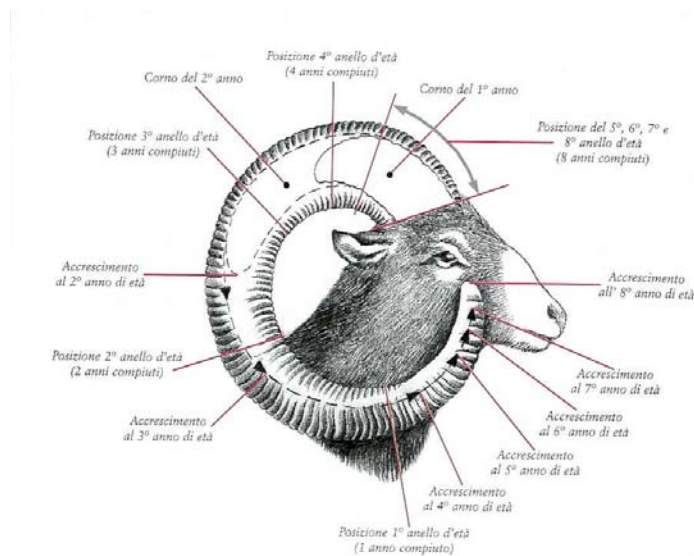


FIG. 1.2: Fasi di crescita del corno di muflone

Il mantello del muflone è costituito da un pelo molto corto, dritto e folto, con un colore che va dal crema al bruno a seconda delle stagioni. Si possono osservare due mute: una primaverile e una autunnale. Quella primaverile, che in Sardegna è visibile dall'inizio di febbraio fino a metà aprile, è la più vistosa. Quella autunnale fornisce al muflone un mantello più folto e scuro. La muta inizia generalmente lungo la spina dorsale e si estende poi al resto del dorso e al muso, sino al ventre e al petto.

La dentatura definitiva è costituita da 32 denti e viene completata al 43° mese di vita (Apollonio e Meneguz 2003). La formula dentaria di ogni emiarcata è la seguente:

TAB. 1.1: Schema della formula dentaria definitiva nel muflone (I= incisivo, C=canino, P= premolare, M= molare)

	I	C	P	M
Emiarcata superiore	0	0	3	3
Emiarcata inferiore	3	1	3	3

Sono quindi presenti 20 denti nell'arcata inferiore contro i 12 in quella superiore dove i canini e gli incisivi sono sostituiti dal cercine connettivale gengivale.

Sino al 43° mese di vita è possibile determinare l'età dalla dentatura: rispettivamente a 17, 25 e 32 mesi erompono il primo, il secondo e il terzo incisivo della mandibola (Apollonio e Meneguz 2003).

Dimorfismo sessuale: I due sessi sono distinguibili oltre che per le dimensioni del corpo, e per la presenza o la fisionomia delle corna, anche per caratteristiche del mantello. I maschi, infatti, mostrano sul collo, sul petto e sulle spalle una criniera molto scura; possono avere sulla schiena una sella più chiara durante la stagione riproduttiva. Nel periodo estivo nei maschi il mantello è bruno-rossastro, con il ventre, la parte interna e inferiore degli arti e l'area perianale biancastra, ai lati dell'addome, nella parte superiore degli arti, nel sottogola e nella zona della spalla si possono osservare invece delle linee scure. Può essere presente la maschera facciale, con porzioni di pelo chiare sul muso, in contrasto con le guance scure. La coda è nerastra nella parte esterna e giallo-biancastra in quella interna. Le femmine hanno di solito il mantello più chiaro e uniforme, con contrasti di colore minori rispetto ai maschi. Con la muta autunnale (attorno alla prima metà di settembre) i mufloni presentano un mantello più folto e dalle tinte più scure. Nelle femmine anche il mantello invernale presenta tinte meno accese, brunastre.

Habitat e distribuzione: Il muflone si è adattato a vivere in ambienti collinari e di bassa montagna, a partire da 300 metri sul livello del mare fino a 1300-1600 metri in Corsica e Sardegna (Pfeffer e Genest, 1969; Cassola, 1985; Ruiu, 1989), e raggiungendo altitudini maggiori in ambito continentale. In Sardegna l'habitat è rappresentato dagli alti pascoli con sottostante bosco di leccio (*Quercus ilex*), sughera (*Quercus suber*), roverella (*Quercus pubescens*), orniello (*Fraxinus ornus*) e carpino nero (*Ostrya carpinifolia*).

Il muflone è capace di grandi spostamenti, ad esempio in seguito a forti nevicate, alla ricerca di territori più adatti. E' probabile che l'utilizzo di determinate fasce altitudinali sia connesso alle necessità trofiche, alla ricerca di zone-rifugio e al condizionamento invernale dovuto allo spessore del manto nevoso (nei casi in cui questa specie sia presente in alta montagna). Il terreno ideale per il muflone è quindi costituito dagli altopiani, dai grandi spazi aperti; con modesti rilievi coperti di vegetazione erbacea e forestale che vengono però abbandonati, in favore di territori rocciosi e scoscesi, per questioni di disturbo e sicurezza (Silvestri, 1975).

Alimentazione: Il muflone possiede caratteristiche da ruminante pascolatore di tipo selettivo, con necessità metaboliche medie di circa 4,3 kg di foraggio verde ogni giorno (per 30 kg di peso vivo dell'animale) (Mustoni et al. 2002). Le popolazioni sarde e corse presentano abitudini da brucatori di fogliame di corbezzolo (*Arbutus unedo*), rovo (*Rubus spp.*), frassino (*Fraxinus spp.*) e leccio (*Quercus ilex*), (Pfeffer e Genest, 1969).

Dove il pascolo sia sufficientemente esteso, generalmente il muflone si comporta da pascolatore e la quasi totalità della dieta può essere costituita da graminacee e leguminose (Mustoni et al. 2002). Al contrario, negli ambienti forestali, il comportamento alimentare è simile a quello tipico dei brucatori con il consumo di foglie, apici vegetativi e frutti di stagione. Le graminacee in ogni caso costituiscono da sole mediamente il 69% delle piante appetite (Mustoni et al.; 2002). Durante la stagione estiva, la dieta del muflone è ricca in prevalenza di specie erbacee. In autunno si ha un maggiore consumo di dicotiledoni semilegnose e del loro fogliame; mentre in inverno si aggiungono gli apici quiescenti degli alberelli di rinnovamento e in alcuni casi le loro cortecce.

Il numero di ore giornaliere dedicate all'alimentazione può variare dalle otto alle diciassette, mediamente distribuite in tre o cinque periodi, con massimi all'alba e al crepuscolo, e prevalentemente durante le ore di luce (Mustoni et al. 2002).

Organizzazione sociale e comportamento: Il muflone è un animale gregario che costituisce gruppi misti anche di notevoli dimensioni. E' raro osservare individui isolati, si tratta di solito di femmine in prossimità del parto o di maschi ormai in età avanzata. I gruppi misti si formano durante il periodo riproduttivo, in autunno, e permangono spesso anche nei mesi invernali (Pfeffer, 1967; Turcke e Schminke, 1965; Bon et al., 1993). Durante la stagione riproduttiva è notevole anche la presenza di maschi isolati alla ricerca di femmine. In primavera, dopo i parti, si osservano gruppi costituiti da femmine con il loro piccolo e da giovani di un anno (Pfeffer, 1967; Bon e Campan, 1989). Le giovani femmine rimangono per un tempo più o meno lungo accanto alle madri, mentre i

maschi al compimento del primo anno d'età o più raramente del secondo abbandonano il gregge per costituire gruppi monosessuali di due-cinque individui.

I mufloni sono soliti emettere caratteristici fischi di avvertimento, espellendo aria dalle narici; questi vocalizzi sono utilizzati in larga misura dai maschi che guidano il branco. Gli stessi nel periodo degli accoppiamenti si riconoscono anche per un tipico suono gutturale che attira le femmine. Queste ultime, invece, emettono un caratteristico belato che ha la funzione sia di attirare i maschi durante il periodo degli amori (Turcke e Schminke, 1965; Briedermann, 1993), che di fungere da richiamo per i piccoli. I belati diminuiscono di frequenza nella stagione autunnale.

Riproduzione: Nel muflone maschi e femmine diventano sessualmente maturi in tempi diversi. La maturità sessuale viene raggiunta dai maschi a partire da un anno e mezzo di età, anche se essi non accedono alle femmine fino al terzo anno di vita (maturità sociale) (Turcke e Schminke, 1965), a causa della forte competizione all'interno del gregge. Nelle femmine, che sono poliestrali con un estro che dura tre giorni, la maturità sessuale viene raggiunta ancor prima di compiere il primo anno d'età, come riscontrato nell'area di studio di Montes (Orgosolo-Nuoro). Il periodo riproduttivo è distribuito tra ottobre e dicembre, anche se si possono avere accoppiamenti già a partire da settembre, a seconda delle caratteristiche climatiche dell'area considerata. La gestazione dura 150–160 giorni, (22 settimane circa) viene partorito di norma un solo piccolo, del peso di 2–2,6 kg (Ruiu, 1989); nel 50% dei casi due (Prien et al., 1982), ma ciò non ha trovato riscontro nell'area di studio in cui è stata svolta la presente ricerca. Durante il periodo riproduttivo i maschi si spostano a seguito del gregge di femmine, osservandolo da punti sopraelevati, e cercano di isolare quelle in estro, provvedendo poi alla loro difesa. In questo periodo avvengono violenti combattimenti tra maschi rivali, con moduli comportamentali specifici:

Foreleg kick: calcio con zampa anteriore; Twist: rotazione del corpo; Head butts: cozzo frontale delle corna; Clash: scontro frontale con rincorsa (McClelland, 1991). Analisi su crani di mufloni maschi hanno mostrato segni di ferite alle corna, alle ossa e ai denti dovute a questi combattimenti (Uhlenhaut e Stubbe, 1980).



FIG 1.3: Adulti di muflone durante un combattimento (Head Butts)

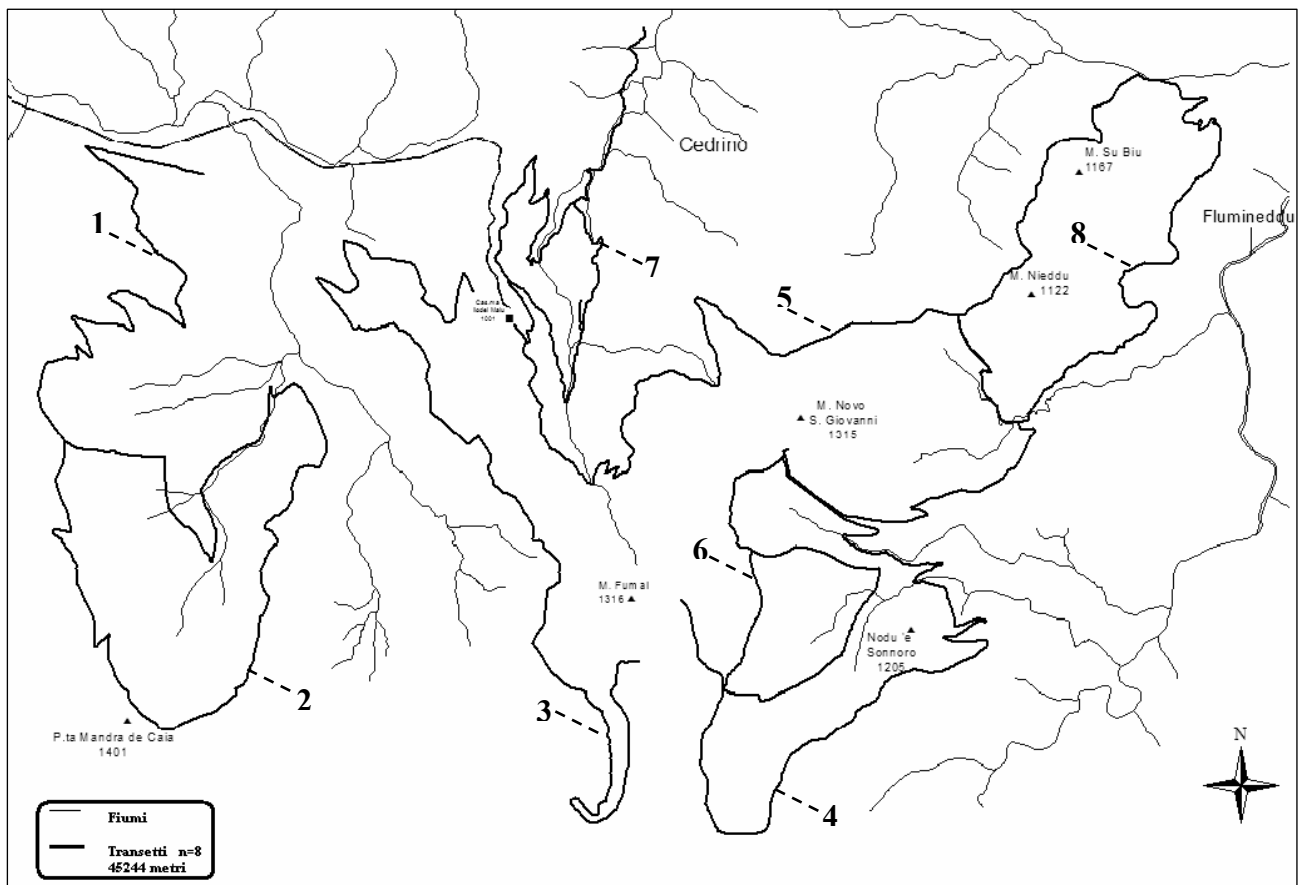
PARTE PRIMA – STRUTTURA DI POPOLAZIONE



Materiali e metodi

Raccolta dati: osservazioni dirette standardizzate e casuali

Nell'area di studio sono stati individuati 8 transetti lineari su uno sviluppo totale di 45.2 km (cartina1). La scelta delle aree idonee ai rilevamenti è stata svolta grazie ai regolari sopralluoghi effettuati nel corso del primo semestre del 2005. Tali transetti sono stati selezionati, come previsto da tale tipo di indagine, in modo da offrire una corretta rappresentazione delle tipologie vegetazionali e delle fasce altitudinali presenti nell'area di studio. Gli 8 transetti selezionati per la ricerca sono stati percorsi mensilmente da due operatori: questo ha permesso di raccogliere un numero ingente di osservazioni (n osservazioni = 559, n mufloni = 1973) in modo standardizzato. In aggiunta, grazie alla presenza di minimo due operatori impegnati nello studio del comportamento spaziale di un campione di mufloni muniti di radiocollare, è stato possibile raccogliere ulteriori informazioni grazie ad avvistamenti di tipo casuale. Gli ultimi mesi della ricerca sono stati impiegati nella elaborazione delle informazioni raccolte con lo scopo di acquisire il primo quadro definitivo della struttura di popolazione del muflone in Sardegna.



Cartina 1: Transetti di struttura individuati all'interno dell'area di studio (n = 8)

Ogni transetto viene percorso mensilmente nella stessa fascia oraria, in corrispondenza dell'alba (n = 4) e del tramonto (n = 4), quando la contattabilità dei mufloni risulta massima. La durata di percorrenza media dei singoli percorsi è di circa 3 ore. La raccolta dati prevede l'annotazione delle seguenti variabili:

- Data, ora e luogo di avvistamento (cartografia 1:10000)
- Condizioni meteorologiche.
- Numero di individui.
- Classe di sesso e di età.
- Comportamento (alimentazione, spostamento, ecc.) prima dell'avvistamento dell'operatore.
- Comportamento dopo l'eventuale avvistamento dell'operatore.
- Habitat del luogo di avvistamento e dell'eventuale fuga.
- Distanza di fuga.
- Presenza di ungulati domestici
- Presenza di eventuali forme di disturbo antropico (presenza operai)

Le classi di età utilizzate durante le osservazioni casuali e standardizzate sono:

- **Maschi adulti con età superiore ai 5 anni.**
- **Maschi adulti con età compresa tra i 2 ed i 5 anni.**
- **Maschi giovani:** età compresa tra 1 e 2 anni.
- **Femmine Adulte:** età superiore a 1 anno.
- **Piccoli:** maschi e femmine sino a 12 mesi di età.

La presenza di animali muniti di radiocollare o muniti di marche auricolari permette distinguere eventuali doppi conteggi delle osservazioni effettuate ed evitare una possibile autocorrelazione dei dati raccolti, aspetto spesso trascurato in questo tipo di indagini conoscitive.

Elaborazione dati.

Per lo studio della **struttura di popolazione** sono stati calcolati i seguenti parametri:

- Proporzione tra i sessi, definita come il rapporto tra il numero di maschi adulti ed il numero di femmine adulte.
- Rapporto piccoli/femmine, definito come il rapporto tra i piccoli e le femmine adulte.
- Proporzione relative delle diverse classi di sesso e di età.

