

Allegato 5.4B

## Impatti sulla componente Fauna ed Ecosistemi

Nel presente *Allegato* sono riportati alcuni approfondimenti in merito ad alcuni degli impatti dovuti alla realizzazione di un aeroporto, con infrastrutture annesse, e alle attività aeroportuali. In particolare vengono approfonditi i seguenti temi:

- Bird Strike;
- Avifauna e disturbo aereo.

#### 5.4B1.1

##### BIRD STRIKE

A partire dal primo incidente aereo provocato, nel 1912, dalla collisione con un uccello (Blockpoel, 1976), l'avifauna ha iniziato ad essere considerata una fonte di pericolo per gli aeromobili. Il continuo aumento del traffico aereo nei decenni successivi ha portato ad un numero elevato di incidenti, in qualche caso con decine di vittime umane. Per questa ragione, la prevenzione delle collisioni tra uccelli e aerei è divenuto un oggetto di studio per gli ornitologi e un problema tecnico nella gestione degli aeroporti (Blockpoel, 1976; Leshem *et al.*, 1999), al punto che cosiddetti *Bird Strike Committees* sono stati creati sia a livello nazionale che internazionale (Montemaggiori, 2001).

Il contenuto di questo capitolo, sull'esame della problematica delle collisioni, deriva in larga misura dal materiale raccolto dall'ornitologo A. Sierro (in Rampazzi, 1991) e dai *review* di Kempf & Hüppop (1996) e Komenda-Zehnder & Bruderer (2002) sulle interazioni tra aeroporti e avifauna.

Secondo Thorpe (1996), tra il 1925 e il 1995 si sono verificati al mondo 30 incidenti fatali dovuti a collisioni di aeromobili civili con uccelli, con più di 190 persone morte. Una stima più recente di Cleary & Dolbeer (1999) riporta, a partire dal 1960, un totale di 201 morti e la distruzione di almeno 78 apparecchi civili. Gli impatti stimati all'anno sono attualmente oltre 20.000 (Leshem, 1997).

Sempre secondo Cleary & Dolbeer (1999), i dati relativi all'aviazione militare riguardano dal 1960 almeno 250 apparecchi distrutti e 120 morti tra il personale militare, sebbene talvolta i dati non vengano divulgati (Thorpe, 1996).

È anche probabile che una parte degli incidenti avvenuti in passato ed archiviati come inspiegabili fosse dovuta alla presenza di piccoli uccelli nei reattori e non individuati al momento delle analisi dei rottami. Risulta pertanto chiaro come gli uccelli debbano essere considerati una seria minaccia alla sicurezza nel campo aviatorio (Milsom, 1990; ICAO, 1991; Thorpe, 1996). Per la categoria dei grandi aerei da trasporto sono stati registrati solamente sette incidenti con esito fatale su più di 500 milioni di ore di volo tra il 1912 e il 1995 (Thorpe, 1996). I jet commerciali sono particolarmente esposti al rischio di incidenti a causa del loro operare in aeroporti in cui spesso non vengono prese precauzioni contro il rischio di collisioni con uccelli. Inoltre i loro

reattori non sono stati concepiti per sopportare le sollecitazioni derivanti dall'ingestione di uccelli.

Va infine notato come una parte degli incidenti fatali siano dovuti a manovre del pilota effettuate per evitare gli uccelli stessi (Thorpe, 1996).

All'inizio dell'era aeronautica il pericolo di collisione con uccelli era minimo e l'estensione dei danni molto contenuta; in effetti, data la bassa velocità dei primi aeromobili, la facoltà naturale degli uccelli di fuggire di fronte ad un gigantesco predatore d'acciaio era sufficiente ad evitare il velivolo.

Con l'avvento degli aerei a reazione, però, e in seguito alla costante crescita del traffico aereo – soprattutto dei voli a breve distanza (inferiori ai 1000 km) – la probabilità di collisioni è aumentata esponenzialmente ed ha raggiunto un punto tale da far considerare attualmente gli uccelli come un grave pericolo per i voli (Thorpe, 1996), causando, ogni anno, numerosi morti e danni onerosi (Milsom e Horton, 1995; Linnell et al., 1996).

La prima stima economica risale ai primi anni sessanta ad opera dell'organo canadese *Associate Committee on Bird Hazards to Aircraft*, che ha valutato danni per oltre un milione di dollari per la sola Air Canada nel periodo tra il 1958 e il 1962. La stima attuale dei danni economici provocati dalle collisioni è di 3 miliardi di dollari all'anno (ATSB, 2002).

I tempi di migrazione variano da specie a specie e sono condizionati da numerosi fattori, tra i quali di determinante importanza risultano le condizioni meteorologiche. Un improvviso arrivo di aria fredda in novembre o in gennaio, ad esempio, può spingere nelle zone boschive di pianura migliaia di Passeriformi come i lucherini (*Carduelis spinus*) oppure decine di poiane (*Buteo buteo*) venute dal Nord.

Ed è proprio in questi contesti che avviene il maggior numero di incidenti durante l'anno, in rapporto al massiccio numero di individui che non conoscono i pericoli insiti in un'area aeroportuale (Bruderer, 1972).

Nell'area del Ticino, data la sua posizione geografica, è subito prima e subito dopo il cattivo tempo che il numero di uccelli raggiunge il suo apice e le probabilità di collisioni sono dunque maggiori.

Peraltro, durante i periodi piovosi gli uccelli possono rimanere nei dintorni e in ogni momento involarsi in massa per compiere degli spostamenti improvvisi.

Va inoltre tenuto conto di un altro importante fattore. Durante la migrazione la velocità di movimento dei volatili è minore rispetto ai voli su corte distanze (caccia, fuga, inseguimento), per cui le probabilità di essere vittime di una collisione aumenta considerevolmente.

#### Uccelli problematici per l'aviazione: il concetto di "gruppo prioritario"

Per quanto concerne le specie o i gruppi di specie problematici per l'aviazione in Europa, utilissime informazioni sono state raccolte da Milsom e Horton (1995) grazie a studi effettuati su 21 aeroporti inglesi considerando le specie implicate in collisioni con aeromobili nel periodo 1976 - 1990 (*Tabella 5.4B1.1a*). I dati hanno permesso di individuare un "gruppo prioritario" di specie (o di gruppi di specie) che comportano i maggiori rischi per l'aviazione civile e militare:

- i gabbiani costituiscono le cause di collisione per il 30% - 50%. Questi uccelli si trovano sempre in grandi concentrazioni nelle regioni costiere,

ma ne esistono anche molti all'interno del continente, tra cui i gabbiani comuni (*Larus ridibundus*); essi si posano in luoghi aperti e pianeggianti, come laghi ed aeroporti.

- I limicoli (piccoli trampolieri) causano frequentemente collisioni: nelle zone costiere la proporzione di incidenti dovuta a queste specie può anche raggiungere il 30%.
- Le anatre e le oche costituiscono anch'esse un grande pericolo, soprattutto nell'area del Canada interessata dalla migrazione di questi uccelli (13% - 18%). Dato che le anatre e le oche sono delle specie tuffatrici mediocri, esse hanno l'abitudine di fuggire decollando verticalmente: successivamente volano in formazioni compatte fino ad una zona aperta dove si posano. Per il loro modo di involarsi, questi uccelli acquatici di superficie risultano particolarmente pericolosi per gli aerei a reazione.
- I rapaci diurni entrano in linea di conto principalmente all'interno del continente (10% - 20%), soprattutto in caso di bel tempo. Essi approfittano delle termiche ascensionali che si sviluppano sopra gli aeroporti.
- Le rondini, i rondoni ed altri Passeriformi provocano regolarmente delle collisioni (7% - 23%); le conseguenze sono tuttavia minime data la loro taglia minuta.
- Gli storni e i Turdidi si raggruppano a migliaia e costituiscono quindi anch'essi un potenziale pericolo nei pressi degli aeroporti (4% - 10%), soprattutto se nelle vicinanze esistono alberature o canneti che fungano da dormitori.
- I colombacci figurano come percentuali del 2% - 11% in tutte le statistiche di incidenti aviatori, e questo tasso può aumentare durante la migrazione autunnale.
- I Corvidi provocano occasionalmente collisioni (2% - 5%), in modo particolare nelle zone con discariche o con agricoltura intensiva. Il loro comportamento molto evoluto e l'organizzazione sociale complessa rendono i loro spostamenti tra le aree di procacciamento del cibo e i dormitori molto regolari (quotidiani).

In *Tabella 5.4B1.1a* vengono indicati la percentuale delle specie del gruppo prioritario ed i tipi di uccelli (Milsom e Horton, 1995).

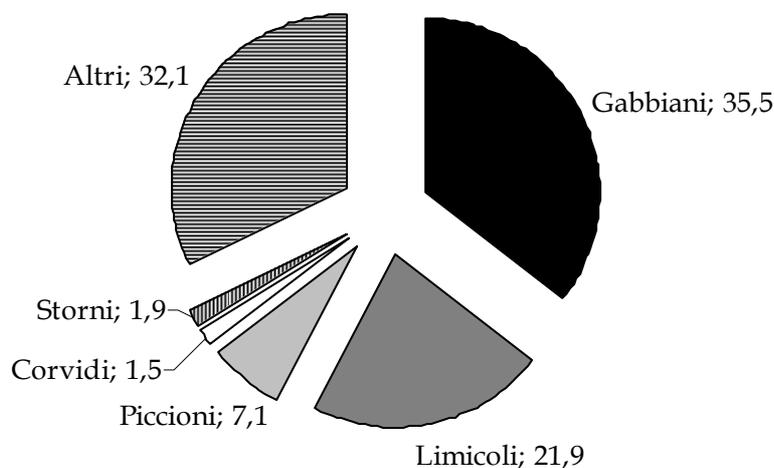
Questo spettro di specie regolarmente implicate nella maggior parte degli incidenti forma il cosiddetto "**gruppo prioritario**" (vedi *Figura 5.4B1.1a*) al quale bisogna prestare la massima attenzione all'interno e nelle immediate vicinanze di un aeroporto.

Va però sottolineato come in ogni aeroporto tale gruppo possa essere caratterizzato da tipologie di uccelli diverse; è molto importante, dunque, analizzare nel dettaglio sia la situazione geografica del contesto aeroportuale, sia i movimenti locali di tutti gli uccelli, come pure le stagioni con il maggior rischio di collisioni, i tipi di aerei e le loro velocità.

In Israele, ad esempio, Shamoun e Yom-Tov (1996) hanno dimostrato, attraverso l'analisi di resti di uccelli ritrovati a seguito di incidenti, che lo spettro delle specie implicate era diverso da quello del gruppo prioritario indicato nella *Figura 5.4B1.1a*. In questo caso esso era composto da passerii

(36%), limicoli (17%), piccioni (10%), rondoni (9%), Galliformi (8%), cicogne (6%), anatre (2%) e 4% di altre specie.

**Figura 5.4B1.1a** *Distribuzione (in %) di 6227 Collisioni su 21 Aeroporti in Inghilterra secondo la Tipologia di Uccello tra il 1976 ed il 1990 (Milsom e Horton, 1995)*



**Tabella 5.4B1.1a** *Statistica delle Collisioni Avvenute in Inghilterra nei 25 Aeroporti maggiormente Colpiti (Milsom e Horton, 1995)*

Aeroporto	Numero di collisioni (1976 - 1990)	Gruppo prioritario (%)	Principali specie implicate (% collisioni)
London Heathrow	540	48%	Laridi 30%, Piccioni 12%
Manchester International	469	51%	Laridi 27%, Limicoli 16%, Piccioni 6%
Glasgow	360	69%	Laridi, Pavoncelle
Birmingham International	328	65%	Pavoncelle 45%, Laridi 14%, Piccioni 6%
Luton	311	62%	Laridi 24%, Pavoncelle 21%, Piccioni 15%
Edinburgh	300	73%	Laridi 48%
London Gatwick	292	58%	Laridi, Pavoncelle
Newcastle	222	57%	Laridi 40%
Prestwick	190	80%	Laridi 48%, Limicoli 30%
East Midlands International	183	60%	Pavoncelle, Laridi
Isle of Man (Ronaldsway)	182	83%	Laridi 46%, Limicoli 37%
London Stansted	168	78%	Pavoncelle 33%, Laridi 26%
Liverpool	152	70%	Laridi 38%, Limicoli 21%, Piccioni 12%
Aberdeen	138	75%	Laridi 43%, Limicoli
Cardiff-Wales	98	62%	Laridi 43%, Pavoncelle
Norwick	98	71%	Laridi 53%
Blackpool	93	86%	Laridi, Limicoli, Piccioni, Stornelli
Bournemouth International	92	77%	Pavoncelle 38%, Laridi 21%, Piccioni 17%
Bristol	92	75%	Laridi 70%
Humberside	62	81%	Laridi 45%, Pavoncelle 34%
Exeter	47	83%	Pavoncelle, Limicoli

Aeroporto	Numero di collisioni (1976 - 1990)	Gruppo prioritario (%)	Principali specie implicate (% collisioni)
Shetland Islands Sumburgh	45	69%	Limicoli 49%, Laridi 20%
Dundee	44	86%	Limicoli 45%, Laridi 41%
Inverness	40	88%	Laridi, Pavoncelle
Kirkwall	39	87%	Laridi 46%, Limicoli 41%

Osservando nel dettaglio gli incidenti in tre aeroporti inglesi localizzati nelle vicinanze della costa e all'interno del Paese, è stato constatato che le specie appartenenti al gruppo prioritario compaiono sempre con una elevata proporzione: ad esempio ad Aberdeen (costa) esse sono la causa del 75% delle collisioni, a Manchester International del 51%, a Londra Heathrow del 48%. Tuttavia queste percentuali sono in realtà più elevate in quanto circa il 20% delle collisioni mancano di informazioni sul tipo di uccello implicato.

Ad Aberdeen, due collisioni su cinque sono dovute ai Laridi (gabbiani e gavine) e una su quattro ai limicoli.

A Londra Heathrow e a Manchester International sono pure i Laridi (rispettivamente 30% e 27%) e i piccioni (rispettivamente 12% e 6%) che sono maggiormente implicati, mentre le altre famiglie del gruppo prioritario causano meno collisioni.

I limicoli causano comunque il 16% delle collisioni a Manchester (Milson e Horton, 1995); a questa famiglia è ascritta la Pavoncella (*Vanellus vanellus*) che è riconosciuta attualmente come una delle più pericolose per quanto concerne le collisioni con i turbogetto: negli aeroporti di Londra Stansted e Humberside essa da sola è responsabile del 33% degli incidenti, mentre a Bournemouth International ben del 38%.

Le specie implicate nelle collisioni variano quindi da un aeroporto all'altro a seconda degli ambienti esistenti nei dintorni. Un aeroporto d'altitudine, pertanto, non avrà problemi - ad esempio - con i gabbiani, mentre un altro situato nelle vicinanze di un lago potrà essere invaso da questi Laridi.

#### Fattori che influenzano il tasso di collisione

I fattori che influenzano il tasso di collisione tra aerei ed uccelli sono numerosi e complessi. Quelli che seguono sono solo alcuni dei più rilevanti nell'ambito degli aeroporti europei presi in esame.

*Altitudine:* più del 90% delle collisioni tra aeromobili e volatili negli aeroporti e nelle aree immediatamente limitrofe avviene al di sotto dei 240 m (800 piedi) sul livello del suolo (CAA, 1976; Milsom e Horton, 1995).

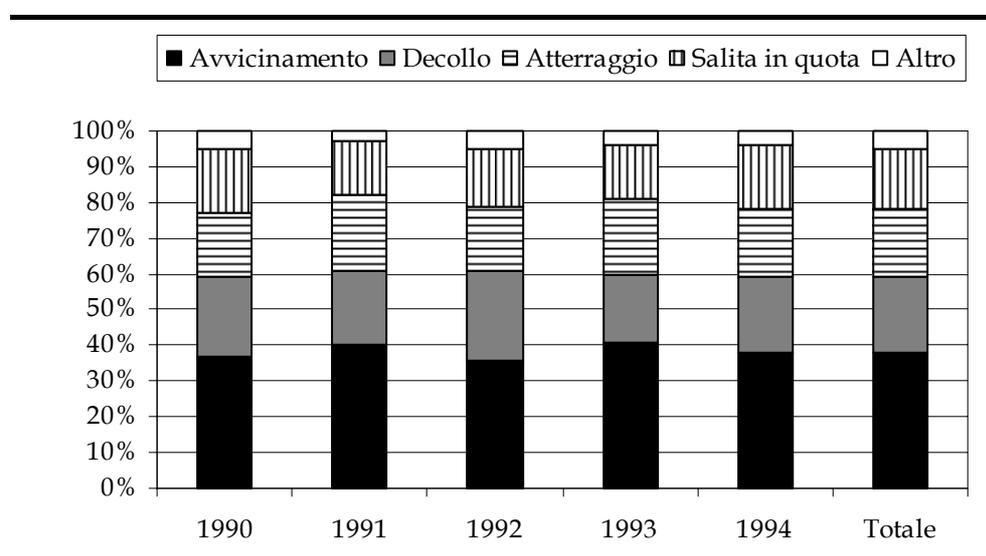
Il rapporto delle Forze aeree statunitensi nel periodo 1989-1993 mostra che il 70,4% degli incidenti con gli uccelli è avvenuto a meno di 150 m (500 piedi) sopra al suolo e soltanto l'1,8% a più di 900 m (3000 piedi; Milsom & Horton, 1995).

È quindi a bassa quota che gli incidenti sono più probabili, in particolare con uccelli posati sulla pista di decollo. In effetti, in generale, la maggior parte degli incidenti avviene tra 0 e 30 m (100 piedi) sul livello del suolo (*Figura 5.4B1.1b*).

Benché ad essere coinvolte siano sovente alcune tipologie di uccelli, il pericolo varia da un aeroporto all'altro, in rapporto a fattori legati all'ambiente e all'abbondanza e al comportamento degli uccelli nei diversi periodi dell'anno.

*Fasi di volo:* per il periodo 1989 - 1993, l'aviazione militare americana ha contabilizzato 13.427 collisioni tra aerei ed avifauna, di cui il 65% è stato segnalato all'interno del perimetro degli aeroporti (Arrington, 1994). Questo dato è molto importante per trovare delle soluzioni idonee atte a ridurre il numero delle collisioni. La proporzione degli incidenti sugli aeroporti è molto più elevata di quella che ci si potrebbe aspettare se gli incidenti avvenissero a caso lungo le vie di volo. In Svizzera, ad esempio, in seguito all'innalzamento dell'altitudine di volo obbligata sull'altipiano di Magadino a 200 m (a causa dei disturbi sonori), il tasso di collisioni tra il 1966 e il 1970 è diminuito di circa il 50% (Bruderer, 1976).

**Figura 5.4B1.1b** *Distribuzione degli Incidenti secondo le Fasi di Volo negli Aeroporti Inglesi tra il 1976 e il 1990 (Milsom & Horton, 1995)*



Le collisioni risultano inoltre più numerose all'atterraggio (41%) che al decollo (38%); ciò è dovuto alla fase di approccio durante la quale l'aeromobile vola per un lungo tratto a quota più bassa rispetto al decollo.

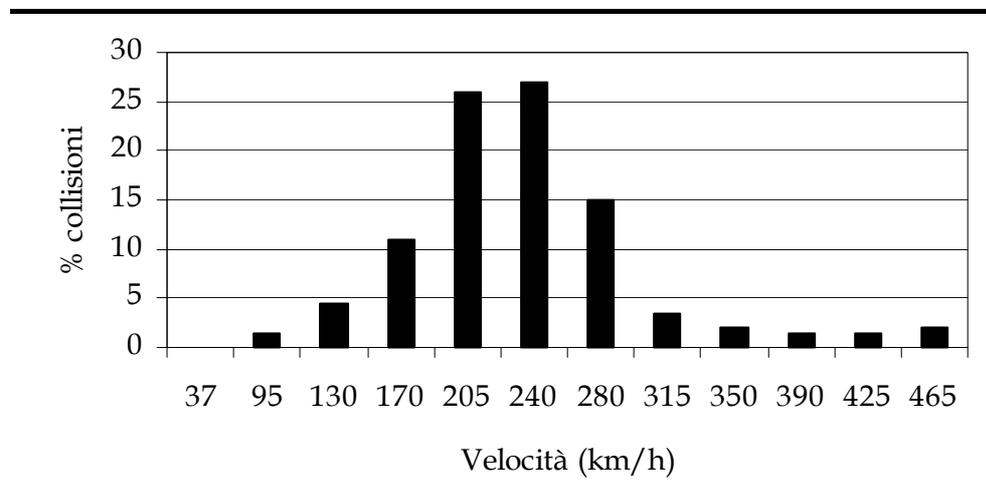
*Velocità degli aerei:* le collisioni tra aerei ed avifauna sono diventate un problema più cospicuo con l'avvento degli aerei a reazione, in quanto l'elevata velocità raggiunta da essi ha fortemente ridotto la capacità di fuga degli uccelli.

Tale aumento di velocità ha inoltre indotto un aumento della potenza dell'impatto come pure un'estensione dei danni (CAA, 1973; Bruderer, 1976; Thorpe, 1996).

Da misurazioni eseguite dalla Swissair, su 207 collisioni per le quali era conosciuta la velocità del velivolo, solo una ha avuto luogo al di sotto dei 95 km/h: il 69% delle collisioni, infatti, è avvenuto a velocità comprese tra 190 km/h e 280 km/h (Bruderer, 1976). Il numero di incidenti diminuisce quando le velocità superano i 300 km/h, in relazione al fatto che a simili velocità gli

aeromobili si trovano già ad altitudini situate oltre la normale zona di volo degli uccelli. I dati del CAA (1973), di Salter (1974) e di Thorpe (1996) indicano che gli uccelli sono in grado di evitare aerei che si avvicinano a meno di 90 km/h (vedi *Figura 5.4B1.1c*).

**Figura 5.4B1.1c** *Distribuzione delle Collisioni dell'Aviazione Civile (in %) secondo la Velocità degli Aerei (adattato da Thorpe, 1973)*



I dati della *Figura* si riferiscono all'aviazione civile. Per quanto riguarda l'aviazione militare il maggior numero di collisioni avviene a quote basse (44%), in quanto durante le esercitazioni gli aerei viaggiano a velocità sostenute anche a queste quote: gli incidenti si verificano infatti a velocità che superano i 460 km/h (Bruderer, 1976; Richardson, 1994).

*Stagioni:* il numero massimo di uccelli in Europa viene raggiunto subito dopo il periodo di riproduzione, e cioè tra giugno e settembre; questo numero diminuisce poi progressivamente in funzione delle migrazioni. Il tasso di collisioni è quindi particolarmente elevato quando i giovani senza esperienza con gli aerei si avvicinano ad un aeroporto.

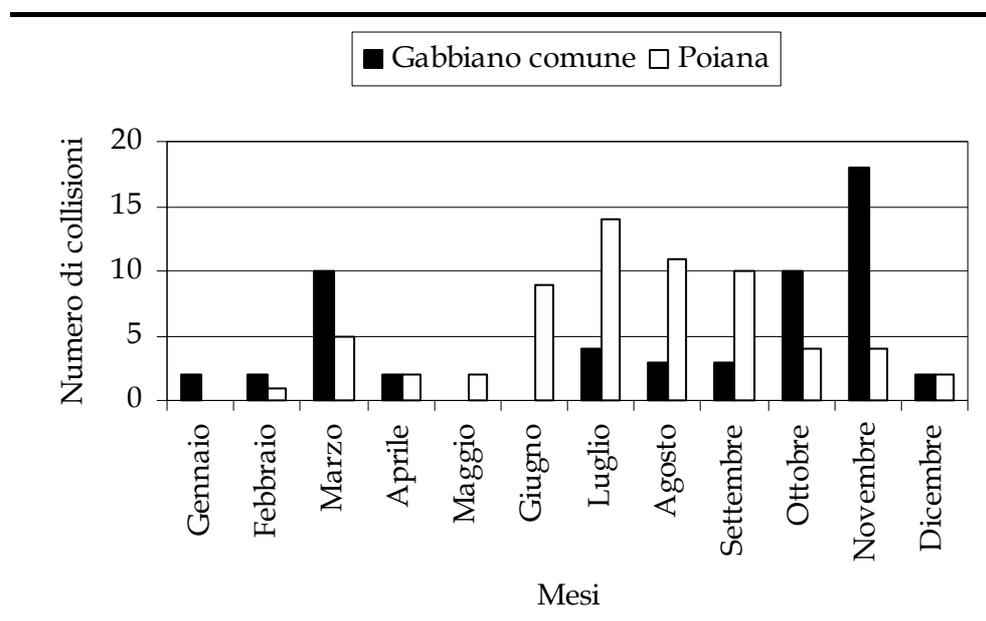
Il caso di Zurigo-Kloten, a tale proposito, è stato ben studiato da Bruderer (1976), il quale ha messo in rilievo come le giovani poiane - e in minor misura i giovani gabbiani comuni (*Larus ridibundus*) - costituiscano il maggior pericolo nel perimetro dell'aeroporto allorché si recavano nei prati per alimentarsi.

Bruderer ha scoperto che il numero di collisioni con le poiane rimaneva elevato dalla fine del periodo di riproduzione fino in autunno (vedi *Figura 5.4B1.1d*), per poi diminuire drasticamente in quanto gli individui venivano sostituiti da svernanti abituati al traffico aereo. Un nuovo picco era visibile nel bimestre marzo-aprile, durante la migrazione primaverile, con l'arrivo nell'area dell'aeroporto di uccelli non abituati agli aerei.

I Gabbiani seguivano invece uno schema diverso: alla fine dell'autunno i giovani senza esperienza invadevano l'aeroporto e causavano un numero elevato di incidenti, così come anche nel periodo primaverile - al momento della migrazione di ritorno - con uccelli estranei all'aeroporto (vedi *Figura 5.4B1.1d*).

È inoltre risaputo che i gabbiani posati sulla superficie aeroportuale attirano i migratori di passaggio (Bruderer, 1976; Thorpe, 1996).

**Figura 5.4B1.1d** *Distribuzione delle Collisioni Aeree con Poiane e Gabbiani Comuni all'Aeroporto di Zurigo-Kloten tra il 1963 e il 1975 (Bruderer, 1976)*



*Numero dei movimenti di aerei:* considerando la ripartizione mensile degli incidenti in Inghilterra nel periodo 1969 - 1971, si è constatato che le collisioni avvengono soprattutto da agosto a ottobre e in gennaio (l'acme è raggiunto in questo mese): è precisamente in questi mesi che i giovani Laridi svernanti sono presenti in grandi concentrazioni in prossimità degli aeroporti. Il picco di agosto-settembre è dovuto alla dispersione dei giovani dell'anno, mentre quello di dicembre-gennaio alla presenza massiccia di svernanti originari del nord (Thorpe, 1973; Bruderer, 1976).

