

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO
FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Elaborato Finale di Laurea in Scienze Naturali
Classe di laurea N. L-32

EFFETTI DEL CLIMA SULLA FENOLOGIA MIGRATORIA E
POPOLAZIONE DI TOPINO (*RIPARIA RIPARIA*): CASO STUDIO
NEL PARCO DEL PO E DELLA COLLINA TORINESE.

Candidato:
Giulia Masoero

Firma:

Relatore interno:
Enrico Caprio

Firma:

Anno Accademico 2011-2012

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 1
1.1. Il topino	pag. 1
1.2. Status di conservazione	pag. 4
1.3. Le migrazioni	pag. 5
1.4. Il clima e le migrazioni	pag. 6
2. L'AREA DI STUDIO	pag. 8
3. MATERIALI E METODI	pag. 11
3.1. Cattura e inanellamento	pag. 11
3.1.1. La cattura	pag. 11
3.1.2. La routine di inanellamento	pag. 12
3.1.3. Cattura e inanellamento dei topini	pag. 13
3.2. Analisi dei dati	pag. 16
3.2.1. Analisi del clima sulle date di arrivo	pag. 16
3.2.2. Analisi della sopravvivenza con MARK	pag. 16
3.2.3. Analisi dell'effetto del clima sulla sopravvivenza	pag. 17
4. RISULTATI	pag. 18
4.1. Date di arrivo e clima	pag. 18
4.2. Risultati delle catture e analisi della sopravvivenza	pag. 20
4.3. Relazione tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice di piovosità del Sahel	pag. 24
4.4. Relazione tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice NAO	pag. 25
5. DISCUSSIONE	pag. 27
5.1. Date di arrivo	pag. 27
5.2. Sopravvivenza	pag. 28
5.3. Sopravvivenza e piovosità del Sahel	pag. 29
5.4. Sopravvivenza e NAO	pag. 30
6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE	pag. 31
RINGRAZIAMENTI	pag. 32
BIBLIOGRAFIA	pag. 33
ALLEGATI	pag. 37

1. INTRODUZIONE

Lo scopo della mia tesi è l'analisi della fenologia migratoria del topino (*Riparia riparia*) in relazione al clima. Per questo studio sono stati utilizzati i dati di inanellamento del Parco del Po e della Collina Torinese raccolti tra il 2002 e il 2012 e i dati di avvistamento da parte di ornitologi e birdwatchers piemontesi.

In quanto aspirante inanellatrice ho partecipato attivamente alle sessioni di cattura e inanellamento a scopo scientifico organizzate dal Parco assieme al guardiaparco Alberto Tamietti, inanellatore autorizzato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

1.1. Il topino

Il topino *Riparia riparia* (Linnaeus, 1758) appartiene all'ordine Passeriformes, famiglia Hirundinidae, assieme ad altre specie forse più note, come la rondine *Hirundo rustica* e il balestruccio *Delichon urbicum*.



Figura 1.1. Topino al nido (foto F. Ballanti).

I passeriformi appartenenti a questa famiglia sono insettivori, relativamente piccoli, con ali lunghe e appuntite, adattati a vivere prevalentemente in volo. Sono dotati di zampe e becco corti. Il topino ha una colorazione marrone grigia sulle parti superiori e bianca inferiormente, con una banda marrone grigia che separa la gola e il petto, entrambi bianchi, la coda è leggermente forcuta. Ha una lunghezza di 12-13 cm (Svensson *et al.*, 2009).

Ha una distribuzione molto vasta (figura 1.2) e lo si trova come nidificante nell'emisfero boreale in tutto il Nord America, l'Europa e l'Asia e come svernante in Sud America e Africa (Garrison, 1999).

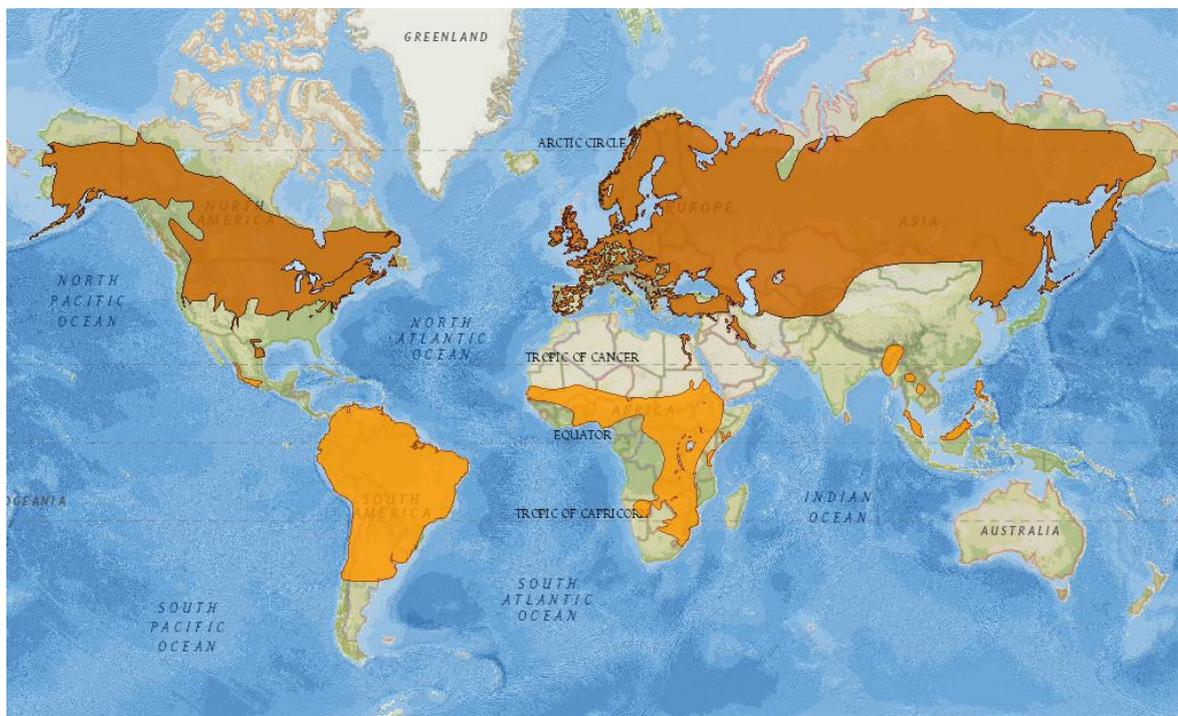


Figura 1.2. Distribuzione del Topino *Riparia riparia*; il colore marrone indica i siti di nidificazione, in arancione le aree di svernamento (da <http://maps.iucnredlist.org/map.html?id=106007105>).

In Italia è presente come migratore e nidificante (figura 1.3), in genere da febbraio a ottobre. Nidifica in colonia lungo gli argini dei fiumi, scavando nidi orizzontali della lunghezza di circa un metro nelle pareti verticali di sabbia o terra (Svensson *et al.*, 2009).

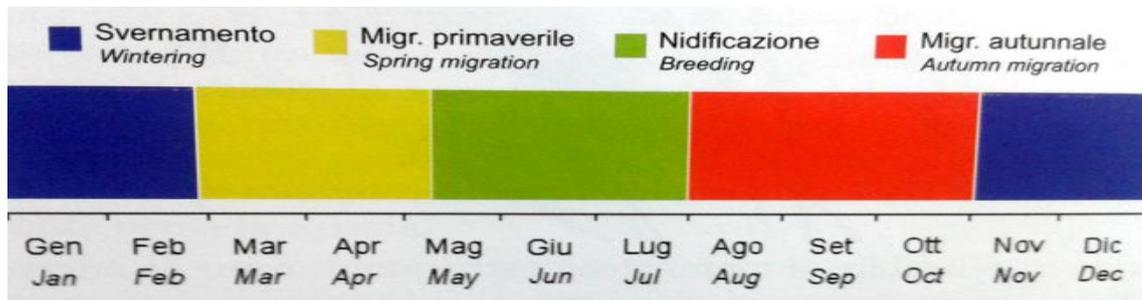


Figura 1.3. Fenologia del topino (da Spina e Volponi, 2008).



Figura 1.4. Colonia di topini (foto di A. Tamietti).
uova per la maggior parte del tempo anche il maschio si alterna nella cova. La schiusa avviene dopo circa 13-15 giorni (figura 1.5).

Dopo altri 20 giorni il giovane compie il primo volo e nei giorni successivi raggiunge la completa indipendenza dai genitori. La maturità sessuale viene raggiunta già nell'anno successivo a quello di nascita (Turner, 1982; Garrison, 1999).

La nidificazione inizia verso fine aprile o inizio maggio quando i topini iniziano a scavare le tane in cui deporranno le uova (figura 1.4). Nelle colonie considerate avvengono in genere due covate durante il periodo di nidificazione. Il numero di uova deposte varia tra 1 e 9 con una media di 4-5 uova. Nonostante sia la femmina a covare le



Figura 1.5. Topino al nido con pulli (foto di F. Ballanti).

Con la fine della nidificazione in agosto i topini si riuniscono in grossi gruppi composti anche da rondini e passano la notte generalmente in aree umide a canneto.



Figura 1.6. Areale di svernamento (in blu) dei topini nidificanti in Europa (in rosso) (da <http://maps.iucnredlist.org/map.html?id=106007105>).

Essendo il topino un migratore trans-sahariano, in settembre inizia la migrazione verso i quartieri di svernamento (figura 1.6), costituiti dall'area occidentale del Sahel (Robinson, 2008). Il Sahel è la zona ecoclimatica di transizione tra il deserto del Sahara a Nord e la savana a Sud. Comprende un'area che varia in latitudine tra 20° e 10°N e in longitudine tra 20°O e 10°E. La stagione delle piogge nel Sahel va da giugno a ottobre. Precede infatti l'arrivo dall'Europa degli uccelli migratori.

1.2. Status di conservazione

Il topino è relativamente comune e diffuso e non è considerato a rischio di estinzione, infatti è nella categoria *Least Concern* della Red List IUCN (2012).

Tra le principali minacce per il topino si riscontra la diminuzione di siti di nidificazione naturali causati da interventi di manutenzione dei corsi d'acqua come quelli di controllo delle esondazioni o delle erosioni. Queste attività possono rimuovere banchi di sabbia o renderli inadeguati ai nidi. In contrasto il topino trova anche nelle cave un ottimo ambiente per la riproduzione e nidifica anche in nidi artificiali (Garrison, 1999; Turner, 2004).

L'uso dei pesticidi può essere una minaccia per le riserve di cibo dei topini (Turner, 2004).

In Europa sono stati registrati dei grossi cali di popolazione negli ultimi 50 anni, legati principalmente a episodi di siccità nelle zone di svernamento (Kuhnen, 1975; Cowley, 1979; Svensson, 1986; Jones, 1987; Persson, 1987). Proprio quest'ultimo fatto rende interessante approfondire lo studio della relazione tra il topino, la sua fenologia migratoria

e il suo tasso di sopravvivenza annuale, e i dati meteorologici nelle aree di nidificazione, nei territori di svernamento e infine durante la migrazione.

1.3. Le migrazioni

Le migrazioni si sono evolute nel mondo animale come una risposta al cambiamento delle condizioni ambientali generato dai due cicli geofisici del giorno e dell'anno. La loro funzione è di consentire all'animale di trovarsi in un determinato luogo quando le condizioni ambientali sono più favorevoli e di allontanarsi in caso contrario. Ci si aspetta quindi che una specie o una popolazione migri solo nel caso in cui il fatto di spostarsi stagionalmente apporti maggiori benefici per quanto riguarda la sopravvivenza o la riproduzione, maggiori rispetto a quelli conseguibili rimanendo tutto l'anno nello stesso posto (Lack, 1954).

Tra gli uccelli il fenomeno della migrazione si trova in tutte quelle specie che vivono in ambienti stagionali, nei quali la disponibilità di cibo varia da situazioni di abbondanza e di scarsità a seconda del periodo dell'anno (Newton, 2008). L'entità dello spostamento può variare notevolmente, da poche centinaia di metri a migliaia di chilometri.

La migrazione trans-sahariana è imponente: le stime più recenti indicano un contingente migratorio annuale di 2,1 miliardi di individui (stime minima e massima di 1,5 e 2,9 miliardi) che ogni autunno attraverserebbe il deserto del Sahara per svernare nell'area subsahariana (Hahn *et al.*, 2009).