Per quel che concerne **dimensione e fenologia dei gruppi** sono stati individuate le seguenti tipologie di aggregazione:

- Gruppi maschili: aggregazioni di maschi con età superiore ad 1 anno di vita.
- Gruppi femminili: femmine adulte associate a piccoli dell'anno e maschi giovani.
- Gruppi misti: femmine adulte eventualmente accompagnate dai piccoli o dai maschi giovani associate a maschi con età superiore ai 2 anni di vita

Il GIS ArcView 3.2 è stato utilizzato in tutte le elaborazioni di tipo cartografico, nonché nella digitalizzazione di tutte le informazioni raccolte nel periodo di studio. Le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software SPSS 12.0. I confronti tra le differenti distanze di fuga associate alle tipologie di aggregazione sono state analizzate con il test U di Mann-Whitney. È stato inoltre determinato l'indice chilometrico di abbondanza (I.K.A, individui contattati per chilometro) con lo scopo di evidenziare la relazione tra la presenza dei mufloni e quella degli ungulati domestici. Tale relazione è stata verificata mediante l'impiego del coefficiente di correlazione di Spearman

Risultati e discussione

Le osservazioni standardizzate (8 transetti percorsi mensilmente per uno sviluppo totale di circa 45 Km) e quelle casuali svolte nel periodo di studio hanno permesso di definire il quadro definitivo della struttura di popolazione del muflone nell'area di studio di Montes.

1) Struttura di popolazione

La figura 2.1 riporta la suddivisione in classi di sesso e di età della popolazione monitorata. Come evidenziato nella Tabella 2.1, dove sono stati riportati alcuni parametri che riassumono aspetti della struttura di popolazione, il rapporto tra i maschi che ipoteticamente hanno accesso alle femmine durante il periodo riproduttivo (maschi con età superiore a 2 anni) e le femmine presenti nell'area ammonta a 0.39. Questo valore è in linea con i parametri tipici di una popolazione con sistema riproduttivo di tipo poliginico, in cui ciascun maschio risulta avere accesso a più femmine: nella popolazione monitorata sono presenti, perciò, quasi 2,5 femmine per ciascun maschio con età superiore ai 2 anni. Il numero di femmine disponibile per ciascun maschio in età riproduttiva, in realtà, potrebbe essere superiore, come conseguenza del fatto che probabilmente solo i maschi in età avanzata riescono effettivamente ad avere accesso alle femmine. Anche in questa specie come in altri ungulati poliginici, a causa della forte competizione intrasessuale, i maschi non hanno in genere accesso alle femmine prima del terzo anno di età, anche se sono già sessualmente maturi (Turcke & Schmincke, 1965). Questo aspetto, tuttavia, sarà indagato in futuro quando saranno raccolti dati più mirati circa questo aspetto durante lo svolgimento dei prossimi periodi riproduttivi autunnali. È comunque necessario sottolineare la difficoltà oggettiva nell'effettuare osservazioni dirette inerenti il successo riproduttivo maschile in questa specie, considerando che durante i periodi riproduttivi autunnali monitorati durante il presente studio non è mai stata osservata un copula.

<i>Sex ratio</i>	
<i>rapporto maschi età > 1 / femmine adulte</i>	<i>0,55</i>
<i>rapporto maschi età > 2 / femmine adulte</i>	<i>0,39</i>
<i>rapporto maschi età > 5 / femmine adulte</i>	<i>0,10</i>
<i>Frazione maschi adulti (età > 5)</i>	
<i>rapporto maschi età > 5 / maschi età > 1</i>	<i>0,20</i>

Tabella 2.1 – Quadro riassuntivo di alcuni parametri valutati nella definizione della struttura di popolazione presente nell'area di studio.

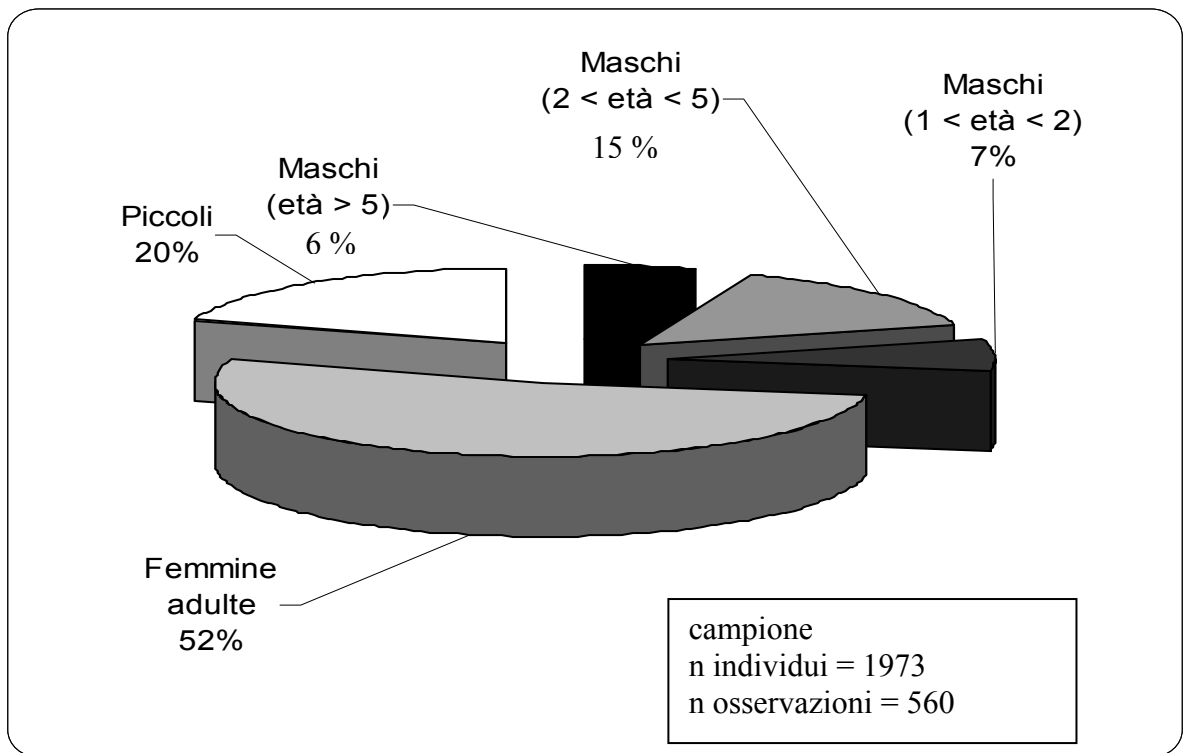


Figura 2.1 – Quadro riassuntivo della struttura di popolazione definita tramite le osservazioni standardizzate (n = 8 transetti) e casuali effettuate nei due anni di studio.

2) Produttività delle femmine

La figura 2.2 riassume mensilmente la produttività delle femmine di muflone, intesa come il rapporto del numero di piccoli e quello delle femmine.

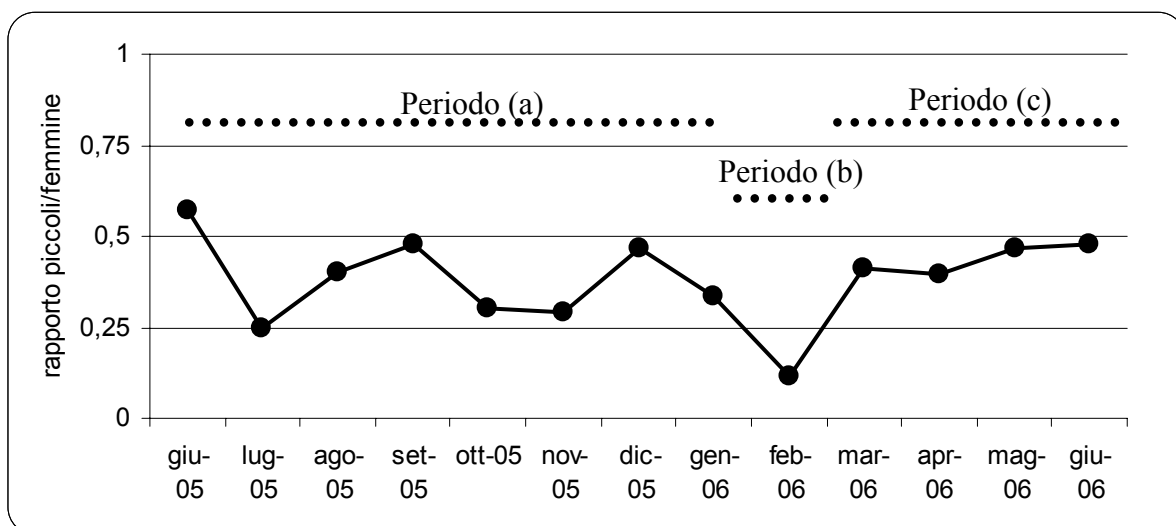


Figura 2.2 – Rapporto piccoli/femmine contattati durante i percorsi standardizzati e casuali effettuati nel periodo di studio intensivo nell'area di Montes mirato alla definizione di tale parametro nell'arco di un intero anno solare. Si rimanda al testo per il commento dei tre periodi individuati.

In particolare, il rapporto tra il numero dei piccoli e le femmine si aggira mediamente intorno al valore di 0.38 (circa 1 piccolo ogni 3 femmine), denotando una produttività relativamente bassa conforme ai valori caratteristici della famiglia dei bovidi. Questo dato è stato confermato dallo studio effettuato in contemporanea sulla produttività delle femmine munite di radiocollare. Come evidenziato dalla Figura 2.2, nel periodo intensivo di studio sono stati individuati tre periodi, sulla base della variazione della produttività femminile osservata. Nel periodo (a), la produttività delle femmine si attesta ad un valore medio del 39 %, conforme a quella registrata nella stagione dei parti successiva (periodo c: 43%), con valori minori registrati nei mesi caldi, quando le femmine con agnello risultano meno visibili, come confermato dagli studi di radiotracking. In febbraio (periodo b) il valore delle femmine accompagnate dai nuovi nati risulta drasticamente inferiore (11%). Due fattori contribuiscono ad interpretare questo dato: da un lato la mortalità invernale dei piccoli, che studi reperibili in letteratura attestano intorno al 20%, dall'altro la difficoltà oggettiva di distinguere in questo mese gli agnelli di sesso femminile dalle madri, che proprio in questo periodo risultano caratterizzate da pesi corporei simili.

Bisogna sottolineare, comunque, l'oggettiva difficoltà nel riconoscimento delle classi di età giovanili. Infatti, a differenza di quanto affermato dai precedenti studi svolti sul muflone, i piccoli dell'anno di sesso maschile (nati in primavera) a fine ottobre presentano già un accenno di "sella" su entrambe i fianchi (macchia di pelo bianco ben evidente) e l'anno dopo (maschi di un anno e mezzo di età) questa caratteristica risulta identica a quella posseduta dai maschi adulti. Qui di seguito sono stati riportati i dati inerenti la presenza della sella annotata durante le osservazioni svolte nei due anni di studio:

	presenza di sella	assenza di sella
Maschi 0-1 anni	50%	50%
Maschi 1-2 anni	82%	18%
Maschi 2-5 anni	89%	11%
Maschi > 5 anni	97%	3%

Lo studio ha permesso perciò di mettere a fuoco alcuni aspetti fondamentali sul riconoscimento di campo della specie. La letteratura scientifica, infatti, si riferisce per lo più a studi effettuati su popolazioni alpine e molti aspetti, quali la comparsa della sella sui fianchi, non hanno trovato riscontro nella popolazione naturale di Montes.

3) Dimensione e fenologia dei gruppi.

Nella figura 2.3 è stato riportato il quadro mensile della ripartizione degli individui osservati nelle tre tipologie di gruppo identificate (gruppi maschili, femminili e misti).

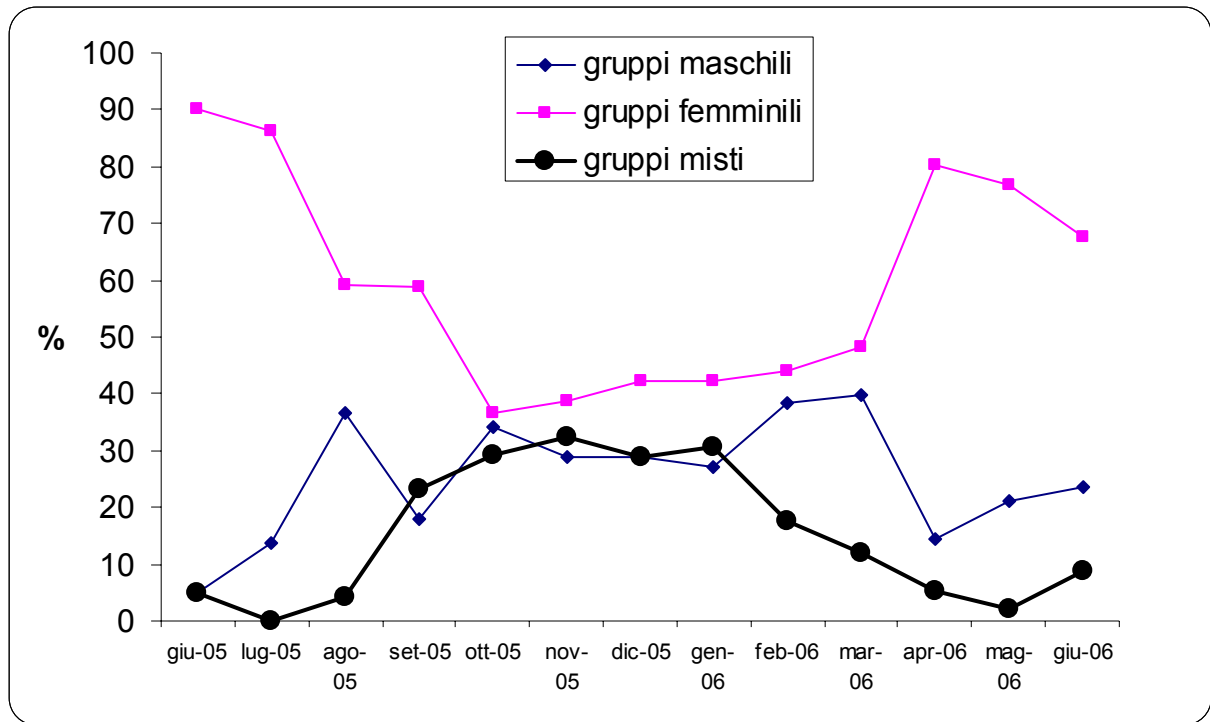


Figura 2.3 – Variazione percentuale mensile della presenza delle tre tipologie di aggregazione individuate all'interno dell'area di studio durante il periodo intensivo di ricerca mirato alla definizione dell'andamento della composizione dei gruppi nell'arco di un intero anno solare.

La comparsa dei gruppi misti a fine agosto indica l'inizio del periodo riproduttivo, risultando un buon parametro per stabilirne l'esatta cronologia all'interno del ciclo biologico annuale. Il sistema riproduttivo adottato dai maschi è basato sulla ricerca di femmine prossime all'estro e sulla loro difesa individuale: non è pertanto territoriale, né comporta la difesa di un harem (Pfeffer, 1969). Durante il periodo riproduttivo i maschi adulti si spostano nell'area occupata dalle femmine ed iniziano la ricerca di quelle in estro osservando da punti sopraelevati le aree sottostanti.

La figura 2.4, invece, riporta la dimensione media dei tre tipi di gruppo individuati, confermando il quadro appena descritto.

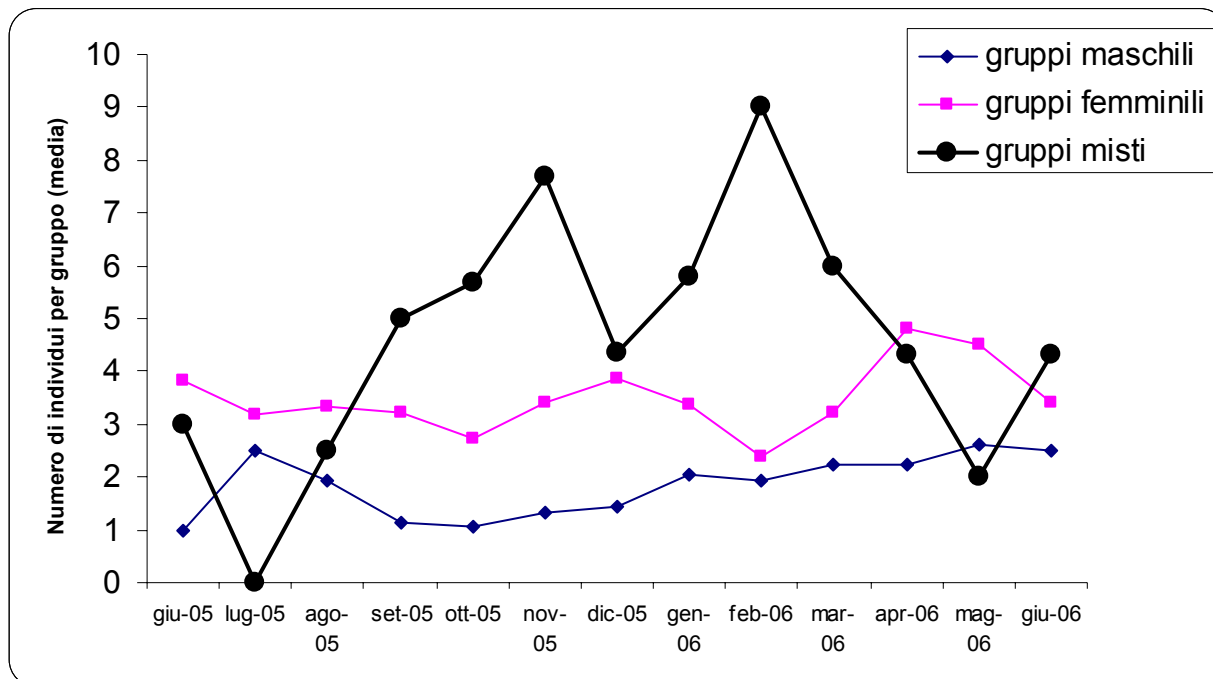


Figura 2.4 – Dimensione media di ciascuna delle tre tipologie di aggregazione individuate durante il periodo intensivo di ricerca mirato alla definizione dell'andamento della dimensione dei gruppi nell'arco di un intero anno solare.