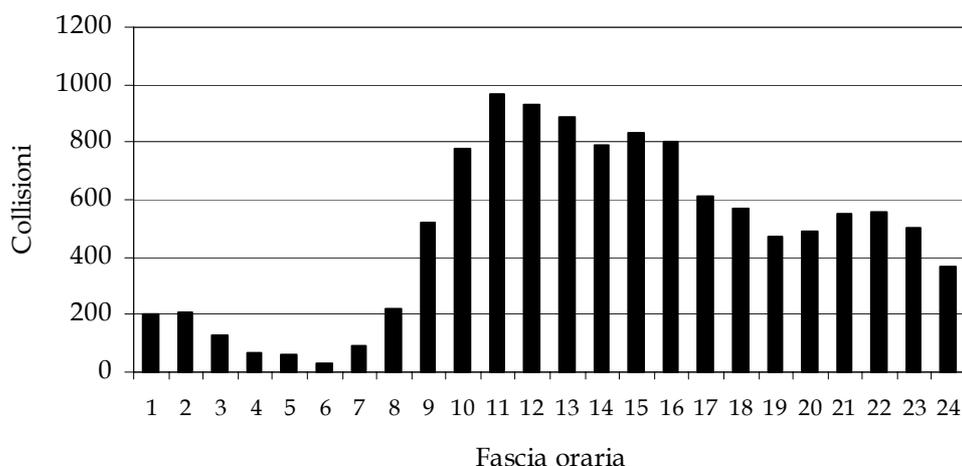
*Fasi della giornata:* il servizio della navigazione aerea di Parigi (1994) considera l'alba e il crepuscolo i momenti più pericolosi della giornata per le collisioni tra aerei ed uccelli; ciò risulta verosimile se si considera che sono questi i momenti durante i quali i volatili hanno il loro apice di attività.

Bisogna però considerare che questi animali sono sempre mobili e possono apparire in ogni istante in modo del tutto improvviso, sia durante la migrazione o i trasferimenti giovanili e post-nuziali, sia durante i regolari movimenti locali degli svernanti.

In questo contesto risulta pertanto chiaro come non sia possibile determinare delle fasce orarie della giornata in cui il rischio aviatorio di collisioni con gli uccelli sia consistente oppure trascurabile.

Tuttavia, se tale rischio non può essere rapportato in modo preciso all'attività di spostamento degli uccelli, può invece essere messo in relazione con il traffico aereo: perciò la fascia notturna compresa tra le 3 e le 7 può essere considerata a impatto trascurabile, in quanto durante la notte il numero di movimenti aerei è del tutto esiguo (Figura 5.4B1.1e).

**Figura 5.4B1.1e** *Frequenza delle Collisioni (N° totale = 13.427) nel corso della Giornata riportate dall'Aviazione Militare Americana nel periodo 1989 - 1993 (Arrington, 1994)*



L'analisi degli incidenti su 41 aeroporti civili inglesi ha permesso di dimostrare che il numero di collisioni è direttamente legato al numero di movimenti di aerei sull'aeroporto per qualunque categoria di aeromobile (Milsom e Horton, 1995).

In certe statistiche di incidenti aviatori il numero di collisioni è generalmente calcolato in rapporto ad un numero standard di 10.000 movimenti (decollo e atterraggio). I risultati variano di molto da un aeroporto all'altro o tra le differenti compagnie, in funzione della posizione geografica degli aeroporti stessi, delle mete di volo come pure delle condizioni climatiche locali e dei principali tipi di aeromobili impiegati.

Come emerge dai dati riportati nella *Tabella 5.4B1.1b*, nell'aviazione civile la frequenza media delle collisioni è 5 su un totale di 10.000 movimenti (valore standard di riferimento); questo valore può salire da 7 a 20 se l'aeroporto in questione si trova in una zona costiera o vicino a zone umide.

**Tabella 5.4B1.1b** *Ripartizione delle Collisioni su Alcuni Aeroporti con Caratteristiche Differenti*

Aeroporto	N° collisioni/10.000 movimenti	Periodo	Fonte
Ginevra	1,9	1972-1973	Bruderer (1976)
Ginevra	6,9	1980	UFAC
Zurigo-Kloten	3,1	1972-1975	Bruderer (1976)
Zurigo-Kloten	10,9	1980	UFAC
Basilea	7,6	1972-1975	Bruderer (1976)
Basilea	20,1	1980	UFAC
Germania	6,6	1974	Thorpe (1996)
Canada	6,8	1963-1969	Bruderer (1972)
Olanda	9,2	1974	Thorpe (1996)
Nuova Zelanda	18	1965-1969	Bruderer (1972)
New York (JFK)	6,5	1991-1993	Dolbeer (1995)
Monaco di Baviera	7-10	1990-1992	Sindern (1997)
Locarno	0,05	1978-1997	Pedrioli (Com. pers.)

A ribadire l'importanza del contesto di inserimento dell'aeroporto sul numero di incidenti, si può analizzare la differenza dei valori tra gli aeroporti di Ginevra e Basilea (Tabella 5.4.2.9b): l'aeroporto di Ginevra-Cointrin è situato in una zona urbana che attira pochi uccelli (Piccioni, Poiane e qualche Gabbiano), mentre quello di Basilea è localizzato in piena campagna, zona del tutto favorevole per numerosi uccelli quali Corvidi, pavoncelle, poiane, gabbiani e piccioni. Cointrin, inoltre, con 63.000 movimenti aviatori (1975), è un aeroporto tre volte più frequentato di Basilea, che segnala solo 20.000 movimenti (1975); ciò mette in evidenza l'influsso preponderante della situazione geografica per ciò che concerne le collisioni (Bruderer, 1976). Per quanto riguarda l'aeroporto di New York (JFK), esso si trova su una penisola, accanto ad una importante colonia di circa 15.000 gabbiani. Questo aeroporto internazionale, con 270.000 movimenti annui, registra il più elevato numero al mondo di collisioni con uccelli. Ogni anno, infatti, ci sono da 100 a 315 aviogetti (ciascuno dei quali ha un peso > 5.700 kg) che hanno un incidente con volatili (Dolbeer, 1995): queste collisioni causano notevoli danni materiali e obbligano a modificare continuamente le procedure di decollo e di atterraggio. Confrontando tuttavia il tasso di collisioni a JFK con il numero di movimenti (circa 15 su 10.000 movimenti tra il 1979 e il 1992), si può dire che esso è in linea con gli altri aeroporti europei presi in considerazione nella Tabella 5.4B1.1b, in cui il tasso medio di collisioni è di 6,5/10.000 movimenti (Blokpoel, 1976; Bruderer, 1972 e 1976; CAA, 1976; ICAO, 1991 e 1993, OACI, 1996). Un esempio in tal senso è rappresentato dall'aeroporto di Monaco di Baviera, che mostra frequenze di collisioni molto alte, da 7 a 10/10.000 movimenti.

Riportiamo infine alcuni dati sull'aviazione militare: nell'aviazione militare svizzera la probabilità di incidenti nel periodo 1960 - 1974 era di 9,7 collisioni/10.000 movimenti (Bruderer, 1976) e nel 62% dei casi si constatavano danni all'apparecchio.

L'aviazione americana ha invece avuto 51 collisioni con uccelli tra il 1967 e il 1972 (Nemergut, 1973), mentre quella canadese 62 incidenti tra il 1969 e il 1971 (Canadian Armed Forces, 1972).

#### 5.4B1.2

#### AVIFAUNA E DISTURBO AEREO

Numerose pubblicazioni descrivono le reazioni generali degli animali ai mezzi aerei (Kempf & Hüppop, 1996; Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002). Il gruppo di gran lunga più studiato è quello degli Anseriformi, seguito da Caradriformi e Falconiformi (Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002).

I mezzi volanti scatenano negli uccelli reazioni sensoriali percepite dall'occhio e dall'orecchio. Il campo uditivo degli uccelli non supera in ampiezza quello dell'uomo (Granacher, 1985), mentre il potere visivo è superiore al nostro, soprattutto per quanto riguarda l'ultravioletto. Per quanto riguarda i mezzi aerei, la nostra percezione uditiva, può dunque fornirci indicazioni utili su quella degli uccelli.

Parecchi fattori influenzano il tipo e l'intensità, la trasmissione e la trasformazione degli stimoli causati dai mezzi aerei negli uccelli (Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002):

- gli stimoli acustici e visivi dipendono da un lato dal tipo di mezzo aereo, dall'altro dal suo comportamento di volo;
- la rilevanza di un determinato stimolo viene modificata dalla frequenza di stimoli di disturbo generati da altre fonti;
- a seconda della struttura dell'habitat e della topografia un mezzo aereo può essere percepito già da lontano o comparire improvvisamente di sorpresa;
- il modo in cui lo stimolo viene percepito dipende da diverse caratteristiche dell'uccello, come la specie, il comportamento sociale, l'esperienza;
- a seconda del comportamento dell'animale uno stimolo può causare o meno un effetto di disturbo.

Gli stimoli uditivi sono difficilmente separabili da quelli visivi. Le reazioni più lievi, come nervosismo, irrequietezza, ricerca di un nascondiglio o di un luogo sicuro, di solito passano inosservate e solo mediante un esame attento possono essere percepite. Così in molti lavori viene presa in considerazione solo l'evidente fuga causata dalla paura di fronte a un fattore di disturbo come elicotteri o aeroplani (Mosler-Berger, 1994; Keller, 1995). Fatta eccezione per le collisioni, gli aerei non costituiscono una minaccia diretta per gli uccelli. Tuttavia questi ultimi reagiscono alla presenza dei mezzi aerei come se si trattasse di un pericolo plausibile. Si potrebbe pensare che la situazione di spavento conseguente all'improvvisa comparsa di un oggetto volante non possa dar luogo a reazioni differenziate. In alcuni casi il comportamento degli uccelli suggerisce che la forma e il tipo di movimento del mezzo aereo possano scatenare un comportamento di difesa innato (Manning, 1979). Nel caso degli aerei, lo stimolo visivo è accompagnato dal rumore. Esso si somma quindi allo stimolo uditivo, rinforzando l'effetto di disturbo (Manning, 1979). Inoltre anche il rumore di per sé (es. in seguito ad esperienze particolari) può causare reazioni (ad es. nelle oche, Mosbech & Glahder, 1991; Barry & Spencer, 1976; Niemann & Sossinka, 1992).

I passaggi di mezzi aerei che non provocano reazioni appariscenti possono tuttavia causare un aumento del battito cardiaco, come nel Pinguino di Adelia (*Pygoscelis adeliae*; Culik et al., 1990), nell'Edredone (*Somateria mollissima*; Gabrielsen, 1987), nella Beccaccia di mare (*Haematopus ostralegus*; Hüppop & Hagen, 1990), nella Pittima reale (*Limosa limosa*; Dietrich et al., 1989).

Con rare eccezioni (ad es. Kushlan, 1979), tutti gli autori concordano sul fatto che gli elicotteri hanno effetti più rilevanti sulla fauna selvatica rispetto agli aerei. Gli aerei sportivi disturbano gli uccelli almeno tanto quanto i jet a reazione, che secondo molti ricercatori avrebbero addirittura effetti più limitati (v. Kempf & Hüppop, 1996). Va sottolineato che gli apparecchi volanti più o meno silenziosi (deltaplani, parapendio e alianti) possono causare reazioni di panico e di fuga simili a quelle provocate dagli aeroplani più rumorosi (Mosler-Berger, 1994).

Le distanze e le altezze di volo che scatenano le reazioni sono molto variabili. Negli uccelli, forti reazioni sono frequenti per altezze di volo inferiori a 300 m, ma possono anche presentarsi in presenza di apparecchi che volano a più di 500 m di altezza (Mosler-Berger, 1994; Kempf & Hüppop, 1996).

### Stimolo visivo

Secondo Kempf & Hüppop (1996), lo stimolo visivo generato dai mezzi aerei produce maggiore agitazione tra gli uccelli dello stimolo uditivo. Esso provoca una reazione simile a quella scatenata dai predatori (v. gli esperimenti con *silhouette* di rapaci di Manning, 1979). La sola ombra di un rapace o di un aereo provoca infatti negli uccelli allevati in voliere all'aperto reazioni molto forti (Bell, 1972). Deltaplani, parapendio e alianti provocano reazioni simili a quelle degli aerei rumorosi, a volte anche panico e fuga (Mosler-Berger, 1994; Mueller, 1996).

Ciononostante, la comparsa regolare di uno stimolo visivo non seguita da un effettivo pericolo può portare ad una assuefazione e alla progressiva diminuzione della risposta. Alcune sagome di forma determinata possono provocare effetti più rilevanti quando vengono associate a una minaccia effettiva (forse in seguito a esperienze; Sossinka, 1978; Manning, 1979; Niemann & Sossinka, 1991). Probabilmente gli uccelli possono riuscire nel tempo ad adattarsi alle sagome più caratteristiche (Schleidt, 1961), quando queste non sono associate a pericoli reali.

L'intensità di reazione dipende anche dalla traiettoria dell'aereo. I voli rettilinei provocano minori alterazioni comportamentali rispetto a quelli curvilinei (Lugert, 1988). I voli a grande altezza nelle zone costiere provocano reazioni di panico quando seguono traiettorie curve. Niemann & Sossinka (1991), come anche Kempf & Hüppop (1998), ritengono che la grandezza angolare, la velocità angolare e la velocità relativa di un oggetto volante siano fondamentali nel determinarne gli effetti. La grandezza angolare corrisponde all'angolo che l'oggetto nasconde agli occhi dell'osservatore, la velocità angolare è il movimento in gradi per secondo e la velocità relativa è il rapporto tra la velocità angolare e la grandezza angolare. Secondo Schleidt (1961) le grandezze angolari tra 1 e 4°, le velocità angolari sotto 50 °/s e le velocità relative sotto 30°/s, provocano forti reazioni di fuga. Kempf & Hüppop (1998) citano diversi lavori che dimostrano come gli aerei che volano lentamente e lungo traiettorie curve causino reazioni più accentuate di quelli con un volo rapido e rettilineo.

### Stimolo uditivo

Nelle oche è stato osservato che rumori ancora lontani di motori di aerei sportivi o elicotteri mettono in allarme gli animali (Gerdes & Reepmeyer, 1983). Per effetto del rumore degli aerei le galline possono ridurre il tempo giornaliero di cova, o abbandonarla del tutto (Granacher, 1985).

Se non intervengono contemporaneamente stimoli di altro genere (visivi, chimici) gli uccelli si abituano però rapidamente alle nuove fonti di rumore (Busnel, 1978; Maczey & Boye, 1995). I polli sottoposti regolarmente al rumore simulato di un aereo di 120 dB si adattano velocemente e successivamente non mostrano più alcuna reazione (Kosin, 1954). Per le oche selvatiche il rumore ha un effetto di disturbo minore degli stimoli visivi, anche se rumori improvvisi provocano reazioni di spavento (Owen, 1973). Gli uccelli da allevamento nei capannoni si adattano tuttavia velocemente al rumore e non reagiscono nemmeno a pressioni acustiche di 120 dB (Kosin, 1954; Granacher, 1985). Il forte e persistente rumore delle macchine nelle fabbriche (115 dB) non impedisce a molti passeriformi (es. passeri, cince) di riprodursi sotto i tetti di

questi edifici (Busnel, 1978). Lo stesso vale per i piccioni. Nessuna relazione tra intensità del rumore e costruzione del nido o quantità di uova deposte è stata riscontrata in una popolazione di Zanzariere della California (*Poliophtila californica*) che nidificava in prossimità di una base militare (Awbrey & Hunsaker, 1997). Un elevato successo riproduttivo si è registrato anche in zone dove la pressione acustica superava gli 80 dB anche per più ore al giorno. E' probabile che effetti veramente dannosi si registrino solo a valori di pressione acustica più elevata. Esistono indicazioni in tal senso sia da esperimenti di laboratorio (diminuzione di capacità percettiva in canarini sottoposti a rumori tra 95 e 100 dB; Marler et al., 1973) sia da osservazioni in natura (aumento di frequenza di canto e scomparsa di sillabe in fringuelli esposti a rumore di mezzi aerei di 85-90 dB; Il'ichev, 1995).

#### Caratteristiche del disturbo

Apparentemente gli uccelli reagiscono ai mezzi aerei in modi molto diversi a seconda del tipo di veicolo e del suo comportamento di volo (Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002). Questi due parametri sono in realtà solo in minima parte indipendenti fra di loro. I jet militari, ad esempio, sorvolano il territorio a grande velocità e seguendo una traiettoria più o meno rettilinea, mentre gli elicotteri volano ad altezze e su traiettorie molto variabili. L'effetto di disturbo di un mezzo aereo dipende dal tipo di mezzo, dal tipo di volo, dalla distanza orizzontale, dall'altezza, dalla velocità, dalla direzione di volo e dalla pressione acustica (CWSS, 1991). Alcuni di questi parametri dipendono dal tipo di mezzo aereo: il maggiore effetto di disturbo è causato dagli elicotteri, seguiti dai piccoli aerei e dai jet militari (Ward et al., 1999). Ciò è dimostrato dagli studi eseguiti nelle zone intertidali olandesi, dove gli elicotteri causavano la fuga degli uccelli nel 67% dei casi, i piccoli aerei nel 41%, gli aerei militari da trasporto nel 50% e i jet da combattimento nel 36% (Lauersen, 1986 in CWSS, 1991). Gladwin et al. (1988) hanno ottenuto conclusioni simili. Secondo i loro dati gli elicotteri causano disturbo nel 70% dei casi, i piccoli jet da combattimento nel 59%, gli aerei a elica nel 50%, i grossi jet da combattimento nel 31%, le manovre militari nel 60%, i voli privati nel 44% e quelli commerciali nel 37%. Nessuna differenza tra gli effetti di disturbo dei jet da combattimento e dei piccoli aerei è stata riscontrata da Heinen (1986) nelle sue ricerche sugli uccelli costieri e da Philippona (1972) nelle oche lombardelle.

I galli forcelli nelle voliere da allevamento reagiscono raramente agli aerei a reazione che volano a bassa quota (Clemens, 1990 in Mosler-Berger, 1994; nessun dato sull'altezza di volo), mentre reagiscono maggiormente agli elicotteri, agli aerei a motore e agli alianti che volano lentamente a bassa quota, restando immobili o involandosi. I voli diretti sopra e presso le voliere scatenano reazioni di panico. I mezzi lenti come elicotteri o ultraleggeri possono anche avere effetti più rilevanti rispetto ai jet da combattimento (Smit & Visser, 1993; Stock, 1993). Il 50% delle pittime minori reagisce agli elicotteri già a una distanza di 600 m, mentre alla stessa distanza soltanto il 20% reagisce alla presenza di jet (Visser, 1986; Smit & Visser, 1993). I piccoli aerei hanno effetti minori sui limicoli come chiurli e pittime reali rispetto ai modelli e agli ultraleggeri (Dietrich et al., 1989). Il sorvolo accidentale di stormi di uccelli da parte di piccoli aerei provoca generalmente la fuga di percentuali

consistenti di tali gruppi. Simili effetti sono stati rilevati nelle piane intertidali olandesi (CWSS, 1991) e tedesche (Stock, 1990), in Camargue (v. Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002) e nell'Inghilterra sud-occidentale (Riddington et al., 1996). Le reazioni registrate su oche colombaccio in Alaska (Ward et al., 1994) dipendono dalla distanza orizzontale e verticale dell'aereo; la correlazione tra aumento della probabilità di alterazioni comportamentali (e aumento dell'intensità di reazione) e diminuzione della distanza orizzontale e verticale è stata confermata in diversi lavori (ad es. Roberts, 1966; Barry & Spencer, 1976; Forshaw, 1983; Heinen, 1986; Dietrich et al., 1989; Stock, 1992a; Smit & Visser, 1993; Niemann & Sossinka, 1991; Owen, 1973). Nei casi in cui è stato possibile il confronto, il disturbo provocato dagli elicotteri è risultato spesso superiore (v. ad es. Gladwin et al., 1988), anche se le beccacce di mare e i chiurli fuggono a una distanza inferiore dagli elicotteri rispetto alle altre fonti di disturbo (Smit & Visser, 1993).

#### Conseguenze delle reazioni ai mezzi aerei

I mezzi aerei possono provocare le seguenti conseguenze sugli animali, oltre a disturbi di altro tipo (Hüppop & Hagen, 1990; Mosler-Berger, 1994; Sossinka & Niemann, 1994; Hüppop, 1995; Keller, 1995; Kempf & Hüppop, 1996):

- perdita di tempo;
- fuga dal proprio habitat;
- maggiore consumo di energia;
- perdita di condizione fisica;
- diminuzione del successo riproduttivo;
- aumento dell'incidenza di malattie e parassiti;
- aumento della mortalità.

Il problema dell'impatto dei mezzi aerei sugli uccelli è legato principalmente al disturbo del comportamento naturale di questi ultimi (Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002). Tale disturbo genera quasi sempre una fuga. Questo modello di reazione è stato talora sfruttato per catturare uccelli come le aquile reali o le gru canadesi (Ellis et al., 1998).

Paragonati ad altri fattori di disturbo, gli oggetti volanti causano probabilmente con maggiore frequenza reazioni di panico. Queste possono dare luogo a incidenti di vario tipo tra gli animali. In particolare, sono state osservate le seguenti conseguenze: la caduta di giovani e immaturi in colonie di uccelli marini (Zonfrillo, 1992); numerose perdite in una colonia di pellicani bianchi americani (*Pelecanus erythrorhynchos*), che mentre si involavano per fuggire calpestavano le proprie uova; l'impatto di alcune oche delle nevi (*Chen caerulescens*) contro condutture di corrente elettrica (Blokpoel & Hatch, 1976) e incidenti a galli forcelli (*Tetrao tetrix*) in voliere d'allevamento (Clemens, 1990). Le collisioni tra aerei e uccelli testimoniano tuttavia che la fuga non sempre avviene in tempo per evitare uno scontro e a volte non avviene affatto. Nelle oche del Canada e nei cigni selvatici è stato osservato un adattamento agli ultraleggeri e un conseguente comportamento che permette a questi uccelli di guidare i giovani verso i quartieri invernali (Carrick, 1999).

#### Effetti generali del rumore

Rumori di intensità elevata possono causare alterazioni in numerosi organi e sistemi animali (ormoni, circolazione, apparato digerente, sistema immunitario, riproduzione, comportamento, ecc.; Algers et al., 1978). Negli animali domestici e da laboratorio sottoposti a rumori intensi e duraturi tali effetti compaiono già a valori tra 85 e 89 dB(A). Questi valori vengono spesso superati nelle vicinanze dei campi d'aviazione o nelle zone dove gli aerei volano a bassa quota, ma anche dove vi è un intenso traffico stradale (Burger, 1983; Bowles, 1995). Il rumore degli aerei, però, solitamente è di breve durata e dagli esperimenti di laboratorio generalmente non emerge alcun danno fisiologico. Tuttavia, Chesser et al. (1975) hanno riscontrato un ingrossamento delle ghiandole surrenali nei topolini domestici (*Mus musculus*) presenti su un campo d'aviazione (80-120 db) rispetto ai conspecifici che vivevano a maggiore distanza (80-85 db).

Oltre ai danni alla salute, possono insorgere problemi di comunicazione. I rumori delle strade, specie se persistenti, possono rendere meno udibile il richiamo del Gallo cedrone (*Tetrao urogallus*; Hjorth, 1977), o di altri uccelli, e quindi compromettere il successo riproduttivo dei maschi cantori (Reijnen et al., 1995). Il rumore degli aerei potrebbe in teoria causare effetti simili. Ciononostante, secondo Busnel (1978) gli uccelli normalmente sono in grado di filtrare i rumori di fondo, anche se di intensità elevata, e di riconoscere i suoni per essi rilevanti.

In generale mammiferi e uccelli sembrano essere insensibili al rumore, a meno che esso non costituisca un "indicatore di pericolo", in quanto indice, per esempio, della vicinanza dell'uomo (Dorrance et al., 1975; Busnel, 1978; Bowles, 1995). Sugli edifici delle fabbriche e al loro interno nidificano molte specie di uccelli, anche in presenza di rumori duraturi di 115 dB (Busnel, 1978). Solo in occasione di botti imprevisti gli animali reagiscono e generalmente lo fanno con un riflesso di paura, che al ripetersi dello stimolo non si manifesta più (Stout & Schwab, 1980). Questa insensibilità fa sì che uccelli e mammiferi col tempo si abituino a tollerare qualsiasi stimolo acustico senza reagire (Andersen, 1978; Stout & Schwab, 1980; Reichholf, 1989; Bomford & O'Brien, 1990; Milsom, 1990).

#### Rumori degli aeromobili

Beck (in Hüppop, 1995) ha studiato le reazioni della Pettegola (*Tringa totanus*) in fase riproduttiva a diversi stimoli mediante telemetria del battito cardiaco. Gli uccelli reagivano ai rumori registrati di piccoli aerei ed elicotteri molto più che ad altri rumori di uguale intensità (circa 70 dB). Ciò dimostra che gli uccelli possono riconoscere dal suono i mezzi aerei e distinguere i loro rumori da altri suoni sconosciuti (Hüppop, 1995).

Anche le osservazioni di Flore & Hüppop (in Kempf & Hüppop, 1996) sui cormorani (*Phalacrocorax carbo*) di Helgoland testimoniano simili reazioni di apprendimento. Gli uccelli interrompono la pulizia delle piume quando sentono il rumore di un elicottero in lontananza, anche se non riescono ancora a vederlo. In Groenlandia le oche zamperosee e facciabianca (*Anser brachyrhynchus* e *Branta leucopsis*) durante la muta si spostano in specchi d'acqua sicuri quando sentono il rumore di un elicottero da 5 a 20 km di distanza, ben al di fuori del raggio visivo (Mosbech & Glahder, 1991). Fjeld et al. (1988), durante una ricerca in elicottero su una colonia di urie di Brünnich

(*Uria lomvia*), hanno osservato che gli uccelli mostravano reazioni al rumore al di sopra di un certo livello di pressione acustica. Questo valore corrispondeva, a seconda delle circostanze, a una distanza dell'elicottero da 500 m fino a 6 km.

Nei casi in cui si osserva un effetto su larga distanza (ad esempio oche che reagiscono a un elicottero distante 1,5 km; Niemann & Sossinka, 1991), sicuramente la reazione non è dovuta tanto al rumore in sé, quanto al ricordo che esso suscita di esperienze negative provate in passato (Kempf & Hüppop, 1996).

Niemann & Sossinka (perizia tecnica, 1991) hanno dimostrato con una dettagliata ricerca che durante il sorvolo mediante elicottero i valori di pressione acustica che causavano una reazione nelle oche erano significativamente più alti di quelli che non provocavano alcuna reazione: nel sorvolo diretto 89,9 dB(A) contro 79,9; nel sorvolo di aree adiacenti 80,5 dB(A) contro 71,5. Durante il sorvolo di aree adiacenti a distanze maggiori di 700 m, tra circa 57 e 67 dB(A) non si osservava di norma alcuna reazione.

Heinen (1986) ha riscontrato solo per pochi uccelli una correlazione tra rumore degli aerei e reazioni di disturbo nei terreni prosciugati sotto il livello del mare. Le oche colombaccio (*Branta bernicla*) e le volpoche (*Tadorna tadorna*) reagivano con maggiore frequenza sopra i 65 dB(A).

I rapaci al nido sembrano essere meno disturbati dal frequente rumore degli elicotteri a turbine rispetto al più occasionale rumore degli elicotteri con motore a pistoni (White & Sherrod, 1973).