Due sono i fattori fondamentali alla base delle migrazioni: la competizione nel periodo di nidificazione (Cox, 1968; Rappole e Tipton, 1992; Safriel, 1995) e la stagionalità delle risorse. Per alcuni la migrazione è stata un adattamento alla mancanza di risorse nella stagione invernale nelle aree temperate, che avrebbe consentito di massimizzare la sopravvivenza in questa difficile fase del ciclo annuale (Mayr e Meise, 1930; Bell, 2000). Secondo altri invece la migrazione è stata un adattamento che ha consentito agli uccelli tropicali di accedere a risorse stagionalmente abbondanti nelle zone temperate, aumentando così il successo riproduttivo (Taverner, 1904; Alerstam e Enkell, 1979; Rappole e Jones, 2002; Rappole, 2005).

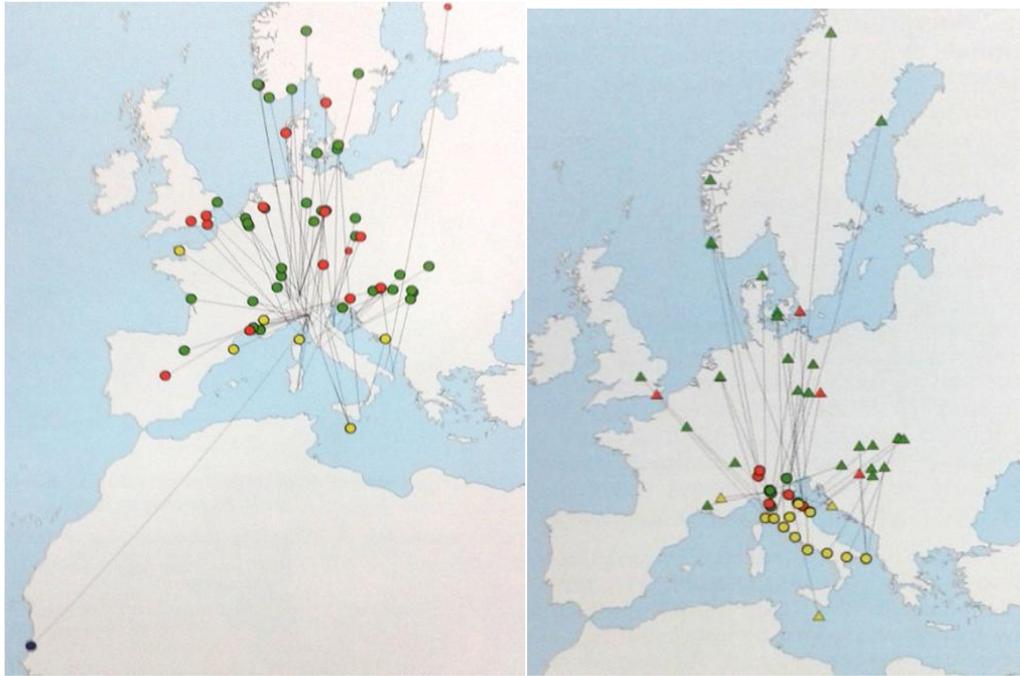


Figura 1.7. Movimenti di individui esteri ripresi in Italia (a sinistra) e movimenti all'estero di individui inanellati in Italia (a destra) con fenologia di inanellamento e ricattura, i colori sono quelli usati per lo schema della fenologia in figura 1.3 (da Spina e Volponi, 2008).

1.4. Il clima e le migrazioni

Il clima, le sue variazioni e il modo in cui queste influenzano le migrazioni degli uccelli sono tematiche molto studiate; sia le migrazioni primaverili (Marra *et al.*, 2005) sia quelle autunnali (Jenni e Kéry, 2003) sono influenzate.

Il clima europeo è maggiormente influenzato dall'Oscillazione Nord Atlantica.

L'Oscillazione Nord Atlantica (in inglese NAO, *North Atlantic Oscillation*) è un pattern di circolazione atmosferica localizzato nell'Oceano Atlantico settentrionale. È caratterizzato dalla fluttuazione ciclica della differenza di pressione al livello del mare tra Islanda e Azzorre. Attraverso il moto di questa oscillazione questa fluttuazione determina la direzione delle perturbazioni lungo l'Atlantico settentrionale. I venti occidentali portano aria umida sul continente europeo dopo essere fluiti attraverso l'Atlantico. Forti venti occidentali portano ad avere un clima caratterizzato da estati fresche e inverni miti e piovosi. Venti occidentali deboli causano un'estremizzazione delle temperature sia estive sia invernali e una diminuzione delle precipitazioni. La direzione e la forza dei venti occidentali sull'Europa sono controllate da un sistema di bassa pressione sull'Islanda, chiamato Depressione d'Islanda, e da un centro di alta pressione sulle Azzorre, l'Anticiclone delle Azzorre. La loro variazione in forza e posizione di anno in anno è nota

appunto come NAO.

Il NAO influenza le dinamiche ecologiche sia nei sistemi terrestri sia in quelli marini e i suoi effetti possono essere osservati in variazioni a livello di individuo, di popolazione e di comunità (Ottersen *et al.*, 2001).

Per quanto riguarda le variazioni negli uccelli, numerosi articoli riportano gli effetti del NAO sulla fenologia riproduttiva e migratoria e sulla sopravvivenza. Influenzando infatti sulle condizioni atmosferiche come temperatura e precipitazioni, può determinare un'anticipazione o una posticipazione dell'inizio della primavera, che a sua volta influisce sull'arrivo nei territori di nidificazione, sul suo inizio, sulla dimensione della covata e sulla probabilità di sopravvivenza durante la migrazione e la nidificazione (Forchhammer *et al.*, 1998; Przybylo *et al.*, 2000; Saether *et al.*, 2000; Both e Visser, 2001; Forchhammer *et al.*, 2002; Jonzen *et al.*, 2002; Møller, 2002; Nott *et al.*, 2002; Sanz, 2002 Tryjanowski *et al.*, 2002; Huppopp e Huppopp, 2003; Sandvik *et al.*, 2005; Robinson *et al.*, 2007).

Per la migrazione è importante anche il clima nelle zone di svernamento. Molti studi sulle specie di uccelli migratori trans-sahariani hanno dimostrato una relazione tra le condizioni meteorologiche africane e i cambiamenti di dimensione delle popolazioni nidificanti europee (Berthold, 1973; Winstanley *et al.*, 1974; Kuhnen, 1975; Cowley, 1979; Cavé, 1983; Møller, 1989; Kanyamibwa *et al.*, 1990; Peach *et al.*, 1991). Da questi lavori risulta quindi cruciale il ruolo delle condizioni dei luoghi di svernamento in Africa nel caso di un grosso decremento di una popolazione. Allo stesso modo, studi fatti sulle popolazioni di topini dell'Europa occidentale e settentrionale in seguito a due episodi di siccità particolarmente intensa avvenuta nel Sahel nel 1969 e nel 1984 hanno dimostrato l'importanza delle condizioni del Sahel per la popolazione di topino nidificante in Europa (Kuhnen, 1975; Cowley, 1979; Svensson, 1986; Jones, 1987; Persson, 1987).

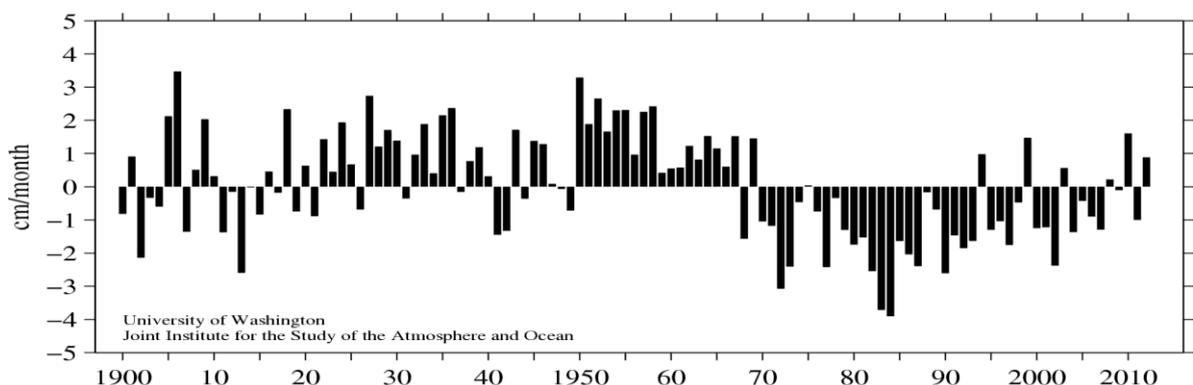


Figura 1.8. Istogramma rappresentante le anomalie nelle precipitazioni del Sahel negli anni 1900-2012 (da <http://jisao.washington.edu/data/sahel/>).

2. L'AREA DI STUDIO

L'area studiata è situata a Sud di Torino, compresa nei comuni di Carignano, Carmagnola, Lombriasco, La Loggia e Moncalieri. Il territorio ricade nei confini del Parco del Po e della Collina Torinese ed è tutelato come parco regionale a partire dal 1990 (L.R. 28/90 e successive modificazioni).

Il clima dell'area è quello tipico della pianura torinese con gennaio con temperature medie inferiori e luglio maggiori. Il mese più piovoso risulta essere novembre in autunno e maggio in primavera. Si presenta in figura 2.1 il diagramma ombrotermico ricavato dai dati della stazione meteorologica ARPA del parco delle Vallere (TO).

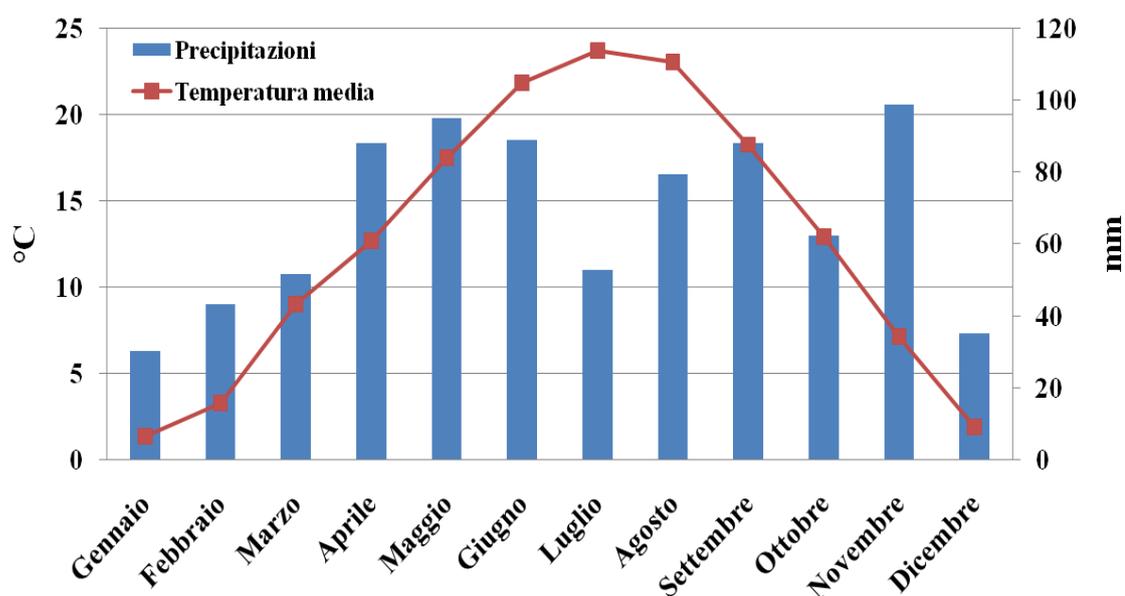


Figura 2.1. Diagramma ombrotermico (da <http://www.arpa.piemonte.it/banca-dati-meteorologica>).

Lungo il tratto di fiume Po preso in esame, per una lunghezza lineare di 13 Km, sono presenti 14 impianti di estrazione di sabbia e ghiaia (cave). A partire dal 2000 è stato intrapreso un monitoraggio dei siti di nidificazione di topini presenti sul fiume Po e in 9 delle cave adiacenti.

Questi dati sono stati comparati a quelli raccolti dal 1973 in poi nel corso di ricerche faunistiche (G. Boano, ined.) nella stessa area. A partire dal 2003 non si sono più osservate in quell'area colonie nidificanti sul fiume. Le osservazioni fatte in queste aree hanno quindi dimostrato una preferenza dei topini per gli ambienti di cava (figura 2.2) come siti idonei per la riproduzione (Tamietti, 2005). Si nota quindi un netto cambiamento rispetto all'indagine svolta in tutta Italia negli anni 1985-1986 che evidenziava come il 63% delle

colonie fossero lungo i fiumi e solo il 29% in ambiente di cava (Mongini, 1988). Questo trova conferma in un articolo di Cowley e Siriwardena del 2005 in cui si afferma che i topini delle colonie prese in esame in Gran Bretagna tendono a usare i siti tradizionali di nidificazione solo in caso di una popolazione di dimensione elevata, in caso contrario sfruttano le cave.