È importante sottolineare come i maschi adulti, durante il periodo riproduttivo, se non presenti in aggregazioni di tipo misto, risultino solitari, conseguenza della accresciuta aggressività intrasessuale registrabile durante questo periodo (Figura 2.4). Le aggregazioni di dimensioni superiori vengono raggiunte in concomitanza del periodo riproduttivo e post-riproduttivo, quando le aggregazioni miste raggiungono mediamente le dimensioni di 8-10 individui.

Le figure 2.5, 2.6 e 2.7, invece, riassumono la frequenza di osservazione delle tre tipologie di gruppo in ciascuno degli 8 transetti percorsi mensilmente. È interessante notare come le aggregazioni di tipo misto siano rare in agosto, mostrando una crescente gradualità in settembre ed ottobre che denuncia un apice del periodo riproduttivo proprio durante questo ultimo mese.

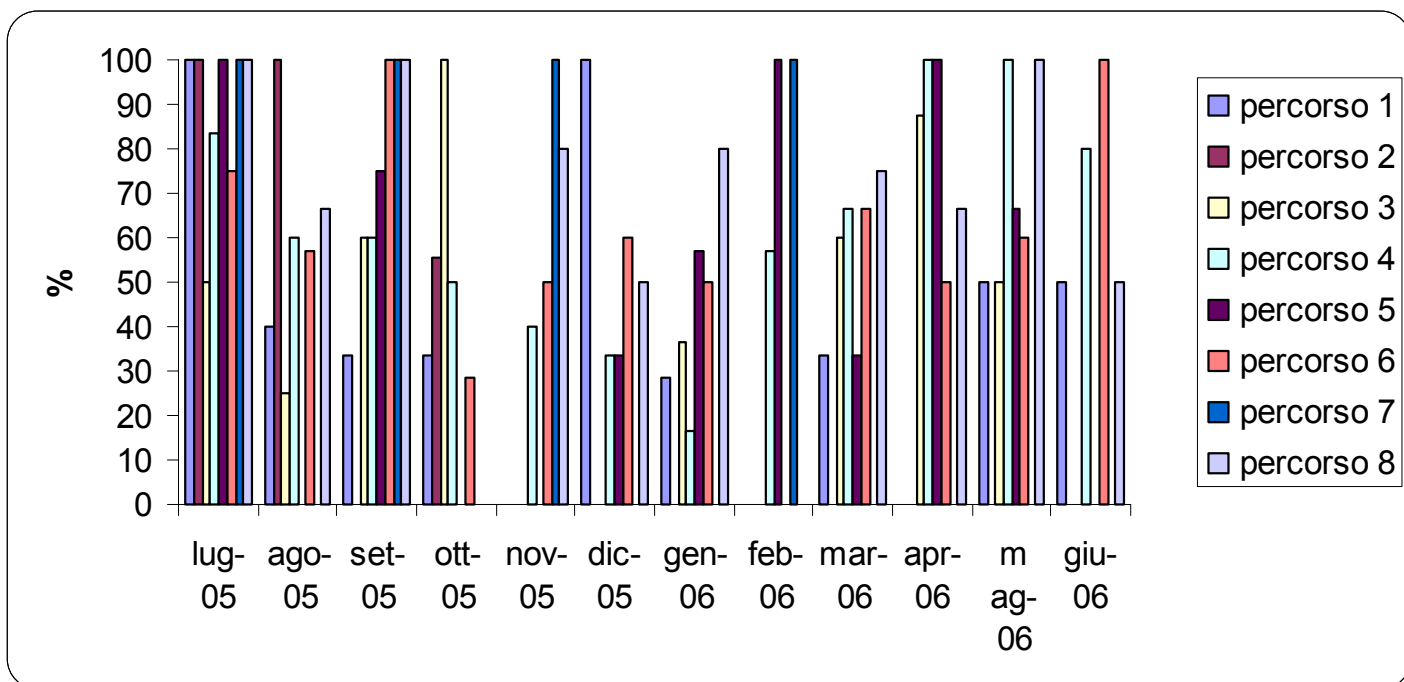


Figura. 2.5 Percentuale dei gruppi femminili osservati – quadro dettagliato per ciascun transetto percorso mensilmente (n = 8) durante il periodo intensivo di ricerca mirato alla definizione dell'andamento della dimensione dei gruppi nell'arco di un intero anno solare.

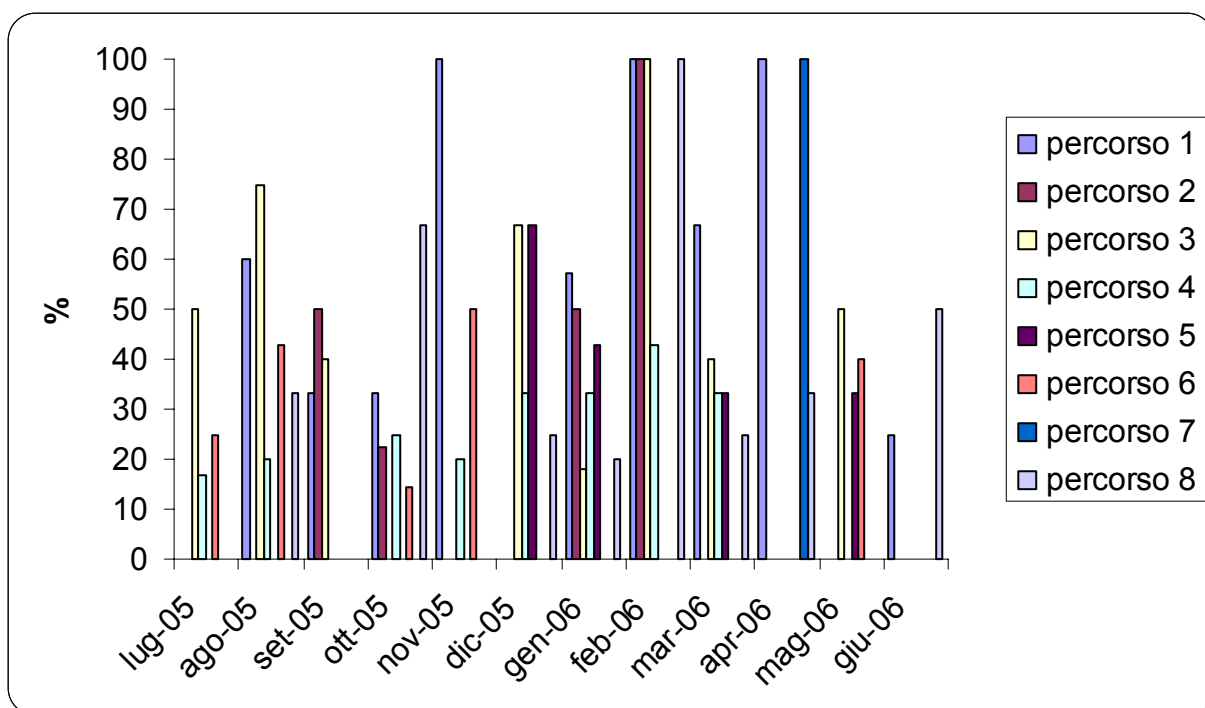


Figura. 2.6 Percentuale dei gruppi maschili osservati – quadro dettagliato per ciascun transetto percorso mensilmente (n = 8) durante il periodo intensivo di ricerca mirato alla definizione dell'andamento della dimensione dei gruppi nell'arco di un intero anno solare.

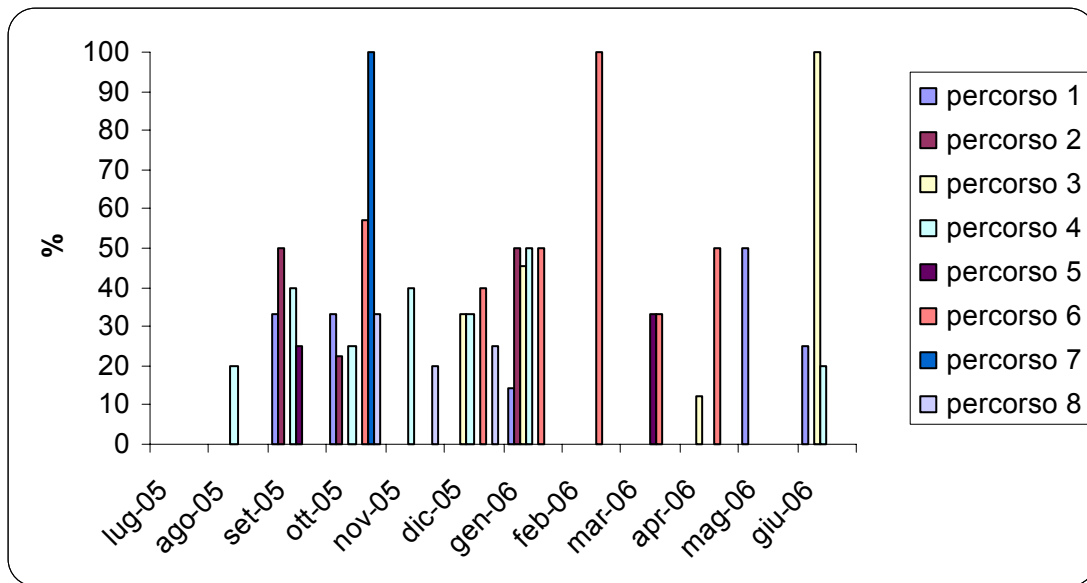


Figura. 2.7 Percentuale dei gruppi misti osservati – quadro dettagliato per ciascun transetto percorso mensilmente (n = 8) durante il periodo intensivo di ricerca mirato alla definizione dell’andamento della dimensione dei gruppi nell’arco di un intero anno solare.

Nelle figure 2.8, 2.9 e 2.10, in conclusione, è stato riportato il quadro riassuntivo della composizione media delle tre tipologie di aggregazione, rispettivamente in estate e nel periodo riproduttivo autunnale, ovvero sia quando risulta opposto il quadro delle tipologie di aggregazione (prevalenza di gruppi misti durante il periodo riproduttivo, che al contrario risulta scarsa durante il periodo estivo).

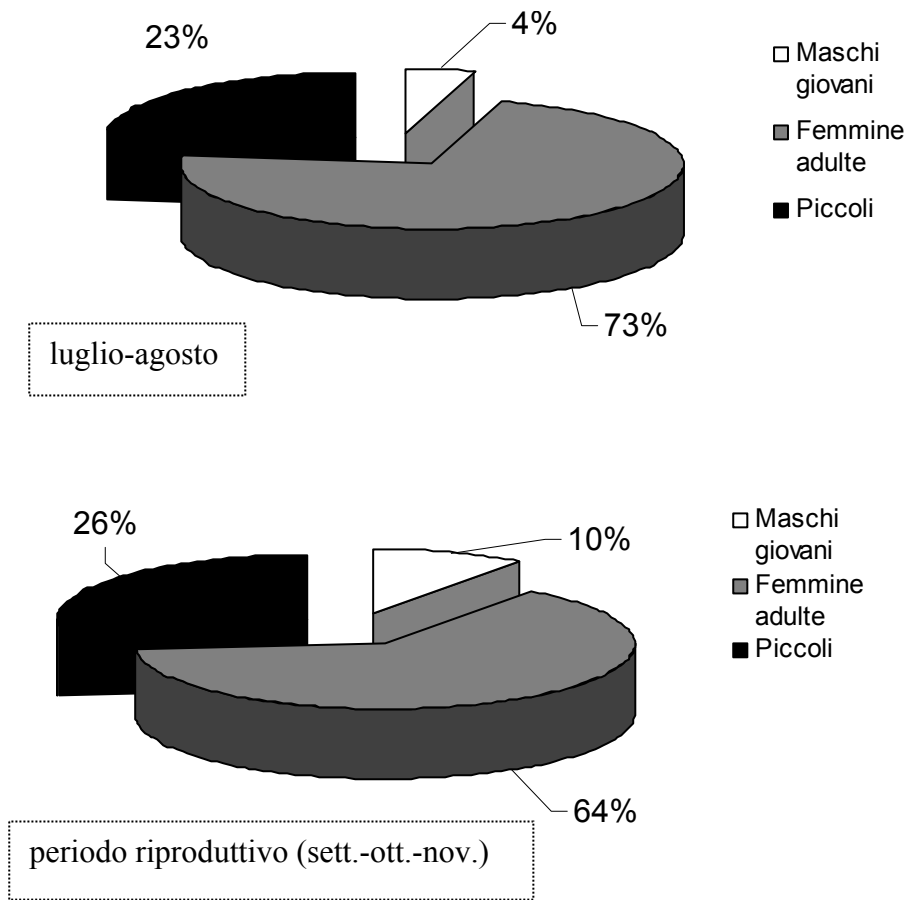


Figura 2.8. Suddivisione in classi di sesso e di età degli individui contattati durante le osservazioni dei gruppi femminili in estate (sopra) e nel periodo riproduttivo autunnale (sotto).

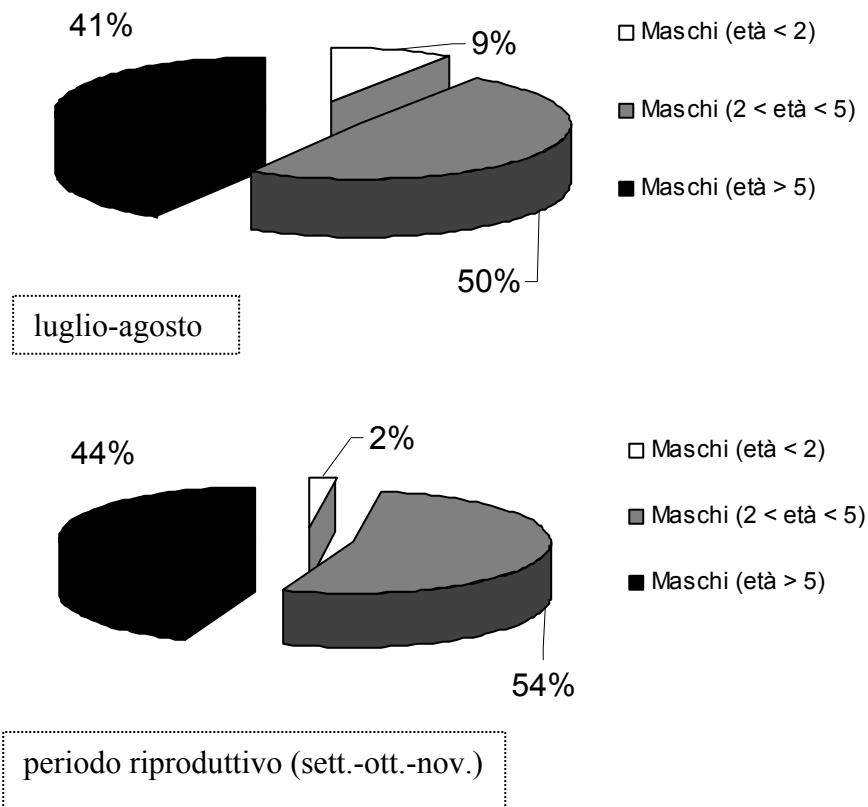


Figura 2.9. Suddivisione in classi di sesso e di età degli individui contattati durante le osservazioni dei gruppi maschili in estate (sopra) e nel periodo riproduttivo autunnale (sotto).

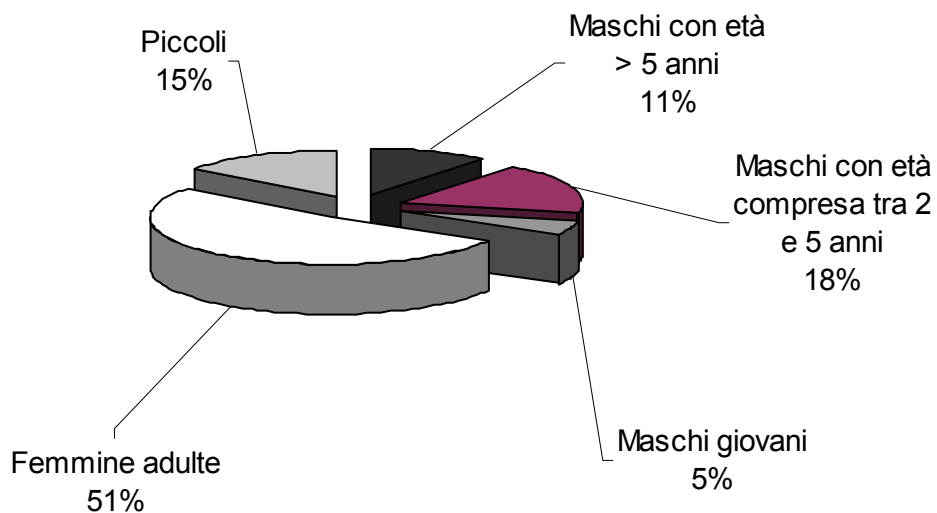


Figura 2.10. Quadro riassuntivo della composizione (media percentuale) di un gruppo misto durante il periodo riproduttivo autunnale.