Il fatto che gli aerei sportivi causino in genere reazioni molto più accentuate rispetto ai jet dimostra che i rumori hanno soltanto un effetto secondario sugli uccelli (Kempf & Hüppop, non pubblicato). Rumori improvvisi, anche se non di particolare intensità, possono tuttavia costituire per animali già spaventati dalla visione di un mezzo aereo il fattore scatenante delle reazioni di fuga. Ciò accade per esempio durante l'accensione dei bruciatori dei palloni aerostatici, o in occasione delle grida dei piloti di deltaplani e parapendio (Mosler-Berger, 1994).

#### Rumore dei reattori e bang sonici

Solo pochi lavori bibliografici analizzano il rumore dei reattori dei mezzi aerei separatamente dagli stimoli visivi. In una zona agricola è stato osservato che un rumore tra 110 e 130 db non aveva alcun effetto sulla crescita dei pulcini e che il rumore dovuto a un campo d'aviazione presente nelle vicinanze del luogo di studio non influenzava la produzione di latte da parte delle vacche (Algers et al., 1978).

Brown (1990) ha studiato il comportamento di una colonia riproduttiva di Beccapesci di Berg (*Sterna bergii*) in presenza di un rumore tra 65 e 95 dB provocato da mezzi aerei. Il rumore di fondo prodotto dalla colonia raggiungeva già di per sé i 55-75 dB. Gli animali reagivano al rumore aggiuntivo mostrando inquietudine e disorientamento. Tra 90 e 95 dB il 4% degli uccelli presentava reazioni di paura e il 2-4% si involava. Lister (1990) ha dimostrato mediante un esperimento che il solo rumore di un jet a reazione può indurre i beccapesci a fuggire dal nido e ad abbandonare la propria prole, che diviene quindi facile preda dei gabbiani australiani (*Larus novaehollandiae*).

Secondo Hilgerloh (1990) il rumore diurno dei jet a reazione che sorvolavano le zone di alimentazione di alcuni Passeriformi era probabilmente la causa del disorientamento e dalla scelta di direzioni migratorie sbagliate (forse movimenti di fuga) da parte di questi ultimi durante la notte successiva. Nelle vicinanze del Kennedy International Airport, i gabbiani reali (*Larus argentatus*) durante il periodo riproduttivo non reagiscono al rumore dei normali aerei a reazione (in media 91,8 dB), bensì, a volte, a quello dell'aereo ultrasonico Concorde (108,2 dB; Burger, 1981). Il motivo di ciò può forse essere individuato, oltre che nel rumore, anche nella bassa frequenza di passaggio dei Concorde e alle vibrazioni che essi liberano nell'aria.

Ellis et al. (1991) forniscono un esempio di elevata tolleranza al rumore. Gli autori hanno studiato la reazione dei rapaci (38 nidi di 8 specie) a rumori estremi (sorvolo di circa 1.000 jet a reazione a distanza molto breve). Né gli adulti, né i nidiacei mostravano alcuna reazione evidente. Solo gli adulti raramente si involavano, mentre i giovani non subivano alcuna influenza negativa. L'esame di voli di jet da combattimento ad altezza costante di 1000 m ha permesso di verificare che il primo volo provoca una serie di fughe da parte di singoli stormi di limicoli, ma successivamente solo di rado si osservano reazioni accentuate (van Raden & Kuester, 1990). Le otarde in fase di nidificazione reagiscono ai jet in maniera debole, con le femmine che si limitano a guardare verso l'alto tenendo il capo in posizione obliqua (Quaiser & Hüppop, 1995).

Il tasso riproduttivo e di ricolonizzazione dei nidi di falchi pellegrini in Arizona è alto nonostante i frequenti sorvoli da parte di jet, talora con bang sonici (Ellis et al., 1991) Al contrario i voli a bassa quota e la produzione di bang sonici hanno determinato diversi casi di fuga dai nidi in colonie di uccelli marini, con percentuali molto alte di caduta, e quindi perdita, della prole (ad es, nella *Sula sula bassana*, Bourne, 1991, e nella *Sterna fuliginosa* *Sterna fuscata*, Bell, 1972).

Un bang sonico produce negli uccelli acquatici una reazione di paura: presi dal panico, gli uccelli si involano in massa (Heinen, 1986). Il nido viene lasciato incustodito a seguito di bang sonici (o di altri rumori) anche dai Condor della California *Gymnogyps californianus* (Gladwin et al., 1988).

#### Adattamento al rumore dei mezzi aerei

La frequenza con cui i mezzi aerei in generale o quelli di un certo tipo sorvolano una determinata zona influisce sulla reazione da parte degli uccelli (Andersen et al., 1989; Niemann & Sossinka, perizia tecnica 1991; Smit & Visser, 1993). Sono segnalati numerosi casi di elevata tolleranza da parte degli animali selvatici nei confronti di rumori ad alta intensità o di disturbi causati dal traffico aereo, per esempio in zone di attività militare (Küsters & van Raden, 1986 e 1987; Koolhaas et al., 1993; Visser, 1986). Apparentemente gli animali possono vivere e riprodursi sulle piste e nei campi d'aviazione (Jakobi, 1975; Busnel, 1978; Kempf & Hüppop, 1995). L'attrazione che gli uccelli provano verso questi luoghi, dove si riposano, si alimentano e si riproducono, causa in tutto il mondo problemi di conservazione (Burger, 1983; Milsom, 1990; Küsters, 1986; Reichholf, 1989).

Presupposto fondamentale per un possibile adattamento degli animali è l'utilizzo regolare delle strutture da parte del traffico aereo in termini sia di

tempo, che di spazio. Numerosi dei lavori citati indicano che le reazioni da parte degli uccelli sono determinate dall'effetto sorpresa, sia che si tratti di stimoli visivi che di stimoli uditivi.

Perché l'adattamento sia possibile, è necessario che l'intensità degli stimoli causati dai mezzi aerei sia sufficientemente bassa. Reazioni visibili nei falchi pellegrini sono state registrate a pressioni acustiche superiori agli 82 dB (Ellis et al., 1991). In una simulazione condotta sui beccapesci di Berg, il rumore di aerei appena al di sopra del rumore circostante ha provocato un aumento di vigilanza, al di sopra degli 80 dB l'aumento della "preparazione alla fuga" o addirittura la fuga stessa (Brown & Malthers, 1988, Brown, 1990).

Diverse specie in diversi casi hanno mostrato di potersi apparentemente adattare a disturbi acustici regolari di intensità anche superiore. Il problema delle soglie acustiche del disturbo peraltro è stato poco esaminato in letteratura. Se le risposte comportamentali appaiono evidenti al di sopra degli 80 dB (vedi anche Niemann & Sossinka, 1991), ben poco si sa sulla comparsa di effetti meno "palesi" sul time budget delle specie sottoposte a disturbo e sulle loro risposte fisiologiche (v. Kempf & Hüppop, 1995; Komenda-Zehnder & Bruderer, 2002).

#### Le ricerche più recenti: effetti del rumore sul canto degli uccelli

Il continuo e diffuso ampliamento delle aree urbane, delle infrastrutture viarie e degli aeroporti rende il disturbo di origine antropica ormai quasi onnipresente. Questa situazione ha posto all'ordine del giorno di biologi e conservazionisti l'interferenza del disturbo antropogenico con alcuni aspetti della biologia di molte specie animali.

A partire dagli anni novanta molti sforzi di ricerca sono quindi stati concentrati su questo soggetto, producendo nuove conoscenze dei fenomeni in atto e dei meccanismi alla loro base. Molta attenzione è stata dedicata all'effetto del rumore sulla biologia degli animali, in particolare degli uccelli. In uno studio effettuato a Monaco (Germania) alcuni ricercatori hanno evidenziato come il disturbo antropico abbia indotto cambiamenti su base genetica nella fisiologia dello stress di una popolazione di Merlo (*Turdus merula*; Partecke et al., 2006). Sembra quindi che gli animali siano in grado di rispondere con cambiamenti microevolutivi alle condizioni subottimali cui vengono continuamente sottoposti ad opera dell'uomo.

Purtroppo però le specie animali sono raramente in grado di adattarsi con successo alle modificazioni negative dell'ambiente, come ad esempio gli elevati livelli di rumore, mostrando alterazioni anche preoccupanti della sopravvivenza o del successo riproduttivo.

Il rumore prodotto dall'attività umana sembra interferire in particolare con la propagazione dei segnali acustici di origine animale (canto, richiami) provocando a seconda dei casi diversi effetti negativi.

Habib et al., (2007) hanno dimostrato che il disturbo cronico associato ad attività industriali è in grado di ridurre il successo nell'accoppiamento del Seiuro corona dorata (*Seiurus aurocapilla*), alterando anche la struttura della popolazione dal punto di vista della divisione in classi di età: gli autori hanno infatti registrato una maggiore concentrazione di giovani negli ambienti disturbati, assimilabili ad habitat di bassa qualità. Tale effetto, provocato dal rumore di strade ad alta percorrenza, è stato osservato anche nel Lù grosso

(*Phylloscopus trochilus*), insieme ad un calo della densità e del successo riproduttivo (Reijnen e Foppen, 1994).

Sembra quindi che le automobili, gli aeroplani e le macchine in genere stiano creando una nuova pressione selettiva sulle specie selvatiche che utilizzano segnali acustici per ottenere il successo riproduttivo. La tipologia di risposta che le specie saranno in grado di mettere in campo porterà alla loro divisione in due gruppi: quelle in grado di modulare i propri segnali in base all'interferenza del disturbo e quelle non in grado di farlo (Slabbekoorn & Peet, 2003). In un recente lavoro pubblicato sulla prestigiosa rivista *Nature*, Slabbekoorn & Peet (2003) hanno dimostrato come i maschi di Cinciallegra (*Parus major*) abbiano imparato a modificare le frequenze di emissione del loro canto per farlo emergere sopra il rumore di fondo della città.

Gli uccelli che si trovano alle prese con elevati livelli di rumore di fondo adottando diversi comportamenti per ridurre l'interferenza di tale rumore con i propri segnali vocali. Il Pettiroso (*Erithacus rubecula*) ad esempio estende la propria attività canora alle ore notturne, caratterizzate da un minore rumore di fondo (Fuller *et al.*, 2007). Non è ancora chiaro quali effetti possano avere questi adattamenti che portano gli individui ad una sostanziale modifica del proprio *time-budget*, ovvero dell'uso del tempo. Ogni attività comporta infatti un dispendio energetico e, quindi, un relativo apporto al bilancio energetico giornaliero. L'alterazione di questo bilancio può teoricamente, in base alle conoscenze attuali, portare ad effetti negativi sulla condizione fisica degli individui, sulla loro sopravvivenza e su quella delle popolazioni.

#### 5.4B1.2.1 *Impatto del Traffico Aereo sulla Sosta dei Migratori: un Caso Studio*

La migrazione degli uccelli è costituita da un'alternanza di fasi di volo e di sosta. Durante le soste i migratori devono ripristinare le riserve energetiche necessarie a riprendere il volo e a raggiungere la destinazione finale o la successiva area di sosta. L'energia viene perlopiù accumulata sotto forma di lipidi, poiché questi forniscono una maggiore quantità di energia per grammo rispetto a proteine e carboidrati; un ruolo importante è rivestito però anche dalle proteine (Lindström & Piersma, 1993).

Nelle specie migratrici, la migrazione viene preceduta da accumuli adiposi tali, in alcuni casi, da fare addirittura raddoppiare la massa corporea; nei Passeriformi non è raro un incremento di almeno il 50%, soprattutto in quelli che migrano su lunghe distanze (Bairlein, 1985).

Queste aree sono state identificate in un processo di coevoluzione tra migratori e habitat attraversati (Ottich & Dierschke, 2003), per cui ad esempio nella fascia prealpina i picchi di presenza di molti migratori corrispondono con il momento della maturazione dei frutti delle specie baccifere.

Negli uccelli la fase pre-migratoria si accompagna a profondi cambiamenti fisiologici e comportamentali: questi permettono agli uccelli di raggiungere un'elevata efficienza nell'attività di foraggiamento e, in ultima analisi, nel recupero delle riserve energetiche.

In genere prima dell'inizio della stagione migratoria, gli uccelli all'improvviso e spontaneamente cominciano ad assumere maggiori quantità di cibo (fase di iperfagia). La preparazione alla migrazione non si realizza solo tramite l'iperfagia ma anche attraverso adattamenti specifici per la selezione delle

sostanze alimentari. Ciò che più colpisce a questo riguardo è il largo consumo di frutta e di bacche durante le soste autunnali da parte di specie che normalmente si cibano prevalentemente di insetti. Queste modificazioni sono supportate da cambiamenti nel tipo e numero di enzimi che agiscono nell'apparato digerente dei migratori, oltre che da variazioni comportamentali.

I Silvidi sono un efficace esempio di come siano frequenti i cambiamenti nell'alimentazione. Specie come la Capinera *Sylvia atricapilla* e il Beccafico *Sylvia borin* sono primariamente insettivore ma durante le soste integrano la dieta nutrendosi di elementi vegetali e, in alcuni casi, preferendo gli alimenti di origine vegetale a quelli di origine animale.

Le cause dell'utilizzo di bacche e frutti durante la migrazione autunnale hanno origine sia ecologica che fisiologica. Nel periodo migratorio gli uccelli devono incamerare più energia per la produzione di grasso; è proprio in questo periodo che la presenza d'insetti comincia a calare, e le specie che migrano di notte devono riposare durante il giorno piuttosto che spendere energie inutilmente alla ricerca del cibo. In una situazione simile i frutti e le bacche sono una buona fonte di nutrimento alternativa perché presenti in notevoli quantità e facilmente accessibili.

Il contributo energetico dato da frutti e bacche è abbastanza elevato: contengono zuccheri, acidi grassi insaturi e carboidrati, ma soprattutto contengono composti a favore della lipogenesi.

Da quanto appena esposto risulta evidente che la presenza lungo la rotta migratoria di adeguate aree di sosta (definite nella letteratura anglosassone *stopover sites*) dove gli uccelli migratori possono fermarsi e ricostituire le riserve adipose, è una condizione di vitale importanza, senza la quale risulta inattuabile una migrazione coronata da successo (Bairlein, 1998; Jenni, 1996, Simons *et al.*, 2000).

Qualsiasi agente che reca disturbo alla sosta può avere effetti negativi sul successo di migrazione quindi, sulla sopravvivenza degli individui: condizioni climatiche avverse, elevato rischio di predazione o disturbo di origine antropica.

Nonostante gli uccelli, in particolare i migratori, costituiscano una delle priorità di conservazione a livello globale, sancita da Convenzioni e Direttive, sono molto pochi i lavori che hanno indagato gli effetti del disturbo antropico sugli uccelli migratori, in particolare sull'ecologia della sosta.

A cavallo degli anni 2001-2003 FaunaViva ha condotto uno studio relativo all'impatto provocato dal traffico aereo dell'Aerodromo Cantonale di Locarno (Canton Ticino - Svizzera) sull'avifauna delle Bolle di Magadino (Fornasari & Calvi, 2003), un'importante area umida situata in area alpina e tutelata per la sua importanza su scala nazionale ed internazionale. Le Bolle di Magadino sono infatti comprese nell'elenco delle IBA (*Important Bird Areas*) e in quello delle aree tutelate dalla Convenzione di Ramsar sulle zone umide di importanza internazionale. Una delle loro caratteristiche ecologiche più importanti è quella di essere una delle poche importanti aree umide nel contesto alpino.

Lo studio aveva lo scopo di valutare la situazione di fatto e di effettuare previsioni sui possibili scenari conseguenti ad un eventuale allungamento delle piste dell'Aerodromo.

Lo studio ha indagato l'interazione tra traffico aereo e avifauna prendendo in considerazione tutte le fasi del ciclo annuale e diversi gruppi tassonomici. Le osservazioni sugli uccelli acquatici svernanti e sui Passeriformi nidificanti hanno evidenziato come organismi sottoposti ripetutamente ad una fonte di disturbo, senza che a questa faccia seguito un effettivo pericolo, siano in grado in qualche modo di "abituarsi" alla stessa, confermando quanto già presente in letteratura.

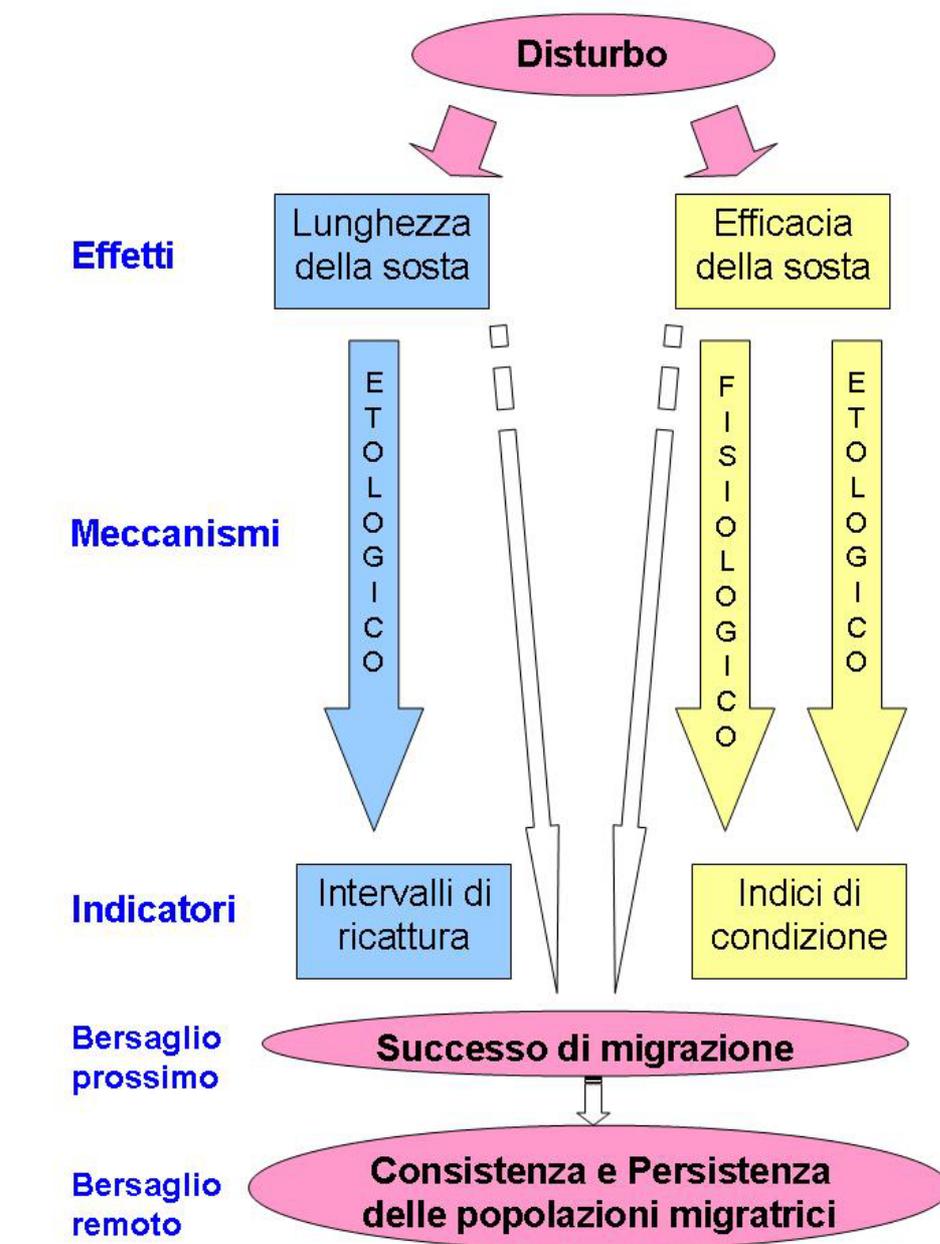
Diversa è risultata invece la situazione per quanto riguarda l'avifauna migratrice, costituita da individui che si trovano a sostare nell'area di studio per pochi giorni, durante i quali devono ripristinare efficacemente le riserve energetiche necessarie a proseguire con successo il viaggio migratorio. Questi individui, anche in considerazione del basso grado di fedeltà ai siti di sosta da parte dei Passeriformi (Catry et al., 2004), si trovano verosimilmente in un ambiente a loro sconosciuto. La presenza di una fonte di disturbo in questa fase delicata della vita dei migratori assume quindi maggiore rilevanza, in quanto il tempo costituisce per essi un fattore limitante (Alerstam & Lindström, 1990): non hanno il tempo sufficiente per "abituarsi" al disturbo e non associarlo ad un pericolo reale.

Diversi sono i meccanismi con i quali il disturbo aereo può agire sull'efficacia della sosta, agendo su base etologia o fisiologica. A prescindere dalle modalità di azione, si può comunque prevedere che gli effetti del disturbo possano manifestarsi sulla durata della sosta o sulla sua efficacia.

La struttura logica dello studio sull'Aerodromo Cantonale di Locarno, ripresa nel presente lavoro, è illustrata nello schema a blocchi rappresentato nella *Figura 5.4B1.2.1a*.

Nel corso del 2002 sono state effettuate operazioni di inanellamento nella stazione ornitologia delle Bolle di Magadino. L'attività condotta nel corso della migrazione pre-riproduttiva ha portato alla cattura di 2.724 individui appartenenti a 63 specie; l'attività autunnale ha invece permesso di raccogliere dati su 3.838 individui appartenenti a 66 specie. I dati di inanellamento hanno permesso di ricavare indici di condizione utilizzati poi nelle analisi. Nel corso delle operazioni di inanellamento sono anche stati effettuati dei prelievi ematici su alcune specie target per indagare i processi fisiologici alla base dell'eventuale disturbo provocato dal transito degli aeromobili. Per le specie più comuni sono infine state effettuate osservazioni comportamentali.

Figura 5.4B1.2.1a Schema di Azione del Disturbo Aereo sulla Sosta dei Migratori (da Fornasari & Calvi, 2003)



Per quanto riguarda il disturbo aereo un operatore ha raccolto quotidianamente tutti i movimenti effettuati; in aggiunta, con un fonometro, sono state effettuate misurazioni della pressione sonora a terra in un punto situato sulla traiettoria di decollo ed atterraggio di una delle due piste dell'Aerodromo. Sono infine state scattate fotografie con una fotocamera digitale per valutare l'altezza di volo degli aeromobili nel punto di dislocamento del fonometro.

Lo studio condotto sui migratori ha portato diverse evidenze circa l'esistenza di un reale impatto del disturbo aereo sui migratori in sosta presso le Bolle di Magadino. Verranno di seguito riassunti i punti in cui lo studio ha evidenziato tale impatto.

### Effetti del traffico nell'ora precedente la cattura

Per analizzare l'influenza del traffico aereo immediatamente precedente la cattura sulla condizione degli individui è stata scelta come procedura statistica l'analisi della covarianza (Type III - Field, 2005). Questa tiene conto della presenza di alcune covariate, cioè di variabili misurate indipendentemente dalla variabile dipendente, e a questa correlate.

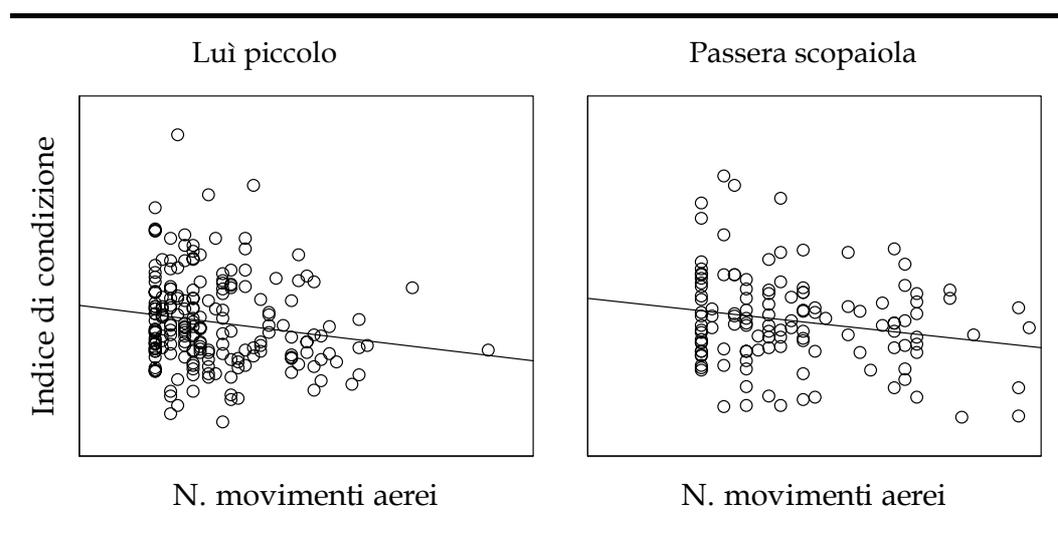
Le variabili utilizzate sono state:

- Peso (variabile dipendente)
- T res (covariata: indica la deviazione della temperatura dall'andamento stagionale)
- Ora di cattura (covariata)
- Terza remigante primaria (covariata)
- Parametri del disturbo (covariata)

Le covariate sono state inserite nell'ordine sopra indicato, tenendo fisse le prime tre variabili e inserendo di volta in volta uno dei parametri del disturbo come ultima covariata.

Due delle otto specie sottoposte ad analisi (Passera scopaiola *Prunella modularis* e Lù piccolo *Phylloscopus trochilus*) hanno mostrato un'influenza significativa del disturbo sulla variabilità del peso. Valori del test F molto vicini alla significatività sono stati ottenuti anche per il Beccafico *Sylvia borin*. La Figura 5.4B1.2.1b mostra la relazione tra l'indice di condizione degli individui ed il numero di eventi aerei registrati nell'ora precedente la cattura per Lù piccolo e Passera scopaiola. L'indice di condizione è stato ottenuto effettuando un'analisi della covarianza (ANCOVA) con Peso come variabile dipendente e T res, ora di cattura e misura della terza remigante come covariate: l'indice di condizione è costituito dai residui standardizzati cioè dalla varianza del peso non spiegata dalle tre covariate.