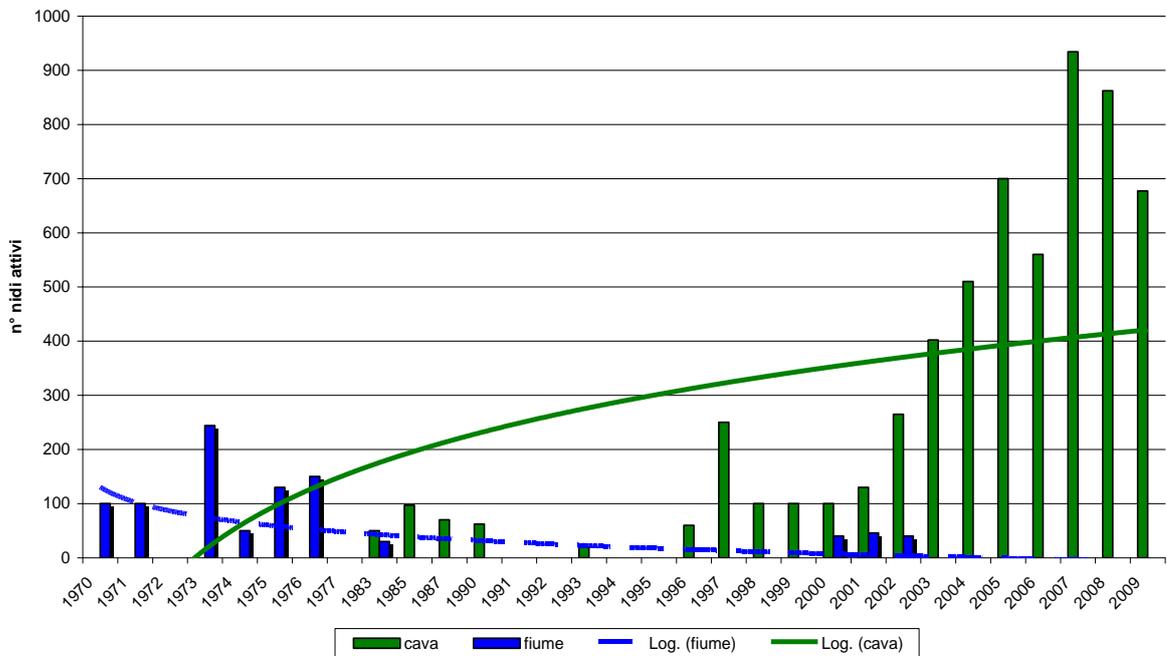


Figura 2.2. Grafico rappresentante la nidificazione di topino lungo l'asta fluviale del Po a monte di Torino; andamento annuo delle nidificazioni in ambienti di cava e su sponde fluviali erose (da Tamietti).



Figura 2.3. Colonia di topini in ambiente di cava (foto di A. Tamietti).

Le operazioni di cattura e inanellamento a scopo scientifico sono state effettuate nelle cave Moncalieri, Zucca e Pasta, Escosa, Musso, Olmi, Provana, Monviso, Germaire e Ceretto, tra il 2002 e il 2012 nei mesi di maggio, giugno e luglio (figure 2.3 e 2.4).

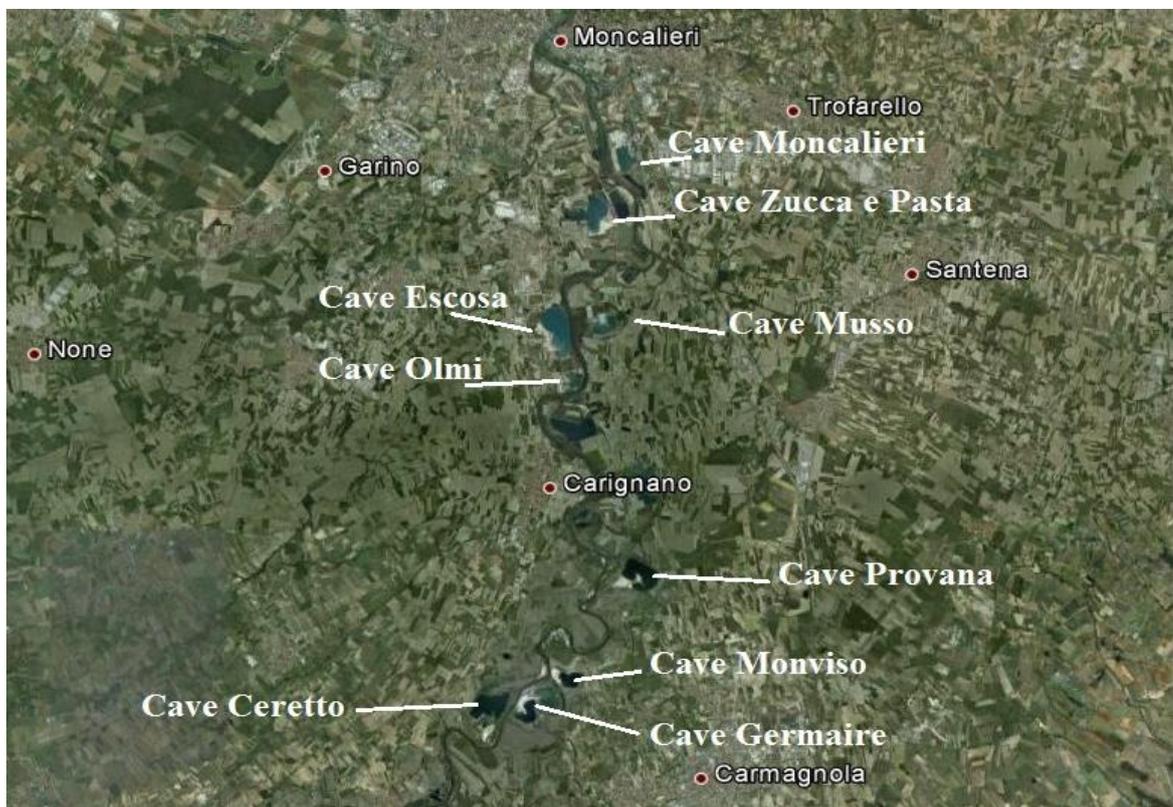


Figura 2.4. Le 9 cave in cui si sono svolte le operazioni di cattura e inanellamento a scopo scientifico dei topini.

3. MATERIALI E METODI

3.1. Cattura e inanellamento

L'inanellamento degli uccelli a scopo scientifico consiste nell'applicazione al tarso di ciascun animale catturato di un anello metallico dotato di un codice univoco. È una tecnica che ha ormai almeno un secolo di vita.

In Europa è l'EURING a coordinare i vari schemi di inanellamento nazionali, tra cui l'ISPRA, che si occupa di coordinare gli inanellatori presenti sul territorio italiano.

Oltre alla prima cattura di un uccello, che fornisce dati biometrici e fisiologici, è fondamentale ed auspicabile la ricattura di individui precedentemente marcati. Dalle ricatture si possono ricavare informazioni importanti quali: variazione dello stato fisiologico, longevità, probabilità di sopravvivenza alla migrazione, spostamenti effettuati dall'individuo nel corso della sua vita e inoltre stabilire le rotte migratorie, le aree di sosta, i quartieri riproduttivi e di svernamento delle diverse specie o addirittura delle singole popolazioni. Inoltre questi dati possono venir correlati con dati meteorologici al fine di capire l'influenza di queste sulle migrazioni, sulla loro durata e sulla probabilità di sopravvivenza di un individuo.

3.1.1. La cattura

La cattura degli uccelli avviene grazie a particolari reti, chiamate *mistnet* o reti nebbia (figura 3.1). Sono costituite da un telaio di fili robusti e da una rete di sottili fili di nailon che forma una sacca in corrispondenza del filo orizzontale del telaio. Le reti vengono sostenute da pali piantati verticalmente nel terreno e vincolate ad essi grazie ad un'asola presente alle estremità di ogni filo orizzontale del telaio. Il loro nome, *mistnet*, deriva dal fatto che sono quasi invisibili, sia per il colore nero e il ridotto spessore del filo sia perché vengono posizionate in luoghi che ne rendano difficile l'avvistamento da parte di un uccello (es. luoghi ombrosi, arbusteti, canneti...).

Ogni ora (o più frequentemente nel caso di condizioni meteorologiche avverse) gli uccelli vengono estratti dalle reti e posizionati in sacchetti di cotone. L'estrazione dalla rete è una pratica molto delicata, ma che va svolta in fretta in modo da non rendere eccessivo lo stress subito dall'uccello.



Figura 3.1. Cattura di topini in ambiente di cava con l'uso delle *mistnet* (foto A. Tamietti).

3.1.2. La routine di inanellamento

Per ogni uccello catturato viene innanzitutto determinata la specie. In seguito viene applicato l'anello metallico grazie ad una pinza sagomata (figura 3.2). La dimensione e il materiale dell'anello sono strettamente correlati con le dimensioni della zampa di quella specie e con l'ambiente che essa frequenta. Su tutti gli anelli è incisa una sigla alfanumerica e la dizione ISPRA OZZANO-BO-ITALY. Ogni anello identifica univocamente un singolo individuo.



Figura 3.2. Operazioni di inanellamento (foto G. Masoero).

Vengono quindi rilevate alcune misure biometriche come la lunghezza dell'ala, attraverso il metodo della corda massima (eliminandone cioè la naturale curvatura), della terza remigante, del tarso e del becco.

Viene inoltre rilevato il livello di accumulo dell'adipe (che costituisce il vero e proprio “carburante” utilizzato durante il volo migratorio) in prossimità della furcula e dell'addome impiegando una scala visuale da 0 a 8, metodo Kaiser (1993). La furcula e l'addome sono infatti le regioni del corpo in cui gli accumuli adiposi sono maggiori, e inoltre sono facilmente individuabili soffiando sul ventre dell'animale per spostare il piumaggio. Sempre soffiando sull'addome, si valutano le condizioni dei muscoli pettorali (i muscoli coinvolti maggiormente nel del volo) secondo il metodo Bairlein (1995), che prevede una scala visuale da 0 a 3 in base alla forma del muscolo e alla visibilità o meno dello sterno. Infine l'animale viene pesato e rilasciato.

3.1.3. Cattura e inanellamento dei topini

Nel 2002 si è iniziata la cattura dei topini in colonia, il primo anno con poche catture di prova. Le operazioni di inanellamento sono state effettuate nelle cave Moncalieri, Zucca e Pasta, Escosa, Musso, Olmi, Provana, Monviso, Germaire e Ceretto, tra il 2002 e il 2012 nei mesi di maggio, giugno e luglio.



Figura 3.3. Cattura di topini in ambiente di cava con l'uso delle *mistnet* (foto A. Tamietti).

La cattura di uccelli in colonia, in particolare nelle colonie di topini, presenta alcune differenze rispetto a quanto precedentemente detto. Invece di sfruttare l'invisibilità delle reti queste vengono poste a una distanza di circa 0.5-1 m dall'entrata della tana lungo tutta



Figura 3.4. Estrazione dei topini dalla rete (foto A. Tamietti).

la lunghezza della colonia di modo che gli uccelli vi rimangano intrappolati entrando o uscendo dal nido (figura 3.3 e 3.4). Inoltre lo sforzo di cattura deve essere molto limitato nel tempo per non stressare troppo gli animali, le catture sono quindi state effettuate per una durata di circa 4 ore due volte al mese nel periodo di nidificazione (da maggio a luglio).

Dopo la cattura si procede all'inanellamento, al rilevamento delle misure biometriche e all'individuazione, quando possibile, dell'età e del sesso dell'individuo.

L'età viene stabilita in base al piumaggio e al tipo di strategia di muta della specie.

Nel nostro caso in base all'osservazione del piumaggio si sono assegnati due codici per l'età, tra quelli previsti dall'Euring (Bardi *et al.*, 1983):

- 3 = primo anno: soggetto completamente sviluppato, nato nella stagione riproduttiva in corso. Le terziarie, le copritrici alari e del groppone presentano un orlo che va da camoscio rossastro a bianco grigiastro, le primarie sono nuove (figura 3.5).
- 4 = dopo il primo anno: soggetto completamente sviluppato nato prima dell'anno in corso. L'anno di nascita è però sconosciuto. Le terziarie, le copritrici alari e del groppone sono color grigio bruno uniforme e logore, come anche le primarie (figura 3.6).