4) Distanze di fuga

Un aspetto interessante delle ricerche inerenti l'ecologia comportamentale di una specie è quello riguardante l'analisi delle distanze di fuga degli animali, parametro che quantifica l'esistenza di differenti strategie antipredatorie all'interno delle diverse classi di sesso e di età.

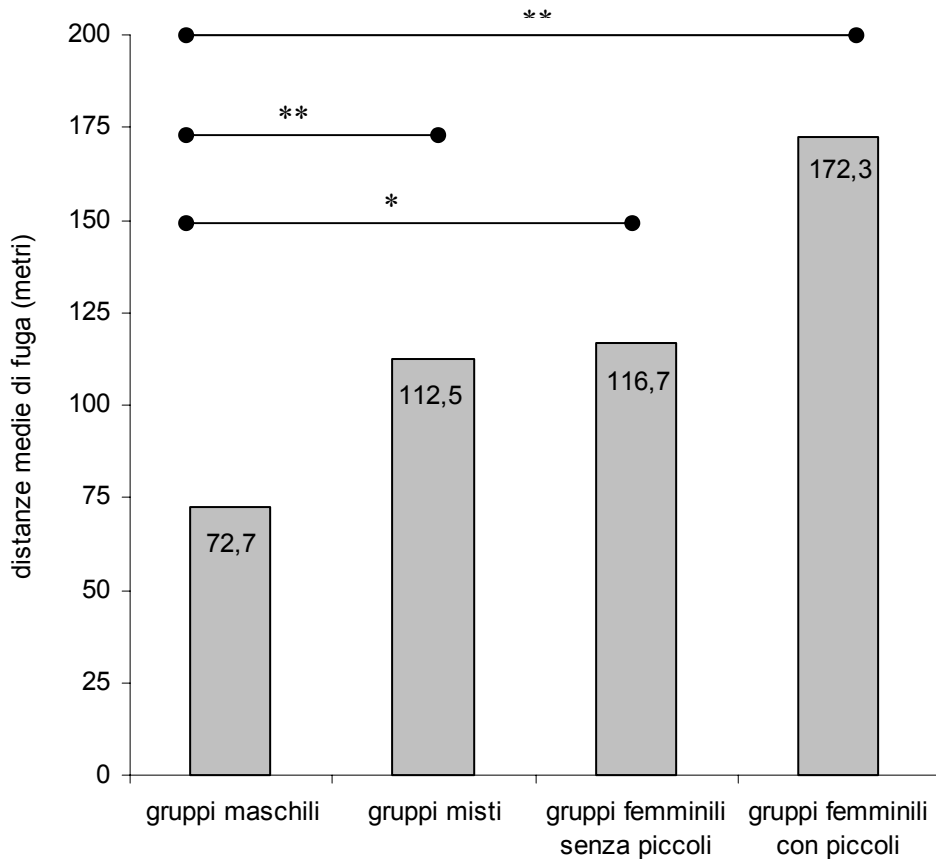


Figura 2.11. Distanze di fuga registrate nelle 4 tipologie di aggregazione individuate nell'area di studio [test U di Mann-Whitney: * $0.05 < p < 0.01$, ** $0.01 < p < 0.001$, *** $p < 0.001$]

I gruppi femminili, caratterizzati dalla presenza di nuovi nati al loro interno, rispondono alla presenza dell'operatore con una distanza di fuga più elevata (figura 2.11), mostrando come le madri adottino strategie antipredatorie che le inducono a prestare particolare attenzione al rischio di predazione dei loro piccoli. Al contrario, per i gruppi maschili sono state registrate le distanze di fuga significativamente minori, seguiti dai gruppi misti e dai gruppi femminili senza piccoli. Questo aspetto risulta uno dei fattori che contribuiscono all'affermazione della segregazione sessuale, visto che i due sessi rispondono in modo significativamente differente al rischio predatorio.

5) Interazioni con gli ungulati domestici.

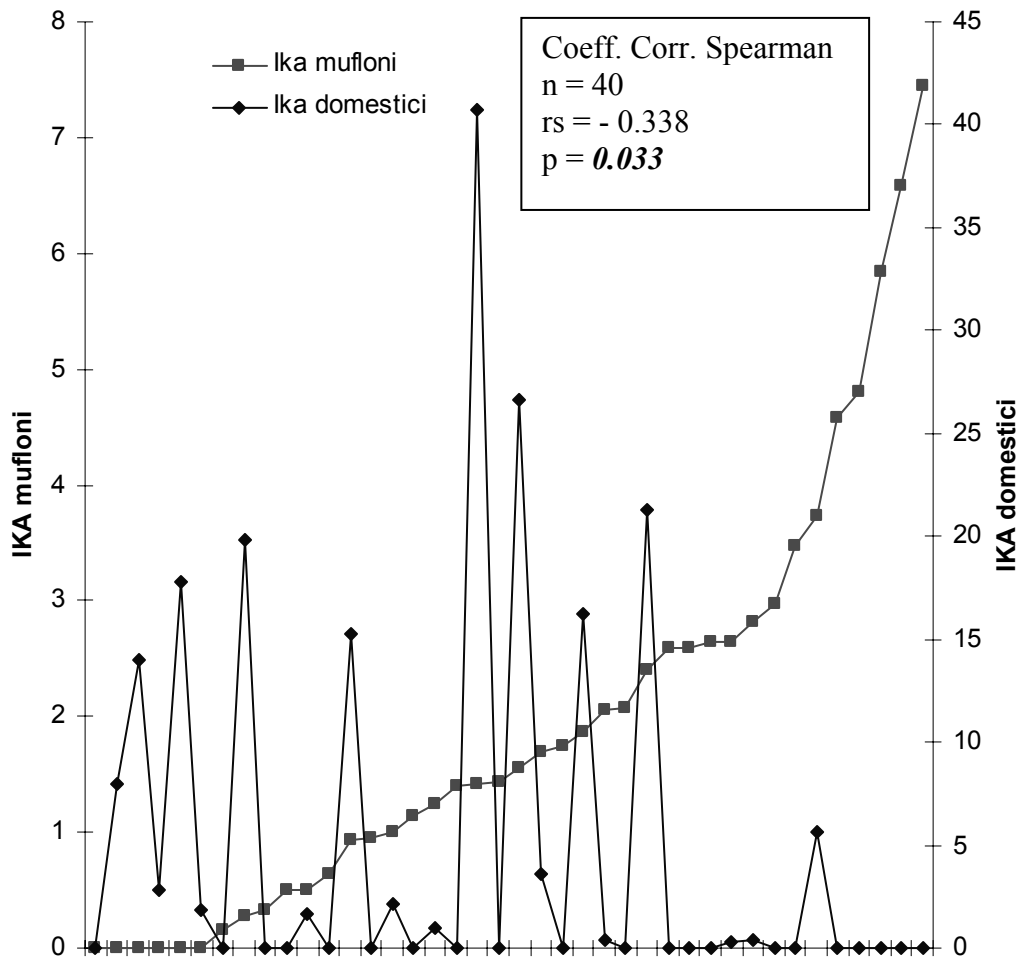
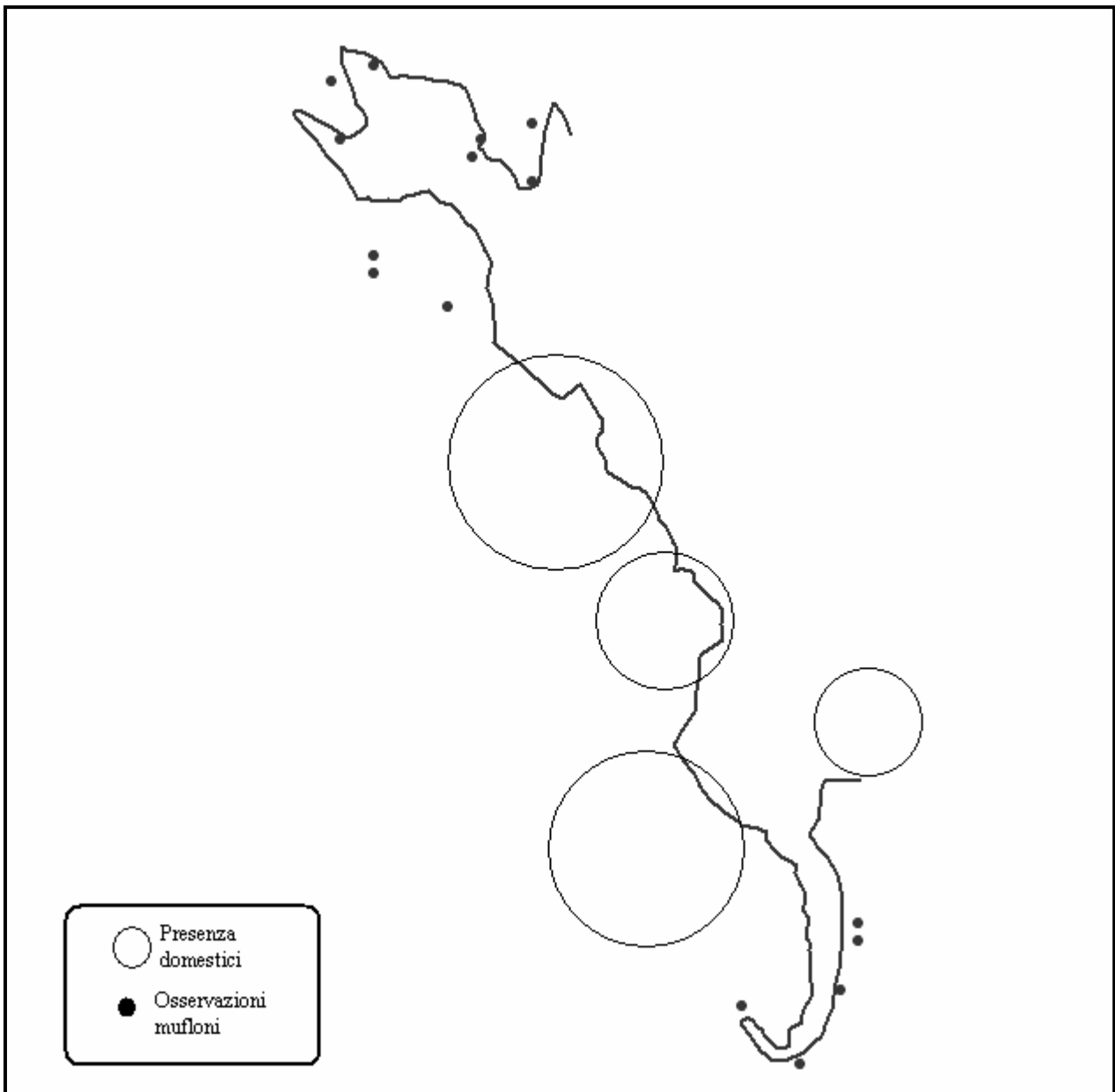


Figura 2.12. Indice chilometrico di abbondanza (IKA, individui contattati per chilometro percorso) valutato per i mufloni osservati in funzione dell'IKA valutato per gli ungulati domestici durante l'esecuzione degli 8 transetti standardizzati.

La presenza degli ungulati domestici risulta una variabile fondamentale nella distribuzione dei mufloni presenti nell'area di studio. Come evidenziato in figura 2.12, la presenza di mufloni è inversamente correlata alla presenza degli ungulati domestici in modo statisticamente significativo. Durante l'esecuzione dei percorsi, infatti, è stato verificato come le aree utilizzate dagli ungulati domestici siano totalmente evitate dai mufloni (cartina 2).



Cartina 2. Interazione del muflone con gli ungulati domestici – l'esempio riporta le osservazioni di gruppi di mufloni e la distribuzione degli ungulati domestici registrate nell'agosto 2005 lungo il percorso Caserma Montes – Su Turighe – Monte Fumai.

PARTE PRIMA – DINAMICA DI POPOLAZIONE



DEFINIZIONE DEL MODELLO

La simulazione inerente la dinamica di popolazione, per la popolazione di mufloni presente all'interno della Foresta Demaniale di Montes (Nuoro), è stata effettuata utilizzando il software VORTEX 9.61, sviluppato dalla Chicago Zoological Society (Lacy, R.C. et al, 2005). Il programma utilizza un algoritmo *individual-based*, ovvero calcola, per ogni individuo presente nella popolazione, la probabilità che si verifichino gli eventi incorporati nel modello, utilizzando un sistema a matrici matematiche di tipo probabilistico. VORTEX permette in questo modo di valutare l'importanza relativa delle forze deterministiche, dei processi demografici stocastici, della variabilità delle caratteristiche ambientali, della stocastica genetica, dell'inbreeding e dell'incidenza casuale di eventi definiti catastrofici nell'influenzare l'andamento della popolazione nel tempo.

Per effettuare una simulazione di questo tipo, il primo passo consiste nella raccolta dei dati richiesti dal modello utilizzato. I dati riguardano principalmente le caratteristiche strutturali e fenologiche della popolazione, i tassi di crescita e di mortalità specifici per le varie classi di età ed i sessi, il sistema riproduttivo comunemente adottato, la capacità portante dell'ambiente, l'incidenza di catastrofi, ed il prelievo a carico della popolazione. Nello specifico, i dati sono stati raccolti utilizzando metodologie mutuare dalla telemetria, da censimenti su aree campione effettuati all'interno dell'area di studio, e dalla letteratura scientifica; si rimanda alla sezione inerente la definizione della struttura di popolazione per un maggiore approfondimento sulle metodologie utilizzate durante la raccolta dei dati in campagna.

L'inserimento dei dati necessario all'utilizzo di VORTEX necessita l'esecuzione di 14 sessioni previste dal software con lo scopo di acquisire i dati utili alla definizione del modello. A ciascuna sessione corrispondono domande pertinenti una particolare categoria di parametri utilizzati dal modello e necessari alla definizione delle caratteristiche peculiari, sia della popolazione sia dell'ambiente simulato.

Di seguito, sono esposti i dati utilizzati per la definizione del modello e le assunzioni scelte tra quelle disponibili, riassunti per ciascuna delle 14 sessioni individuate dal programma.

1 – IMPOSTAZIONE DELLO SCENARIO

Il modello è stato calibrato su un numero di 1000 reiterazioni, ovvero il programma ha replicato la simulazione 1000 volte in modo tale da diminuire il più possibile la contingenza di fondo prodotta dagli effetti stocastici inseriti nel modello: lo scenario è stato proiettato in avanti nel futuro di solo 20 anni in modo tale da poter essere considerato affidabile e costituire una base razionale per inferenze di carattere gestionale (Dennis B. et al, 1991; Morris W., et al, 1999).

È stata definita una soglia critica di 50 individui al di sotto della quale VORTEX ha considerato estinta la popolazione pur continuando la iterazione della simulazione. Questo valore equivale ad una densità media di 1,07 capi/ha, considerata incompatibile con i livelli vitali per una popolazione di ungulati di interesse gestionale.

In modo tale da semplificare il modello, ed in assenza di dati riguardanti i tassi di migrazione con popolazioni limitrofe a quella presente all'interno dell'area di studio, nel modello è stata contemplata l'esistenza di una sola popolazione considerata come singola ed isolata.

2 – DESCRIZIONE DELLA SPECIE

VORTEX è in grado di simulare la diminuzione nella probabilità di sopravvivenza di un individuo, al suo primo anno di vita, come conseguenza di un inincrocio avvenuto durante l'accoppiamento tra individui geneticamente consanguinei. Poiché un simile evento è maggiormente compatibile con popolazioni di dimensioni ridotte, e considerata la consistenza iniziale della popolazione simulata, (Sessione – 10), si è ritenuto necessario l'inserimento nel modello di processi genetici (*inbreeding* e numero di letali equivalenti) che potrebbero modificare pesantemente il decorso della simulazione.

Non sono state incorporate catastrofi all'interno dei modelli poiché negli anni in cui è stata condotta la raccolta dei dati non sono state registrate variazioni ambientali tali da determinare delle modificazioni sostanziali nella dinamica della popolazione, né tanto meno in letteratura sono stati

trovati dati riguardanti la ricorrenza di eventuali catastrofi e l'incidenza sulla dinamica delle popolazioni in studio.

3 – *VARIABILI DI STATO E PARAMETRI DI STATO INDIVIDUALI*

Questa sessione è opzionale e per semplicità è stata omessa dal modello, seguendo i suggerimenti degli autori del software Vortex. Infatti, l'utilizzo di un numero maggiore di variabili e di parametri di stato, volti a particolareggiare maggiormente il modello, in assenza di una buona conoscenza dei dati, aumenta l'imprecisione delle proiezioni, inficiandone gli esiti e portando ad inferenze che potrebbero risultare fuorvianti nella successiva scelta tra strategie gestionali o scenari alternativi.