**Figura 5.4B1.2.1b** *Relazione tra Indice di Condizione degli Individui e il Numero di Eventi Aerei Registrati nell'Ora Precedente la Cattura per Lù Piccolo e Passera Scopaiola (riadattato da Fornasari & Calvi, 2003)*

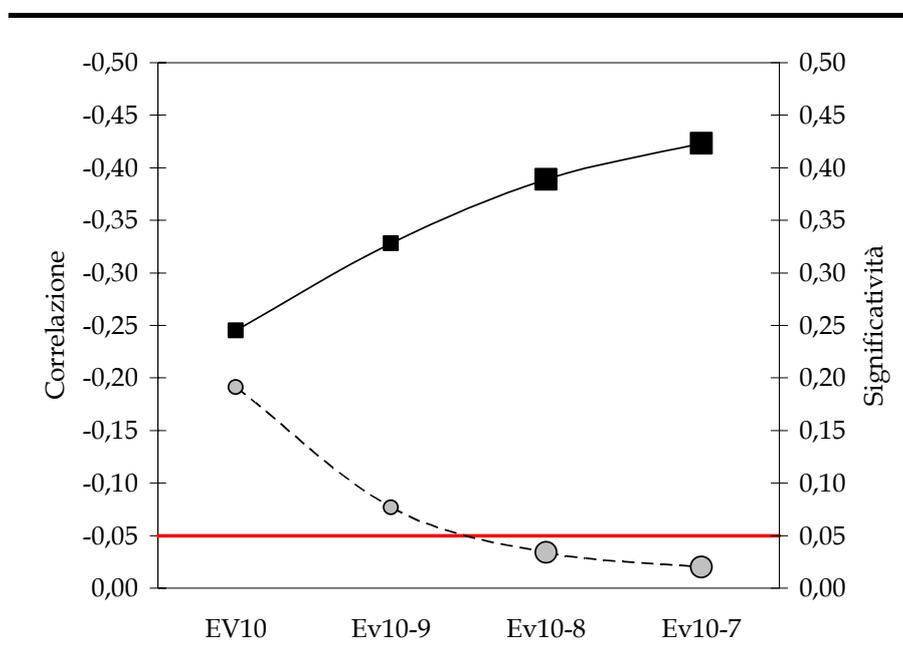


### Effetti del traffico cumulativo

Uno dei possibili meccanismi di azione del disturbo sugli uccelli migratori potrebbe splicarsi attraverso il valore cumulativo del traffico aereo

giornaliero. Nei migratori il tasso di accumulo energetico giornaliero è fortemente legato alla durata dell'attività di foraggiamento (Kvist & Lindström, 2000). Una prolungata esposizione ad una fonte di disturbo provocherebbe un'alterazione del time-budget degli individui ed una conseguente diminuzione del tempo disponibile per l'alimentazione. Per verificare questa ipotesi, sono stati selezionati dei campioni di individui catturati nella medesima fascia oraria. La loro condizione fisiologica è stata quindi messa in relazione al disturbo dell'ora precedente la cattura e, progressivamente al valore cumulativo del disturbo nelle 2, 3 ore precedenti la cattura, fino al raggiungimento del traffico totale della giornata. Per tre delle quattro specie analizzate è stata messa in luce una relazione negativa tra la condizione degli individui ed il traffico cumulativo della giornata fino al momento della cattura. In alcuni casi è stato messo in luce chiaramente come all'aumentare dell'intervallo temporale considerato per il disturbo aereo, ci fosse un aumento del coefficiente di correlazione negativa, fino al raggiungimento di valori significativi. La *Figura 5.4B1.2.1c* mostra l'andamento dei valori di correlazione tra indice di condizione e disturbo aereo e relativa significatività in individui di Pettiroso catturati alle ore 11. È evidente come gli effetti del disturbo si manifestino su un intervallo di 3-4 ore (aumento della correlazione negativa tra disturbo e condizione degli individui e diminuzione della significatività del test al di sotto del valore convenzionale ( $\alpha$ ) di 0,05; EV = numero di movimenti aerei nel periodo indicato).

**Figura 5.4B1.2.1c** *Andamento dei Valori di Correlazione (Quadrati Neri) tra Indice di Condizione e Disturbo Aereo e Relativa Significatività (Cerchi Grigi) in Individui di Pettiroso Catturati alle ore 11*



#### Effetti del traffico nelle ore mattutine

Una delle considerazioni derivata dall'analisi degli effetti del disturbo cumulativo, è stata che il traffico delle prime ore del mattino ha un'influenza notevole sulla condizione degli individui in sosta. Per verificare questa influenza sono stati presi in esame gli individui catturati dalle ore 10 in poi, e

se ne è confrontata la condizione con alcuni parametri del disturbo relativi alle prime ore di traffico (fasce orarie delle 7, delle 8 e delle 9).

I risultati mostrano l'esistenza di una correlazione significativa (in molti casi altamente significativa) tra la condizione degli individui ed il traffico delle prime ore del mattino per tre specie su quattro (Tabella 5.4B1.2.1a). In particolare le correlazioni più alte si riscontrano per il traffico delle ore 8 (Figura 5.4B1.2.1d).

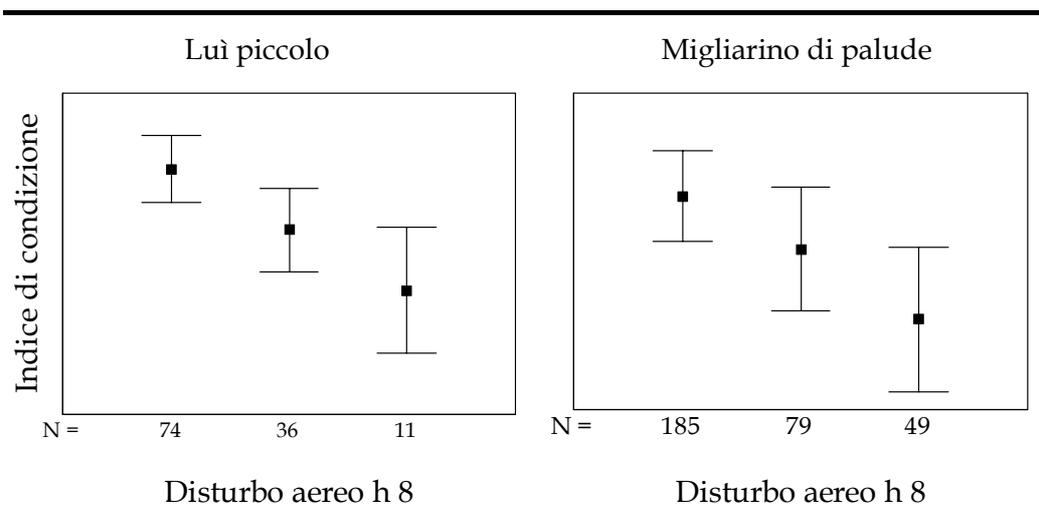
Questa fascia oraria è probabilmente la più sensibile perché si tratta della prima fascia oraria con traffico intenso, tra l'altro caratterizzata ancora da una mobilità relativamente elevata degli uccelli.

**Tabella 5.4B1.2.1a** *Correlazione tra gli Indici di Condizione degli Individui Catturati dalle 10 in avanti e il Numero di Eventi Aerei nelle prime ore della Mattina (da Fornasari e Calvi, 2003)*

Ora	Pettirosso	Cannaiola	Luì piccolo	Migl. di pal.
h 7	-0,076	0,079	-0,180 *	-0,127 *
h 8	-0,212 **	0,012	-0,281 **	-0,176 **
h 9	-0,055	0,034	-0,114	-0,085

\* P<0,05 \*\* P<0,01

**Figura 5.4B1.2.1d** *Relazione tra Indice di Condizione per gli Individui Catturati dalle ore 10 in avanti e il Traffico Aereo nelle ore 8 (da Fornasari & Calvi, 2003; modificato)*



#### Analisi delle autocatture infragiornaliere

La variazione di peso giornaliera viene evidentemente stimata in maniera più precisa se i dati derivano da misure ripetute sullo stesso soggetto. Per aggiungere un riscontro oggettivo alle indicazioni che derivano dalle analisi appena descritte, sono state prese in considerazione le variazioni di peso mostrate dai soggetti catturati e ricatturati nel corso della stessa giornata. L'unica specie per la quale erano disponibili dati sufficienti era il Pettirosso, (41 individui nel corso della migrazione pre-riproduttiva).

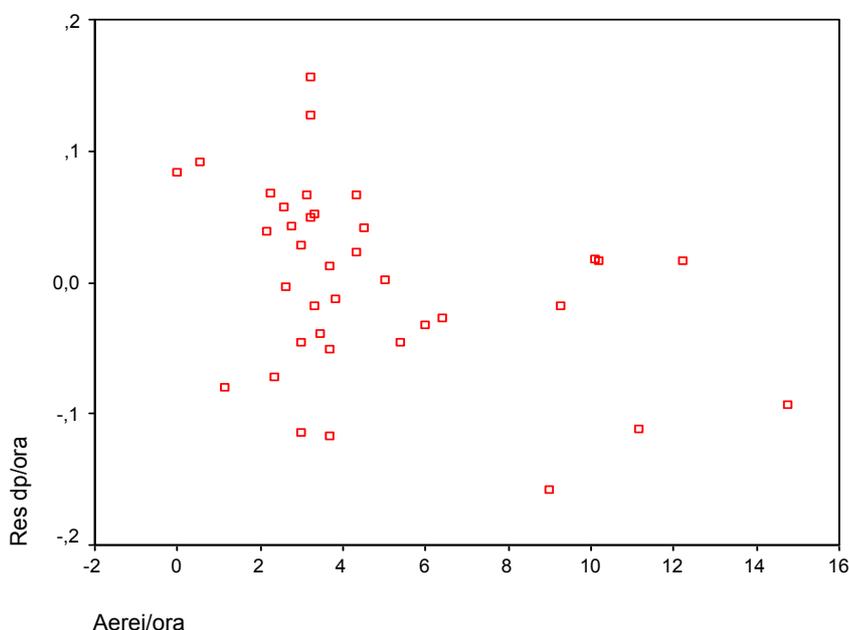
L'ingrassamento giornaliero degli individui in sosta può essere assimilato ad un procedimento lineare (Schaub & Jenni, 2000), fenomeno confermato dai dati raccolti sul campo. Per ogni soggetto è stata quindi calcolata una variazione di peso oraria, così da rendere i dati relativi ai diversi individui

confrontabili tra loro, indipendentemente dall'intervallo di tempo trascorso tra cattura e ricattura.

In modo analogo al calcolo della variazione del peso, anche per il disturbo sono stati ottenuti i valori medi orari relativi agli intervalli tra inanellamento e ricattura.

Questi valori sono stati indipendentemente inseriti come variabili indipendente nel calcolo di una regressione lineare in cui la variabile dipendente era costituita dalla variazione di peso degli individui. Tutti gli indicatori di disturbo hanno mostrato un legame negativo significativo con l'incremento di peso, confermando l'influenza negativa del disturbo sulla capacità di accumulo di peso da parte dei migratori in sosta (Figura 5.4B1.2.1e).

**Figura 5.4B1.2.1e** *Relazione tra il Tasso di Accumulo di Riserve Energetiche (Res dp/ora, in ordinata) e il Traffico Aereo Medio (Aerei/ora, in ascissa) nelle ore comprese tra Inanellamento e Ricattura (da Fornasari & Calvi, 2003)*



#### Osservazioni comportamentali: alterazione del *time budget*

Le variazioni dimostrate dagli indicatori fisiologici a differenti condizioni di disturbo hanno indicato una diminuzione nell'efficacia della sosta. Per comprendere i meccanismi di azione del disturbo sono state effettuate osservazioni comportamentali e analisi dei metaboliti del sangue (vedi oltre). Le osservazioni comportamentali sono state effettuate in entrambe le stagioni migratorie, ma solo quelle relative alla migrazione post-riproduttiva sono state organizzate in modo da poter dar luogo ad adeguati test statistici. In tutto sono state effettuate 89 osservazioni in corrispondenza di eventi aerei, relativamente a 7 specie (3 specie residenti e 4 migratrici). I dati mostrano innanzitutto come la drasticità delle reazioni all'evento aereo sia in qualche modo proporzionale all'intensità del disturbo (test di correlazione di Spearman:  $r_s = 0,341$   $P=0,001$ ), misurata come livello di pressione sonora a terra. La Figura 5.4B1.2.1f mostra l'intensità del disturbo aereo misurata in corrispondenza di differenti risposte comportamentali al passaggio dei

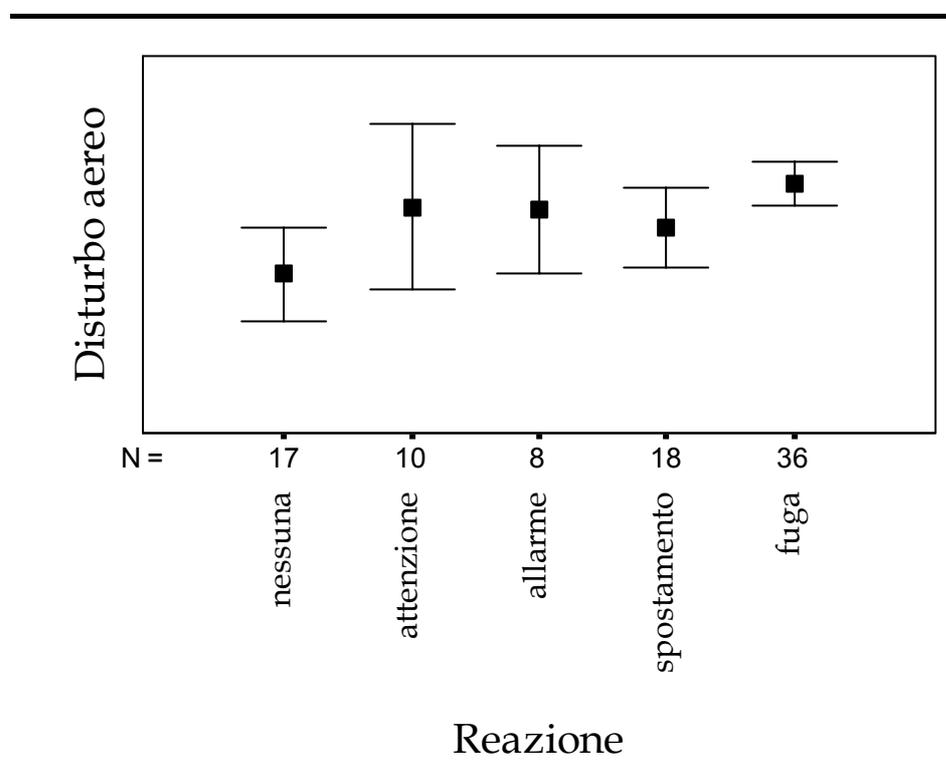
velivoli: è evidente come le reazioni si facciano via via più drastiche al crescere del disturbo provocato dai velivoli.

Un altro importante elemento messo in luce è la differenza di comportamento tra migratori e residenti. I migratori infatti sembrano avere reazioni marcate (come ad esempio la fuga) con frequenze significativamente maggiori rispetto a quanto atteso, al contrario di ciò che accade per le specie residenti. La *Tabella 5.4B1.2.1b* mostra il test del  $\chi^2$  relativo alle reazioni di fuga di cinque specie di Passeriformi al passaggio di un velivolo. L'ipotesi nulla è che gli individui mostrino reazioni di fuga con la stessa frequenza mostrata in situazioni non disturbate. Risulta evidente una differenza di comportamento tra specie migratrici e specie residenti.

Alcuni lavori suggeriscono che i Passeriformi siano in grado di acclimatarsi rispetto a disturbi acustici anche rilevanti e persistenti (ad es. Busnel, 1978). Ciononostante le osservazioni svolte a Gibilterra sul comportamento indotto nei Passeriformi migratori da esercitazioni compiute con jet militari (con effetti di dispersione durante la migrazione notturna primaverile; Hilgerloh, 1990) suggeriscono che il disturbo può sortire in casi estremi effetti drastici.

Come per altri gruppi di uccelli, i nostri dati suggeriscono che gli individui residenti reagiscono al disturbo molto meno di quanto non facciano individui in semplice transito, che non hanno avuto il tempo di "abituarsi" al disturbo. Di conseguenza è possibile che l'alterazione del time-budget sia uno dei meccanismi che influenzano negativamente lo stato fisiologico dei migratori in sosta.

**Figura 5.4B1.2.1f** *Intensità del Disturbo Aereo per Differenti Risposte Comportamentali al Passaggio dei Velivoli (modificato da Fornasari & Calvi, 2003)*



**Tabella 5.4B1.2.1b** Test del  $\chi^2$  relativo alle Reazioni di Fuga di Cinque Specie di Passeriformi al Passaggio di un Velivolo (modificata da Fornasari & Calvi, 2003)

Specie	Status	Valori osservati		Valori attesi		$\chi^2$
		Fuga	No fuga	Fuga	No fuga	
Pettiroso	Migratrice	14	16	8	22	5,15 *
Lui piccolo	Migratrice	20	16	8	28	21,25 **
Cinciarella	Residente	8	12	6	14	2,92 ns
Cinciallegra	Residente	10	8	8	10	0,06 ns
Codibugnolo	Residente	8	12	5	15	1,67 ns

ns P>0,05 \* P<0,05 \*\* P<0,01

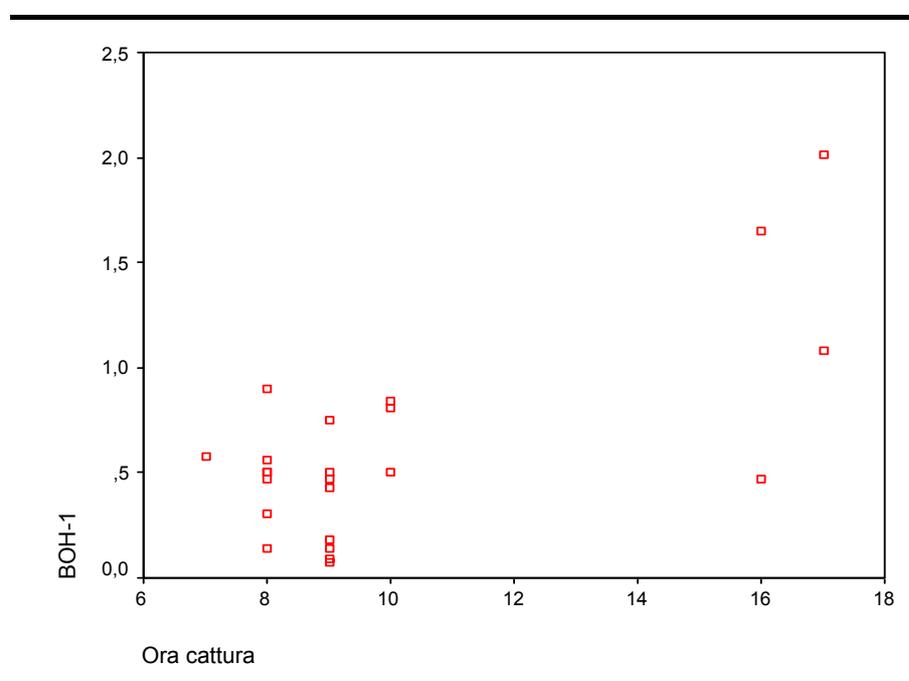
#### Analisi dei metaboliti del sangue

Uno dei possibili meccanismi di azione del disturbo sul tasso di ingrassamento degli uccelli, come già esposto, potrebbe interessare alcuni processi metabolici. Su indicazione della Stazione Ornitologica Svizzera di Sempach sono stati effettuati prelievi di sangue su alcune specie migratrici. Lo scopo era quello di rilevare la concentrazione di due metaboliti la cui concentrazione nel plasma sanguigno riflette il tasso di deposizione del grasso: trigliceridi e  $\beta$ -idrossi-butirato (Jenni-Eiermann & Jenni, 1994). Questi due metaboliti sono, tra i sei testati da Jenni-Eiermann & Jenni (1994), quelli meglio correlati ai cambiamenti di massa nelle ore precedenti la cattura. La maggior parte dei trigliceridi plasmatici si origina direttamente o per sintesi nel fegato dalla dieta e indicano il trasporto di lipidi verso i tessuti periferici (ad es. Robinson, 1970), per cui la loro concentrazione è direttamente correlata ai cambiamenti di massa. Il  $\beta$ -idrossi-butirato è un chetone sintetizzato dagli acidi grassi e rimpiazza il glucosio quando il bilancio energetico è negativo, indicando in sostanza il catabolismo del grasso: la sua concentrazione quindi è correlata negativamente ai cambiamenti di massa. Le analisi erano volta ad individuare la presenza di disturbo di tipo cronico o di tipo puntuale.

Per quanto riguarda il disturbo cronico, i valori di concentrazione dei due metaboliti sono stati correlati a diversi parametri degli individui catturati (peso, grasso, misura dell'ala), al momento della cattura e ad alcuni parametri del disturbo. I trigliceridi non hanno mostrato correlazioni significative con alcun parametro, mentre il modello di regressione che meglio descriveva la concentrazione di  $\beta$ -idrossi-butirato ha conservato due variabili: il peso degli individui ed il numero di voli giornaliero. Considerando che quest'ultimo parametro cresce nel corso della giornata, la sua presenza nel modello di regressione è stata interpretata come indicatrice di un effetto cumulativo del disturbo, così come indicavano le analisi effettuate sugli indici di condizione. Per valutare gli effetti determinati dalle differenze del disturbo nell'intervallo di tempo immediatamente precedente alla cattura, sono stati isolati i dati sui pettirossi soggetti al passaggio di un aereo durante il quarto d'ora precedente al momento della cattura. Le analisi effettuate su questo set di dati hanno dato risultati poco interpretabili per quanto riguarda i trigliceridi, mentre per il  $\beta$ -idrossi-butirato hanno evidenziato il suo legame positivo con l'ora di cattura, quindi, presumibilmente, con il disturbo cumulativo. La Figura 5.4B1.2.1g mostra la relazione tra l'orario di cattura e la concentrazione di  $\beta$ -idrossi-butirato nei Pettirossi catturati alle Bolle di Magadino nell'autunno 2002.

L'aumento del metabolita è stato interpretato come un effetto del disturbo cumulativo del traffico emerso dalle analisi degli indici di condizione. Per quanto riguarda i meccanismi fisiologici quindi, l'esame dei campioni di sangue, seppure relativa a pochi individui di una sola specie (il Pettiroso) suggerisce che possano agire meccanismi collegati al disturbo dovuti a stress cronico, espresso come numero di voli o disturbo acustico fino al momento della cattura. L'andamento mostrato dai livelli di  $\beta$ -idrossi-butirrato, apparentemente paradossale con incremento nel corso della giornata, si può spiegare in maniera speculativa tenendo in considerazione il mancato ingrassamento determinato da questo "stress" cronico, riproponendo per questo catabolita un ruolo di indicatore efficace per le condizioni fisiologiche (tasso di catabolismo del grasso) degli individui in sosta (Schaub e Jenni, 2001).

**Figura 5.4B1.2.1g** *Relazione tra Orario di Cattura e Concentrazione di  $\beta$ -idrossi-butirrato nei Pettirossi catturati alle Bolle di Magadino nell'autunno 2002 (Fornasari & Calvi, 2003)*



#### Frequenza della sosta

Uno dei meccanismi attraverso i quali il disturbo aereo potrebbe influenzare la sosta dei migratori è quello di ridurre la durata. Un individuo in sosta in una determinata area infatti, se sottoposto a livelli elevati di disturbo, potrebbe abbandonare l'area stessa per riprendere il tragitto migratorio o per esplorare ulteriormente le zone limitrofe in cerca di aree ottimali.

Recentemente sono state sviluppate metodologie per l'analisi statistica dei dati di cattura e ricattura con utili applicazioni al calcolo della durata della sosta (Lebreton et al., 1992; Schaub et al., 2001). Queste tecniche richiedono campioni di grandi dimensioni per ottenere i risultati migliori, soprattutto in presenza di covariate, come ad esempio il disturbo aereo.

Si è quindi optato per valutare un altro parametro, collegato alla durata della sosta, cioè la frequenza di individui che decidono di sostare nell'area in esame.

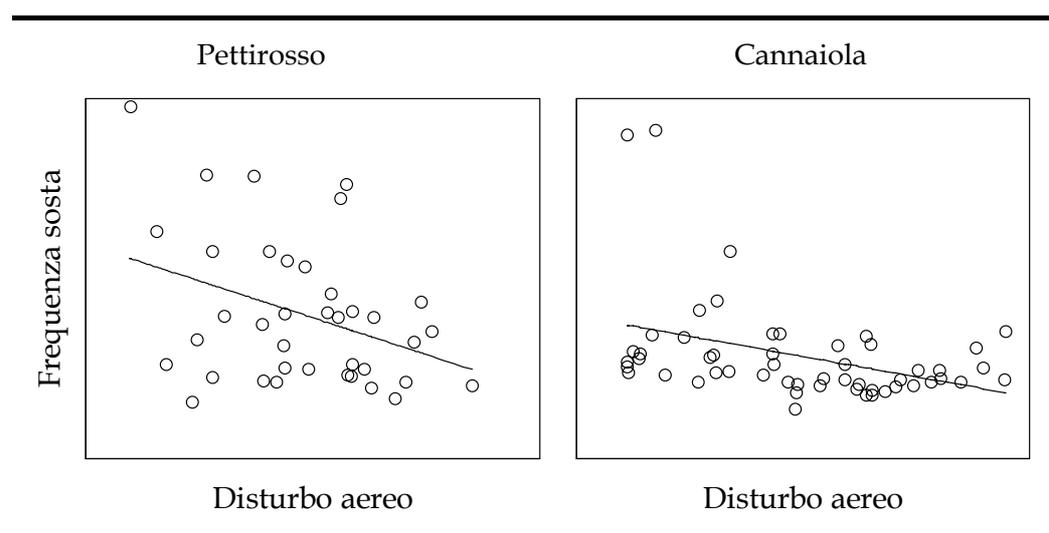
Si è infatti ipotizzato che il disturbo aereo potesse influenzare la “scelta” di un individuo di rimanere o meno nell’area per effettuarvi la sosta.

All’interno del campione di catture di ogni singola giornata, sono quindi stati contati gli individui ricatturati nei giorni successivi ed è stata poi calcolata la loro frequenza (FS) sul totale delle catture giornaliere. Questo parametro è poi stato messo in relazione con il numero di voli della giornata.

Gli unici campioni sufficientemente numerosi per questo tipo di analisi, sono stati quelli relativi al Pettirosso, sia in primavera che in autunno, ed alla Cannaiola in autunno. Assieme all’intensità del traffico aereo, anche le condizioni meteorologiche potrebbero influenzare la frequenza degli individui in sosta. Abbiamo quindi utilizzato l’analisi della covarianza, eliminando la varianza di FS dovuta alle condizioni meteorologiche e calcolando l’influenza del traffico aereo sulla “scelta” operata dagli individui di effettuare o meno una sosta.

I risultati mostrano un legame statisticamente significativo di FS con i parametri del disturbo sia per il Pettirosso che per la Cannaiola relativamente al periodo autunnale (*Figura 5.4B1.2.1h*).

**Figura 5.4B1.2.1h** *Relazione Disturbo Aereo e Frequenza della Sosta tra gli Individui Catturati in una determinata Giornata (modificato da Fornasari & Calvi, 2003)*



### Conclusioni

Lo studio relativo all’impatto del traffico aereo dell’aerodromo cantonale di Locarno sugli uccelli migratori in sosta presso le Bolle di Magadino ha portato diverse evidenze su un reale effetto negativo del traffico aereo sulla sosta dei migratori. Lo studio ha dovuto affrontare la principale difficoltà di isolare l’effetto degli aeromobili da quello dei numerosi altri parametri che in natura agiscono sull’efficacia della sosta, come ad esempio le condizioni meteorologiche (Pilastro & Magnani, 1997), le condizioni di muta (Schaub & Jenni, 2000), le dimensioni degli individui, ecc.

Ciononostante, quasi tutte le analisi effettuate con diverse metodologie, hanno portato supporto alla teoria di un impatto negativo del traffico aereo sull’efficacia della sosta, almeno in alcune delle specie indagate.