Figura 3.5. Topino giovane, età 3, e **Figura 3.6.** Topino adulto, età 4 (foto A. Tamietti).

Il fatto che non si possa riconoscere l'anno di nascita preciso si spiega con la strategia di muta adottata da questa specie.

I topini infatti compiono una muta estiva parziale e una muta invernale completa, che avviene nei quartieri di svernamento (Svensson, 1992). La muta consiste nel cambiamento di penne e piume, nel caso della muta completa si ha il rinnovamento completo di tutto il piumaggio, in quella parziale solo una parte di questo viene mutata e non comprende le remiganti o le timoniere. Il fatto che la muta completa avvenga nei quartieri di svernamento implica che al ritorno dei topini in primavera non sia più possibile riconoscere i giovani nati l'anno precedente dagli adulti, che vengono quindi tutti raggruppati sotto il codice di età 4.

Il sesso si determina sulla base della presenza di una modificazione della zona ventrale detta placca incubatrice; durante la cova infatti il ventre perde le piume e si arricchisce di vasi sanguigni, in modo da scaldare maggiormente le uova e i piccoli. Nel topino covano entrambi i sessi, quindi è presente sia nel maschio che nella femmina, ma cambia la dimensione e la forma (Svensson, 1992).

3.2. **Analisi dei dati**

Per valutare l'influenza del clima sulla migrazione dei topini ho utilizzato le date di primo avvistamento in Piemonte e i dati di inanellamento, da cui ho ricavato con il programma MARK v. 6.1 (White & Burnham, 1999) il tasso di sopravvivenza annuale dei topini.

3.2.1. **Analisi del clima sulle date di arrivo**

Ho raccolto dati sulla prima segnalazione di avvistamento di topino dalla bibliografia esistente (Resoconti GPSO), dalla Banca Dati del GPSO e dalla mailing-list Torino Birdwatching. La bibliografia esistente fornisce dati completi per gli anni dal 1999 al 2012. Le date di arrivo sono state espresse in termini di pentadi, un raggruppamento di 5 giorni comunemente usato in ornitologia.

L'indice di piovosità del Sahel (Allegato 1) è un indice delle anomalie delle precipitazioni rispetto a quelle degli anni 1950-1979 (fonte: <http://jisao.washington.edu/data/sahel/>).

Come dati di riferimento per l'indice NAO sono stati utilizzati l'indice mensile e stagionale di Hurrell (Allegati 2 e 3); questi indici sono basati sulla differenza tra la pressione a livello del mare tra Ponta Delgada, Azzorre e Stykkisholmur/Reykjavik, Islanda (fonte: <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>).

Il valore della pentade è stato utilizzato per verificare se le variazioni delle date di arrivo riscontrate negli anni 2002 e 2012 fossero in relazione con gli indici meteorologici NAO e di piovosità del Sahel. Per far ciò sono stati utilizzati i GLM (Modelli Lineari Generalizzati) univariati e i GAM (Modelli Generalizzati Additivi), qualora i residui dei modelli lineari mostrassero pattern non lineari, grazie al programma R v. 2.15.2 (R Development Core Team, 2008). R è un ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica dei dati che utilizza un linguaggio di programmazione derivato e in larga parte compatibile con S. Venne scritto inizialmente da Robert Gentleman e Ross Ihaka nel 1993.

3.2.2. **Analisi della sopravvivenza con MARK**

Per l'analisi dei dati di cattura-marcatura-ricattura si è utilizzato il programma MARK. L'input di base è la storia di incontro per ogni animale ovvero una stringa di 0 e 1 che rappresenta la storia di un individuo; 1 significa che quell'anno l'individuo è stato incontrato, 0 che non è stato incontrato. La storia inizia quindi con una cattura che può

essere seguita da un reincontro. Un reincontro può essere il ritrovamento dell'animale marcato morto, una ricattura o una rilettura dell'animale vivo, radiotracking oppure da combinazioni di queste possibilità. Il programma computa una stima dei parametri del modello attraverso stimatori di massima verosimiglianza. (White e Burnham, 1999)

Il modello utilizzato è il modello Cormack-Jolly-Saber, alla base del quale ci sono le ricatture, o controlli, dell'animale vivo (Cormack, 1964; Jolly, 1965; Seber, 1965). Gli animali marcati vengono rilasciati nella popolazione e vengono in seguito incontrati ricatturandoli vivi e rilasciandoli di nuovo. Ogni incontro successivo è caratterizzato da una probabilità di sopravvivenza tra l'incontro precedente e questo. Questo parametro è detto ϕ_i . Gli animali che emigrano dalla popolazione appaiono però come morti in questo modello. Il parametro p rappresenta invece la probabilità di ricattare l'animale in quell'occasione. Con uno scenario del genere:

$$\text{Cattura e marcatura} \xrightarrow{\phi_1} \text{ricattura } (p_2) \xrightarrow{\phi_2} \text{ricattura } (p_3)$$

(Cooch e White, 2012)

3.2.3. **Analisi dell'effetto del clima sulla sopravvivenza**

Grazie a R si sono potuti trovare dei GLM o dei GAM tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice di piovosità del Sahel e l'indice NAO. Come dati di riferimento per l'indice NAO sono stati utilizzati l'indice mensile (Allegato 2) e quello stagionale (Allegato 3) di Hurrell.

4. RISULTATI

4.1. Date di arrivo e clima

Osservatori	Comune	Data	Pentade	Provenienza dato
Pavia M., Fasano S., Vaschetti G., Dotti L.	Trino Vercellese (VC)	25/03/1999	17	Banca Dati GPSO
Beraudo P.	Sant'Albano Stura (CN)	09/03/2000	14	File Resoconto Ornitologico
Reteuna D.	Caselette (TO)	13/03/2001	15	File Resoconto Ornitologico
Associaz. Naturalistica Le Gru	San Gillio (TO)	13/03/2001	15	Banca Dati GPSO
Centro Cicogne e Anatidi	Racconigi (CN)	26/02/2002	12	File Resoconto Ornitologico
Beraudo P.	Sant'Albano Stura (CN)	15/03/2003	15	File Resoconto Ornitologico
Fasano S., Pavia M., Ranghino S., Tozzi S., Vigliani E.,	Fontanetto Po (VC)	24/03/2004	17	File Resoconto Ornitologico
Carpegna F., Di Noia D.	Torino (TO)	24/03/2005	17	File Resoconto Ornitologico
Fasano S., Pavia M. <i>Et al.</i>	Biotopo S.Genuario (VC)	18/03/2006	16	Banca Dati GPSO
Bionda R.	Vogogna (VB)	28/03/2007	18	Banca Dati GPSO
Papini P.	San Gillio (TO)	10/03/2008	14	File Resoconto Ornitologico
Caprio E.	Asti (AT)	20/03/2009	16	Banca Dati GPSO
Di Noia D.	Torino (TO)	06/03/2010	13	TorinoBW
Giraud L.	Sant'Albano Stura (CN)	13/03/2011	15	File Resoconto Ornitologico
Della Toffola M.	Pinerolo (TO)	19/03/2012	16	GPSO, in press

Tabella 4.1. Dati di primo avvistamento dei topini in Piemonte dal 1999 al 2012. (Fonte dei Resoconti ornitologici: <http://www.gpsso.it/news/roan/>)

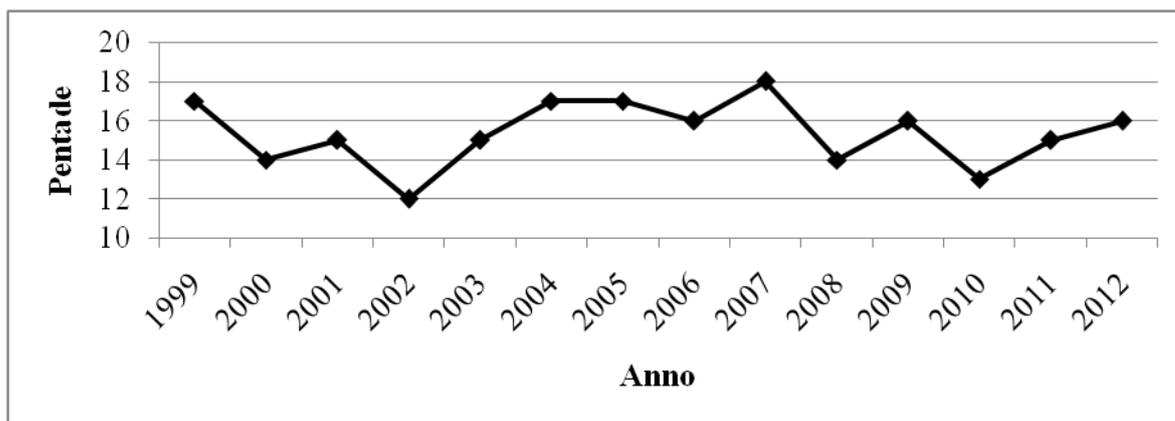


Figura 4.1. Variazione della pentade di primo avvistamento negli anni 1999-2012.

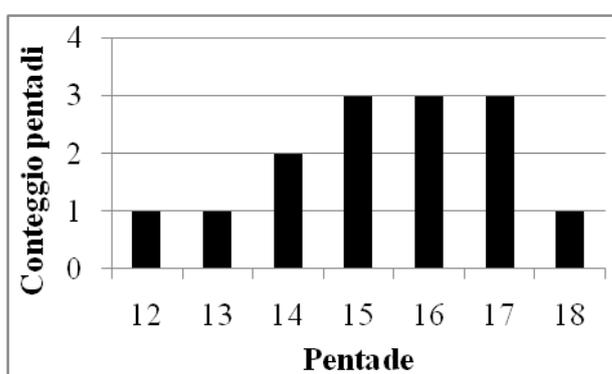


Figura 4.2. Conteggio delle pentadi.

In genere i topini arrivano attorno alla metà di marzo che corrisponde alle pentadi 15,16 e 17 (tabella 4.1 e figure 4.1 e 4.2), ma nel corso degli anni sono avvenute anche delle anticipazioni (26 febbraio 2002, pentade 12) o posticipare l'arrivo (28 marzo 2007, pentade 18).

Le date di arrivo sono state analizzate utilizzando dei GLM per vedere se fossero presenti relazioni con gli indici meteorologici NAO e di piovosità del Sahel.

L'unica relazione di rilievo, seppur non significativa ($p=0.0877$) è quella con il NAO del mese di gennaio (tabella 4.2 e figura 4.3).

	Stima	Errore Standard	Significatività (p)
Intercept	14.9720	0.4636	4.91e-13
NAO_Gen	0.7703	0.4144	0.0877

Tabella 4.2. GLM tra pentadi di primo arrivo e NAO di gennaio.

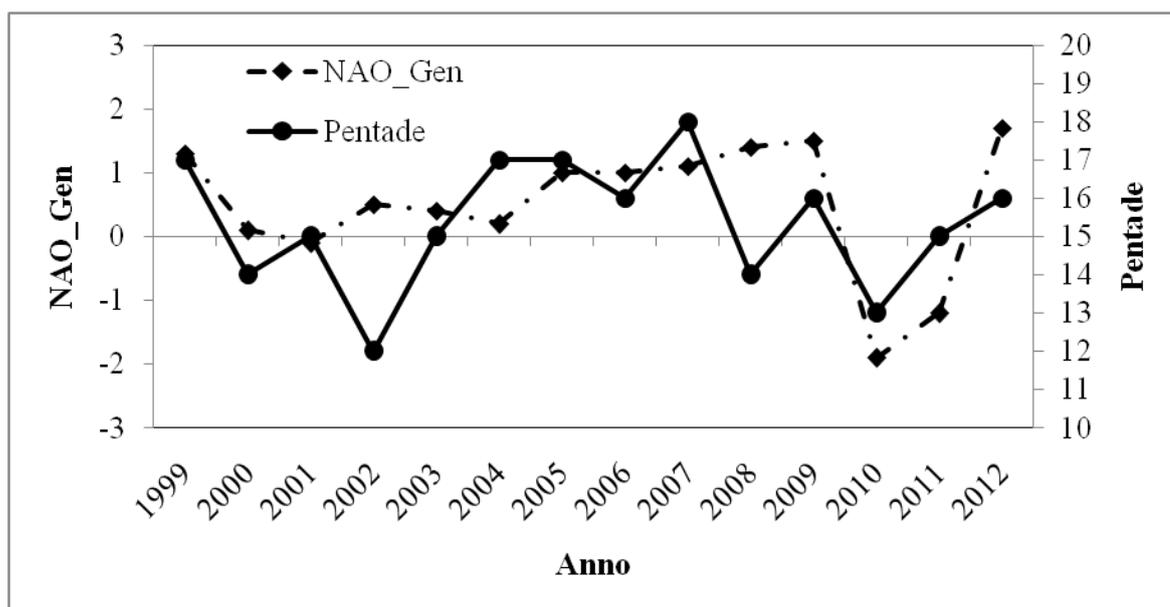


Figura 4.3. Variazione delle pentadi di avvistamento e dell'indice NAO di gennaio, anni 1999-2012.