4 – *MIGRAZIONE TRA POPOLAZIONI VICINE*

Questa sessione è accessibile soltanto nel caso in cui il modello contempli la presenza di due o più popolazioni della medesima specie, interconnesse da specifici tassi di migrazione. Poiché nel modello adottato la popolazione è stata considerata come singola ed isolata (Sessione 1) questa sessione è rimasta preclusa. Lavori futuri, volti ad individuare la presenza di migrazioni e di spostamenti tra popolazioni limitrofe della medesima specie, potranno permettere di inserire la popolazione all'interno di un contesto dinamico più ampio, caratterizzato dall'esistenza di una metapopolazione a carattere regionale.

5 – *SISTEMA RIPRODUTTIVO*

VORTEX, allo scopo di definire la dimensione effettiva della popolazione e valutarne le ricadute genetiche, contempla nel proprio modello anche il sistema riproduttivo adottato dalla popolazione in esame. Come conseguenza della elevata varietà dei sistemi riproduttivi presenti nel regno Animale, della estrema diversificazione delle strategie sessuali adottate dai singoli individui all'interno di una popolazione, il programma non richiede una conoscenza specifica e precisa di un tale sistema. Esso fornisce un elenco di sistemi riproduttivi tra i quali è possibile effettuare una scelta, individuando pertanto le caratteristiche salienti ritenute più vicine al sistema riproduttivo adottato dalla popolazione in esame.

Il sistema riproduttivo selezionato è stato di tipo “*poliginico a breve-termini*”. Ciò significa che, durante la medesima stagione riproduttiva, un maschio è capace di fecondare più femmine, e che ogni anno si vengono a formare nuove unioni tra individui differenti. Tale scelta deriva dal fatto che i maschi adulti di muflone si spostano sul territorio seguendo i greggi femminili, cercando di isolare e fecondare quelle sessualmente recettive (Mustoni et al, 2001). In aggiunta, i maschi raggiungono la maturità sociale a partire dal terzo anno di età; la forte competizione tra gli individui appartenenti al medesimo sesso comporta la creazione di gerarchie che precludono i maschi più giovani dagli accoppiamenti, seppur maturi sessualmente. Le femmine, invece, risultano mature sia sessualmente che socialmente in età precoce, considerando che una parte di esse viene fecondata prima del compimento del primo anno di vita. È stato stabilito un limite superiore massimo per l'età riproduttiva stimato intorno al quattordicesimo anno di età: questa scelta è stata confortata dall'osservazione di femmine marcate all'interno dell'area di studio che a tale età risultavano ancora accompagnate dai nuovi nati. La Sex Ratio alla nascita, ovvero la probabilità di generare un piccolo di sesso maschile è stata valutata intorno al 43,33%, in accordo con i valori medi individuati per la popolazione.

6 – *TASSO RIPRODUTTIVO*

Il tasso riproduttivo corrisponde alla percentuale annuale di femmine adulte che partoriscono almeno un piccolo. Il tasso riproduttivo individuato per la popolazione è stato ottenuto rapportando il numero delle femmine adulte munite di radio-collare che hanno partorito almeno un piccolo, rispetto al numero totale delle femmine munite di radio-collare monitorate nel medesimo anno. Il lavoro svolto nel biennio 2005-2006 ha permesso di individuare tale parametro, in accordo con i dati ottenuti dalla studio della struttura di popolazione. Il tasso riproduttivo utilizzato nel modello

ha pertanto assunto un valore de 46%. È stata calcolata una Variazione Ambientale pari allo 0,1%, corrispondente alla Deviazione Standard dei dati ottenuti, valore che conferma come la produttività delle femmine nei due anni di studio sia rimasta per lo più immutata.

7 – TASSO DI MORTALITA'

Secondo il linguaggio analitico delle matrici delle tavole di sopravvivenza (Caughley, 1977; Caswell, 2001), VORTEX definisce la mortalità di una popolazione come il tasso di mortalità q_x ovvero la percentuale degli individui vivi all'età x che muoiono prima di raggiungere l'età $x+1$. Il tasso di mortalità pertanto corrisponde alla percentuale di mortalità tipica per ciascuna classe di età e di sesso. I tassi di mortalità per le differenti classi di età e per i sessi sono stati estrapolati a lavori presenti in letteratura (Mustoni et al, 2001), considerando che per raccogliere tali informazioni nella foresta di Montes sarebbe indispensabile uno studio a lungo termine (almeno dieci anni di monitoraggio con un consistente campione di animali marcati). Il valore finale per ciascuna classe di sesso e di età è stato ottenuto come media dei tassi di mortalità massimi e minimi. La Deviazione Standard dei valori ottenuti è stata utilizzata come Variazione Ambientale. I tassi di mortalità relativi all'età inseriti nel modello sono riassunti in Tabella 3.1.

Classe di età	Maschi	Variazione ambientale	Femmine	Variazione ambientale
Agnelli (età 0 – 1)	23,33	15,27	23,33	15,27
Sub adulti (età 1 – 2)	12,50	10,61	12,50	10,61
Adulti (età 2 – 3)	12,50	10,61	12,50	10,61
Adulti (età >3 anni)	12,50	10,61	12,50	10,61

Tabella 3.1 – Tassi di mortalità inseriti nel modello di dinamica di popolazione per il muflone

8 – CATASTROFI

È possibile inserire informazioni riguardanti l'incidenza di eventi ambientali rari o poco comuni che determinano una diminuzione nella sopravvivenza e nella capacità riproduttiva di ciascun individuo presente nella popolazione simulata. In questo caso è stato scelto di non includere tale parametro, non avendo ancora a disposizione studi a lungo termine sulla specie.

9 – MONOPOLIZZAZIONE DELLE COPULE

Non tutti i maschi adulti hanno accesso alle femmine durante la stagione riproduttiva, di conseguenza la percentuale di individui capaci di lasciare una progenie definita come popolazione efficace corrisponde in realtà ad una frazione della totalità dei maschi sessualmente maturi presenti nella popolazione. Questo è vero anche per il muflone in genere e per la popolazione di Montes nello specifico. Nel momento in cui i maschi adulti si uniscono alle femmine durante il periodo riproduttivo inizia una serie di interazioni intra-sessuali volte a definire le gerarchie e di conseguenza le possibilità di partecipare attivamente alla stagione riproduttiva. I maschi che presentano il un successo riproduttivo degno di nota sono quelli che mantengono il grado di dominanti all'interno di ogni singolo gregge. Per la popolazione simulata tale percentuale è stata stimata intorno al 31,8% (frazione di individui sessualmente e socialmente maturi). VORTEX ha successivamente calcolato in modo automatico la percentuale di maschi che con successo riescono a fecondare una femmina (30,0%) ed il numero medio di piccoli prodotti per maschio dominante durante ogni singola stagione riproduttiva; tale valore è pari ad 3,1 piccolo/maschio, ma è da considerarsi puramente indicativo considerando che l'importanza di tale parametro è relativa soltanto alla simulazione di processi genetici.

10 – NUMERO INIZIALE DELLA POPOLAZIONE

Il numero iniziale di individui inserito nel modello è stato calcolato come media delle consistenze stimate nei vari anni in cui si è svolto lo studio, utilizzando i dati ottenuti dai censimenti effettuati semestralmente da punti di vantaggio; ogni anno, a partire dall'autunno del 2002, sono state svolte due sessioni di censimento annuali (autunnale e primaverile), grazie al lavoro del personale afferente al gruppo di ricerca del prof. Apollonio.

11 – CAPACITÀ PORTANTE DELL'AMBIENTE

Questa sessione permette di descrivere il limite numerico superiore raggiungibile dalla popolazione modellizzata per habitat considerato. Il valore K corrisponde alla consistenza stabile stimata, per la quale il tasso di natalità uguaglia il tasso di mortalità, ed è denominata capacità portante, o capacità di sostentazione, o capacità biologica specifica. Tale valore rappresenta un equilibrio stabile al quale tendono tutti i valori inferiori di consistenza, per una data popolazione in un dato habitat, in assenza di fattori esterni di natura stocastica che ne modifichino l'andamento. Qualora la consistenza della popolazione, costituita da un numero di individui N, ecceda il limite numerico K alla fine di un determinato ciclo di calcolo, VORTEX imposta un tasso di mortalità aggiuntivo a tutte le classi di età ed ai sessi, come conseguenza della scarsità delle risorse trofiche e della diminuzione della qualità ambientale per l'aumentata competizione intraspecifica tra gli individui della popolazione. Questo permette di ridurre e ridimensionare la popolazione riportandola nuovamente al di sotto del valore K. La probabilità che un individuo muoia durante un simile evento è data da $(N-K/N)$.

Nello specifico, per il muflone la capacità portante dell'ambiente è stata stimata di un valore di K pari ad una popolazione massima di 242 individui, al quale è stata aggiunta una Variabilità Ambientale annuale di 27 individui pari alla deviazione standard delle stime di consistenza ottenute per gli anni compresi tra il 2002 ed il 2005. Nella simulazione abbiamo assunto la popolazione alla capacità portante dell'ambiente. Poiché la gestione forestale presente all'interno dell'area di studio, operata dall'Ente Foreste della Regione Sardegna non ha modificato in modo sostanziale l'aspetto e gli equilibri degli habitat presenti, e poiché non sono in progetto modificazioni impattanti all'interno delle aree limitrofe in tempi recenti, nel modello non sono stati incorporati processi volti a prevedere modificazioni future della capacità portante dell'ambiente.

12 – PRELIEVO A CARICO DELLA POPOLAZIONE

VORTEX permette di inserire nel proprio modello un prelievo effettuato annualmente a carico della popolazione. In questa definizione rientrano tutti gli individui che vengono prelevati tramite piani di abbattimento, rimozioni per scopi scientifici, ecc.

La popolazione di mufloni presente nell'area di studio non è caratterizzata da alcuna forma di prelievo annuale pianificato, per cui non sono stati inseriti nel modello processi di questo tipo.

13 – INTEGRAZIONE

Il modello è in grado di tenere conto durante la simulazione di individui che vengono aggiunti alla popolazione tramite traslocazioni. La presente sessione non è stata selezionata, considerando che questo tipo di immissioni faunistiche non sono previste nell'area di studio.

14 – GESTIONE GENETICA

Nel caso in cui esista una qualche forma di monitoraggio e di gestione delle risorse genetiche della popolazione (accoppiamenti condizionati sulla base delle caratteristiche genetiche parentali ecc.), il programma è in grado di aggiungere simili funzioni al modello. Poiché la popolazione di muflone non è soggetta ad alcuna forma di gestione delle risorse genetiche, tali processi non sono stati inclusi nel modello; pertanto, la presente sessione non è stata selezionata.

RISULTATI e DISCUSSIONE

Prima di iniziare la simulazione vera e propria VORTEX ha effettuato una analisi standard basata sulle tavole di sopravvivenza della popolazione in esame. Questa analisi permette di evidenziare le componenti deterministiche del modello e risulta importante al fine di individuare le proiezioni di crescita della popolazione in assenza di fattori stocastici aggiuntivi. La differenza tra il tasso di crescita deterministico ed il tasso di crescita stocastico, ottenuto dalla simulazione completa e calcolato successivamente, può suggerire utili indicazioni riguardanti l'effettiva importanza di fattori stocastici nel determinare la dinamica della popolazione.

Successivamente, vengono riassunti i risultati ottenuti dalla simulazione complessiva, caratterizzata dall'inserimento delle componenti stocastiche e probabilistiche individuate nella definizione del modello.

Componente deterministica del modello

La popolazione di mufloni ha mostrato di possedere un tasso intrinseco deterministico di crescita positivo; tale tasso è risultato essere $r=0,060$; questo significa che, annualmente, date le caratteristiche di natalità e mortalità della popolazione osservata, derivate dalle analisi delle tavole di sopravvivenza per classi di sesso ed età, il numero delle nascite supera il numero dei decessi naturali determinando pertanto una crescita nel numero totale degli individui presenti nella popolazione pari a circa il 6,0% della popolazione complessiva. Il grafico 3.1 riassume la tendenza nel tempo del numero di individui presenti all'interno della popolazione simulata. Come si può osservare la consistenza della popolazione, ovvero il numero degli individui presenti, tende a rimanere costante al trascorrere del tempo ad un livello pari a quello definito come capacità portante dell'ambiente.

In aggiunta, il programma ha calcolato altri parametri deterministici; anche questi valori derivano dalle analisi matematiche delle tavole di sopravvivenza, dei tassi medi di riproduzione e di mortalità del modello.

- ✓ tasso annuale di cambiamento $\lambda=1,061$
- ✓ tasso fondamentale di riproduzione $R_0=1,352$

Il tasso fondamentale di riproduzione R_0 corrisponde al numero medio di discendenti prodotti da ciascun individuo inizialmente presente nella popolazione; in genere, tale tasso è piccolo quando sono pochi gli individui disponibili per la riproduzione oppure quando la competizione intraspecifica è intensa. In questo caso il tasso fondamentale di riproduzione assume un valore medio.

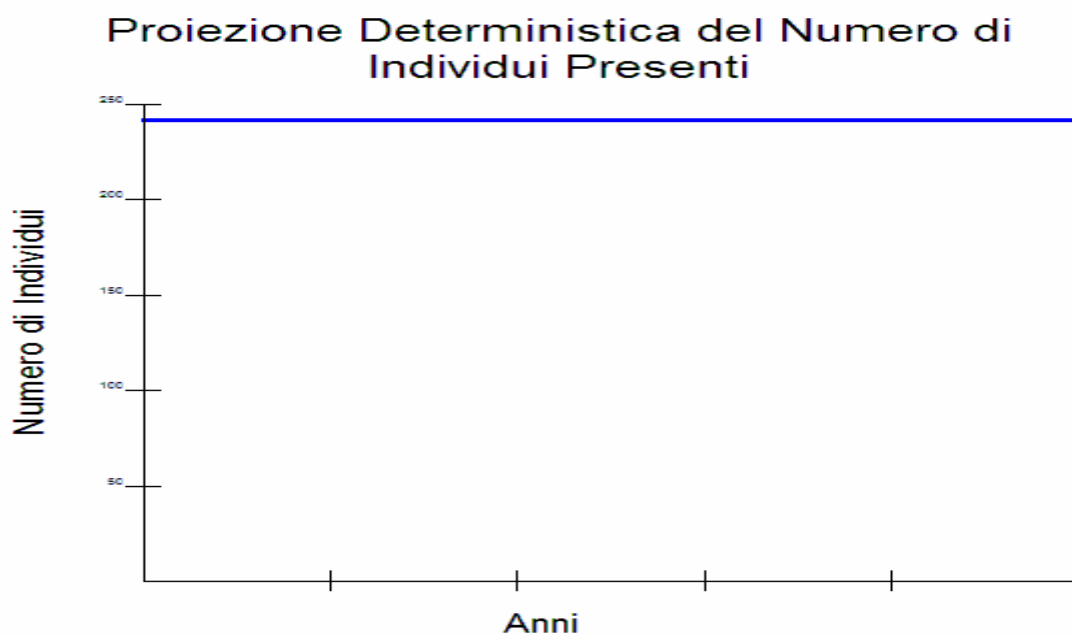


Grafico 3.1 – Proiezione Deterministica del numero di individui presenti nella popolazione di mufloni assumendo assente la presenza di fattori stocastici aggiuntivi

Componenti stocastiche del modello

Una simulazione di dinamica di popolazione più vicina alla situazione reale impone l'aggiunta di processi stocastici alla semplice tendenza deterministica demografica della popolazione. Di seguito sono riassunti i risultati ottenuti dalle analisi stocastiche e probabilistiche inserite complessivamente nel modello. La figura 3.1 raffigura alcuni andamenti seguiti dalle iterazioni in presenza dei fattori stocastici aggiunti al modello.

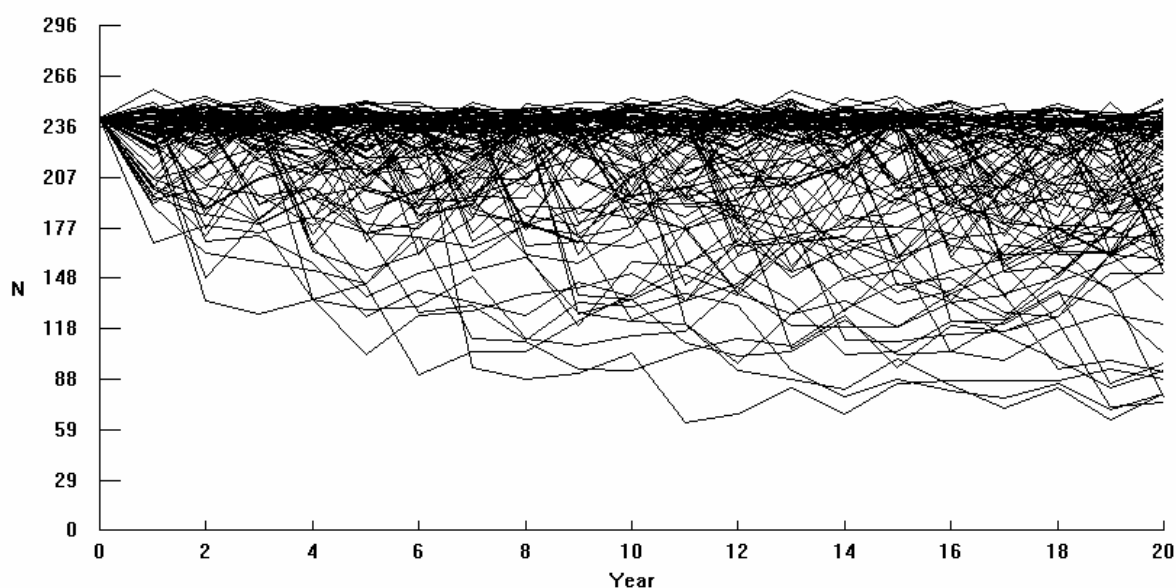


Figura 3.1 – Raffigurazioni degli andamenti stocastici della popolazione in relazione ai processi inseriti nel modello utilizzato

VORTEX ha calcolato alcuni parametri in uscita per ciascun anno in cui è stata proiettata la simulazione.