Il caso studio di Locarno, costituiva però un caso limite, in cui la traiettoria di decollo e di atterraggio degli aeromobili incrociava l’area umida nelle

immediate vicinanze della pista, quando cioè gli aerei avevano una quota piuttosto bassa e, nella fase di decollo, i motori ai massimi regimi. Lo studio quindi ha dimostrato l'esistenza di disturbo sugli uccelli che si trovano sulla rotta degli aeromobili o poco distanti da essa. Rimane da indagare, quale sia il raggio di azione di questo disturbo. Nello stesso caso di Locarno, l'analisi dei dati di cattura raccolti a poca distanza dalla stazione principale non hanno evidenziato alcuna prova di impatto degli aeromobili sulla sosta degli uccelli. Ciò potrebbe significare che gli effetti del disturbo si manifestano entro un raggio relativamente ridotto dalla fonte del disturbo stesso.

#### 5.4B1.2.2 *Individuazione degli Impatti sull'Avifauna*

Le problematiche esposte in questo paragrafo permettono di dedurre i possibili impatti che l'attuazione del Nuovo Master Plan Aeroportuale di Malpensa potrà avere sull'avifauna. Nella lettura di quanto segue va comunque tenuto conto del fatto che nessuna ricerca specifica è stata effettuata sull'area di Malpensa, per cui le considerazioni sui possibili impatti sono effettuate su base teorica e alla luce delle attuali conoscenze in materia; non sono, infatti, disponibili dati oggettivi sull'impatto dell'attuale configurazione aeroportuale raccolti per mezzo di ricerche mirate nell'area di studio.

I potenziali impatti sull'avifauna verranno suddivisi a seconda che le specie su cui essi agiscono siano nidificanti, svernanti o migratrici nell'area di studio.

##### Avifauna nidificante

Il primo ed evidente impatto del Nuovo Master Plan Aeroportuale di Malpensa è costituito dall'erosione di habitat conseguente alla costruzione della terza pista, delle infrastrutture aeroportuali e delle infrastrutture viarie ad esse connesse. Queste opere andranno, infatti, a consumare porzioni importanti di habitat boschivi e di brughiera, in un territorio già fortemente sottoposto a pressione antropica. Il consumo di habitat naturale, anche se in alcuni casi di qualità mediocre, avrà inoltre come conseguenza l'ulteriore frammentazione degli habitat residui che può portare ad effetti negativi sulle specie nidificanti, come ad esempio un basso tasso riproduttivo (Robinson et al., 1995). Questi temi, che interessano tutti i gruppi faunistici, sono stati trattati in dettaglio nel *Paragrafo 5.4.2.2*.

Uno dei maggiori elementi di disturbo provocato dall'attuazione del Nuovo Master Plan Aeroportuale è indubbiamente quello del rumore. L'incremento del rumore è collegato a diversi aspetti della realizzazione del piano: tra questi i principali sono identificabili nell'incremento del traffico aereo, inteso come numero di voli e come dimensione media degli aeromobili, e in quello del traffico veicolare, su gomma e rotaia, da e per l'aeroporto.

Fenomeni di inquinamento acustico saranno prevedibilmente legati sia alle fasi di cantiere che a quelle di esercizio.

I principali effetti dell'inquinamento acustico, secondo quanto già esposto in questo paragrafo, si possono identificare nella diminuzione della densità delle specie nidificanti, nella diminuzione dei tassi di accoppiamento, del successo

riproduttivo e nella variazione della struttura delle comunità. Restano poi da indagare le conseguenze delle modificazioni comportamentali cui le specie stanno andando incontro proprio a causa della sempre maggiore diffusione di fonti di disturbo acustico che interferiscono sui sistemi di comunicazione sonora degli uccelli. L'alterazione del time-budget degli uccelli può avere conseguenze anche drammatiche sul loro bilancio energetico, ed in ultima analisi, sulla loro sopravvivenza.

Occorre, tuttavia, sottolineare che la realizzazione della terza pista consentirà una redistribuzione del rumore. Inoltre, si assiste ad una costante evoluzione tecnologica, che porterà ad avere, nel futuro, tipologie di velivoli che producono minor disturbo acustico.

Per quanto riguarda il disturbo visivo, esso non potrà far altro che accrescersi in maniera direttamente proporzionale all'incremento di traffico aereo previsto nei prossimi vent'anni. Da un lato è stato dimostrato in diversi casi che le specie, in particolare se legate ad un'area per periodi prolungati, ad esempio durante il periodo di nidificazione o svernamento, sono in grado di adattarsi nel tempo a livelli anche elevati di disturbo acustico e visivo; d'altro canto l'estrema variabilità dei risultati degli studi effettuati suggerisce cautela in merito a questo tema. Non è, infatti, possibile estendere i risultati di tali studi a tutte le situazioni e a tutte le specie.

L'estensione spaziale del disturbo è legata al futuro sviluppo dei collegamenti stradali e ferroviari (*Figura 5.4B1.2.2a* e *Figura 5.4B1.2.2b*) ed alle nuove traiettorie di decollo e di atterraggio. Bisogna considerare che alcuni dei collegamenti di futura realizzazione erano comunque previsti a prescindere dalla realizzazione della terza pista. È comunque indubbio che il previsto sviluppo aeroportuale, oltre ad un incremento del traffico aereo, porterà lungo le arterie stradali e ferroviarie un incremento significativo di traffico veicolare. Da non sottovalutare inoltre lo sviluppo dell'indotto con relativo ulteriore consumo di territorio e aumento delle attività antropiche.

*Figura 5.4B1.2.2a Schema di Futuro Sviluppo dei Collegamenti Stradali*



“abituarsi” al disturbo stesso, senza mostrare segni evidenti di stress (si veda ad es. Fornasari e Calvi, 2003 e lavori lì citati). A ciò va inoltre aggiunto che gli uccelli durante lo svernamento sono molto mobili, per cui una eventuale fonte di disturbo può essere evitata spostandosi in aree più tranquille. Il disturbo provocato dal traffico aereo su queste specie può quindi considerarsi potenzialmente di scarsa entità, ma comunque meritevole di una verifica con dati reali.

Da non trascurare invece il pericolo di collisione, poiché molte delle specie presenti lungo il fiume (ad es. i Laridi) hanno comportamento gregario nel periodo invernale raggruppandosi in grandi stormi anche di migliaia di individui, che compiono spostamenti regolari (anche di centinaia di chilometri) dalle aree di foraggiamento ai dormitori comuni: per questi motivi e per le grandi dimensioni, le specie acquatiche svernanti costituiscono uno dei gruppi maggiormente soggetti a rischio di collisione.

### Avifauna migratrice

Riguardo all'avifauna migratrice in sosta presso l'area di studio, le criticità sono piuttosto differenti rispetto all'avifauna svernante e nidificante. Anche in relazione a queste specie l'erosione e la frammentazione degli habitat naturali costituiscono un evidente fattore negativo, ma quello che si configura come l'aspetto più impattante è quello del disturbo, acustico e visivo, legato al traffico aeroportuale.

La sosta costituisce, infatti, per gli uccelli un momento critico durante il tragitto migratorio. Gli uccelli, esausti dopo un lungo volo di trasferimento necessitano di aree idonee alla ricostituzione delle riserve energetiche, che verranno poi accumulate sotto forma di tessuto adiposo ed utilizzate come carburante per proseguire con successo il tragitto migratorio. Durante la migrazione, soprattutto quella pre-riproduttiva, gli uccelli sono sottoposti a notevoli stress temporali: i primi ad arrivare presso gli areali riproduttivi conseguiranno indubbi vantaggi in termini di qualità del territorio, di qualità del partner e, in ultima analisi, di successo riproduttivo.

La durata complessiva della migrazione è determinata in gran parte dalla durata delle soste: è facile intuire quindi la necessità per gli uccelli migratori di individuare habitat di elevata qualità in cui reintegrare le riserve energetiche nel minor tempo possibile. La presenza di elementi di disturbo in grado di intaccare l'efficacia del foraggiamento e, quindi, la velocità di accumulo del tessuto adiposo costituisce un fattore altamente negativo per gli uccelli migratori.

Questi, infatti, a differenza degli individui svernanti o nidificanti, non hanno il tempo di “assuefarsi” al rumore o al disturbo visivo, imparando che lo stesso non è associato ad un reale pericolo.

Il disturbo provocato dagli aerei si configura quindi come un elemento fortemente negativo in grado di alterare il time-budget degli uccelli in sosta migratoria riducendone l'efficacia nell'alimentazione.

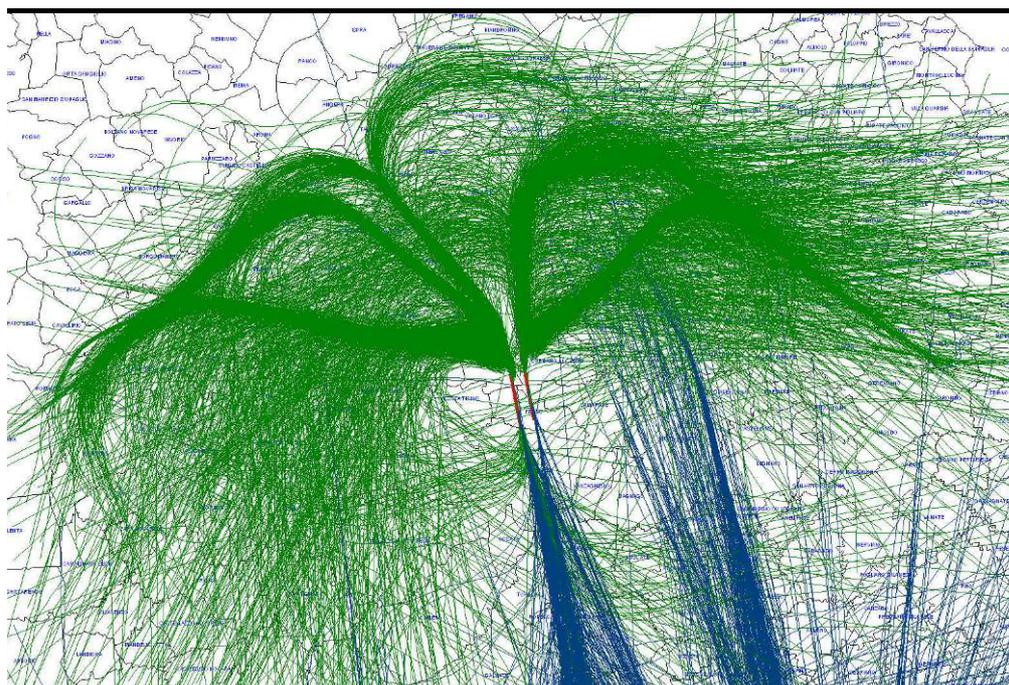
Per quanto riguarda la portata del disturbo nell'area di studio, ancora una volta pare difficile effettuare stime verosimili senza il supporto di un'attività di ricerca specifica su tale fenomeno.

Se il disturbo fosse legato al solo rumore percepito al suolo, una volta individuata la soglia sensibile, sarebbe possibile individuarne il raggio d'azione sulla base delle carte di ricaduta del rumore al suolo.

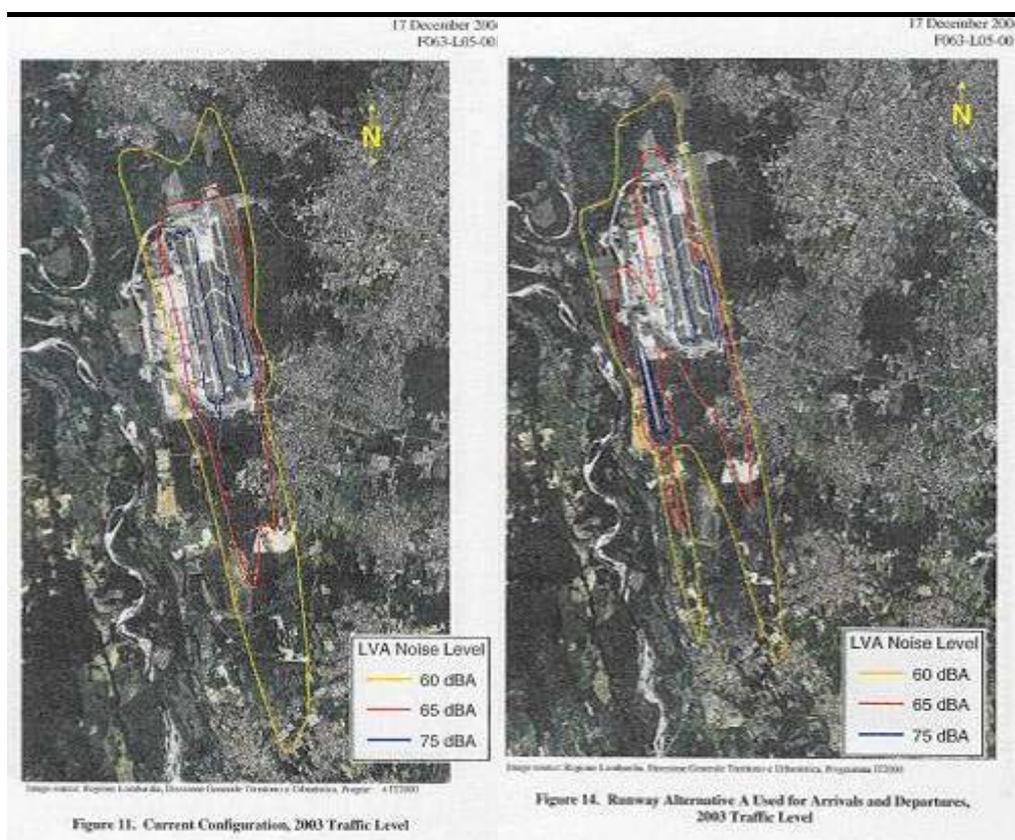
Queste dipendono dalle traiettorie di volo (*Figura 5.4B1.2.2c*) degli aeromobili durante le fasi di decollo e di atterraggio. La nuova configurazione aeroportuale, permettendo una migliore distribuzione dei movimenti aerei, porta ad una riduzione del rumore rispetto alla situazione attuale (*Figura 5.4B1.2.2d*), in particolare nelle aree poste a nord dell'aeroporto.

Un'influenza significativa sul rumore prodotto e, quindi, sul disturbo generato, è data infine dalle caratteristiche tecniche dei velivoli: insieme al numero, anche la tipologia di aerei che effettueranno i nuovi voli presso Malpensa concorrerà a determinare in ultima analisi il disturbo complessivo nell'area dell'aeroporto.

**Figura 5.4B1.2.2c** *Mappe Radar relative alle Traiettorie di Decollo (verde) ed Atterraggio (blu) registrate presso lo scalo di Malpensa nella Settimana più Trafficata del 2007 (dal 21/08 al 27/08)*



**Figura 5.4B1.2.2d** *Curve di Rumore relative alla Configurazione Attuale (Sinistra) e al Nuovo Master Plan Aeroportuale (Destra)*



### 5.4B1.2.3 *Utilizzo dei Dati di Inanellamento per la Valutazione dell'Impatto di Malpensa sulla Sosta degli Uccelli Migratori*

In questa sezione si cercherà di valutare il possibile impatto del disturbo associato al traffico aereo di Malpensa sulla sosta degli uccelli migratori. A questo scopo si utilizzeranno i dati raccolti nell'ambito del progetto Interreg IIIA "Azioni coordinate e congiunte per il controllo a lungo termine della biodiversità" nella stazione ornitologica Dogana, situata nel comune di Vizzola Ticino (Long. 8° 41'; Lat. 45° 36') ad una distanza in linea d'aria di poco superiore ad 1 km dal sedime aeroportuale di Malpensa (*Figura 5.4B1.2.3a*). Il progetto è stato attivo nel 2005 e 2006 e ha visto la partecipazione di FaunaViva tra i partner di parte italiana, con il compito di coordinatore scientifico.

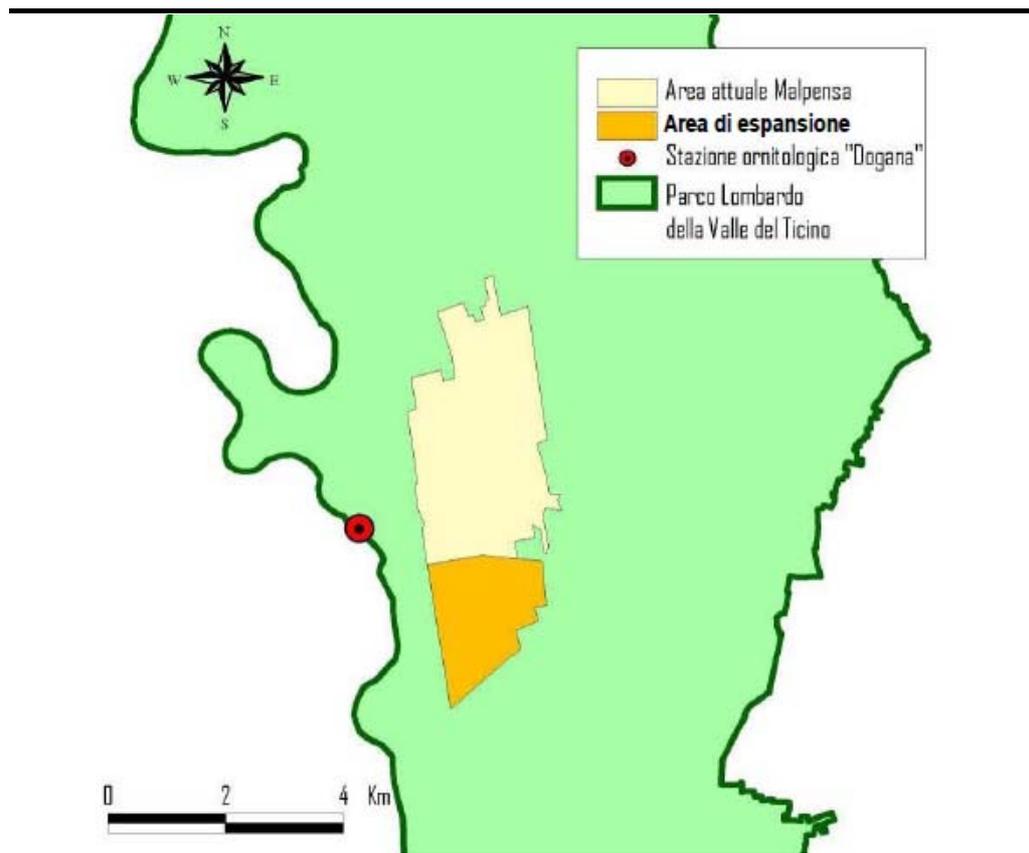
I dati relativi al traffico aereo sono stati forniti da SEA.

Le analisi riportate in questa sezione sono state condotte seguendo principalmente la metodologia proposta da Fornasari e Calvi (2003) nell'analisi dell'impatto dell'Aerodromo cantonale di Locarno (CH) sull'avifauna migratrice in sosta presso l'area naturale delle Bolle di Magadino (CH).

Vanno tuttavia ricordate alcune differenze fondamentali con quella situazione di studio: in primo luogo, nello studio svizzero, l'area naturale presso la quale venivano effettuate la cattura e l'inanellamento degli uccelli, si trovava lungo la traiettoria di decollo e di atterraggio dei velivoli in partenza da una delle piste dell'aerodromo; trattandosi inoltre di uno studio dedicato, per ogni movimento aereo furono raccolti dati sulla rumorosità percepita al suolo, furono effettuate stime sull'altezza di volo in corrispondenza dell'impianto di cattura e furono raccolte informazioni sulle traiettorie di volo.

Le analisi presentate in questa sezione non sono il frutto di uno studio dedicato, e nella situazione analizzata non si incontrano le condizioni presenti nello studio svizzero: in primo luogo l'area di studio non è collocata lungo le principali traiettorie di volo dei velivoli in arrivo e in partenza dall'aeroporto di Malpensa. In secondo luogo, i dati sul traffico aereo sono molto generici e con un grado di dettaglio insufficiente per poter ottenere risultati significativi. Questo lavoro va quindi interpretato come un possibile modello di analisi da cui partire per impostare futuri monitoraggi degli effetti della presenza dell'aeroporto sull'avifauna migratrice in transito attraverso il Parco del Ticino.

**Figura 5.4B1.2.3a** Localizzazione della Stazione Ornitologica Dogana rispetto al Sedime dell'Aeroporto di Malpensa



Le variabili che influiscono sull'efficacia della sosta dei migratori sono molteplici e spesso agiscono simultaneamente rendendo difficile la chiara identificazione dei singoli contributi al risultato finale. Uno degli elementi che sicuramente influisce sul tasso di accumulo di riserve energetiche è costituito dalle condizioni meteorologiche. Per alcune specie migratrici è stato dimostrato che esse influenzano sensibilmente l'accumulo di tessuto adiposo. Pilastro & Magnani (1997) ad esempio evidenziano come, in un periodo di ingrassamento pre-migratorio, riserve adipose inferiori fossero associate a condizioni atmosferiche sfavorevoli (bassa umidità e basse temperature) in un migratore trans-sahariano (Rondine *Hirundo rustica*).

Per migliorare il potere descrittivo dei modelli statistici sono quindi stati considerati anche alcuni parametri meteorologici, come temperatura e ventosità. I dati meteorologici utilizzati sono stati raccolti nella centralina di rilevamento Somma Lombardo-Malpensa e sono stati forniti da ARPA Lombardia.

Scopi precipi delle operazioni di inanellamento condotte nell'ambito del progetto Interreg erano la descrizione del fenomeno migratorio nell'area di studio e lo studio dell'ecologia della sosta, con particolare riferimento alla componente vegetale nella dieta dei migratori notturni. L'attività è stata condotta durante le migrazioni pre- e post-riproduttiva: di seguito, in *Tabella 5.4B1.2.3a* sono riportati i periodi di apertura dell'impianto.

**Tabella 5.4B1.2.3a** *Periodi di Apertura della Stazione Ornitologica Dogana Anni 2005 e 2006*

Anno	Migrazione pre-riproduttiva	Migrazione post-riproduttiva
2005	17 marzo - 5 maggio	19 agosto - 27 ottobre
2006	17 marzo - 15 maggio	29 agosto - 10 novembre

Nel corso delle operazioni di inanellamento sono stati inanellati complessivamente 3595 uccelli appartenenti ad 80 specie. Le ricatture di uccelli già inanellati nella stessa stazione sono state in tutto 816, relativamente a 494 individui appartenenti a 40 specie. Le ricatture di individui inanellati in altre stazioni sono state 9 ed hanno interessato 6 specie. Target principale delle catture effettuate con reti mist-net sono gli uccelli appartenenti all'ordine dei Passeriformi. Ai fini della presente analisi sono stati considerati i dati relativi alle specie più abbondanti e prevalentemente migratrici nell'area di studio. Sono quindi state selezionate 10 specie. Uno schema riassuntivo dei dati selezionati è riportato in *Tabella 5.4B1.2.3b*.

**Tabella 5.4B1.2.3b** *Quadro Riassuntivo dei Dati Utilizzati per le Analisi sulle Specie Migratrici maggiormente Catturate nel Periodo 2005-2006 nella Stazione Ornitologica "Dogana"*

Specie	2005				2006				Tot.
	Primavera		Autunno		Primavera		Autunno		
	Inan.	Ric.	Inan.	Ric.	Inan.	Ric.	Inan.	Ric.	
Passera scopaiola	12	9	53	10	3	4	45	19	155
Pettiroso	60	17	152	75	77	20	124	77	602
Stiaccino	51	18	50	12	185	13	31	14	374
Tordo bottaccio	17	-	82	2	17	-	23	1	142
Beccafico	1	-	69	15	6	-	16	3	110
Capinera	130	23	190	22	50	10	128	21	574
Lui piccolo	23	-	131	11	25	3	164	35	392
Balia nera	1	-	40	1	6	-	28	1	77
Averla piccola	3	-	79	28	41	1	21	1	174
Migliarino di palude	8	-	40	1	9	-	24	2	84
<b>Totale</b>	<b>306</b>	<b>67</b>	<b>886</b>	<b>177</b>	<b>419</b>	<b>51</b>	<b>604</b>	<b>174</b>	<b>2684</b>

I dati sul traffico aereo forniti da SEA interessano i mesi da marzo a maggio e da agosto a settembre del 2005 e 2006. I voli complessivi registrati per questo periodo sono 281.453: 134.130 nel 2005 e 147.323 nel 2006, con un incremento del 9,8 % dal 2005 all'anno successivo (*Tabella 5.4B1.2.3c*).

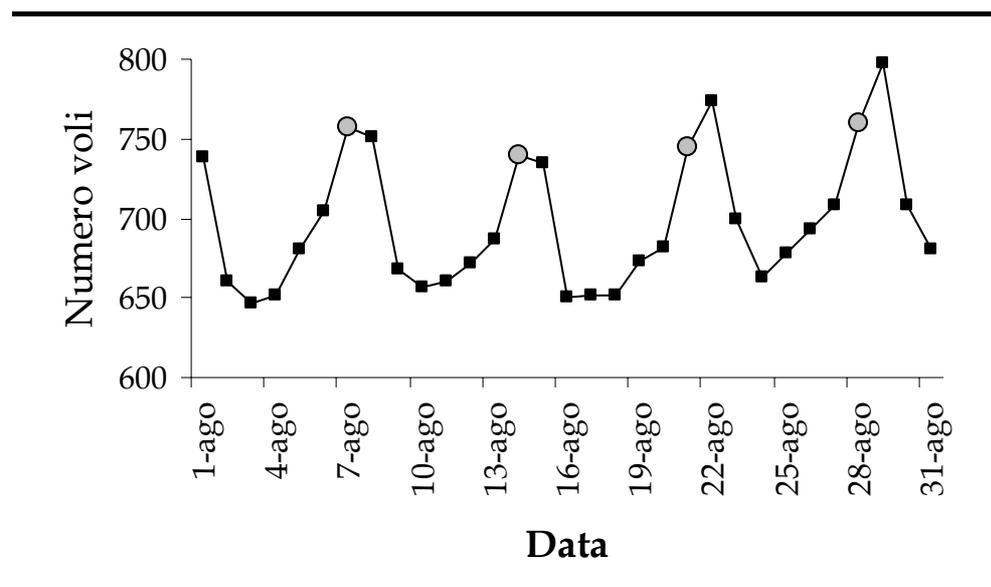
**Tabella 5.4B1.2.3c** *Movimenti Aerei Totali Registrati a Malpensa nel Periodo di Indagine*

Mese	2005			2006			Totale complessivo
	Part.	Arr.	Tot.	Part.	Arr.	Tot.	
Marzo	9089	9083	18172	9880	9923	19803	37975
Aprile	9281	9275	18556	10068	10018	20086	38642
Maggio	9669	9681	19350	10664	10669	21333	40683
Agosto	10808	10812	21620	11669	11652	23321	44941
Settembre	9887	9886	19773	10912	10920	21832	41605
Ottobre	9540	9538	19078	10531	10532	21063	40141
Novembre	8790	8791	17581	9940	9945	19885	37466
<b>Totale</b>	<b>67064</b>	<b>67066</b>	<b>134130</b>	<b>73664</b>	<b>73659</b>	<b>147323</b>	<b>281453</b>

Il traffico aereo ha un andamento crescente da marzo ad aprile; tra quelli analizzati, agosto è il mese in cui si verifica il picco di movimenti. A partire da settembre il traffico decresce regolarmente fino a novembre.