4.2. Risultati delle catture e analisi della sopravvivenza

Complessivamente sono stati catturati 2745 animali, di cui 2431 inanellati per la prima volta, 361 sono stati i controlli per un totale di 314 individui controllati (tabella 4.3 e figura 4.5).

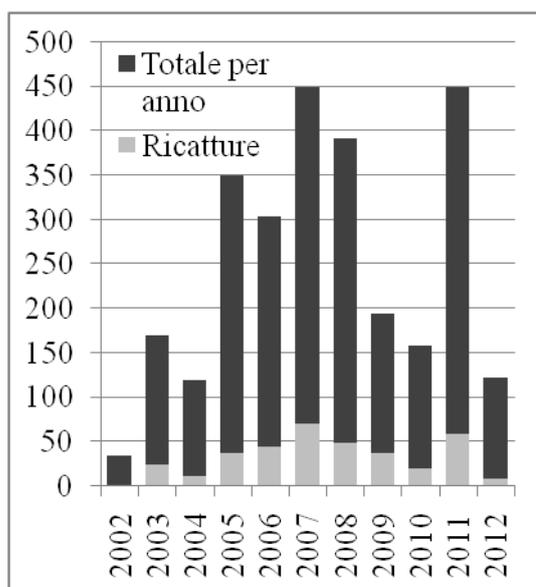


Figura 4.4. Istogramma rappresentante i totali delle catture e delle ricatture anni 2002-2012.

Anno	Età 3	Età 4	Totale per anno	Ricatture
2002		35	35	
2003	8	162	170	25
2004	12	108	120	11
2005	38	312	350	38
2006	37	267	304	44
2007	20	429	449	70
2008	7	385	392	49
2009	1	193	194	37
2010	4	154	158	20
2011	38	412	450	59
2012	12	111	123	8
Totale	177	2568	2745	361

Tabella 4.3. Totali delle operazioni di inanellamento.

Ho quindi scritto le storie di incontro, che in questo caso sono stringhe di 11 cifre.

Qualche esempio:

Storia di incontro	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
100100000000	In.	0	0	Ric.	0	0	0	0	0	0	0
00000110010	0	0	0	0	0	In.	Ric.	0	0	Ric.	0
00000001000	0	0	0	0	0	0	0	In.	0	0	0
100000000000	In.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 4.4. In. = Inanellato; Ric. = Ricatturato; 0 = a seconda della posizione può significare che il topino non era ancora nato, non è stato catturato quell'anno oppure è morto.

Gli individui catturati in totale sono 2431, il che vuol dire 2431 storie di incontro. Di cui 2254 sono storie di individui che sono stati catturati per la prima volta da adulti e 177 quelle di individui catturati da giovani.

Ho quindi analizzato le 2254 storie di incontro degli individui adulti con il software MARK, senza analizzare i giovani che avevano un numero troppo limitato di catture.

Il modello di partenza è un modello Cormack-Jolly-Saber (CJS) in cui tasso di sopravvivenza (Φ) e di ricattura (p) variano con il tempo (t) (Cormack, 1964; Jolly, 1965; Seber, 1965). Una volta calcolato il modello si esegue un test per la bontà del modello. Il test chiamato anche di Goodness of Fit o GOF ($\chi^2_{21} = 12.1793$; $P = 0.9347$) indica che il modello descrive i dati in maniera efficace.

I modelli possibili per le due variabili della sopravvivenza e di probabilità sono i 4 modelli per cui esse variano o meno in dipendenza dal tempo (tabella 4.5).

Il modello più probabile è quello con il minor valore di AICc e quindi quello in cui la sopravvivenza rimane costante di anno in anno mentre cambia la probabilità di cattura (tabella 4.5).

Modello	AICc	Delta AICc	AICc Weights	Model Likelihood	Num. Par	Deviance
Φ (.) $p(t)$	1196.3454	0	0.99229	1	11	44.6692
Φ (t) $p(.)$	1207.1475	10.8021	0.00448	0.0045	11	55.4713
Φ (t) $p(t)$	1207.7988	11.4534	0.00323	0.0033	19	39.9043
Φ (.) $p(.)$	1234.7593	38.4139	0	0	2	101.1934

Tabella 4.5. Modelli possibili per la sopravvivenza e la probabilità di cattura.

Il modello $\Phi (\cdot) p(t)$ ci consente quindi di fornire una stima della probabilità di sopravvivenza non dipendente dal tempo (tabella 4.6).

Parametro	Stima	Errore standard	Intervallo di confidenza al 95%	
			Inferiore	Superiore
Φ	0.338161	0.036741	0.270269	0.413445
p_2	0.237160	0.159863	0.052142	0.637287
p_3	0.060376	0.035038	0.018790	0.177360
p_4	0.132763	0.052241	0.059187	0.271417
p_5	0.182755	0.044703	0.110619	0.286765
p_6	0.266086	0.061458	0.163637	0.401857
p_7	0.096156	0.027683	0.053912	0.165704
p_8	0.121300	0.031207	0.072156	0.196815
p_9	0.035642	0.018815	0.012482	0.097525
p_{10}	0.292149	0.077898	0.164753	0.463400
p_{11}	0.034420	0.016113	0.013596	0.084412

Tabella 4.6. Stima dei valori di sopravvivenza e probabilità di cattura del modello $\Phi (\cdot) p(t)$.

I modelli $\Phi (t) p(\cdot)$ e $\Phi (t) p(t)$ hanno valore di AICc molto simili e quindi confrontabili. Per il confronto con i dati del clima si è scelto il modello $\Phi (t) p(t)$ (tabella 4.7). $\Phi (t)$ dipendente dal tempo rappresenta la probabilità di sopravvivenza di anno in anno (figura 4.5). Ad esempio Φ_1 è la probabilità di sopravvivenza dal primo anno di catture (2002) al secondo anno di catture (2003).

Parametro	Stima	Errore standard	Intervallo di confidenza al 95%	
			Inferiore	Superiore
Φ_1	0.9751510	0.9212312	0.0000000	1.0000000
Φ_2	0.4854328	0.2988404	0.0829302	0.9077623
Φ_3	0.2228044	0.1255629	0.0647292	0.5428518
Φ_4	0.2931694	0.0939693	0.1456856	0.5021920
Φ_5	0.2559451	0.1028407	0.1066335	0.4978238

Parametro	Stima	Errore standard	Intervallo di confidenza al 95%	
			Inferiore	Superiore
Φ_6	0.4390069	0.1567730	0.1834929	0.7315445
Φ_7	0.5367844	0.2679386	0.1229630	0.9054646
Φ_8	0.2131148	0.1033636	0.0748590	0.4754789
Φ_9	0.4896059	0.4357745	0.0304859	0.9669577
Φ_{10}	0.1027365	0.0000000	0.1027365	0.1027365
p_2	0.0891724	0.1034862	0.0079936	0.5432726
p_3	0.0504200	0.0388314	0.0107155	0.2065302
p_4	0.1668194	0.0993905	0.0469802	0.4484915
p_5	0.2119499	0.0762708	0.0990147	0.3969469
p_6	0.3639240	0.1477920	0.1406687	0.6666343
p_7	0.0802005	0.0337862	0.0343130	0.1762538
p_8	0.0710660	0.0373397	0.0246255	0.1881897
p_9	0.0512821	0.0290180	0.0165157	0.1482047
p_{10}	0.2123139	0.1896579	0.0283654	0.7133562
p_{11}	0.1049449	0.0000000	0.1049449	0.1049449

Tabella 4.7. Stima dei valori di sopravvivenza e probabilità di cattura del modello $\Phi(t)p(t)$.

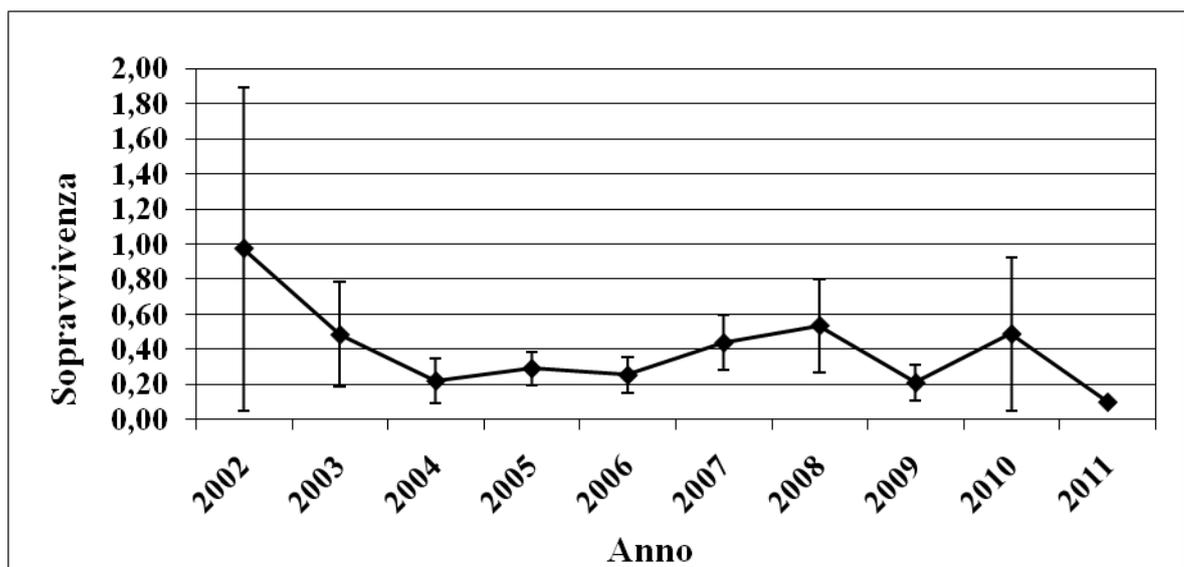


Figura 4.5. Variazione del tasso di sopravvivenza negli anni 2002-2011.

4.3. Relazione tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice di piovosità del Sahel

Per valutare la relazione tra tasso di sopravvivenza annuale e indice di piovosità del Sahel di ogni mese sono stati utilizzati i Modelli Lineari Generalizzati (GLM). Il modello migliore è risultato quello con il mese di ottobre, ma dal momento che i residui del modello lineare mostravano pattern non lineari si è deciso di applicare un Modello Additivo Generalizzato tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice di piovosità del Sahel del mese di ottobre (figura 4.8). Il modello ha mostrato un trend non lineare (figura 4.6) con 2.389 gradi di libertà stimati ($p < 0.05$).

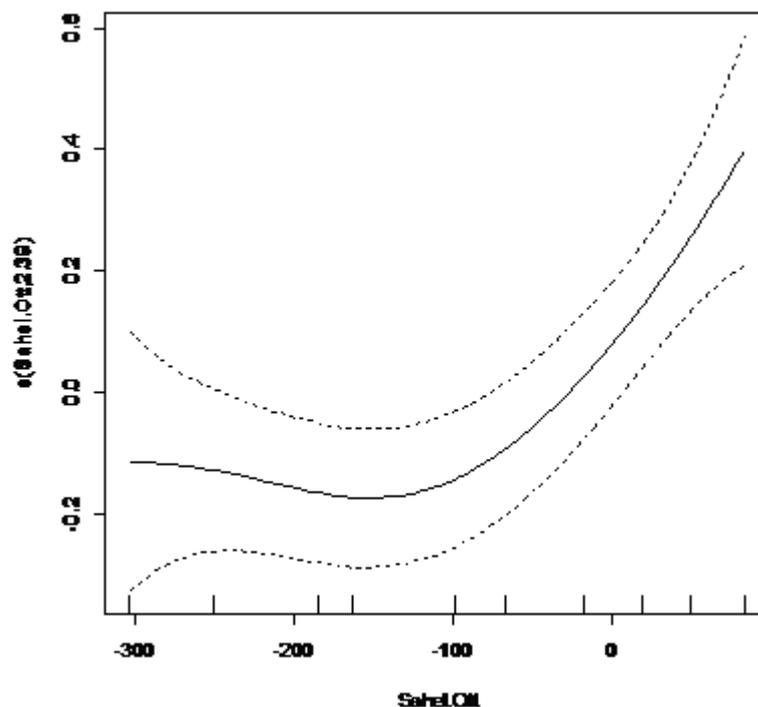


Figura 4.6. Trend non lineare del GAM tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice di piovosità del Sahel.