I parametri così ottenuti corrispondono a:

- ✓ la Probabilità di Estinzione (PE), corrispondente alla percentuale di popolazioni che hanno superato la soglia di quasi-estinzione definita inizialmente per la simulazione nella sessione pertinente alla fine dell'anno preso in esame;
- ✓ la Probabilità di Sopravvivenza (PS) corrispondente alla percentuale di popolazioni che sono sopravvissute alla fine dell'anno preso in esame;
- ✓ la media delle dimensioni di tutte le popolazioni modellizzate (N-all) con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazione effettuate;
- ✓ la media delle dimensioni delle sole popolazioni sopravvissute (N-extant) con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazione effettuate;

per le sole popolazioni sopravvissute, il programma ha in aggiunta calcolato i seguenti parametri:

- ✓ la dimensione media della popolazione, con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazioni effettuate;
- ✓ la media della “eterozigosità attesa”, con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazione effettuate;
- ✓ la media della “eterozigosità osservata” (equivalente ad 1–la media del coefficienti di inincrocio parentale), con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazione effettuate;
- ✓ la media del numero di alleli rimanenti (calcolato a partire da un numero iniziale di alleli doppi rispetto al numero degli individui iniziali della popolazione) con relativo Errore Standard (SE) e Deviazione Standard (SD) calcolate tra le iterazione effettuate;

I valori pertinenti a ciascuna delle categorie sopra menzionate, riassunti anno per anno dalle iterazioni sono stati inseriti nell'Appendice alla fine del presente capitolo.

Alla fine delle 1000 iterazioni il programma ha fornito un sommario conclusivo riassuntivo comprendente:

- ✓ la probabilità finale di estinzione per la popolazione ($p=0,0010$);
- ✓ la probabilità finale di sopravvivenza per la popolazione ($p=0,9990$);
- ✓ solamente 3 popolazioni sulle 1000 simulate hanno superato la soglia di estinzione nel corso della simulazione almeno una volta;
- ✓ il tempo medio per la prima estinzione di queste popolazioni è stato calcolato in 10,33 anni, con relativo Errore Standard ($SE=2,40$) e Deviazione Standard ($SD=4,16$);
- ✓ sono stati individuate 3 “ricolonizzazioni”, ovverosia tre popolazioni sono riuscite a recuperare la propria consistenza riportandosi al di sopra della soglia di estinzione definita precedentemente;
- ✓ il tempo medio per questi fenomeni di ricolonizzazione è stato calcolato in 1,67 anni, con relativo Errore Standard ($SE=0,33$) e Deviazione Standard ($SD=0,58$);
- ✓ è stato osservato un processo di ri-estinzione per una popolazione;
- ✓ il tempo medio di ri-estinzione è stato calcolato in 3,00 anni; con relativo Errore Standard ($SE=0,00$) e Deviazione Standard ($SD=0,00$);
- ✓ la media delle dimensioni della popolazione al termine della simulazione ($N=211,26$), ovvero il numero medio di individui sopravvissuti nella popolazione alla fine di ciascuna iterazione, con relativo Errore Standard ($SE=1,31$) e Deviazione Standard ($SD=41,28$) calcolate per tutte le popolazioni simulate, includendo tra queste anche le popolazioni che si sono estinte (cioè hanno varcato la soglia di estinzione e raggiunto una dimensione finale di 0 individui);
- ✓ la media delle dimensioni finali per le sole popolazioni sopravvissute ($N=211,44$), con relativo Errore Standard ($SE=1,29$) e Deviazione Standard ($SD=40,92$) calcolate tra le iterazioni;
- ✓ la media del tasso di accrescimento naturale ($r=0,0656$), con relativo Errore Standard ($SE=0,0009$) e Deviazione Standard ($SD=0,1242$) calcolate tra le iterazione effettuate per gli anni nei quali è stato incluso il prelievo a carico della popolazione.

- ✓ la media del tasso di accrescimento naturale ($r=0,0470$), con relativo Errore Standard (SE=0,0010) e Deviazione Standard (SD=0,1453) calcolate tra le iterazioni effettuate negli anni precedenti l'applicazione di mortalità aggiuntiva come conseguenza del raggiungimento della capacità portante dell'ambiente e quindi di un aumento della competizione intraspecifica per le risorse ambientali;
- ✓ il tasso di accrescimento naturale deterministico medio (det- $r=0,060$) in assenza di fattori e di fluttuazioni stocastiche;
- ✓ la media dei tassi di accrescimento naturali stocastici (stoc- $r=0,047$);
- ✓ la Deviazione Standard del tasso di accrescimento naturale stocastico (SD $r=0,145$);
- ✓ probabilità di Estinzione per la popolazione (PE=0,001)

VORTEX ha analizzato gli andamenti di alcuni parametri importanti nella definizione della dinamica della popolazione modellizzata. I grafici sottostanti riassumono gli andamenti calcolati dalle medie per questi parametri (probabilità di estinzione, probabilità di sopravvivenza, tasso di accrescimento deterministico, tasso di accrescimento stocastico, numero di individui presenti nella popolazione, diversità genetica e numero totale di alleli presenti).

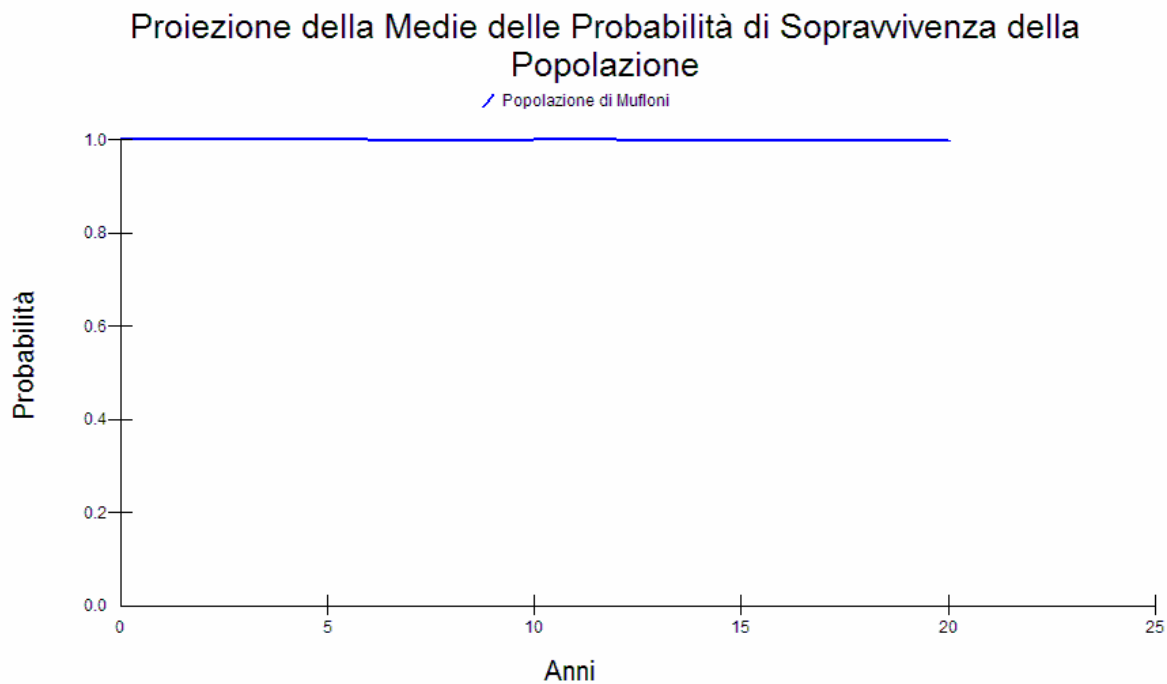


Grafico 3.2 – Andamento della probabilità di sopravvivenza per la popolazione di muflone

Proiezione della Media dei Tassi Deterministici di Accrescimento

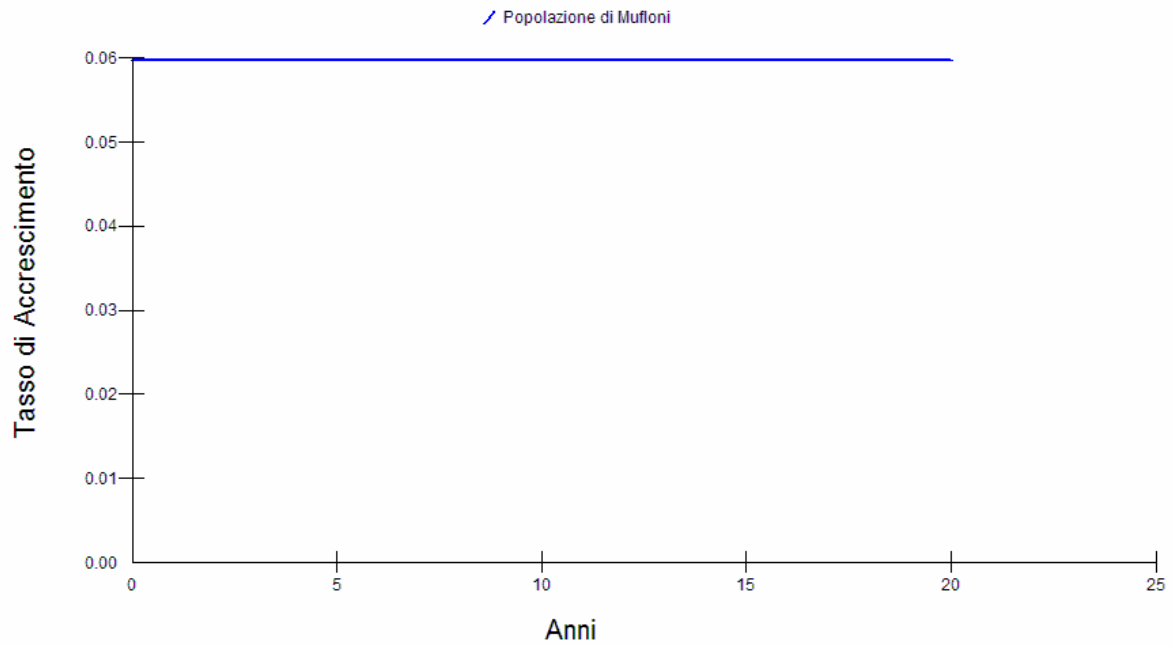


Grafico 3.3 – Andamento nel tempo del tasso di accrescimento naturale deterministico per la popolazione di muflone

Proiezione della Media dei Tassi Stocastici di Accrescimento

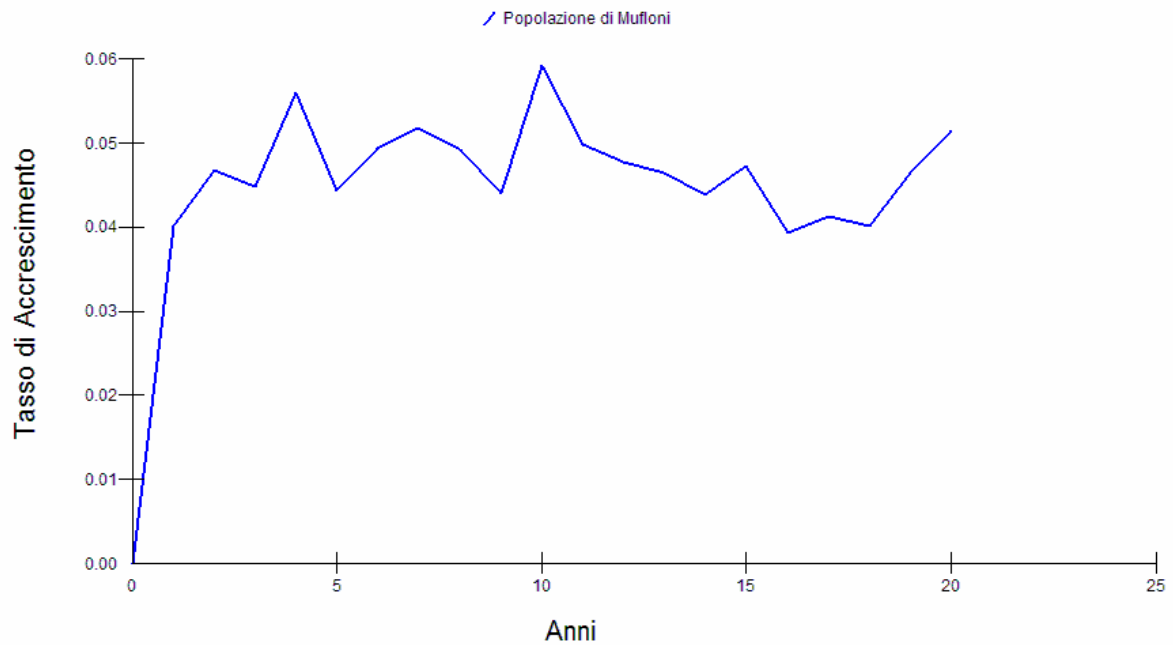


Grafico 3.4 – Andamento nel tempo del tasso di accrescimento naturale per la popolazione di muflone individuato in presenza di processi stocastici aggiuntivi

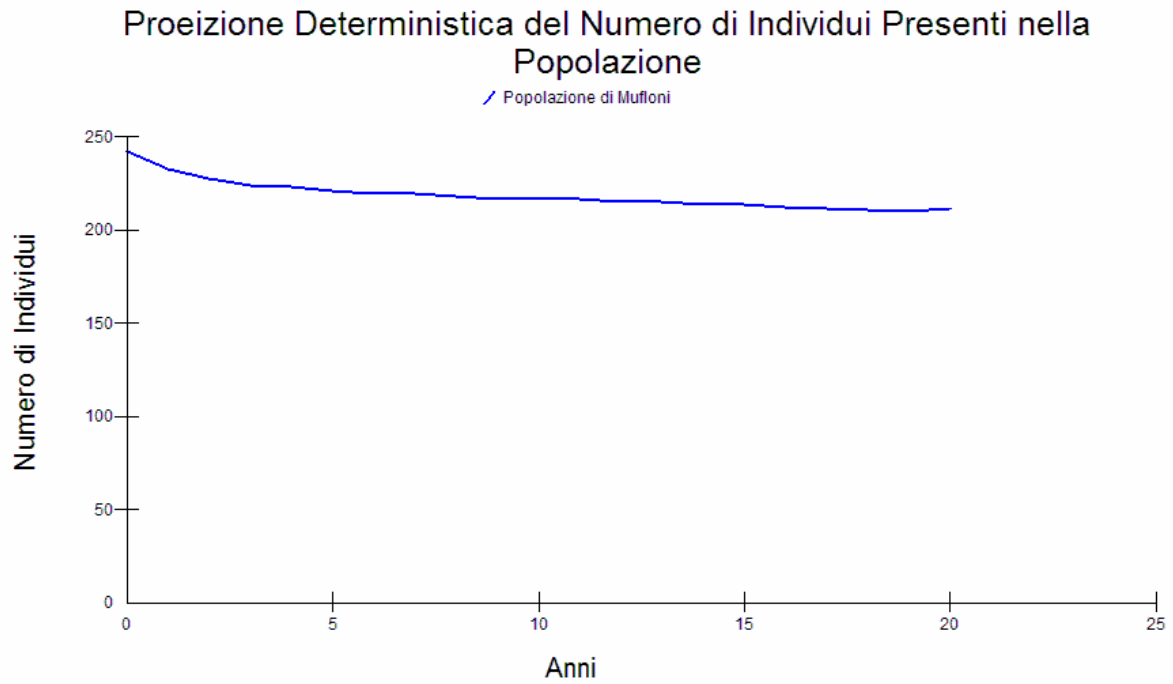


Grafico 3.5 – Andamento nel tempo della consistenza della popolazione di muflone in presenza di fattori stocastici aggiuntivi