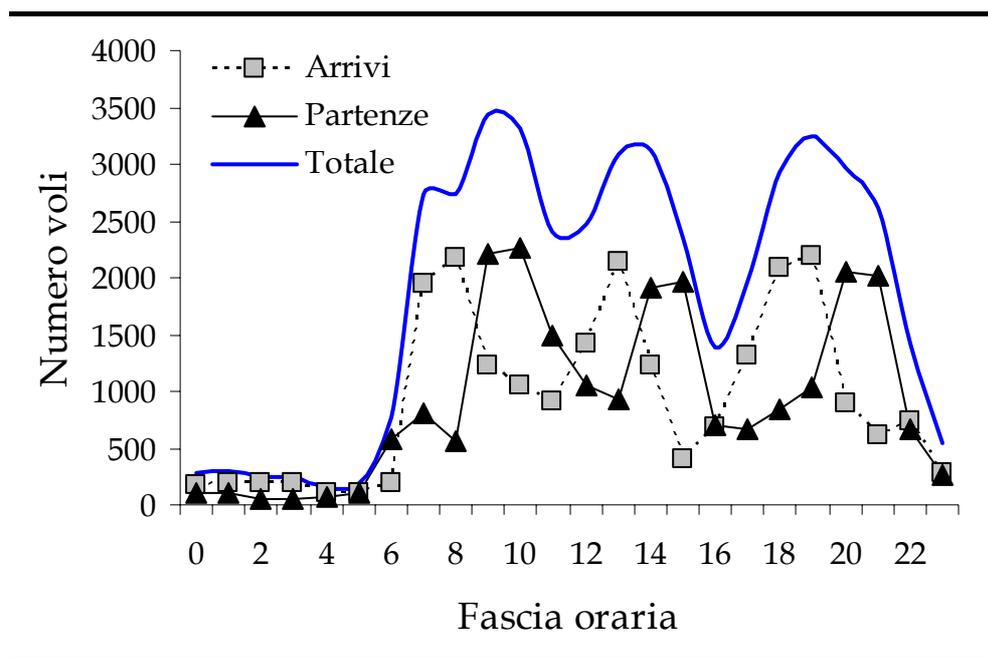
Per quanto riguarda invece la distribuzione dei voli nelle varie giornate, si registra un picco di movimenti a cavallo del fine settimana. In particolare le giornate con il maggior numero di decolli ed atterraggi sono la domenica ed il lunedì (*Figura 5.4B1.2.3b*).

**Figura 5.4B1.2.3b** *Andamento del Traffico Aereo nell'Aeroporto di Malpensa, Mese di Agosto 2005 (quadrati neri = giorni feriali, cerchi grigi = domeniche)*



Nel corso della giornata i voli sono concentrati perlopiù tra le ore 7 e le ore 21 (*Figura 5.4B1.2.3c*). I decolli e gli atterraggi hanno tre picchi alternati, con il risultato che il numero totale dei movimenti si mantiene costantemente elevato.

Figura 5.4B1.2.3c *Andamento Orario dei Voli nell'Aeroporto di Malpensa, Mese di Agosto 2005*



Nel complesso sono riportati dati per 127 modelli aerei: 110 nel 2005 e 113 nel 2007. Otto soli modelli hanno un'incidenza percentuale di movimenti superiore al 2,5% del totale. Questi 8 modelli rappresentano nel complesso il 68,1% del traffico totale.

Il primo passaggio operato sui dati aerei è stato quello di esprimere tutti gli orari in orario solare. È questo infatti quello utilizzato solitamente nelle operazioni di cattura ed inanellamento. I dati sono poi stati organizzati per data e per fascia oraria. Per ogni fascia oraria relativa ad una determinata giornata, sono stati ricavati inizialmente tre parametri: il numero di decolli, il numero di atterraggi e quello dei movimenti totali. Poiché potrebbe intercorrere un certo lasso di tempo tra il momento in cui il disturbo agisce e quello in cui si manifestano i suoi effetti, abbiamo calcolato anche il disturbo nelle fasce orarie precedenti quelle di rilevamento, arrivando fino a due ore prima.

Fornasari & Calvi (2003) hanno dimostrato la presenza di un possibile effetto cumulativo del disturbo sui migratori in sosta. Per indagare questo fenomeno è stato quindi calcolato il traffico aereo cumulativo nelle ore precedenti la cattura, andando a ritroso nella giornata fino alle prime ore del mattino. Per ogni variabile è stato infine calcolato il traffico cumulativo dalle ore 5 solari alla fascia oraria precedente.

Il quadro riassuntivo dei parametri del rumore utilizzati nelle analisi statistiche è riportato in *Tabella 5.4B1.2.3d*.

**Tabella 5.4B1.2.3d Quadro Riassuntivo dei Principali Parametri del Disturbo Aereo Calcolati per ogni Fascia Oraria di Ogni Giornata del Periodo di Indagine**

Codice variabile	Spiegazione
A, D, Voli	Numero di arrivi, partenze e voli totali nella fascia oraria
A_pr, D_pr, Voli_pr	Numero di arrivi, partenze e voli totali nella fascia oraria precedente
A_2pr, D_2pr, Voli_2pr	Numero di arrivi, partenze e voli totali nella fascia oraria di due ore precedente
A_pr02, D_pr02, Voli_pr02	Numero di arrivi, partenze e voli totali nelle due fasce orarie precedenti
A_pr03, D_pr03, Voli_pr03	Numero di arrivi, partenze e voli totali nelle tre fasce orarie precedenti
....	....
A_cum, D_cum, Voli_cum	Numero di arrivi, partenze e voli totali dalle ore 5 solari alla fascia oraria precedente

Per quanto riguarda i dati meteorologici, le due variabili considerate sono quelle della temperatura e del vento. ARPA Lombardia ha messo a disposizione un *database* con i dati orari della temperatura nel periodo da marzo a novembre. Non vi è stata la necessità di esprimere questi dati in relazione all'orario solare poiché da essi sono stati ricavati parametri descrittivi dell'intera giornata, e non delle singole fasce orarie.

Il primo parametro considerato è stata la temperatura. Per ogni giornata sono stati calcolati tre parametri: la temperatura massima (T\_Max), quella minima (T\_Min) e quella media (T\_Med). Poiché vi sono alcuni dati mancanti nel database originale sono stati considerate utilizzabili ai fini delle analisi le giornate che incontrassero i seguenti requisiti:

- per T\_Max: presenza di almeno un dato nella fascia compresa tra le h 15 e le 16; è infatti in queste fasce che le temperature raggiungono i valori massimi (*Figura 5.4B1.2.3d*);
- per T\_Min: presenza di almeno due dati nella fascia compresa tra le h 5 e le h 7, poiché qui si registrano le temperature minime (*Figura 5.4B1.2.3d*);
- per T\_Med: presenza di almeno 20 dati giornalieri.

Questo procedimento ha tuttavia portato alla sola esclusione di 5 dati (per ognuna delle tre variabili) nel periodo compreso tra l'1 marzo ed il 30 novembre di 2005 e 2006.

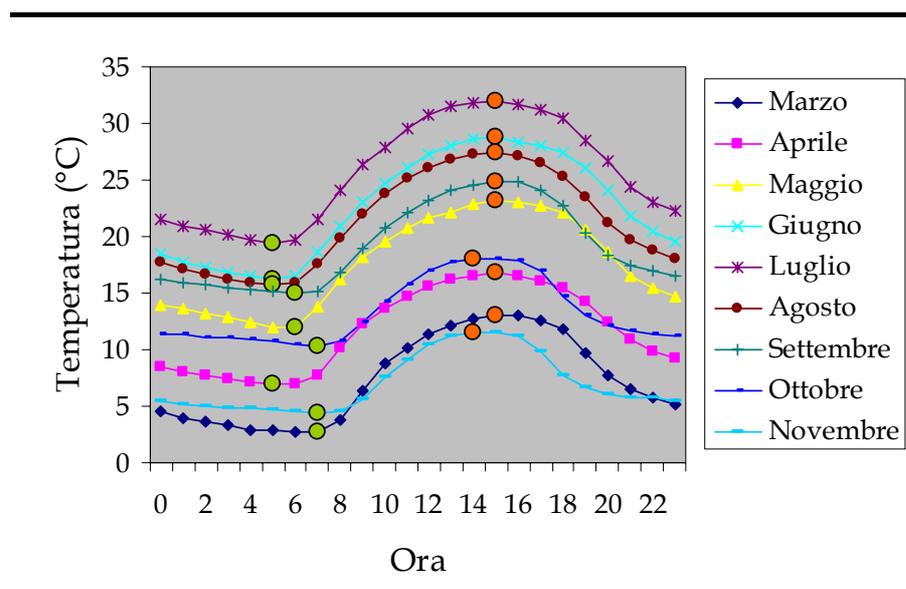
L'andamento dei valori di T\_Max, T\_Min e T\_Med nei due anni di studio è illustrato nelle *Figure 5.4B1.2.3e* e *5.4B1.2.3f*.

Spesso non è il valore assoluto della temperatura ad influenzare il bilancio energetico degli individui, piuttosto è la sua deviazione dal trend stagionale (Fornasari & Calvi, 2003). È stato quindi deciso di utilizzare questa grandezza nelle analisi effettuate. Statisticamente la deviazione della temperatura dal trend in atto viene calcolata individuando una funzione che descriva nel miglior modo possibile l'andamento stagionale della temperatura stessa e calcolando l'errore residuo del modello rispetto ai dati osservati. La temperatura ha un andamento crescente da gennaio-febbraio fino a luglio, per poi tornare a diminuire nei mesi successivi. Nel periodo considerato (marzo-novembre) questo andamento è assimilabile ad una funzione quadratica. È

stato quindi deciso di utilizzare questa funzione per ricavare i valori residui. Abbiamo lavorato nel contesto di una regressione lineare utilizzando come variabili dipendenti di volta in volta T\_Max, T\_Min e T\_Med (relativi a 2005 e 2006) e come variabili indipendenti la data espressa come numero progressivo dall'inizio dell'anno ed il suo valore al quadrato.

I modelli di regressioni ottenuti descrivono effettivamente molto bene l'andamento della temperatura, spiegando una percentuale di varianza compresa tra il 72,8% e l'84,3% (Tabella 5.4B1.2.3e).

**Figura 5.4B1.2.3d** *Andamento Medio Orario della Temperatura Registrata a Malpensa nel Periodo di Indagine (Cerchi verdi = valori minimi giornalieri; cerchi arancio = valori massimi giornalieri)*



**Figura 5.4B1.2.3e** *Andamento dei Valori di Temperatura Registrati a Malpensa nel 2005*

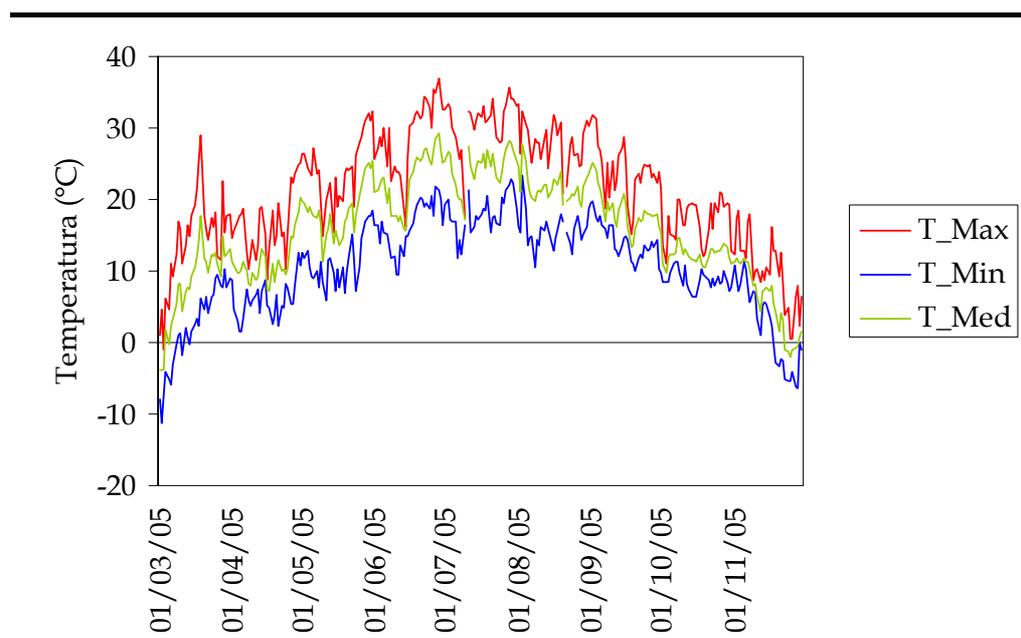


Figura 5.4B1.2.3f *Andamento dei Valori di Temperatura Registrati a Malpensa nel 2006*

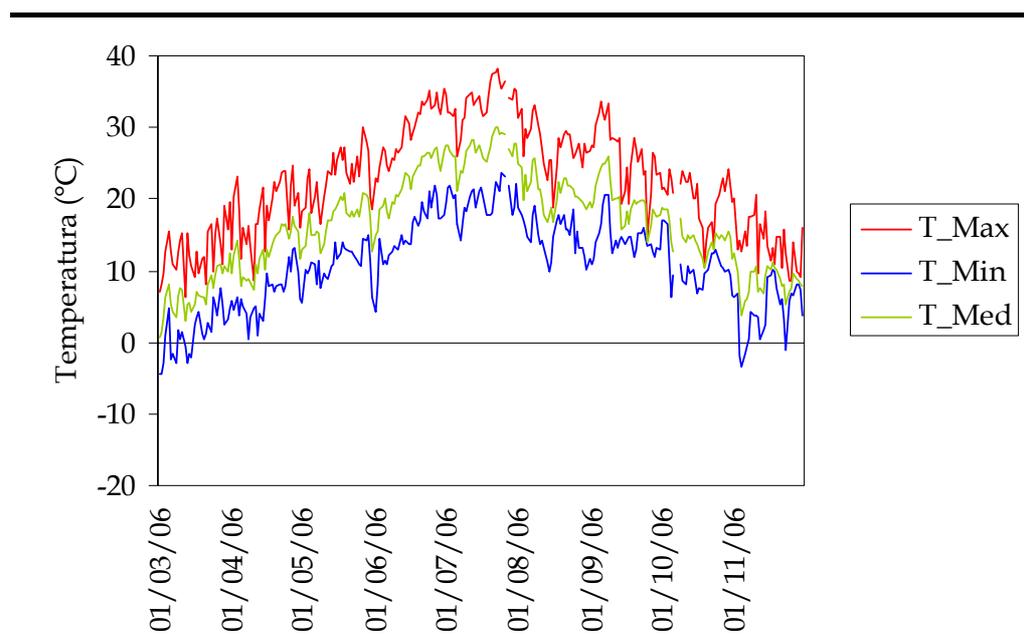


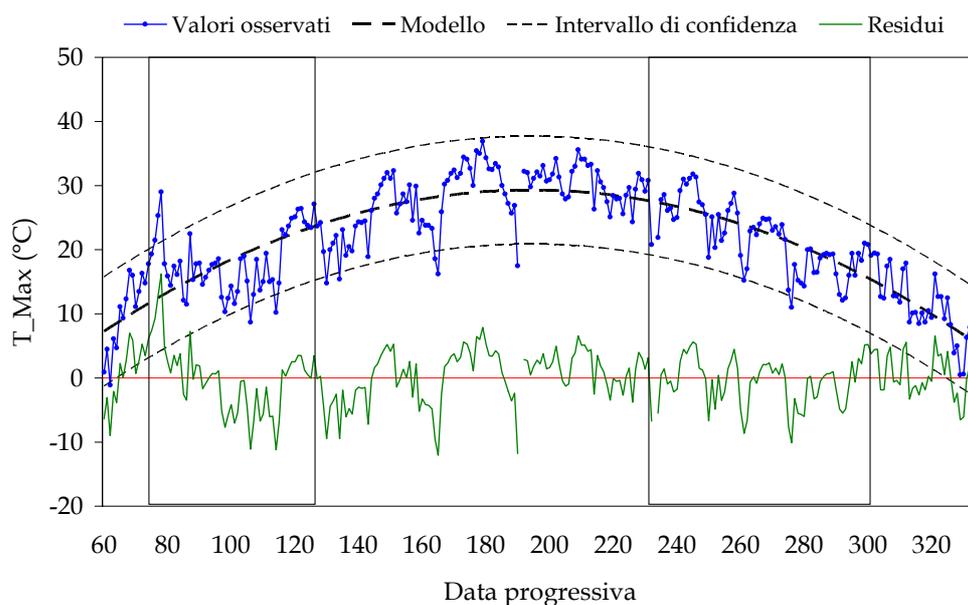
Tabella 5.4B1.2.3e *Modelli di Regressione della Temperatura (Massima, Minima e Media) rispetto alla data. I residui ottenuti da questi modelli sono stati utilizzati come variabili indicative della temperatura (RES\_MAX, RES\_MED, RES\_MIN) nelle analisi successive*

Variabile	Modello				Stime parametri		
	R <sup>2</sup>	F	g.l.	Sig.	K	b1	b2
2005							
T_Max	0,728	362,105	2 , 270	<<0,001	-16,903	0,476	-0,001
T_Min	0,810	574,201	2 , 270	<<0,001	-25,939	0,429	-0,001
T_Med	0,828	651,928	2 , 270	<<0,001	-21,862	0,461	-0,001
2006							
T_Max	0,785	490,13	2 , 269	<<0,001	-17,571	0,477	-0,001
T_Min	0,763	433,396	2 , 269	<<0,001	-23,269	0,389	-0,001
T_Med	0,843	721,164	2 , 269	<<0,001	-21,017	0,442	-0,001

Per esplicitare il significato di questa operazione si potrebbe dire che individuare i residui di un modello rispetto ai dati reali equivale a considerare il proprio modello come asse di riferimento; il residuo del modello di regressione non è altro che la distanza del modello dai valori osservati. Nei punti in cui i valori osservati sono maggiori rispetto a quelli previsti dal modello i residui hanno valore positivo, altrimenti il valore è negativo (Figura 5.4B1.2.3g). In questo modo si elimina la variazione della temperatura dovuta al procedere della stagione e si considera solo quella dovuta a fattori contingenti.

I residui individuati diventano quindi le nuove variabili che saranno utilizzate nelle analisi. Essi saranno indicati con le sigle RES\_MAX, RES\_MIN e RES\_MED.

Figura 5.4B1.2.3g *Illustrazione Grafica del Concetto di Residuo della Regressione, Temperature Massime Registrate nel 2005*

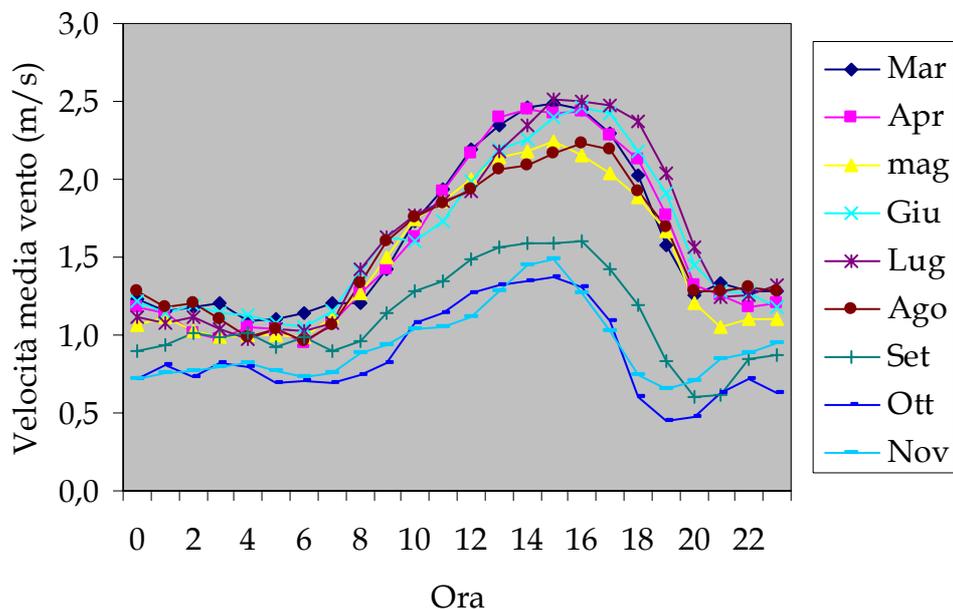


La seconda variabile meteorologica considerata è costituita dal vento. I dati ARPA, anch'essi su base oraria, contengono informazioni sia sulla velocità, sia sulla direzione di provenienza. Un parametro molto importante per quanto riguarda la sosta dei migratori è dato dalla risultante del vento lungo l'asse principale di migrazione. I migratori tendono, infatti, ad interrompere la sosta e a riprendere il volo migratorio soprattutto con condizioni di vento favorevole (Schaub et al., 2004; Dänhardt & Lindström, 2001). L'obiettivo principale del presente lavoro è tuttavia l'analisi dell'efficacia della sosta dal punto di vista del tasso di ingrassamento dei migratori. L'unica variabile considerata è stata quindi la velocità media giornaliera del vento, partendo dall'ipotesi che condizioni di vento intenso possano parzialmente inibire l'attività di foraggiamento o, perlomeno, limitarne l'efficacia.

Per il calcolo della velocità media giornaliera del vento sono state considerate le giornate con almeno 10 dati orari disponibili. Anche per il vento sono state scartate 5 sole giornate sul periodo marzo-novembre 2005-2006.

Le analisi esplorative effettuate sul set di dati hanno permesso di evidenziare i *pattern* di variazione della ventosità nel corso della giornata e delle stagioni. Dividendo la giornata in quattro periodi di 6 ore, si evidenzia come il vento raggiunga i valori massimi in corrispondenza del terzo quarto (dalle h 12 alle h 18 - Figura 5.4B1.2.3h).

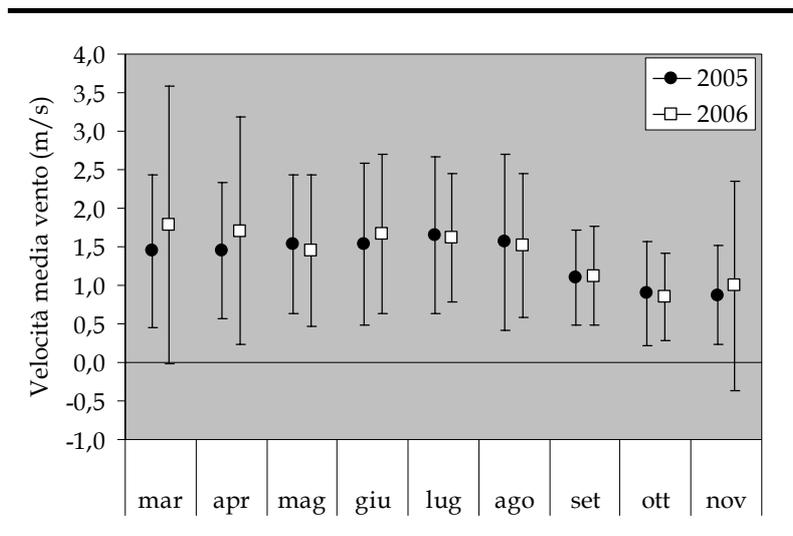
Figura 5.4B1.2.3h *Andamento Orario della Velocità Media del Vento nei Mesi da Marzo a Novembre secondo i Valori Registrati nella Stazione Meteorologica di Malpensa dal 2005 al 2006*



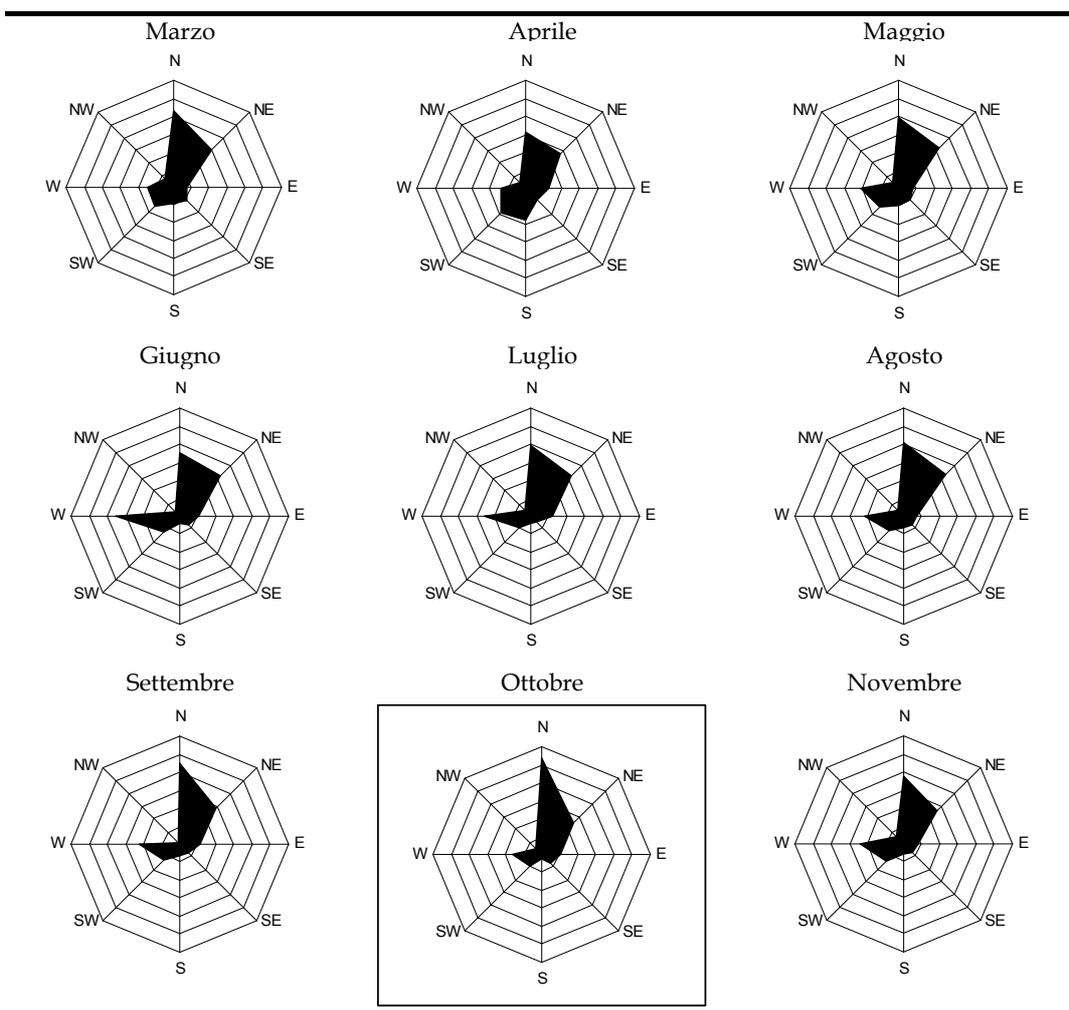
La variazione della velocità del vento nel corso dell'anno mostra invece pattern più complessi, con un'elevata variabilità di valori, testimoniata dall'ampiezza delle barre di dispersione di *Figura 5.4B1.2.3i*. Risulta comunque evidente una diminuzione generale dell'intensità del vento nel periodo settembre-novembre.

Per quanto riguarda infine la direzione di provenienza è stata rilevata la presenza di due componenti: una, prevalente, da nord-est, ed una, minore, da ovest (*Figura 5.4B1.2.3j*). Questa situazione rimane praticamente inalterata nel corso dei mesi.