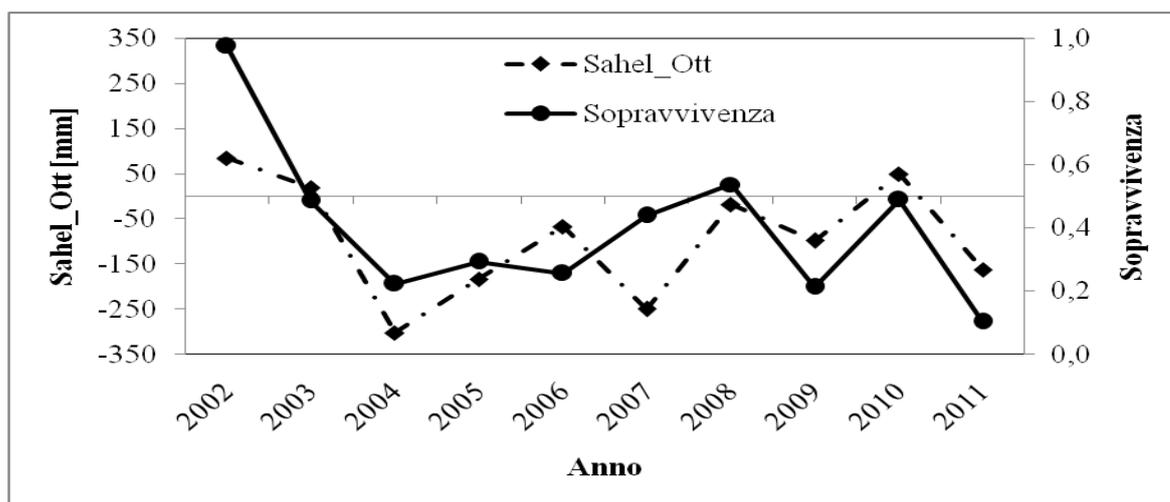


Figura 4.7. Variazione del tasso di sopravvivenza e dell'indice di piovosità del Sahel del mese di ottobre negli anni 2002-2011.

4.4. Relazione tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice NAO

Per valutare la relazione tra tasso di sopravvivenza annuale e indice NAO stagionale sono stati utilizzati i Modelli Lineari Generalizzati (GLM). Il modello migliore è risultato quello con i mesi di giugno, luglio e agosto (NAO_JJA), ma dal momento che i residui del modello lineare mostravano pattern non lineari si è deciso di applicare un Modello Additivo Generalizzato tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice NAO_JJA (figura 4.8). Il modello ha mostrato un trend non lineare con 1.83 gradi di libertà stimati ($p < 0.05$).

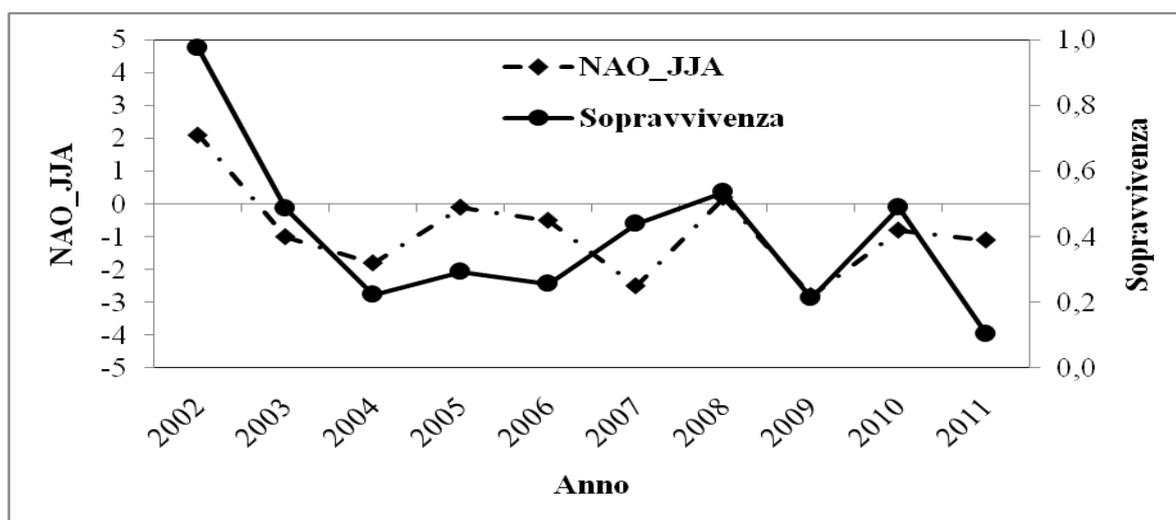


Figura 4.8. Variazione del tasso di sopravvivenza e dell'indice NAO dei mesi di giugno, luglio e agosto negli anni 2002-2011.

In seguito abbiamo cercato un Modello Lineare Generalizzato con variabile indipendente l'indice NAO mensile. Per molti mesi non si è trovata una relazione significativa, mentre si è trovata una relazione con l'indice NAO del mese di settembre la cui significatività era minore di 0.001 (tabella 4.8 e figura 4.9).

	Stima	Errore Standard	Significatività (p)
Intercept	0.39102	0.03238	2.04e-06
NAO_Set	-0.12950	0.01933	0.000153

Tabella 4.8. GLM tra il tasso di sopravvivenza annuale e l'indice NAO del mese di settembre.

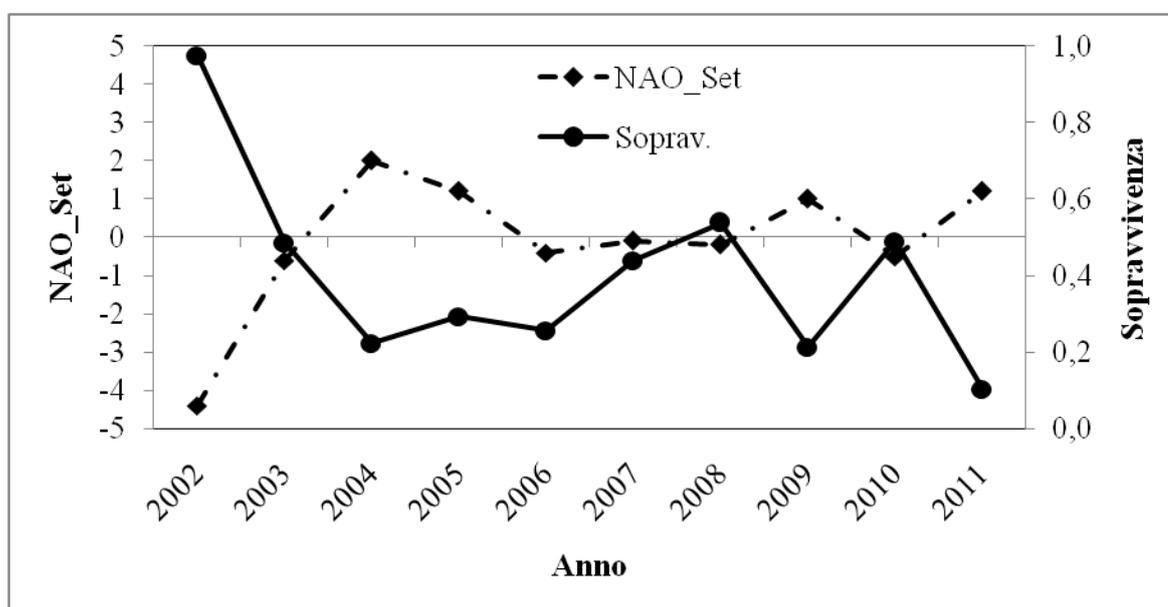


Figura 4.9. Variazione del tasso di sopravvivenza e dell'indice NAO del mese di settembre negli anni 2002-2011.

5. DISCUSSIONE

5.1. Data di arrivo

L'influenza del NAO sulla variazione nelle date di primo avvistamento risulta poco significativa e soltanto per il mese di gennaio. Risultato che si riscontra anche in uno studio precedente su rondini e altri migratori trans-sahariani dal quale emerge che il NAO spiega una media del 13% delle variazioni nelle date di arrivo (Forchhammer *et al.*, 2002).

Nel nostro caso, la relazione anche se non altamente significativa, indica che con valori dell'indice NAO positivi il primo avvistamento avviene in ritardo, con valori negativi invece in anticipo.

L'indice NAO assume valori positivi nel caso di un'ampia differenza di pressione tra le Azzorre e l'Islanda. Quest'ultima porta ad un incremento dei venti occidentali e quindi ad un clima mite con inverni piovosi nell'Europa centrale e lungo la costa atlantica, contrapposte a scarsa piovosità sulle regioni Mediterranee. In caso contrario, con l'indice NAO negativo e quindi una bassa differenza di pressione, i venti occidentali risultano ridotti e queste aree sono soggette a inverni freddi con traiettoria delle perturbazioni che si sposta verso il Mediterraneo. Condizioni atmosferiche sfavorevoli, come basse temperature o forti venti contrari, possono ritardare la migrazione primaverile dato che riducono l'abilità di volo e/o le condizioni fisiche degli uccelli (Richardson, 1978, 1990).

I nostri risultati sono in contrasto con quelli ottenuti in studi precedenti che indicano una relazione significativa inversa tra le date di avvistamento e l'indice NAO (Forchhammer *et al.*, 2002). Altri studi (Hubálek, 2003; Hubálek e Čapek, 2008) come nel nostro caso non trovano una relazione significativa tra le date di avvistamento e l'indice NAO nei migratori trans-sahariani, mentre ottengono una relazione inversa per i migratori su corta distanza, la cui migrazione avviene a livello europeo.

Se la raccolta dei dati andrà avanti nel tempo, avendo un numero di anni superiore, sarà interessante replicare le analisi in futuro per verificare se la significatività statistica si rafforza o scompare.

5.2. Sopravvivenza

L'idea iniziale era di separare e in seguito comparare la probabilità di sopravvivenza dei giovani e quella degli adulti. La separazione è necessaria in quanto i giovani si disperdono notevolmente dopo la prima migrazione, cercando di allontanarsi dai territori di origine (Szép, 1999). Questo fatto implica una probabilità di ricattura dell'individuo inanellato minore e di conseguenza il tasso di sopravvivenza dei giovani risulta sfalsato. Purtroppo non è stato possibile in quanto la scarsità di individui giovani inanellati non fornisce dati sufficienti a rendere l'analisi significativa.

I dati degli individui adulti sono invece sufficienti a consentirne l'analisi. Si ottiene una probabilità di sopravvivenza del 33.8%. Il tasso di sopravvivenza può sembrare basso, ma bisogna considerare due cose. Innanzitutto i topini, come la maggior parte dei passeriformi, attuano una strategia riproduttiva nota in ecologia come strategia r, basata sulla potenzialità di una specie di moltiplicarsi rapidamente, raggiungendo la maturità sessuale molto presto e producendo una prole molto numerosa (Townsend, 2000). In secondo luogo, l'alta dispersione degli individui che possono cambiare sito di nidificazione non solo da un anno all'altro, ma anche tra le due cove che effettuano nella stagione riproduttiva (Szép, 1999).

Il tasso di sopravvivenza è simile a quello trovato in analisi precedenti, come ad esempio nell'articolo di Cowley e Siriwardena del 2005 è del 31% per i maschi e del 29% per le femmine oppure in quello di Norman e Peach del 2013 38% per i maschi e 31% per le femmine. La somiglianza tra la nostra stima della sopravvivenza degli adulti e le stime pubblicate derivanti dai ritrovamenti di uccelli morti non sessati in Gran Bretagna (35,4%; Dobson, 1990), che non sono soggetti all'assunzione di mancanza di fedeltà al sito di nidificazione, suggeriscono che il nostro studio non ha eccessivamente sottostimato la vera sopravvivenza (Norman e Peach, 2013).

Il confronto interessante è dato dal lavoro di Szép (1995) che ha analizzato le colonie nidificanti in Ungheria. Da tale lavoro si evidenzia una sopravvivenza minima del 31% per i maschi e del 25% per le femmine nel 1991 correlata alla diminuzione della piovosità in Sahel, mentre una sopravvivenza massima del 51% per i maschi e 48% per le femmine nel 1988.

Il tasso di sopravvivenza annuale fornisce infatti valori che cambiano molto di anno in anno.