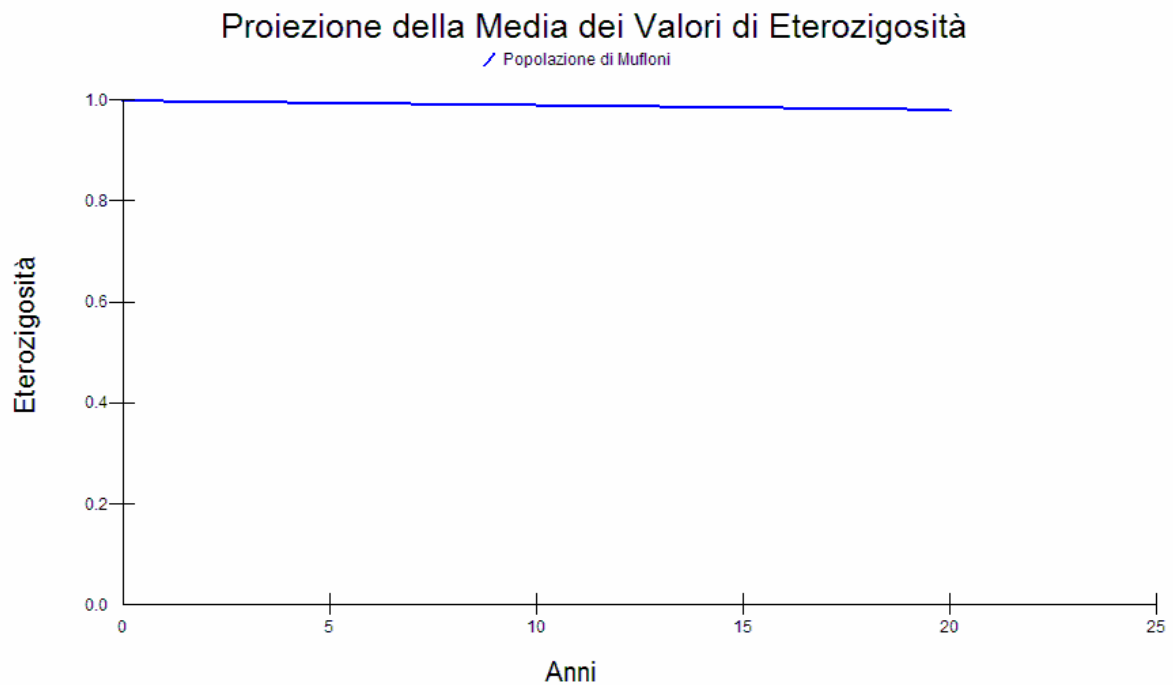


Grafico 3.6 – Andamento nel tempo dei valori di eterozigosi calcolati per la popolazione di muflone in presenza di fattori stocastici aggiuntivi

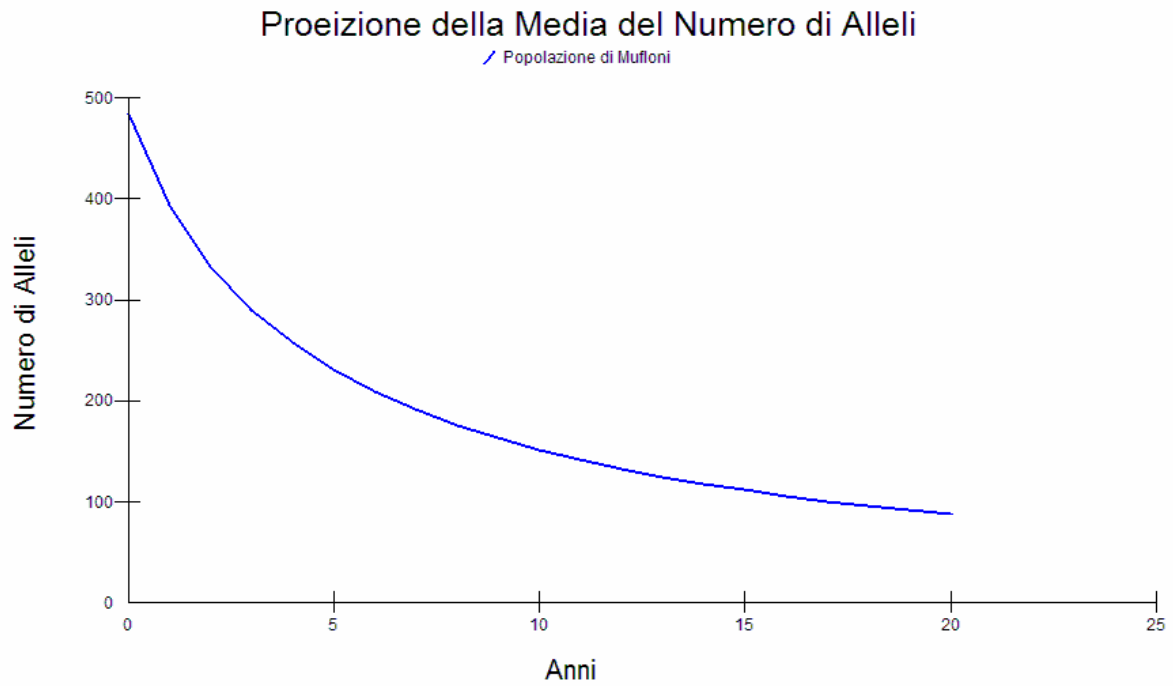


Grafico 3.7 – Andamento nel tempo del numero di alleli presenti nella popolazione di muflone in presenza di fattori stocastici aggiuntivi

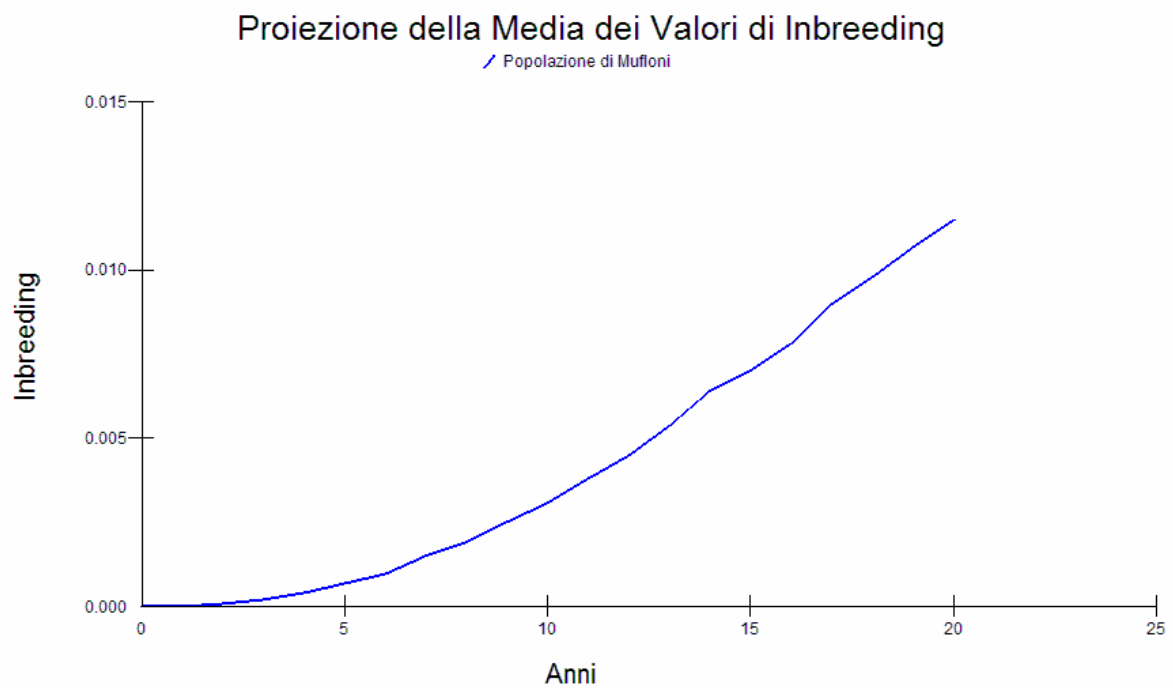


Grafico 3.8 – Andamento nel tempo dei valori medi di Inbreeding calcolati per la popolazione di muflone in presenza di fattori stocastici aggiuntivi

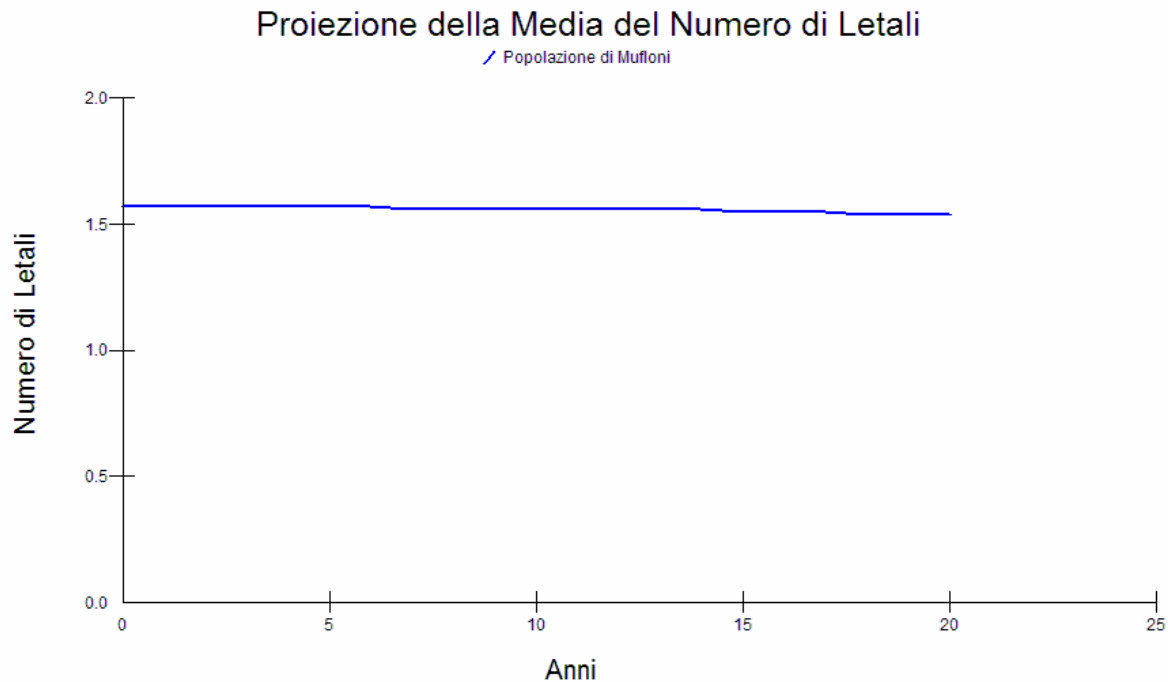


Grafico 3.9 – Andamento nel tempo della media del numero di alleli letali calcolati per la popolazione di mufloni in presenza di fattori stocastici aggiuntivi

Il confronto tra gli andamenti del tasso di accrescimento naturale deterministico e del tasso di accrescimento naturale stocastico individuati per la popolazione di mufloni attraverso la presente simulazione, ha evidenziato l'esistenza di differenze significative (One-Sample T-Test; test value =0,060; $t = -4,764$; $p < 0.001$) tra i rispettivi andamenti. Da questo si inferisce l'importanza, al fine di meglio comprendere la dinamica della popolazione, della considerazione di processi di tipo stocastico nel modello, i quali sono responsabili di modificazioni importanti nell'andamento della popolazione.

La popolazione di muflone, nel suo complesso, si presenta in uno stato vitale ottimo, mostrando un tasso intrinseco di accrescimento naturale positivo ($r=0,06$) che le garantisce, anche con l'aggiunta dei processi stocastici individuati nel presente modello, una probabilità di sopravvivenza pari allo 99.9%, alla fine della simulazione. È sicuramente significativo il fatto che durante la simulazione, tre iterazioni sono scese al di sotto della soglia di estinzione definita, ma ben due di queste sono riuscite a recuperare la propria consistenza numerica superando nuovamente tale soglia (processo denominato ricolonizzazione) e si sono riportate a valori numerici ritenuti sufficienti per il mantenimento vitale, ecologico ed evolutivo, della popolazione medesima; alla fine della simulazione una sola popolazione ha raggiunto un valore di zero per la propria consistenza; tale risultato, essendo significativamente piccolo, non deve però destare alcun tipo di preoccupazione, poiché simili valori sono compatibili con la reale situazione in popolazioni naturali considerate persistenti e che non necessitano di alcuni intervento antropico volto a migliorarne la situazione ambientale-demografica locale.

Studi futuri potranno meglio delineare alcune caratteristiche demografiche ed ambientali localmente presenti, in modo da implementare la qualità e la consistenza dei dati utilizzati e quindi derivare andamenti più precisi per proiezioni future. A tale fine potrebbe essere utile acquisire informazioni circa la struttura delle popolazioni di muflone residenti nelle aree limitrofe l'area di studio nonché i tassi di migrazione che le legano, in modo tale da inserire la popolazione simulata all'interno di un contesto demografico più ampio ed a carattere regionale denominato metapopolazione. Lo studio e

l'individuazione di eventi catastrofici volti ad individuare soprattutto l'impatto che questi determinano sulla popolazione potrebbe costituire un ulteriore punto di approfondimento per studi futuri mirati alla conservazione della specie.

L'ulteriore studio della struttura dell'habitat ed l'incorporazione di dinamiche riguardanti processi vegetazionali potrebbero fornire risultati interessanti applicabili alla dinamica da cui derivare importanti inferenze nel caso si pianifichino modificazioni nella gestione della risorse naturali presenti all'interno dell'area di studio.

APPENDICE

PROGETTO: Dinamica di Popolazione

POPOLAZIONE: MUFLONE Montes

ANNO 1

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 232,89 (0,58 SE; 18,41 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 232,89 (0,58 SE; 18,41 SD)
Expected heterozygosity = 0,997 (0,000 SE; 0,000 SD)
Observed heterozygosity = 1,000 (0,000 SE; 0,000 SD)
Number of extant alleles = 393,76 (0,82 SE; 26,04 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,09 SD)

ANNO 2

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 227,81 (0,74 SE; 23,49 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 227,81 (0,74 SE; 23,49 SD)
Expected heterozygosity = 0,996 (0,000 SE; 0,000 SD)
Observed heterozygosity = 1,000 (0,000 SE; 0,001 SD)
Number of extant alleles = 333,41 (0,86 SE; 27,30 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,11 SD)

ANNO 3

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 224,31 (0,84 SE; 26,56 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 224,31 (0,84 SE; 26,56 SD)
Expected heterozygosity = 0,995 (0,000 SE; 0,000 SD)
Observed heterozygosity = 1,000 (0,000 SE; 0,001 SD)
Number of extant alleles = 289,70 (0,84 SE; 26,43 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,12 SD)

ANNO 4

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 223,50 (0,90 SE; 28,41 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 223,50 (0,90 SE; 28,41 SD)
Expected heterozygosity = 0,994 (0,000 SE; 0,001 SD)
Observed heterozygosity = 1,000 (0,000 SE; 0,001 SD)
Number of extant alleles = 257,38 (0,79 SE; 25,01 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,13 SD)

ANNO 5

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 220,86 (0,98 SE; 30,87 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 220,86 (0,98 SE; 30,87 SD)
Expected heterozygosity = 0,994 (0,000 SE; 0,001 SD)
Observed heterozygosity = 0,999 (0,000 SE; 0,002 SD)
Number of extant alleles = 230,38 (0,75 SE; 23,79 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,14 SD)

ANNO 6

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 219,75 (1,02 SE; 32,37 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 219,75 (1,02 SE; 32,37 SD)
Expected heterozygosity = 0,993 (0,000 SE; 0,001 SD)
Observed heterozygosity = 0,999 (0,000 SE; 0,002 SD)
Number of extant alleles = 208,74 (0,71 SE; 22,32 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,57 (0,00 SE; 0,15 SD)

ANNO 7

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
Mean size (all populations) = 219,13 (1,05 SE; 33,35 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 219,31 (1,04 SE; 32,89 SD)
Expected heterozygosity = 0,992 (0,000 SE; 0,001 SD)
Observed heterozygosity = 0,999 (0,000 SE; 0,003 SD)
Number of extant alleles = 191,05 (0,65 SE; 20,63 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,00 SE; 0,16 SD)

ANNO 8

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
Mean size (all populations) = 217,91 (1,08 SE; 34,06 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 218,08 (1,06 SE; 33,62 SD)
Expected heterozygosity = 0,991 (0,000 SE; 0,001 SD)
Observed heterozygosity = 0,998 (0,000 SE; 0,003 SD)
Number of extant alleles = 175,82 (0,61 SE; 19,19 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,17 SD)

ANNO 9

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
Mean size (all populations) = 216,68 (1,12 SE; 35,27 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 216,85 (1,10 SE; 34,87 SD)
Expected heterozygosity = 0,990 (0,000 SE; 0,002 SD)
Observed heterozygosity = 0,998 (0,000 SE; 0,003 SD)
Number of extant alleles = 162,63 (0,58 SE; 18,26 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,17 SD)

ANNO 10

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 216,80 (1,09 SE; 34,62 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 216,80 (1,09 SE; 34,62 SD)
Expected heterozygosity = 0,989 (0,000 SE; 0,002 SD)
Observed heterozygosity = 0,997 (0,000 SE; 0,004 SD)
Number of extant alleles = 151,54 (0,55 SE; 17,28 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,18 SD)

ANNO 11

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
Mean size (all populations) = 216,66 (1,14 SE; 35,99 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 216,66 (1,14 SE; 35,99 SD)
Expected heterozygosity = 0,988 (0,000 SE; 0,002 SD)
Observed heterozygosity = 0,996 (0,000 SE; 0,004 SD)
Number of extant alleles = 141,70 (0,52 SE; 16,49 SD)
Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,18 SD)