**Figura 5.4B1.2.3i** *Andamento Mensile della Velocità Media del Vento da Marzo a Novembre secondo i Valori Registrati nella Stazione Meteorologica di Malpensa dal 2005 al 2006 (le barre di errore rappresentano la deviazione standard)*



**Figura 5.4B1.2.3j** *Grafici Radar Illustranti la Direzione di Provenienza del Vento Registrata a Malpensa nei Mesi da Marzo a Novembre (dati espressi come numero di ore in cui il vento proveniva da una certa direzione)*



### Disturbo nell'ora precedente la cattura

La prima analisi effettuata sui dati a disposizione è stata indirizzata a mettere in luce l'eventuale effetto del disturbo aereo nelle ore immediatamente precedenti la cattura. Poiché lo stato di muta influenza il tasso di accumulo di riserve energetiche (Schaub & Jenni, 2000), dai dati di cattura iniziali sono stati eliminati gli individui in muta. In questa analisi sono inoltre stati considerati solo i dati relativi all'inanellamento degli uccelli e non quelli relativi alle successive ricatture: gli individui presenti nell'area da più tempo hanno infatti avuto più tempo per alimentarsi e si trovano in una condizione sicuramente migliore rispetto ad individui appena giunti nell'area.

Le analisi sono state condotte separatamente in anni e stagioni diverse per le specie con campioni non inferiori alle 40 unità: sono quindi stati presi in considerazione 21 campioni di dati (7 primaverili e 14 autunnali).

La tecnica di analisi utilizzata è stata quella della regressione lineare multipla con modalità *stepwise* per la selezione delle variabili (Field, 2005). La regressione *stepwise* è un tipo di analisi che permette di descrivere la varianza della variabile dipendente grazie a differenti variabili predittive. Nel nostro caso la variabile dipendente è costituita dalla massa degli individui (PESO). La regressione lineare è un test parametrico e richiede quindi alcune condizioni relativamente alla variabile dipendente. Tra queste vi è la sua distribuzione normale, per cui la variabile PESO è stata sottoposta a test per la verifica della normalità (Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk). Poiché in diversi casi l'assunto della distribuzione normale non era rispettato, si è scelto di provare ad utilizzare una seconda variabile, costituita dalla massa corretta per la taglia strutturale, rappresentata in questo caso dalla misura della terza penna remigante (P\_3A). Le due variabili sono inoltre state sottoposte ad alcune trasformazioni comunemente usate per normalizzare i dati: per entrambe sono stati calcolati il logaritmo naturale (LN\_P e LN\_P3A) e la radice quadrata (RQ\_P e RQ\_P3A).

I risultati dei test per la verifica della distribuzione normale sono illustrati in *Tabella 5.4B1.2.3f*. Si è scelto di utilizzare per le analisi la variabile che rispettasse nel maggior numero di casi l'assunto di una distribuzione normale: questa era LN\_P, con 14 casi su 21. Abbiamo poi cercato tra i rimanenti 7 casi quale altra variabile soddisfacesse tale assunto nel maggior numero di casi. Questa era LN\_P3A, con 3 casi. In 4 casi invece nessuna delle sei variabili rispettava l'assunto della distribuzione normale: per questi campioni si è scelto di utilizzare comunque LN\_P come variabile dipendente, ma i risultati delle analisi vanno considerati con cautela.

Oltre alle variabili originali (Peso e Peso/3a remigante) sono state considerate (vedi *Tabella 5.4B1.2.3f*) anche alcune loro trasformazioni (logaritmica LN e radice quadrata RQ). La lettera N in *Tabella* indica che il test ha evidenziato una distribuzione normale dei dati; le caselle bordate indicano le variabili dipendenti selezionate per le analisi.

**Tabella 5.4B1.2.3f Risultati dei Test per la Valutazione della Distribuzione nelle Variabili Dipendenti Considerate nelle Analisi**

Stagione	Specie	PESO	P_3A	LN_P	RQ_P	LN_P3A	RQ_P3A
P05	Pettiroso	N	N	N	N	N	N
	Stiaccino	N	N	N	N	N	N
	Capinera	N	N	N	N	N	N
A05	Passera scopaiola	-	-	N	-	-	-
	Pettiroso	-	-	-	-	-	-
	Stiaccino	-	-	-	-	-	-
	Tordo bottaccio	N	N	N	N	N	N
	Beccafico	-	-	-	-	-	-
	Capinera	N	N	N	N	N	N
	Lui piccolo	-	-	-	N	N	-
	Balia nera	N	-	N	N	-	-
	Averla piccola	-	N	-	-	N	N
	Migliarino di pal.	N	N	N	N	N	N
	P06	Pettiroso	N	N	N	N	N
Stiaccino		N	N	N	N	N	N
Capinera		N	N	N	N	N	N
Averla piccola		N	N	N	N	N	N
A06	Passera scopaiola	-	-	N	N	-	-
	Pettiroso	-	-	-	-	-	-
	Capinera	-	N	-	-	N	N
	Lui piccolo	-	-	N	N	-	-

Le regressioni *stepwise* sono state costruite in modalità gerarchica inserendo le variabili indipendenti con un ordine prestabilito, in modo da eliminare progressivamente percentuali di varianza ad esse legate. Lo schema seguito per le analisi è riportato in *Tabella 5.4B1.2.3g*.

**Tabella 5.4B1.2.3g Procedura Utilizzata per le Regressioni Gerarchiche volte ad Indagare l'Esistenza di un Effetto del Disturbo nelle Ore Precedenti la Cattura**

Struttura	Significato parametri	Nome variabili
Variabile dipendente		LN_P (o LN_P3A)
Variabili indipendenti		
Blocco 1	Morfologici e fisiologici	GRASSO ALA CM* TERZA*
Blocco 2	Temporal	ORA DATA
Blocco 3	Meteorologici	RES_MAX RES_MIN RES_MED VEN_MED
Blocco 4	Disturbo aereo	A_PR, D_PR, VOLI_PR A_2PR, D_2PR, VOLI_2PR
* Inserite solo nei modelli con LN_P come variabile dipendente		

Tutte le regressioni hanno mostrato elevati valori di significatività, spiegando una percentuale di varianza di LN\_P (o LN\_P3A) compresa tra 19,1% e 67,7% (Tabella 5.4B1.2.3h).

La variabile descrittiva del peso più importante, come ci si attendeva, è costituita dagli accumuli adiposi, che entrano in 20 modelli su 21 (Tabella 5.4B1.2.3i). Altra variabile importante è la misura della corda massima, che compare in 7 modelli e che sembra funzionare meglio rispetto alla terza remigante primaria come stimatore delle dimensioni corporee. Allo stesso modo della corda massima anche i parametri temporali (ORA e DATA) compaiono in 7 modelli su 21. Di minore importanza le variabili meteorologiche.

Per quanto riguarda i parametri del disturbo, essi compaiono in 5 modelli su 21. Diversi elementi concorrono però a far ritenere questa presenza priva di significato biologico e dovuta invece al caso. Innanzitutto l'elevato numero di test (21) e di variabili (6) alza la probabilità di trovare alcuni legami significativi per effetto del caso. In secondo luogo le 5 relazioni significative evidenziate non hanno tutte lo stesso segno: in due casi, infatti, i parametri del disturbo mostrano una relazione positiva con il peso degli individui, fatto senza un apparente significato biologico.

La Tabella 5.4B1.2.3i riporta il quadro riassuntivo delle variabili selezionate nei modelli di regressione multipla. Per ogni variabile è espresso il coefficiente standardizzato: valori positivi indicano un legame positivo con il peso degli individui, valori negativi, al contrario, indicano una relazione negativa.

**Tabella 5.4B1.2.3h Parametri Descrittivi dei Modelli di Regressione Multipla Finalizzati alla Valutazione dell'Incidenza del Disturbo Aereo nelle Ore Precedenti la Cattura sull'Ingrassamento dei Migratori**

Stagione	Specie	R <sup>2</sup>	F	g.l.	Sig.
Prim. 2005	Pettiroso	0,388	34,22	1 , 54	<0,001
	Stiaccino	0,337	10,65	2 , 42	<0,001
	Capinera	0,468	36,10	3 , 123	<0,001
Aut. 2005	Passera scopaiola	0,594	17,18	4 , 47	<0,001
	Pettiroso"	0,578	47,29	4 , 138	<0,001
	Stiaccino"	0,645	69,15	1 , 38	<0,001
	Tordo bottaccio	0,456	20,97	3 , 75	<0,001
	Beccafico"	0,515	19,80	3 , 56	<0,001
	Capinera	0,475	33,30	4 , 147	<0,001
	Lù piccolo*	0,191	25,51	1 , 108	<0,001
	Balia nera	0,677	18,20	3 , 26	<0,001
	Averla piccola*	0,527	35,05	2 , 63	<0,001
	Migliarino di palude	0,405	22,48	1 , 33	<0,001
Prim. 2006	Pettiroso	0,498	16,19	3 , 49	<0,001
	Stiaccino	0,531	38,91	5 , 172	<0,001
	Capinera	0,446	15,67	2 , 39	<0,001
	Averla piccola	0,414	8,72	3 , 37	<0,001
Aut. 2006	Passera scopaiola	0,283	7,91	2 , 40	0,001
	Pettiroso"	0,561	69,55	2 , 109	<0,001
	Capinera*	0,515	45,68	2 , 86	<0,001
	Lù piccolo	0,599	65,69	3 , 132	<0,001

Tabella 5.4B1.2.3i **Quadro Riassuntivo delle Variabili selezionate nei Modelli di Regressione Multipla**

Specie, anno e stagione	GRASSO	ALA CM	TERZA	ORA	DATA	RES_MAX	RES_MED	RES_MIN	VEN_MED	A_PR	VOLI_PR	A_2PR	VOLI_2PR
Primavera 2005													
Pettiroso	0,6												
Stiaccino	0,5				-0,4								
Capinera	0,5		0,3	0,2									
Autunno 2005													
Passera scopaiola	0,5	0,4					-0,3				-0,2		
Pettiroso"	0,6	0,3		0,2				-0,2					
Stiaccino"	0,8												
Tordo bottaccio	0,6			0,4						-0,3			
Beccafico"	0,6				-0,2					0,2			
Capinera	0,6	0,2		0,1	0,1								
Lui piccolo*	0,4												
Balia nera	0,7						0,4						0,2
Averla piccola*	0,7								-0,2				
Migliarino di pal.		0,6											
Primavera 2006													
Pettiroso	0,5			0,3		0,3							
Stiaccino	0,4	0,2		0,5	-0,1			0,2					
Capinera	0,6					-0,3							
Averla piccola		0,5		0,5								-0,3	
Autunno 2006													
Passera scopaiola	0,5				0,3								
Pettiroso"	0,8		0,2										
Capinera*	0,7				0,3								
Lui piccolo	0,4	0,6			0,1								

\* Variabile dipendente Ln (peso/3a) " Variabile dipendente non distribuita normalmente

### Analisi degli effetti cumulativi del traffico aereo

Una delle possibili modalità di azione del disturbo aereo sui migratori messa in evidenza da Fornasari & Calvi (2003) consiste nell'effetto cumulativo del disturbo. È stato mostrato come in alcune specie non fosse il disturbo puntuale mostrato intorno all'ora di cattura ad avere i maggiori effetti, bensì il disturbo cumulativo dall'inizio della giornata.

Abbiamo cercato di valutare l'esistenza di questo fenomeno sugli uccelli catturati nella stazione "Dogana". A questo scopo sono stati presi in considerazione uccelli inanellati in una determinata fascia oraria, in modo che il campione fosse omogeneo rispetto al momento di cattura della giornata, che, come già detto, è correlato alla condizione degli individui; con questo accorgimento si rende inoltre omogeneo il periodo di azione del disturbo che si intende correlare alla condizione degli individui.

Sono stati esplorati i dati di cattura per individuare, a partire dalla tarda mattinata, le fasce orarie con il maggior numero di catture: i dati non sono molti, anche in considerazione del fatto che la maggior parte delle catture

viene effettuata nelle prime ore del dì. Anche in questo caso quindi sono stati accorpate i dati relativi ai due anni di studio. Sono stati selezionati 8 campioni con dimensione superiore a 15 dati: fasce orarie delle 13, 14 e 18 per gli stiacchini catturati in primavera, fascia delle 11 per le capinere inanellate in autunno e fasce delle 11, 12, 13, 16 per i luà piccoli catturati in autunno. Abbiamo utilizzato come indice di condizione degli individui il peso corretto per la taglia strutturale (Peso/3a), in modo da eliminare la variabilità del peso dovuta alle dimensioni degli individui. Questa variabile è stata messa in relazione al disturbo aereo misurato precedentemente la cattura, considerando di volta in volta un intervallo temporale più ampio, fino a comprendere tutte le ore della giornata. Per questi confronti è stato usato il test di correlazione non parametrica di Spearman. Le *Tabelle 5.4B1.2.3j* e *5.4B1.2.3k* riportano i risultati dei test di correlazione tra condizione degli individui catturati in determinate fasce orarie e variabili del disturbo, rispettivamente per stiacchino e capinera e per luà piccolo. Nelle *Tabelle* viene illustrato l'andamento dei valori di correlazione e significatività al crescere dell'intervallo temporale considerato (VOL\_PR01 = numero di voli nell'ora precedente la cattura, VOL\_PR02 = numero di voli nelle due ore precedenti la cattura, ecc.). I risultati non sono di facile interpretazione.

**Tabella 5.4B1.2.3j** *Risultati dei Test di Correlazione di Spearman tra Condizione degli Individui Catturati in Determinate Fasce Orarie e Variabili del Disturbo – Stiacchino e Capinera*

Specie	Stiacchino						Capinera	
Stagione	Primavera						Autunno	
Fascia oraria	h 13		h 14		h 18		h 11	
Variabile disturbo	r <sub>s</sub>	P						
VOL_PR01	-0,67	0,01	-0,63	0,01	0,21	0,37	-0,19	0,38
VOL_PR02	-0,56	0,04	-0,15	0,58	0,06	0,79	0,07	0,76
VOL_PR03	-0,56	0,04	0,25	0,35	0,18	0,46	0,03	0,89
VOL_PR04	-0,66	0,01	0,17	0,54	0,06	0,80	0,12	0,58
VOL_PR05	-0,55	0,04	-0,33	0,21	0,05	0,83	0,13	0,56
VOL_PR06	-0,55	0,04	-0,13	0,65	0,06	0,80	0,11	0,63
VOL_PR07	-0,55	0,04	-0,17	0,53	0,06	0,80		
VOL_PR08	-0,55	0,04	0,01	0,96	0,06	0,80		
VOL_PR09			0,07	0,79	0,14	0,57		
VOL_PR10					0,14	0,57		
VOL_PR11					0,06	0,80		
VOL_PR12					0,06	0,80		
VOL_PR13					0,06	0,80		
N	14		16		20		23	

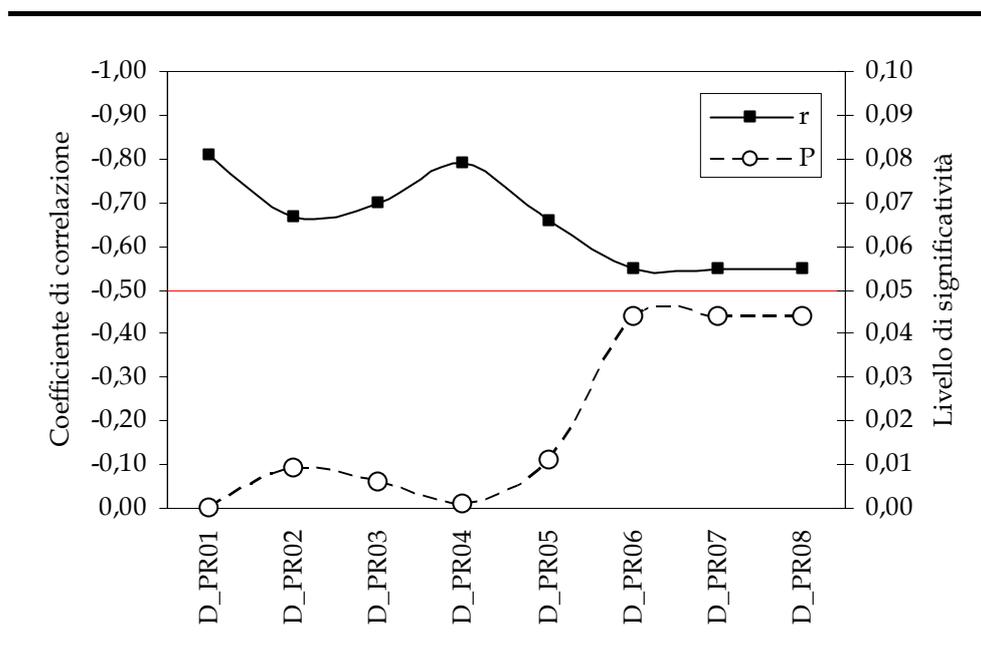
**Tabella 5.4B1.2.3k Risultati dei Test di Correlazione di Spearman tra Condizione degli Individui Catturati in Determinate Fasce Orarie e Variabili del Disturbo – Lui Piccolo**

Specie	Lui piccolo							
Stagione	Autunno							
Fascia oraria	h 11		h 12		h 13		h 16	
Variabile disturbo	r <sub>s</sub>	P	r <sub>s</sub>	r <sub>s</sub>	r <sub>s</sub>	P	r <sub>s</sub>	P
VOL_PR01	0,16	0,52	-0,25	0,30	0,27	0,26	-0,38	0,07
VOL_PR02	0,36	0,13	-0,09	0,71	-0,12	0,62	-0,20	0,36
VOL_PR03	0,23	0,36	-0,08	0,75	-0,28	0,25	-0,22	0,32
VOL_PR04	0,28	0,24	-0,10	0,67	-0,32	0,19	-0,32	0,14
VOL_PR05	-0,03	0,92	-0,33	0,17	-0,27	0,26	-0,11	0,61
VOL_PR06	-0,03	0,90	-0,28	0,24	-0,20	0,42	-0,13	0,56
VOL_PR07			-0,31	0,19	-0,03	0,92	-0,13	0,55
VOL_PR08					0,13	0,59	-0,13	0,55
VOL_PR09							-0,24	0,28
VOL_PR10							-0,22	0,32
VOL_PR11							-0,23	0,29
N	19		19		19		23	

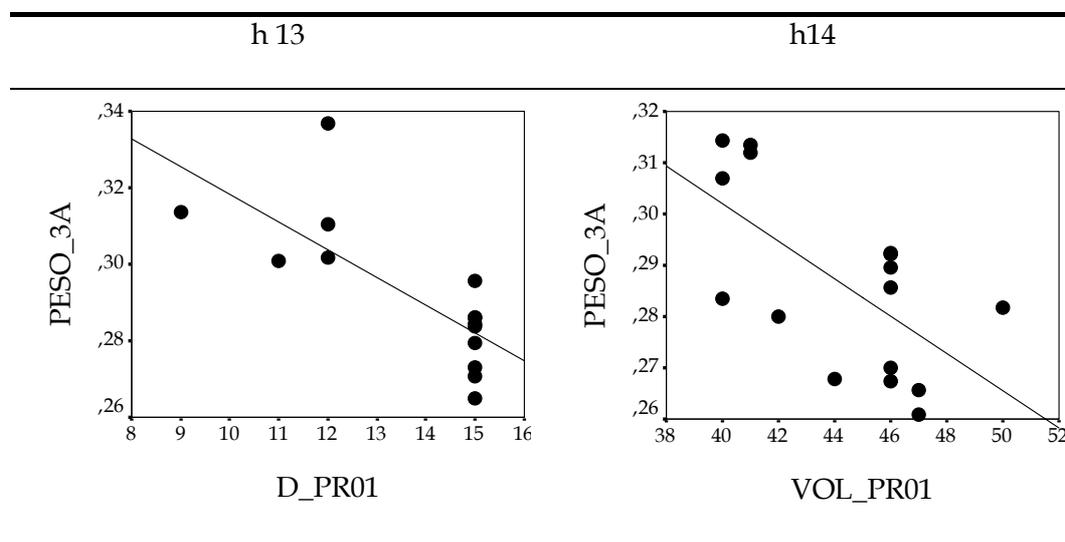
L'unica specie per la quale siano emerse relazioni negative significative è lo Stiaccino. In particolare il campione delle ore 13 mostra relazioni negative significative per tutti gli intervalli temporali considerati, con un *trend* evidente negli andamenti del coefficiente di correlazione e del livello di significatività. Questo *trend* è però l'opposto di quello che si aspetterebbe se l'ipotesi del disturbo cumulativo fosse vera. La correlazione va, infatti, diminuendo in valore assoluto con l'aumentare del lasso temporale considerato (*Figura 5.4B1.2.3k*), come se fossero le ultime ore prima della cattura quelle veramente influenti sulla condizione degli individui.

Analizzando in maniera dettagliata il campione si osserva che lo stesso, peraltro esiguo (N=14) è costituito per il 50 % da individui catturati in un solo giorno, e che quindi si associano al medesimo valore del disturbo (*Figura 5.4B1.2.3l*, sinistra), agendo in maniera sproporzionata sull'esito del test. Il campione delle ore 14 sembra però confermare l'impressione che le ore più importanti siano quelle precedenti la cattura, e che il disturbo abbia un'azione immediata, piuttosto che cumulativa. Di tutti i test effettuati, infatti, l'unico significativo è quello che mette in relazione condizione degli individui e numero di voli nell'ora precedente la cattura. Anche in questo caso si tratta comunque di un campione esiguo e, se si considera il numero di test effettuati, le relazioni significative emerse, potrebbero essere dovute al solo effetto del caso.

**Figura 5.4B1.2.3k** *Andamento della Relazione tra Indice di Condizione e Disturbo Aereo Cumulativo nel corso delle ore precedenti la Cattura (la linea continua rappresenta l'andamento del coefficiente di correlazione, la linea tratteggiata quello della significatività della relazione)*



**Figura 5.4B1.2.3l** *Relazione tra la Condizione Fisica degli Stiacchini (Catturati alle ore 13 e 14) e alcuni Parametri Descrittivi del Disturbo Aereo*



Analisi degli individui ricatturati nei giorni seguenti la data di inanellamento  
 Alcuni uccelli che sostano in una determinata area possono essere ricatturati a distanza di giorni dall'inanellamento. Questi eventi, indicati come autocatture, sono particolarmente importanti in quanto in grado di fornire utili informazioni sull'ecologia della sosta. Un parametro molto importante è costituito dal tasso di accumulo di peso (nella letteratura anglosassone *Fuel Deposition Rate*, da cui la sigla FDR). Questo viene calcolato sottraendo il peso finale dell'individuo al peso che lo stesso aveva al momento dell'inanellamento e dividendo questa cifra per lo stesso peso iniziale e per i

giorni trascorsi tra le due catture. Si ricava così un indice che rappresenta l'ingrassamento giornaliero rispetto al peso iniziale. FDR è stato utilizzato come variabile dipendente nelle analisi statistiche. I dati a disposizione per le analisi non sono particolarmente numerosi, e per aumentare le dimensioni dei campioni è stato deciso di accorpate i dati relativi ai due anni di attività. Le specie con il maggior numero di ricatture sono Pettiroso, Stiaccino e Capinera, le uniche sulle quali le analisi sono state condotte per entrambe le stagioni. La dimensione minima per effettuare le analisi è stata fissata a 10 unità, numero già esiguo (Tabella 5.4B1.2.3l).

**Tabella 5.4B1.2.3l** *Numero di Individui Ricatturati relativamente alle 10 Specie Target Indagate nello Studio (in grassetto i campioni sottoposti ad analisi statistica)*

Specie	Primavera	Autunno
Passera scopaiola	3	<b>14</b>
Pettiroso	<b>16</b>	<b>48</b>
Stiaccino	<b>22</b>	<b>15</b>
Tordo bottaccio	-	2
Beccafico	-	<b>13</b>
Capinera	<b>19</b>	<b>26</b>
Lui piccolo	3	<b>39</b>
Balia nera	-	2
Averla piccola	1	<b>11</b>
Migliarino di palude	-	-
<b>Totale</b>	<b>64</b>	<b>170</b>

Diversi sono i fattori che influenzano FDR; tra questi, come già ricordato all'inizio del paragrafo, vi sono le condizioni meteorologiche, ma anche le dimensioni degli individui: in maniera sorprendente, gli individui di minori dimensioni sono in grado di accumulare maggiori quantità di riserve adipose (Lindström, 2003). Inoltre, essendo l'accumulo di peso nel corso della sosta (durante il giorno o su più giorni) assimilabile ad un processo lineare (Schaub & Jenni, 2000), anche l'ora di inanellamento e di ricattura saranno correlate alla differenza di peso. È infine presumibile che il tasso di ingrassamento sia inversamente proporzionale al peso iniziale degli individui.

Ancora una volta è stato utilizzato come metodo di analisi quello della regressione lineare multipla con selezione *stepwise* delle variabili descrittive. Queste le variabili indipendenti inserite nel modello di regressione:

- PESO\_I (peso dell'individuo al momento dell'inanellamento)
- ALA\_CM (misura della corda massima dell'ala)
- DELTA\_O (differenza tra l'ora della ricattura e l'ora di inanellamento)
- DELTA\_G (giorni trascorsi tra l'inanellamento e la ricattura)
- RES\_MAX\_M (media di RES\_MAX nell'intervallo tra le catture)
- RES\_MED\_M (media di RES\_MED nell'intervallo tra le catture)
- RES\_MIN\_M (media di RES\_MIN nell'intervallo tra le catture)
- VOLI\_M (media dei voli giornalieri nell'intervallo tra le catture)

I modelli selezionati sono tutti significativi e spiegano una percentuale di varianza dal 28% al 66% (Tabella 5.4B1.2.3m). Le variabili descrittive più

influenti sembrano essere il peso iniziale e la differenza tra l'ora delle due catture. Nessuno dei modelli selezionati contiene il numero medio di voli giornalieri, ad indicare anche in questo caso l'assenza di un effetto del disturbo sull'efficacia della sosta. La *Tabella 5.4B1.2.3m* riporta sia i parametri descrittivi del modello che i valori dei coefficienti per le variabili inserite nei modelli.

**Tabella 5.4B1.2.3m Quadro Riassuntivo dei Modelli di Regressione Multipla effettuati sugli Individui Ricatturati**

Stagione	Primavera				Autunno					
Specie	Petterso	Stiaccino"	Capinera	Passera scopaiaola	Petterso	Stiaccino"	Beccafico	Capinera	Lui piccolo	Averla piccola
R <sup>2</sup>	0,28	0,66	0,53	0,36	0,49	0,32	0,31	0,35	0,54	0,53
F	5,52	18,57	8,99	6,80	13,81	6,06	4,88	6,12	21,29	10,09
g.l.	1, 14	2, 19	2, 16	1, 12	3, 43	1, 13	1, 11	2, 23	2, 36	1, 9
Sig.	*	***	**	*	***	*	*	**	***	*
PESO_I	-0,53	-0,39		-0,60	-0,49			-0,44	-0,39	
ALA_CM								0,65		
DELTA_G						0,56				
DELTA_O		0,52	0,55		0,22				0,57	0,73
RES_MED_M					0,40		0,56			
RES_MIN_M			-0,38							

\* P<0,05 \*\* P<0,01 \*\*\* P<0,001 " Variabile dipendente non distribuita normalmente

Analisi degli individui inanellati e ricatturati nel corso della stessa giornata

Alcuni individui inanellati nelle prime ore del mattino, possono accidentalmente venire catturati una seconda volta nel corso della giornata. La routine di inanellamento applicata nella stazione "Dogana" prevede in questi casi una nuova rilevazione del peso, nel caso che le tra le due catture siano intercorse almeno sei ore.