Il primo anno la sopravvivenza sembra avere un picco del 97.5%; questo è dovuto al fatto che dei 35 individui marcati nel 2002, 25 sono stati quelli ricatturati nel 2003, numero di ricatture altissimo rispetto agli anni successivi. Il programma basandosi su questi dati

ottiene quindi una stima della sopravvivenza molto elevata. Per gli anni successivi si ha una sopravvivenza minima del 10.3% nel 2011 e una sopravvivenza massima del 53.7% nel 2007.

5.3. Sopravvivenza e piovosità del Sahel

Le popolazioni europee di topino svernano nel Sahel occidentale (Mead, 1979; Robinson *et al.*, 2008) e il ruolo di tale area nello svernamento e nella preparazione al volo trans-sahariano in primavera è essenziale (Szép, 1995). Una maggiore intensità delle precipitazioni in queste zone crea una zona di inondazione più estesa attorno ai maggiori fiumi, che fornisce habitat ricchi di insetti per i topini (Norman e Peach, 2013). Piogge abbondanti possono quindi ridurre la probabilità di inedia e magari assicurare la produzione di penne di migliore qualità durante la muta (Van den Brink *et al.*, 2000).

L'indice di piovosità del Sahel fornisce quindi una misura indiretta delle condizioni di abbondanza delle aree umide a cui è legata l'alimentazione del topino sia in migrazione sia durante lo svernamento (Morel e Morel, 1992).

I nostri risultati sono in accordo con quanto si riscontra in bibliografia: il tasso di sopravvivenza annuale infatti è influenzato dalla variazione della piovosità del Sahel, in particolare con la piovosità nel mese di ottobre. Tale relazione non sembra essere lineare ma la sopravvivenza sembra essere bassa al di sotto della soglia dei -100 di anomalia nella piovosità e per valori più elevati il tasso di sopravvivenza aumenta notevolmente.

Anche in studi precedenti la piovosità nel Sahel occidentale è correlata con le variazioni annuali della sopravvivenza (Robinson *et al.*, 2008), mentre negli studi di Szép (2005) non si ottiene una relazione significativa, ma si dimostra una relazione tra la siccità di certi anni e drastici cali di popolazione avvenuti. Proseguendo con le attività di cattura e inanellamento, incrementando le catture dei giovani si potrà verificare la correlazione anche dei giovani con la piovosità nelle aree di svernamento come è stato fatto in studi precedenti (Norman e Peach, 2013).

5.4. Sopravvivenza e NAO

La correlazione positiva tra le variazioni nel tasso di sopravvivenza annuale e l'indice NAO dei mesi di giugno, luglio e agosto significa che in quel periodo un indice NAO con valori positivi favorisce la sopravvivenza dei topini. Nell'area del Mediterraneo, valori positivi nella stagione estiva indicano una maggiore piovosità (Bladé *et al.*, 2012).

Questa relazione della sopravvivenza con il NAO di quei mesi risulta interessante in quanto sono i mesi in cui il topino nidifica. La nostra spiegazione è che un clima umido, con più precipitazioni, impedisce l'eccessivo disseccamento di corsi d'acqua e aree umide, fondamentali per un'adeguata alimentazione. Nel periodo riproduttivo (giugno e luglio) e un'adeguata alimentazione è necessaria in quanto nel primo caso consente all'individuo di nutrire sufficientemente se stesso e i piccoli. In agosto si ha la fine delle cove e la preparazione alla migrazione: in questo periodo il topino accumula il grasso che gli fornirà le energie necessarie a compiere la migrazione.

Di particolare interesse è la forte correlazione negativa tra la sopravvivenza e l'indice NAO di settembre, mese in cui avviene la migrazione verso i territori di svernamento. Con indice NAO positivo e quindi maggiori precipitazioni nel Mediterraneo diminuirebbe quindi la sopravvivenza dei topini.

In questo caso non sono stati trovati lavori precedenti che analizzassero questa relazione, quindi sono state fatte ipotesi sulle possibili cause.

Una possibile spiegazione è che le piogge eccessive ritardino la migrazione obbligando il topino a fermarsi per lunghi periodi invece di arrivare a destinazione in pochi giorni. Soste obbligate e prolungate in aree non idonee come siti di stop-over potrebbero causare fenomeni di competizione intra- e interspecifica per le risorse disponibili, come è stato dimostrato per la migrazione attraverso il Golfo del Messico (Moore e Yong, 1991).

Inoltre le condizioni avverse potrebbero stancare l'animale durante un viaggio molto impegnativo e faticoso.

6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Dai risultati ottenuti risulta importante la componente climatica nella sopravvivenza del topino. In ogni periodo dell'anno le condizioni atmosferiche influenzano la popolazione considerata, favorendone o sfavorendone la sopravvivenza.

Per incrementare e mantenere nel tempo la sopravvivenza della popolazione studiata risulta quindi utile continuarne il monitoraggio al fine di constatare immediatamente eventuali variazioni. Anche considerando studi precedenti, i cambiamenti climatici a livello globale, influenzando le condizioni locali, potrebbero causare cali anche drastici della popolazione.

Il costante monitoraggio consentirebbe inoltre di evitare la distruzione accidentale di nidi nelle cave, di fondamentale importanza considerato che negli ultimi anni gli unici siti di riproduzione sono localizzati nelle aree estrattive.

Negli anni futuri sarebbe interessante studiare le colonie in maniera più approfondita. Riuscendo a fare più sessioni di inanellamento e quindi più catture si riuscirebbe ad ampliare il dataset di riferimento su cui applicare oltre alle analisi presentate in questa tesi anche nuovi approcci mirati ad esempio alla caratterizzazione dei giovani e al comportamento differenziale tra i sessi.

Si potrebbero inoltre effettuare indagini multidisciplinari per una migliore comprensione delle dinamiche coloniali tra cui l'applicazione di geolocators o studi di genetica di popolazione

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano in particolar modo mio relatore, il dottor Enrico Caprio, per avermi seguito in questa tesi, fornendo validi consigli e revisionando il testo, il guardiaparco Alberto Tamietti per avermi fornito l'idea, i dati di inanellamento e alcune delle sue fotografie, il GPSO per avermi concesso l'utilizzo dei dati di primo avvistamento dei topini in Piemonte e il fotografo Fabio Ballanti per avermi concesso alcuni dei suoi scatti.

Si ringraziano infine tutti quanti mi abbiano corretto e revisionato la tesi durante la sua creazione.

BIBLIOGRAFIA

- Alerstam, T., Enkell, P.H. 1979. Unpredictable Habitats And The Evolution Of Bird Migration, *Oikos*, **33**, 228-232.
- Bairlein, F. 1995, *European-African Songbird Migration Network. Manual of Field Methods*, Wilhelmshavenn, Germany.
- Bardi A., Bendini L., Coppola E., Fasola M., Spina F. 1983, Manuale Per L'inanellamento Degli Uccelli A Scopo Scientifico, Suppl. al N° 2 del 'Bollettino Dell'attività Di Inanellamento' Istituto Nazionale Di Biologia Della Selvaggina.
- Bell, C.P. 2000. Process In The Evolution Of Bird Migration And Pattern In Avian Ecogeography, *Journal Of Avian Biology*, **31(2)**, 258-265.
- Berthold, P. 1973, Uè Ber Starken Ruè Ckgang Der Dorngrasmuè Cke Sylvia Communis Und Anderer Singvogelarten Im Westlichen Europa, *Journal Fuè R Ornithologie*, **114**, 348-360.
- Bladé, I., Liebmann, B., Fortuny, D., Van Oldenborgh G.J., 2012, Observed And Simulated Impacts Of The Summer NAO In Europe: Implications For Projected Drying In The Mediterranean Region, *Climate Dynamics*, **39**, 709-727.
- Birdlife International 2012. *Riparia riparia*. In: IUCN 2012. IUCN Red List Of Threatened Species. Version 2012.2 .
- Both, C., Visser, M.E. 2001: Adjustment To Climate Change Is Constrained By Arrival Date In A Long-Distance Migrant Bird, *Nature*, **411**, 296–298.
- Cavé, A.J. 1983, Purple Heron Survival And Drought In Tropical West Africa, *Ardea*, **71**, 217-224.
- Cooch, E., White, G. 2012, *Program Mark: A Gentle Introduction*, Evan Cooch & Gay White Eds, 11th Revision.
- Cormack, R.M. 1964, Estimates of survival from the sighting of marked animals, *Biometrika*, **51**, 429-438.
- Cowley, E. 1979, Sand Martin Population Trends In Britain, *Bird Study*, **26**, 113-116.
- Cowley, E., Siriwardena, G.M. 2005, Long-term variation in survival rates of Sand Martins *Riparia riparia*: dependence on breeding and wintering ground weather, age and sex, and their population consequences, *Bird Study*, **52**, 237–251.
- Cox, W.G. 1968, The Role Of Competition In The Evolution Of Migration, *Evolution*, **22**, 180-192.
- Dobson, A.P. 1990., Survival rates and their relationship to life-history traits in some common British birds, *Curr. Ornithol.*, **7**, 115–146.
- Forchhammer, M.C., Post, E., Stenseth, N.C. 1998, Breeding Phenology And Climate, *Nature*, **391**, 29–30.
- Forchhammer, M.C., Post, E., Stenseth, N.C. 2002, North Atlantic Oscillation Timing Of Long- And Short-Distance Migration, *J. Anim. Ecol.*, **71**, 1002–1014.
- Garrison, B. 1999, *Riparia riparia*. *Birds Of North America*, **414**, 1-20.
- Hahn, S., Bauer, S., Liechti, F. 2009, The Natural Link Between Europe And Africa - 2.1 Billion Birds On Migration, *Oikos*, **118**, 624-626.

- Hüppop, O., Hüppop, K. 2002, North Atlantic Oscillation And Timing Of Spring Migration In Birds. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* **270**: 233–240.
- Hubálek, Z. 2003, Spring migration of birds in relation to North Atlantic Oscillation *Folia Zool.*, **52**, 287–298.
- Hubálek, Z., Čapek, M. 2008, Migration distance and the effect of North Atlantic Oscillation on the spring arrival of birds in Central Europe, *Folia Zool.*, **57**, 212-220.
- Jenni, L., Kéry, M. 2003, Timing Of Autumn Bird Migration Under Climate Change: Advances In Long–Distance Migrants, Delays In Short–Distance Migrants, *Proc. R. Soc. Lond. B*, **1523**, 1467-1471.
- Jolly, G.M. 1965, Explicit Estimates From Capture-Recapture Data With Both Death And Immigration -Stochastic Model, *Biometrika*, **52**, 225-247.
- Jones, G. 1987, Selection Against Large Size In The Sand Martin (*Riparia riparia*) During A Dramatic Population Crash, *Ibis*, **129**, 274-280.
- Jonzén, N., Hedenstrom, A., Hjort, C., Lindstrom, A., Lundberg, P., Andersson A. 2002, Climate Patterns And The Stochastic Dynamics Of Migratory Birds. *Oikos* **97**, 329–336.
- Kaiser, A. 1993, A New Multi-Category Classification Of Subcutaneous Fat Deposit Of Songbirds. *Journal Of Field Ornithology*, **64**, 246-255.
- Kanyamibwa, S., Schierer, A., Pradel, R., Lebreton, J.-D. 1990, Changes In Adult Annual Survival Rates In A Western European Population Of The White Stork (*Ciconia ciconia*), *Ibis*, **132**, 27-35.
- Kuhnen, K. 1975, Bestandsentwicklung, Verbreitung, Biotop Und Siedlungsdichte Der Uferschwalbe (*Riparia riparia*), *Charadrius*, **11**, 1-24.
- Lack, D. 1954, *The Natural Regulation Of Animal Numbers*, Oxford University Press.
- Marra, P.P., Francis, C.M., Mulvihill, R.S., Moore, F.R. 2005, The Influence Of Climate On The Timing And Rate Of Spring Bird Migration, *Oecologia*, **142**, 307-315.
- Mayr, E., Meise, W. 1930, Theoretisches Zur Geschichte Des Vogelzuges. *Der Vogelzug*, **1**: 149-172.
- Mead, C.J. 1979, Colony Fidelity And Interchange In The Sand Martin, *Bird Study*, **26**, 99-107.
- Mongini, E., Marchetti, C., Baldaccini, N.E. 1988, Inchiesta Sulla Distribuzione, La Consistenza Ed I Caratteri Delle Colonie Di Topino *Riparia riparia* In Italia, *Avocetta*, **12**, 83-94.
- Moore, F.R., Yong, W. 1991, Evidence Of Food-Based Competition Among Passerine Migrants During Stopover, *Behavioral Ecology And Sociobiology*, **28**, 85-90.
- Morel, G.J., Morel, M.Y. 1992, Habitat Use By Palearctic Migrant Passerine Birds In West Africa, *Ibis*, **134** Suppl. 1, 83-88.
- Møller, A. P. 1989, Population Dynamics Of A Declining Swallow *Hirundo rustica* Population, *Journal Of Animal Ecology*, **58**, 1051-1063.
- Møller, A.P. 2002, North Atlantic Oscillation (NAO) Effects Of Climate On The Relative Importance Of First And Second Clutches In A Migratory Passerine Bird., *J. Anim. Ecol.*, **71**, 201–210.
- Newton, I. 2008, *The Migration Ecology Of Birds*, Academic Press. London, U.K..
- Norman, D., Peach, W.J. 2013, Density-dependent survival and recruitment in a long-distance Palearctic migrant, the Sand Martin *Riparia riparia*, *Ibis*, **155**, 284-296.