ANNO 12

N[Extinct] = 0, P[E] = 0,000
 N[Surviving] = 1000, P[S] = 1,000
 Mean size (all populations) = 215,33 (1,13 SE; 35,72 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 215,33 (1,13 SE; 35,72 SD)
 Expected heterozygosity = 0,987 (0,000 SE; 0,002 SD)
 Observed heterozygosity = 0,996 (0,000 SE; 0,005 SD)
 Number of extant alleles = 132,74 (0,49 SE; 15,52 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,19 SD)

ANNO 13

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 214,80 (1,16 SE; 36,80 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 214,97 (1,15 SE; 36,41 SD)
 Expected heterozygosity = 0,986 (0,000 SE; 0,002 SD)
 Observed heterozygosity = 0,995 (0,000 SE; 0,005 SD)
 Number of extant alleles = 124,85 (0,47 SE; 14,70 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,20 SD)

ANNO 14

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 213,66 (1,17 SE; 37,14 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 213,83 (1,16 SE; 36,76 SD)
 Expected heterozygosity = 0,985 (0,000 SE; 0,003 SD)
 Observed heterozygosity = 0,994 (0,000 SE; 0,006 SD)
 Number of extant alleles = 117,59 (0,44 SE; 13,92 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,56 (0,01 SE; 0,20 SD)

ANNO 15

N[Extinct] = 2, P[E] = 0,002
 N[Surviving] = 998, P[S] = 0,998
 Mean size (all populations) = 213,42 (1,21 SE; 38,38 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 213,77 (1,19 SE; 37,61 SD)
 Expected heterozygosity = 0,985 (0,000 SE; 0,003 SD)
 Observed heterozygosity = 0,993 (0,000 SE; 0,006 SD)
 Number of extant alleles = 111,60 (0,43 SE; 13,46 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,55 (0,01 SE; 0,21 SD)

ANNO 16

N[Extinct] = 2, P[E] = 0,002
 N[Surviving] = 998, P[S] = 0,998
 Mean size (all populations) = 212,21 (1,24 SE; 39,23 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 212,55 (1,22 SE; 38,53 SD)
 Expected heterozygosity = 0,984 (0,000 SE; 0,003 SD)
 Observed heterozygosity = 0,992 (0,000 SE; 0,006 SD)
 Number of extant alleles = 105,91 (0,41 SE; 12,85 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,55 (0,01 SE; 0,22 SD)

ANNO 17

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 211,67 (1,27 SE; 40,08 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 211,85 (1,26 SE; 39,69 SD)
 Expected heterozygosity = 0,983 (0,000 SE; 0,003 SD)
 Observed heterozygosity = 0,991 (0,000 SE; 0,007 SD)
 Number of extant alleles = 100,74 (0,40 SE; 12,62 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,55 (0,01 SE; 0,22 SD)

ANNO 18

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 210,36 (1,30 SE; 41,21

SD)Means across extant populations only:

Population size = 210,55 (1,29 SE; 40,82 SD)
 Expected heterozygosity = 0,982 (0,000 SE; 0,003 SD)
 Observed heterozygosity = 0,990 (0,000 SE; 0,007 SD)
 Number of extant alleles = 95,97 (0,39 SE; 12,24 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,54 (0,01 SE; 0,22 SD)

ANNO 19

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 210,28 (1,32 SE; 41,68 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 210,45 (1,31 SE; 41,31 SD)
 Expected heterozygosity = 0,981 (0,000 SE; 0,004 SD)
 Observed heterozygosity = 0,989 (0,000 SE; 0,008 SD)
 Number of extant alleles = 91,79 (0,38 SE; 11,89 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,54 (0,01 SE; 0,23 SD)

ANNO 20

N[Extinct] = 1, P[E] = 0,001
 N[Surviving] = 999, P[S] = 0,999
 Mean size (all populations) = 211,26 (1,31 SE; 41,28 SD)

Means across extant populations only:

Population size = 211,44 (1,29 SE; 40,92 SD)
 Expected heterozygosity = 0,980 (0,000 SE; 0,004 SD)
 Observed heterozygosity = 0,989 (0,000 SE; 0,008 SD)
 Number of extant alleles = 88,06 (0,36 SE; 11,42 SD)
 Lethal alleles / diploid = 1,54 (0,01 SE; 0,23 SD)

Bibliografia

- AEBISCHER, N.J., ROBERTSON, P.A. & KENWARD, R.E. (1993). Compositional analysis of habitat use from animal radio-tracking data. *Ecology*. 74:1313-1325.
- ALADOS, C.L. (1985). Group size and composition of the Spanish ibex (*Capra pyrenaica*) in the Sierras of Cazorla and Segura. In *The biology and management of mountain ungulates*. 134-147. Lovari, S. (Ed.). London: Croom-Helm.
- ALBON, S.D., STAINES, H.J., GUINNES, F. E. AND CLUTTON-BROCK, T.H. (1992). Density dependent changes in the spacing behaviour of female kin in red deer. *J. Anim. Ecol.* 61: 131-137.
- ALLEE W. C., EMERSON A. E., PARK O., PARK T., SCHMIDT K. P., 1949. "Principles of animal ecology". Philadelphia PA, Saunders.
- APOLLONIO, M. & MENEGUZ, P. (2003). Il muflone. In: La fauna d'Italia: Carnivori ed Ungulati. *Boitani, Lovari, Vigna. EdS. SCN, Ministero dell'Ambiente*.
- APOLLONIO, M. ET AL. (2005). Carta delle vocazioni faunistiche della Sardegna. *Sottoprogetto 3 : studio relativo agli Ungulati*.
- BAKER, R.R. (1978). The evolutionary ecology of animal migration. *Hodder e Stoughton, London*.
- BARTEN, N.L., BOWYER, R.T. & JENKINS, K.J. (2001). Habitat use by female caribou: Tradeoffs associated with parturition. *J. Wildl. Manage.* 65:77-92.
- BERGERUD, A.T. & PAGE, R.E. (1987). Displacement and dispersion of parturient caribou at calving as antipredator tactics. *Can. J. Zool.* 65:1597-1606.
- BERTRAND, M.R., DENICOLA, A.J., BEISSINGER, S.R. & SWIHART, R.K. (1996). Effects of parturition on home ranges and social affiliations of female white-tailed deer. *J. Wildl. Manage.* 60:899-909.
- BON R. & CAMPAN R. 1989. Social tendencies of the Corsican mouflon in the Caroux-Espinouse massif (South of France). *Behav. Process.* 19, 57-58.
- BON R., BADIA J., MAUBLANC M.L. & RECARTE J.M. 1993. Social grouping dynamics of Corsican Mouflon during the rut. *Z. Säugetierkd* 58, 294-301.
- BON, R., JOACHIM, J. & MAUBLANC, M.L. (1995). Do lambs affect feeding habitat use of lactating female mouflons in spring within an area free of predators?. *J. Zool.* 235: 43-51.
- BOSCH, P.C. & SVENDSEN, G.E. (1987). Behaviour of male and female vicuna (*Vicugna vicugna* Molina 1782) as it relates to reproductive effort. *J. Mammal.* 68: 425-429.
- BOSCHI, C. & NIEVERGEN, B. (2003). The spatial patterns of Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra rupicapra*) and their influence on population dynamics in the Swiss National Park. *Mamm. Bioly.* 68: 16-30.
- BOULDORIE J. L., VASSANT J., 1989. Le sanglier. *Hatier Faune Sauvage Publ.*, Paris
- BOUSSÈS P., BARBANSON B. & CHAPUIS J.L. 1991. The Corsican Mouflon on Kerguelen Archipelago: structure and dynamics of the population. *Oungulès/ungulates* 91, 317-320.
- BRIEDERMANN L. 1991. Reproduction in European Mouflon. *Oungulès/ungulates* 91, 557-560.
- BRIEDERMANN, L. (1993). Unser Muffelwild: auf meinen Erlebnissen bei Forshung an europäischen Wildschafen. Morschen-Heina: Neumann-Neudamm.
- BROOK B., W., 2000. "Pessimistic and optimistic bias in population viability analysis" *Conserv. Biol.*, 14, 564-566.
- BURT, W.H. (1943). Territoriality and home range as applied to mammals. *J. Mammal.* 24: 346-352.
- CASSOLA, F. (1985). Management and conservation of the sardinian mouflon (*Ovis musimon* Schreber). An outline. In Lovari S. (ed.): *The biology and management of Mountain Ungulates*, Croom Helm. 197-203.
- CASWELL, H., 2001. "Matrix Population Model". Ed Sunderland, MA, Sinauer.
- CAUGHLEY, G., 1977. "Analysis of Vertebrates population". London: John Wiley and Sons.

- CIUTI, S., BONGI, P., VASSALE, S. & APOLLONIO, M. (2006). Influence of fawning on the spatial behaviour and habitat selection of female fallow deer (*Dama dama*) during late pregnancy and early lactation. *J. Zool.* 268:97-107.
- CLUTTON-BROCK, T.H. & GUINNESS, F.E (1975). Behaviour of red deer (*Cervus elaphus*) at calving time. *Behaviour.* 55:287-300.
- CLUTTON-BROCK, T.H. & HARVEY, P.H. (1978): Mammals, resources and reproductive strategies. *Nature.* 273, 191-195.
- CLUTTON-BROCK, T.H., GUINNESS, F. ALBON, S.D. (1982): Red deer: behavior and ecology of two sexes. *Chicago University Press.* Chicago.
- CLUTTON-BROCK, T.H., IASON, G.R., ALBON, S.D. & GUINNESS, F.E. (1982b). Effects of lactation on feeding behaviour and habitat use in wild red deer hinds. *J. Zool.* 198:227-236.
- CORBET, G.B. (1984). The mammals of the palearctic region: a taxonomic review. *Suppl. British Museum Natural History*
- DENNIS B., MUNHOLLAND P. L., SCOTT J. M., 1991. "Estimates of growth and extinction parameters for endangered species". *Ecol. Monogr*, 61, 115-143
- DUBOIS M., GERARD J.F., MAUBLANC M.L & VITAL F. (1991). Dynamics of spatial occupation by female corsican mouflon (*Ovis ammon*) in a Mediterranean mountain range, southern France. *Oungulès/ungulates.* 91: 305-308.
- FESTA-BIANCHET, M. (1988). Nursing behaviour of bighorn sheep: correlates of ewe age, parasitism, lamb age, birthdate and sex. *Anim. Behav.* 36:1445-1454.
- FRANKLIN I. R., 1980. "Evolutionary changes in small population". *Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective.* Sunderland MA, Sinauer.
- GEIST, V. (1971). Mountain sheep: a study in behaviour and evolution. *The University Chicago Press.* Chicago.
- GHIGI, A. (1917). I Mammiferi d'Italia considerati nei loro rapporti coll'agricoltura. *Natura* VIII:85-137.
- GONZALEZ G. 1985. Les groupes sociaux d'isards et de mouflons, au massif du Carlit (Pyrénées Orientales). *GIBIER FAUNE SAUVAGE* 4, 85-102.
- GOODSON, N.J., STEVENS, D.R. & BAILEY J.A. (1991). Effects of snow on foraging ecology and nutrition of bighorn sheep. *J. Wildl. Manage.* 55: 214-222.
- JENRICH, R.I. & TURNER, F.B. (1969). Measurement of non-circular H.R. *Journal of Theoretical Biology.* 22: 227-237
- JEWELL, P.A. (1966). The concept of home range in Mammal. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 18: 85-109.
- JOHANSSON A., LIBERG O., 1996. Functional aspects of marking behaviour by male roe deer (*Capreolus capreolus*). *J. Mammal*, 77 (2), 558-567
- KENWARD, R. & HODDER, R.H. (1996). Range V. An analysis system for biological location data. Wareham, UK: Institute of Terrestrial Ecology.
- LACY R. C., BORBAT M., POLLAK J. P., 2005. "VORTEX: a stochastic simulation of the extinction process. Version 9.50". Chicago Zoological Society, Brookfield IL.
- LENT, P.C. (1974). Mother-infant relations in ungulates. In *The behaviour of ungulates and its relation to management*: 14-54. Geist, V. & Walther, F. (Eds). Morges, Switzerland: Vol. 1 IUCN.
- LEUTHOLD, W. (1977). African ungulates: a comparative review of their ethology and behavioral ecology. New York. *Springer Verlag.*
- LEVINS R., 1969. "Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control". *Bulletin of Entomological Society of America*, 15, 237-240.
- LINDSTED, S.L. & CALDER, W.A. (1981). Body size, physiological time, and longevity of homeothermic animals. *Q. Rev. of Biol.* 56: 1-16.
- LOUDON, A.S.I. (1985). Lactation and neonatal survival of animals. *Symp.Zool. Soc. Lond.* 54: 183-207.

- MACDONALD, D.W., BALL, F.G., HOUGH, N.G. (1980): The evaluation of home range size and configuration using radio tracking data. In: Amlaner C.G. e MacDonald D.W. (eds.), A handbook on biotelemetry and radiotracking, *Pergamon*, Oxford. 405-424.
- McClelland, B. E. 1991: Courtship and agonistic behavior in mouflon sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.* **29**,67—85.
- MECH, L. D. (1983): Handbook of animal radio-tracking. *University of Minnesota press*, Minneapolis.
- MILLER P. S., LACY R. C., 2005. "VORTEX: a stochastic simulation of the extinction process. Version 9.50. User's manual". Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN), Apple Valley, MN.
- MOHR, C.O. (1947): Table of equivalent populations of North American small mammals. *Am. Midl. Nat.* **37**: 223-249.
- MUSTONI, A., PEDROTTI, L., ZANON, E., TOSI, G. (2002): "Il muflone" da: Ungulati delle alpi - Biologia-Riconoscimento-Gestione. Nitida immagine editrice. 389-436.
- OZOGA, J. J., VERME, L. S. AND BIENZ, C. S. (1982). Parturition behavior and territoriality in white-tailed deer: impacts on neonatal mortality. *J. Wildl. Manage.* **46**: 1-11.
- PFEFFER P. & GENEST H. 1969. Biologie comparée d'une population de mouflons de Corse du Parc Naturel du Caroux. *Mammalia* **33**, 165-192.
- PFEFFER P. 1963. Premières estimations sur le statut et la structure des populations de mouflon (*Ovis musimon* Pallas) dans la Réserve Nationale de Bavella (Corse). *La Terre et la Vie* **2**, 129-139.
- PFEFFER P. 1967. Le Mouflon de la Corse (*Ovis ammon musimon*, Schreber 1782), position systématique, écologie et éthologie comparées. *Mammalia* **31**, 1-262.
- PFEFFER, P. & GENEST, H. (1967). Biologie comparée d'une population de mouflons de Corse du Parc Naturel du Caroux. *Mammalia*. **33**: 165-192.
- PRIEN, S., PEUKERT, R., & TELLER. (1982). Das Muffelwild. In: Stubbe H. (ed.); *Buch der Hege I*. Berlin. 110-147.
- RUCKSTUHL, K.E. & FESTA-BIANCHET, M (1998). Do Reproductive Status and Lamb Gender Affect the Foraging Behavior of Bighorn Ewes? *Ethology*. **104**: 941-954.
- RUDGE, M.R. (1970). Mother and young behaviour in feral goats (*Capra hircus*). *Z.Tierpsychol.* **27**: 687-692.
- RUIU, D. (1989). Dentro il branco-Muflone. *Oasis* **6**, Musumeci Editore, Aosta
- SAN JOSÉ, C. & BRAZA, F. (1992). Antipredator aspects of fallow deer behaviour during calving season at Doñana National Park (Spain). *Ethol. Ecol. Evol.* **4**: 139-149.
- SCHWEDE, G., HENDRICHS, H. & WEMMER, C. (1993). In Proceedings of the Second International Symposium of Deer Biology: 56-62. Brown, R. (Ed.). New York. *Springer Verlag*.
- SCHWEDE, G., HENDRICHS, H. AND MCSHEA, W. (1993). Social and spatial organization of female white-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, during the fawning period. *Anim. Behav.* **45**: 1007-1017.
- SEIP, D.R. & BUNNEL, F.L. (1985). Foraging behaviour and food habits of Stone's sheep. *Can. J. Zool.* **63**: 627-633.
- SILVESTRI, A. (1975). Il Muflone sardo. *Ed. Forum*, Forlì. 134 pp.
- SOULE' M. E., 1980. "Thresholds for survival: Maintaining fitness and evolutionary potential". In *Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective*. Sunderland MA, Sinauer.
- SOULE' M.E.; 1985; "What is conservation biology?". *BioScience*, **9**, 551-558
- SWIHART, R.K., & SLADE, N.A. (1985): Testing for independence of observations in animal movements. *Ecology* **66**(4), 1176-1184.
- TUFTO, J., ANDERSEN, R., & LINNELL, J. (1996): Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the roe deer. *J.Anim. Ecol.* **65**: 715-724.
- TÜRCKE F. & SCHMINKE S. 1965. Das Muffelwild. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- VILLARET, J.C., BON, R. & RIVET, A. (1997). Sexual segregation of habitat by the alpine ibex in the French Alps. *J. Mammal.* **78**: 1273-1281.

- WALTHER, R.F. (1968). Verhalten der Gazellen. Wittenberg Lutherstadt, Germany. *A. Ziemsen Verlag*.
- WHITE, G.C., GARROTT, R.A. (1990). Analysis of wildlife radio-tracking data. *Academic press inc.* San Diego.
- WORTON, B.J. (1989). Kernel method for estimating the utilization distribution in home range studies. *Ecology* 70:164-168.