- Nott, M.P., Desante, D.F., Siegel, R.B., Pyle P. 2002, Influences Of The El Niño/Southern Oscillation And The North Atlantic Oscillation On Avian Productivity In Forests Of The Pacific Northwest Of North America, *Global Ecology and Biogeography*, **11**, 333–342.
- Ottersen, G., Planque, B., Belgrano, A., Post, E., Reid, P.C., Stenseth, N.C. 2001, Ecological Effects Of The North Atlantic Oscillation, *Oecologia*, **128**, 1–14.
- Peach, W. J., Baillie, S. R., Underhill, L. 1991, Survival Of British Sedge Warblers (*Acrocephalus schoenobaenus*) In Relation To West African Rainfall, *Ibis*, **133**, 300-305.
- Persson, C. 1987, Population Processes In South-West Scanian Sand Martins (*Riparia Riparia*), *Journal Of Zoology*, **1**, 671-691.
- Przybylo, R., Sheldon, B.C., Merila, J. 2000, Climatic Effects On Breeding And Morphology: Evidence For Phenotypic Plasticity, *J. Anim. Ecol.*, **69**, 395–403.
- R Development Core Team 2008, *R: A Language And Environment For Statistical Computing*, R Foundation For Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rappole, J.H., Tipton, A.R. 1992, The Evolution Of avian Migration In The Neotropics, *Ornitologia Neotropica*, **3**, 45-55.
- Rappole, J.H., Jones, P. 2002, Evolution Of Old And New World Migration Systems, *Ardea*, **90**, 525-527.
- Rappole, J.H. 2005. Evolution Of Old And New World Migration Systems: A Response To Bell., *Ardea*, **93**, 125-131.
- Richardson, W.J. 1978, Timing and amount of bird migration in relation to weather: a review, *Oikos*, **30**, 224–272.
- Richardson, W.J. 1990, Timing of bird migration in relation to weather: updated review. *Bird migration: physiology and ecophysiology* (ed. E. Gwinner), 78–101. Springer Verlag, Berlin.
- Robinson, R.A., Baillie, S.R., Crick, H.Q.P. 2007, Weather-Dependent Survival: Implications Of Climate Change For Passerine Population Processes, *Ibis*, **149**, 357–364.
- Robinson, R.A., Balmer, D.E., Marchant, J.H. 2008, Survival Rates Of Hirundines In Relation To British And African Rainfall, *Ringing & Migration*, **24**, 1–6.
- Saether, B.E., Tufto, J., Engen, S., Jerstad, K., Rosta, D.O.E., Skatan, J.E. 2000, Population Dynamical Consequences Of Climate Change For A Small Temperate Songbird, *Science*, **287**, 854–856.
- Safriel, U.N. 1995, The Evolution Of Palearctic Migration - The Case For Southern Ancestry, *Isr. J. Zool.* **41**, 417-431.
- Sandvik, H., Erikstad, K.E., Barrett, R.T., Yoccoz, N.G. 2005, The Effect Of Climate On Adult Survival In Five Species Of North Atlantic Seabirds., *Journal Of Animal Ecology*, **74**, 817–831.
- Sanz, J.J. 2002, Climate Change And Birds: Have Their Ecological Consequences Already Been Detected In The Mediterranean Region?, *Ardeola*, **49**, 109–120.
- Seber, G.A.F. 1965, A Note On The Multiple Recapture Census. *Biometrika*, **52**, 249-259.
- Spina, F., Volponi, S. 2008, Atlante della Migrazione degli Uccelli in Italia. 2. Passeriformi. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma.
- Svensson, S. 1986, Number Of Pairs, Timing Of Egg-Laying And Clutch Size In A Subalpine Sand Martin *Riparia riparia* Colony, *Ornis Scandinavica*, **17**, 221-229.

- Svensson, L. 1992, *Identification guide to European Passerines*, 4th ed. Svensson, Stockholm, Sweden.
- Svensson, L., Mullarney, K., Zetterstrom, D., Grant, P.J. 2009, *Collins Bird Guide*. Collins, U.K., 2nd Edition
- Szép, T. 1995, Relationship Between West African Rainfall And The Survival Of Central European Sand Martins *Riparia riparia*, *Ibis*, **137**, 162-168.
- Szép, T. 1999, Effects of age- and sex-based dispersal on the estimation of survival rates of the Sand Martin *Riparia riparia* population in Hungary, *Bird Study*, **46**, S1, S169-S177.
- Tamietti, A. 2005, Spostamento Delle Colonie Di Nidificazione Di Topino *Riparia riparia* Dalle Ripe Del Fiume Po Alle Cave Circostanti, *Avocetta* **29**, 87.
- Taverner, P.A. 1904, A Discussion Of The Origin Of Migration, *The Auk* , **21**, 322-333.
- Townsend, C.R., Harper, J.L., Begon, M. 2000, *L'Essenziale di Ecologia*, Zanichelli, Bologna.
- Turner, A. 1982, Timing Of Laying By Swallows (*Hirundo rustica*) And Sand Martins (*Riparia riparia*), *Journal Of Animal Ecology*, **51**, 29-46.
- Turner, A. 2004, "Family Hirundinidae (Swallows and Martins)". In del Hoyo, J., Elliott, A., Christie, D.A. 2004, *Handbook of the Birds of the World. Volume 9: Cotingas To Pipits And Wagtails*. Lynx Edicions. pp. 602–638.
- Tryjanowski, P., Kuzniak S., Sparks, T.H. 2002, Earlier Arrival Of Some Farmland Migrants In Western Poland. *Ibis*, **144**, 62–68.
- Van den Brink, B., Bijlsma, R.G., Van der Have, T.M. 2000, European Swallows *Hirundo rustica* In Botswana During Three Non-Breeding Seasons: The Effects Of Rainfall On Moulting, *Ostrich*, **71**, 198–204.
- White, G.C., Burnham, K.P. 1999, Program Mark: Survival Estimation From Populations Of Marked Animals. *Bird Study*, **46** Supplement, 120-138.
- Winstanley, D., Spencer, R., Williamson, K. 1974, Where Have All The Whitethroats Gone?, *Bird Study*, **21**, 1-14.

ALLEGATI

Allegato 1: Indice di piovosità del Sahel: è un indice delle anomalie delle precipitazioni rispetto alle precipitazioni degli anni dal 1950 al 1979. Le medie sono in 0.1 mm, quindi “-917” è -9.17 cm di anomalia nelle precipitazioni rispetto al 1950-1979

(fonte: <http://jisao.washington.edu/data/sahel/>).

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1999	-3	-9	0	-20	-46	-240	112	435	-131	310	-17	-13
2000	10	-9	-11	-34	-79	-45	-133	-315	-394	12	-11	-12
2001	-5	-11	-22	55	5	51	-52	-384	-284	-194	-1	-12
2002	35	-12	-12	-28	-102	-226	-358	-613	-328	84	-35	-2
2003	-2	7	7	11	-50	90	28	-85	-23	19	-2	-13
2004	84	19	-8	28	-41	-64	153	-284	-439	-303	1	-6
2005	5	24	10	-17	-39	215	-33	-305	-161	-184	-26	-13
2006	-10	5	-15	-46	-51	-69	-308	-295	36	-67	-39	-13
2007	-8	-9	-23	46	-119	-236	-191	65	-288	-250	76	-12
2008	-7	7	-7	-51	-1	103	51	-2	-277	-18	-34	-5
2009	-5	0	7	-47	-63	-79	-220	-47	143	-99	0	-11
2010	-6	-14	-23	-21	-8	50	56	-94	490	49	-33	-14
2011	-6	-2	-8	-23	-75	-32	-320	51	-288	-163	-38	-12
2012	-6	-1	-6	-2	22	-82	12	186	166	-92	NA	NA

Allegato 2: Indice NAO valori mensili (station-based)

(fonte: <https://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>).

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1999	1.3	2.2	0.2	0.0	0.4	1.2	-1.8	-2.6	0.9	0.4	0.8	1.7
2000	0.1	3.1	0.4	-2.5	1.4	-0.5	-2.9	0.4	0.2	4.5	0.0	-2.2
2001	-0.1	-0.5	-1.5	1.4	-1.0	-1.9	0.3	0.6	-2.8	0.9	1.4	-4.1
2002	0.5	1.7	0.9	2.2	1.9	1.9	1.6	0.6	-4.4	-2.0	1.3	-2.4
2003	0.4	1.2	0.5	-2.0	1.9	-0.5	0.4	-2.0	-0.6	-1.0	1.4	-1.1
2004	0.2	-1.4	1.5	1.7	0.9	-1.5	-0.8	-1.5	2.0	-2.0	-0.2	2.6
2005	1.0	-0.6	-3.0	0.2	-1.6	-1.4	-0.5	1.8	1.2	-1.5	0.7	-0.7
2006	1.0	-0.7	-1.8	1.0	-0.6	0.0	-0.3	-0.9	-0.4	-2.4	1.2	2.1
2007	1.1	-0.2	3.1	-0.1	2.9	-3.5	-1.0	-0.2	-0.1	0.9	-1.2	0.9
2008	1.4	0.4	1.6	-2.8	-2.1	-0.6	-0.6	1.4	-0.2	2.8	1.1	0.3
2009	1.5	-0.3	1.5	2.5	2.3	-4.3	-2.7	1.6	1.0	-2.5	2.2	-4.4
2010	-1.9	-3.6	-1.5	-2.2	-0.9	-0.7	1.0	-2.0	-0.5	-0.9	-1.5	-5.5
2011	-1.2	2.0	0.4	2.0	1.8	-0.9	0.3	-1.3	1.2	1.7	1.3	3.5
2012	1.7	1.3	0.9	NA								

Allegato 3: Indice NAO valori mensili stagionali (station-based)

(fonte: <https://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>).

Anno	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1999	2.7	2.0	1.6	0.4	0.9	0.2	-1.3	-1.3	-0.2	1.2	1.6	1.4
2000	2.6	1.9	1.3	-0.4	-1.2	-0.6	-1.4	-0.9	3.3	2.8	0.8	-1.2
2001	-1.3	-1.1	-0.6	-0.8	-0.4	-1.5	-0.6	-1.2	-0.5	0.4	-1.2	-1.1
2002	-0.5	1.6	2.5	2.5	3.5	2.9	2.1	-1.6	-3.2	-2.3	-1.7	-0.4
2003	-0.2	1.1	0.3	0.1	-0.6	1.2	-1.0	-1.1	-1.7	0.1	-0.3	0.2
2004	-1.1	0.0	0.6	2.3	0.9	-0.4	-1.8	0.3	-0.9	-0.4	0.5	1.9
2005	1.4	-1.3	-2.0	-2.8	-1.4	-1.9	-0.1	1.4	0.3	0.1	-0.7	0.6
2006	-0.2	-0.7	-1.1	-1.1	0.2	-0.4	-0.5	-0.6	-2.1	-0.8	0.7	2.3
2007	1.4	1.9	1.6	3.4	-0.2	-0.5	-2.5	-0.6	0.5	-0.3	0.3	0.8
2008	1.4	1.7	0.1	-1.1	-3.4	-1.8	0.2	0.4	2.4	2.4	2.0	1.6
2009	0.8	1.3	1.6	3.3	0.9	-2.0	-2.8	0.2	-0.6	0.4	-2.5	-2.4
2010	-5.1	-3.6	-4.1	-2.6	-2.4	-0.4	-0.8	-0.8	-1.6	-1.8	-4.3	-4.2
2011	-1.9	0.7	2.3	2.0	1.8	0.7	-1.1	0.4	1.4	2.4	3.4	3.4
2012	3.3	2.0	2.2	NA								