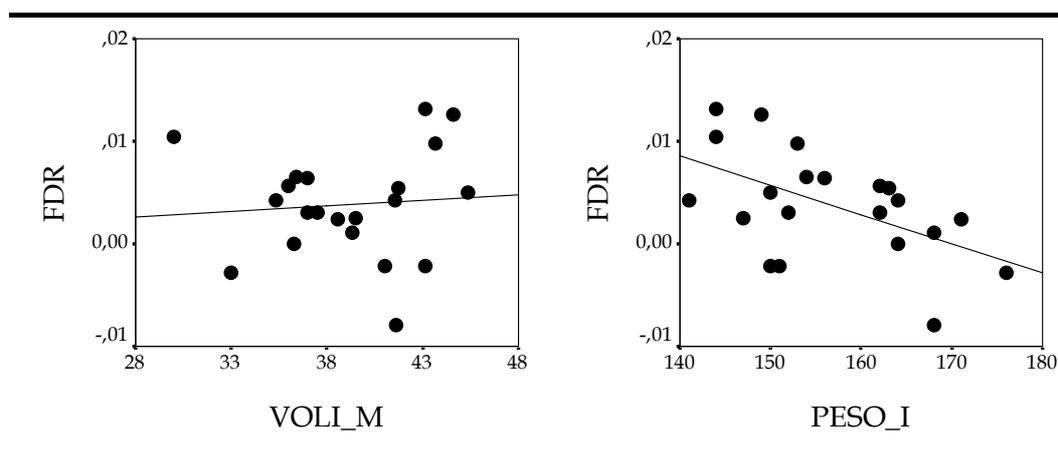
Anche questi dati, seppur poco numerosi, sono molto importanti, poiché permettono di valutare la capacità di ingrassamento degli uccelli in sosta nel corso della giornata.

Esplorando i dati a disposizione appare chiaro che un'analisi statistica sia possibile solo sul campione autunnale del Petterso (*Tabella 5.4B1.2.3n*). Nell'analisi di regressione multipla sono state inserite le variabili indipendenti secondo lo schema già utilizzato in precedenza. Innanzitutto una variabile biometrica la cui importanza nel determinare il tasso di ingrassamento è già emersa nel corso di questo lavoro: il peso iniziale (PESO\_I). In seguito sono state inserite le variabili meteorologiche (RES\_MAX, RES\_MIN, RES\_MED e VENTO\_M) e, in coda, il numero medio orario di voli (VOLI\_M) nell'intervallo tra le catture. L'unica variabile inclusa nel modello dalle analisi è il peso iniziale; al contrario il traffico aereo non sembra avere alcuna influenza sul peso degli individui (*Figura 5.4B1.2.3m*).

**Tabella 5.4B1.2.3n** *Numero di Individui Ricatturati 2 Volte nel corso della Stessa Giornata relativamente alle 10 Specie Target (in grassetto il campione di dimensioni maggiori, l'unico ritenuto sufficiente per l'esecuzione di analisi statistiche)*

Specie	Primavera	Autunno
Passera scopaiola	1	2
Pettirosso	2	<b>21</b>
Stiaccino	3	0
Tordo bottaccio	0	1
Beccafico	1	0
Capinera	5	3
Lui piccolo	0	3
Balia nera	-	-
Averla piccola	0	6
Migliarino di palude	-	-
<b>Totale</b>	<b>15</b>	<b>41</b>

**Figura 5.4B1.2.3m** *Relazione tra il Tasso di Ingrassamento Orario dei Pettirossi e due Variabili Predittive Inserite nell'Analisi di Regressione (sinistra: media oraria dei voli nell'intervallo di ricattura; destra: peso iniziale degli individui)*



#### Frequenza di sosta

La strategia ottimale di analisi prevedeva l'esame dei dati di cattura e ricattura per la valutazione della durata della sosta e dell'influenza su di essa del disturbo aereo.

Negli ultimi decenni sono state sviluppate moderne tecniche statistiche di analisi dei dati di cattura e ricattura (Lebreton et al., 1992). Queste, con lo sviluppo di *software* appositi, sono state recentemente applicate al calcolo della durata della sosta (Schaub et al., 2001), mettendo in evidenza come le stime classiche basate sulla durata minima siano errate per difetto. Tali metodi hanno anche permesso di analizzare l'influenza delle variabili meteorologiche sulla decisione di lasciare l'area di sosta da parte dei migratori (Schaub et al., 2004).

Questi metodi richiedono però grandi campioni di dati (Tavecchia et al., 2002), soprattutto nel caso in cui nei modelli testati vengano inserite delle covariate, come ad esempio, nel nostro caso, la misura del disturbo aereo.

I dati raccolti nella stazione Dogana sulle singole specie sono purtroppo troppo esigui per applicare queste tecniche. Si è deciso quindi di optare per

l'analisi della frequenza della sosta, sulla carta meno efficace, ma più praticabile con un set di dati così ridotto.

Per ogni giornata di cattura sono stati contati gli individui inanellati in quella stessa giornata e poi ricatturati in seguito. È stata poi calcolata la loro incidenza (o frequenza) sul totale delle catture: questa variabile, cioè la percentuale teorica di individui che decidono di fermarsi nell'area, è stata usata come variabile dipendente. I dati sono stati accorpati per stagione e sono state prese in considerazione le sole giornate con un numero di catture per specie non inferiore a 5. Sono poi state selezionate le specie per le quali erano disponibili almeno 10 dati (Tabella 5.4B1.2.3o).

**Tabella 5.4B1.2.3o** *Dimensione dei Campioni di dati utilizzati per l'Analisi della Frequenza della Sosta (in grassetto i campioni selezionati)*

Specie	Primavera	Autunno
Passera scopaiola	0	7
Pettirosso	<b>11</b>	<b>36</b>
Stiaccino	<b>17</b>	4
Tordo bottaccio	0	8
Beccafico	0	6
Capinera	<b>14</b>	<b>25</b>
Lui piccolo	2	<b>24</b>
Balia nera	0	2
Averla piccola	2	7

La distribuzione dei dati di frequenza della sosta si scostava significativamente da una distribuzione normale in tutti i campioni selezionati. Il risultato non cambia se alla variabile si applicano trasformazioni logaritmiche o utilizzando la radice quadrata (in tutti i test di Shapiro-Wilk:  $P < 0,05$ ). Si è quindi deciso di utilizzare una tecnica di analisi non parametrica: il test di correlazione di Spearman. La frequenza di sosta è stata messa in relazione alle variabili meteorologiche e a quelle del disturbo aereo (Tabella 5.4B1.2.3p). Per quattro dei sei campioni analizzati emergono relazioni significative, ma solo con le variabili meteorologiche. Anche effettuando analisi di regressione gerarchica con le variabili meteorologiche inserite prima di quelle del disturbo, il risultato non cambia. Gli individui sembrano quindi abbandonare l'area in situazioni di bel tempo e con vento forte (presumibilmente favorevole), senza curarsi in alcun modo del traffico aereo di Malpensa.

**Tabella 5.4B1.2.3p Risultati dell'Analisi di Correlazione non parametrica tra la Frequenza degli Individui in Sosta e le Variabili Meteorologiche e del Disturbo Aereo (Coefficiente di correlazione di Spearman -  $r_s$ )**

Variabile	Primavera			Autunno		
	Pettirosso	Stiaccino	Capinera	Pettirosso	Capinera	Lui piccolo
VOLI	0,019	-0,301	0,092	-0,036	-0,108	0,234
A	-0,144	-0,398	0,067	-0,053	-0,155	0,222
D	0,272	-0,370	0,119	-0,017	-0,068	0,288
RES_MAX	-0,594	-0,610 **	0,190	-0,384 *	0,029	-0,166
RES_MIN	-0,427	-0,030	0,135	0,162	-0,103	-0,168
RES_MED	-0,552	-0,501 *	0,286	-0,136	-0,074	-0,201
VEN_MED	-0,719 *	-0,004	0,027	-0,051	-0,400 *	0,064
N***	11	17	14	36	25	24

\* P<0,05 \*\* P<0,01  
\*\*\* N = dimensioni dei campioni

#### 5.4B1.2.4 *Impatto dell'Illuminazione di Malpensa sui Migratori Notturni*

È un fatto assodato in letteratura che le stelle rappresentino un importante riferimento per i migratori notturni (ad es. Gwinner, 1971), in particolare attraverso il meccanismo del compasso stellare (Emlen, 1967), ma l'informazione che le luci artificiali (e in particolare i fari per la navigazione marittima) possono portare i migratori notturni a collisioni fatali è ben più datata (Gastman, 1886; Bretherton, 1902). L'illuminazione notturna degli edifici attira gli uccelli in migrazione e ne perturba il sistema di orientamento (Kumlien, 1888; Stuart-Sutherland, 1922; Hachisuka, 1926; Phelps, 1961; Pettingill, 1970; Avery et al., 1975; Merrie, 1979), al punto che questi possono sbattere contro le luci o le finestre illuminate (Herbert, 1970; Gunn et al., 1972; Byrd, 1978; Byrd et al., 1978), o svolazzare intorno alle fonti luminose fino ad estenuarsi (Bretherton, 1902; Squires & Hanson, 1918; Schotzho, 1962; Polshek, 1977). Quello delle collisioni contro edifici e grattacieli illuminati è un problema sentito in Nord America: in ogni stagione migratoria migliaia di uccelli possono trovare la morte in una singola località (ad es. Gauthreaux & Belser, 1999). L'effetto delle fonti luminose è ancora più accentuato in condizioni di nebbia o di cielo coperto (Brewster, 1886; Carpenter & Lowell, 1963; Peterson, 1963; Savage, 1965; Swales, 1965).

D'altra parte, l'attrazione provocata dai fari (ad esempio la famosa stazione di inanellamento svedese di Ottenby), dagli edifici (Ngulia Safari Lodge in Kenya; Backhurst & Pearson, 1977) o da luci portatili (ad es. in Sudan; Nikolaus & Pearson, 1983) è stata utilizzata per massimizzare l'efficacia di operazioni di cattura e inanellamento.

Alcuni recenti lavori hanno evidenziato come bastino semplici accorgimenti tecnici per ridurre drasticamente il tasso di mortalità relativo ad alcune infrastrutture illuminate (Jones & Francis, 2003).

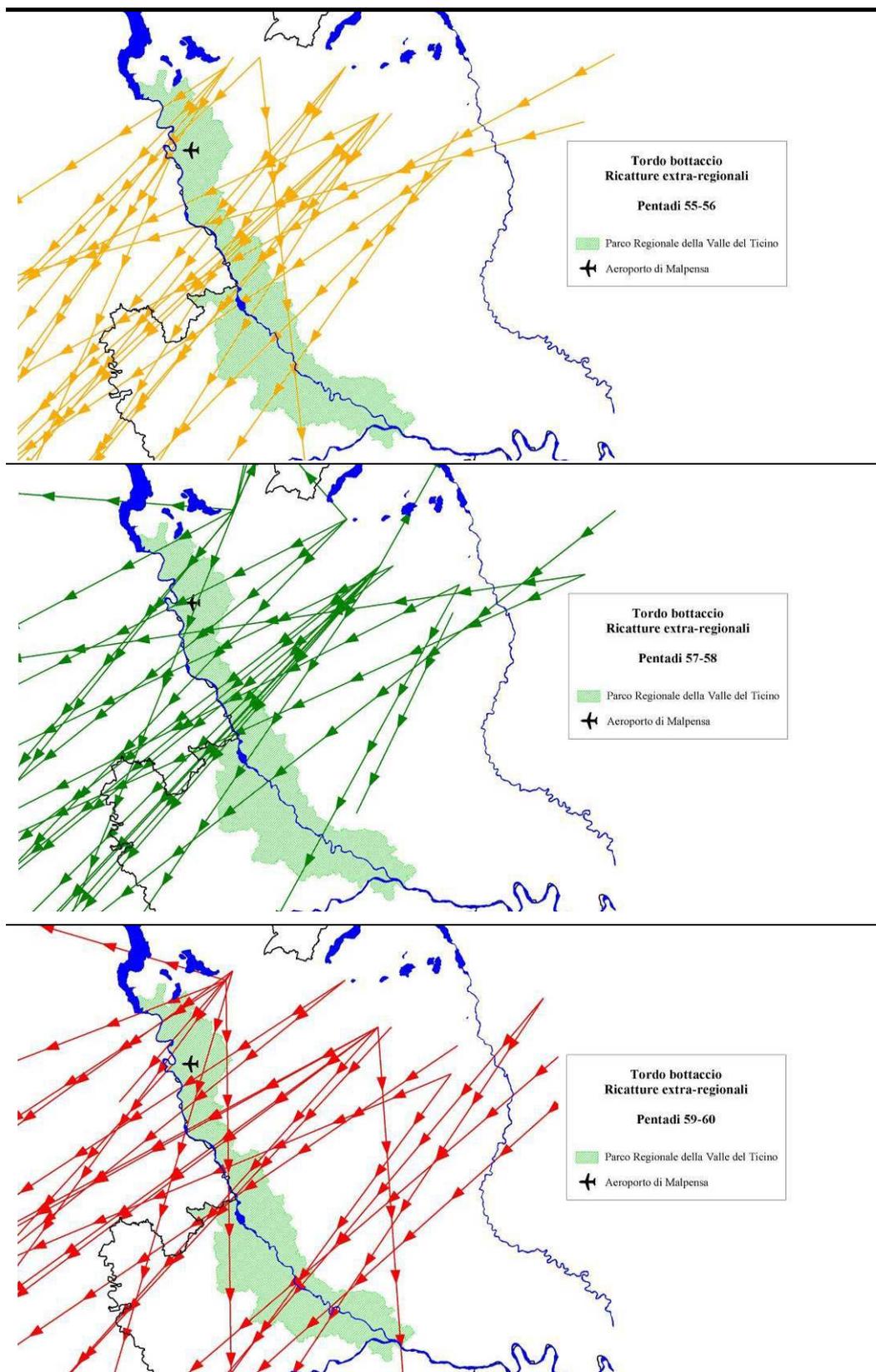
Negli anni dal 2000 al 2002 FaunaViva, su incarico del Parco Lombardo della Valle del Ticino ha condotto una ricerca finalizzata alla valutazione dell'impatto dell'aeroporto di Malpensa sulle componenti faunistiche migratorie del Parco stesso (Fornasari, 2003). La ricerca si inseriva in un più ampio quadro di indagini attivate dal Parco, in collaborazione con Regione

Lombardia, per valutare l'impatto dell'aeroporto su diverse componenti ambientali presenti nella valle del Ticino.

Il primo passo nella realizzazione della ricerca prevedeva l'analisi dei dati di inanellamento delle stazioni ornitologiche lombarde per la descrizione del fenomeno migratorio nell'area del Ticino. I dati sono raccolti nelle pubblicazioni della Regione Lombardia: "Osservatori ornitologici - relazione annuale sull'inanellamento per lo studio della migrazione degli uccelli nella Regione Lombardia" (Voll. I-XXI, 1977-1997, v. ad es. Vigorita & Reguzzoni, 1997). In particolare i volumi riportano dati relativi a ricatture di uccelli inanellati nella medesima stagione di migrazione. Il grosso di tali dati (405 individui di 21 specie) riguardano la migrazione autunnale, mentre quelli primaverili (non analizzati) si riferiscono a solo nove individui ripartiti tra otto specie. Con l'utilizzo di sistemi informativi territoriali sono state congiunte per ogni individuo le località di inanellamento e di ricattura; sono quindi state prodotte delle carte riportanti le direttrici delle rotte migratorie sull'area del Ticino (*Figura 5.4B1.2.4a*).

Queste illustrano molto chiaramente l'orientamento dei flussi migratori nel corso delle stagioni. In particolare emerge l'orientamento nord-est - sud-ovest nel corso della migrazione post-riproduttiva. E' evidente come la maggioranza degli individui ricatturati segua presumibilmente rotte che attraversano il territorio del Parco del Ticino in senso trasversale, su un fronte di migrazione piuttosto ampio, per poi andare a svernare nell'area del mediterraneo occidentale (Francia, Spagna, Marocco, Algeria e Tunisia).

**Figura 5.4B1.2.4a** *Direzione di Migrazione degli Individui di Tordo Bottaccio Catturati in diverse fasi del Passaggio Migratorio (dall'alto: 28 settembre - 7 ottobre; 8 - 17 ottobre; 18-27 ottobre)*



Dall'esame delle direzioni di migrazione si può osservare anche un limitato numero di individui le cui direzioni di spostamento sono meridionali, con quartieri di svernamento collocati in Corsica o Sardegna.

L'esame dei dati relativi alle ricatture infra-regionali ha messo in evidenza come il parco del Ticino sia interessato anche dal fenomeno del pendolarismo giornaliero, in particolare ad opera di Turdidi e Fringillidi che si spostano nelle zone agricole pianiziali durante il giorno per alimentarsi e frequentano roost notturni nelle zone boscate pedecollinari. Questo fenomeno si riferisce evidentemente al contingente svernante nella regione.

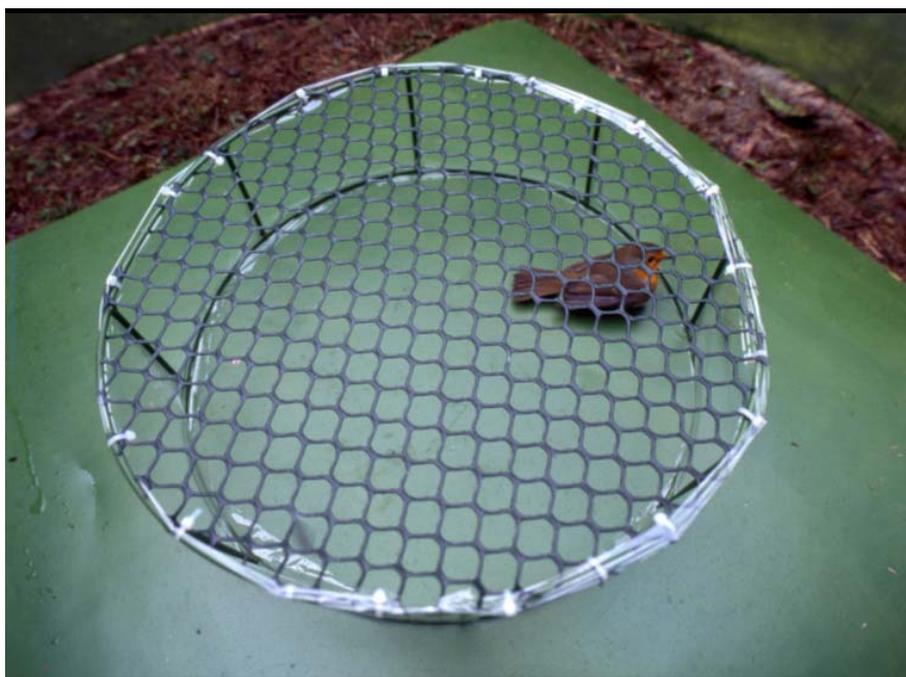
Il passo successivo a questa descrizione generale del fenomeno migratorio nell'area del Ticino consisteva nell'approntare nuove stazioni ornitologiche ad hoc per effettuare uno studio più dettagliato nell'area del Parco e per provare ad analizzare l'interazione tra l'Aeroporto di Malpensa ed il sistema di migrazione all'interno del Parco.

Fu installata a questo proposito nella primavera del 2000 una stazione ornitologica (per la cattura e l'inanellamento degli uccelli migratori) in località Brughiera Dosso. Una seconda stazione fu approntata nella Riserva naturale de "La Fagiana", nell'autunno del 2000.

La prima indicazione di un effetto della presenza dell'Aeroporto arrivò da osservazioni occasionali effettuate al crepuscolo, quando individui appena rilasciati furono visti svoltare, in volo, in direzione di Malpensa. Questo comportamento fu osservato in primavera su due specie: Tordo bottaccio *Turdus philomelos* e Codirosso *Phoenicurus phoenicurus*. Anche le condizioni fisiche dei migratori catturati suggerivano l'alterazione della normale dinamica migratoria: per alcune specie i depositi adiposi misurati secondo una scala visuale empirica (Kaiser, 1993) differivano significativamente tra le due stazioni di inanellamento. Nella Capinera ad esempio vicino all'Aeroporto gli individui mostravano depositi di grasso mediamente più elevati rispetto a quelli registrati più a sud presso La Fagiana (valori medi della classe di adiposità: 2,6 vs 2,0; N = 47 e 35, P<0,05). Indicazioni simili sono state ottenute anche per migratori su lunga distanza (ad es.: Beccafico *Sylvia borin*), confrontando i dati delle due stazioni distanti tra loro 26 km.

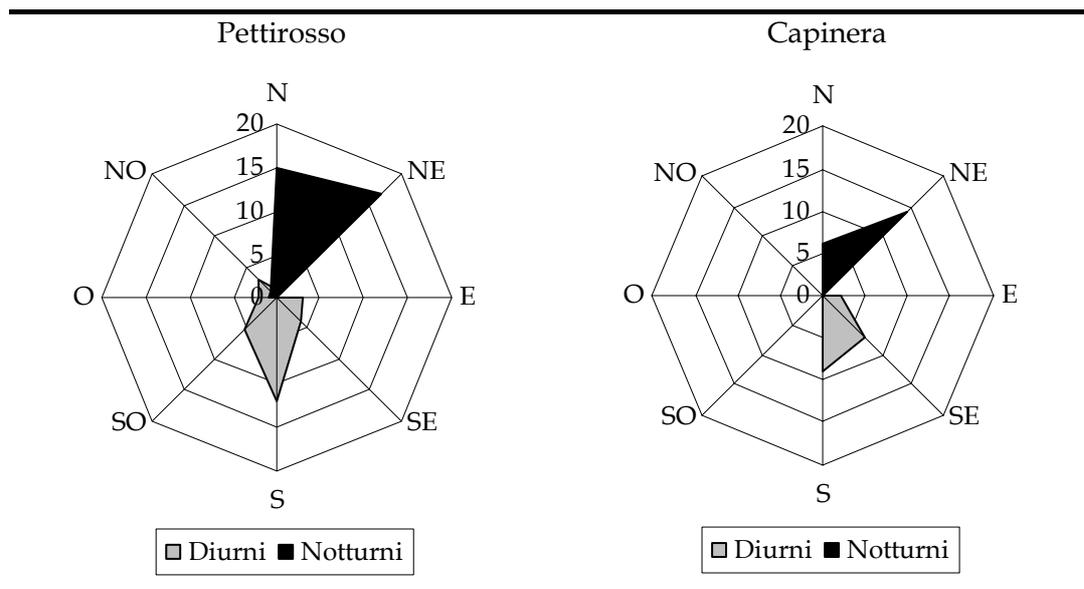
Si cominciò quindi ad ipotizzare che il sistema di illuminazione dell'Aeroporto potesse avere un affetto attrattivo sui migratori notturni. Per verificare la reale esistenza di questo effetto attrattivo, nella stagione autunnale 2000 sono stati effettuati degli esperimenti di orientamento. A tale scopo furono preparate delle gabbie circolari di 12 cm di altezza e 40 cm di diametro, circondate da una pellicola plastica, su cui ogni soggetto sottoposto all'esperimento lasciava con il becco tracce nella direzione in cui intendeva spostarsi (Figura 5.4B1.2.4b). Per evitare influenze dell'ambiente circostante, durante il giorno queste gabbie erano poste all'interno di un recinto plastico opaco di 70 cm di altezza e 100 cm di diametro, mentre durante la notte erano posizionate su una piattaforma a 2 m dal suolo senza isolamento laterale. Ciascun esperimento ebbe una durata di 10 minuti.

**Figura 5.4B1.2.4b** *Un Pettirosso in una delle Gabbie Utilizzate per gli Esperimenti di Orientamento (Foto A. Micheli)*



Le gabbie furono costruite con otto finestre di uguale ampiezza, rivolte verso le principali direzioni cardinali (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO). Contando i segni lasciati su ciascuna finestra, fu possibile per ogni esperimento tracciare un diagramma radar e calcolare un vettore direzionale; la significatività del vettore fu valutata per mezzo del test di Rayleigh (Batschelet, 1981). Durante la programmazione degli esperimenti si tenne conto della direzione dell'aeroporto, scegliendo come ubicazione l'area di Tornavento (VA), circa 6 km a sud di Malpensa, nella direzione plausibile seguita dai migratori. Gli uccelli venivano spostati a Tornavento dall'area di cattura e sottoposti all'esperimento. Gli esperimenti di orientamento effettuati in autunno per verificare la portata di questa tendenza sono stati 66 nelle ore diurne (38 pettirossi, 28 capinere) e 60 nelle ore notturne (35 pettirossi, 21 capinere). Hanno mostrato un orientamento significativo di giorno 34 pettirossi e 20 capinere, di notte 30 pettirossi e 18 capinere. La *Figura 5.4B1.2.4c* mostra il numero di uccelli orientati in modo significativo verso una delle otto direzioni cardinali, durante gli esperimenti diurni e notturni. I singoli vettori significativi sono stati approssimati alla direzione cardinale più vicina e contati, senza tenere conto della loro intensità. I diagrammi radar di *Figura 5.4B1.2.4c* mostrano molto chiaramente che l'orientamento preferenziale rilevato per le ore diurne viene completamente perturbato durante la notte dall'illuminazione artificiale proveniente da Malpensa. Nelle condizioni dell'esperimento, questa illuminazione ha il palese effetto di attrarre i migratori in direzione N-NE, opposta alla direzione di migrazione.

Figura 5.4B1.2.4c Numero di Uccelli Orientati in modo significativo verso una delle otto Direzioni Cardinali, durante gli Esperimenti Diurni e Notturni



Questo importante effetto attrattivo è stato successivamente confermato sull'intero fronte di migrazione notturna dall'analisi di dati raccolti attraverso l'osservazione notturna del disco lunare, effettuata sia a Brughiera Dosso che a Tornavento nelle notti di luna piena, durante i periodi di migrazione.

L'osservazione del disco lunare, o *moonwatching*, è un metodo visuale per verificare, determinare e quantificare la direzione della migrazione, attraverso il conteggio delle sagome degli uccelli che passano di fronte alla luna in un periodo di tempo di lunghezza predeterminata (Lardelli & Liechti, 1999). La prima applicazione di questo metodo apparentemente naif risale al 1948 (Lowery, 1951), ed ora la tecnica è alla base di programmi di rilevamento su scala internazionale (ad es. Liechti et al., 1995).

Puntando verso la luna piena un telescopio a 20-30 ingrandimenti, si può rilevare la migrazione notturna fino a una distanza di due chilometri, a una distanza dal suolo di un chilometro e mezzo. Dal momento che la porzione di cielo osservata attraverso il telescopio è una frazione minima (approssimativamente un centomillesimo del cielo osservabile), il numero di uccelli contati è basso: in una notte di migrazione intensa si possono rilevare una trentina di uccelli per ora di osservazione.

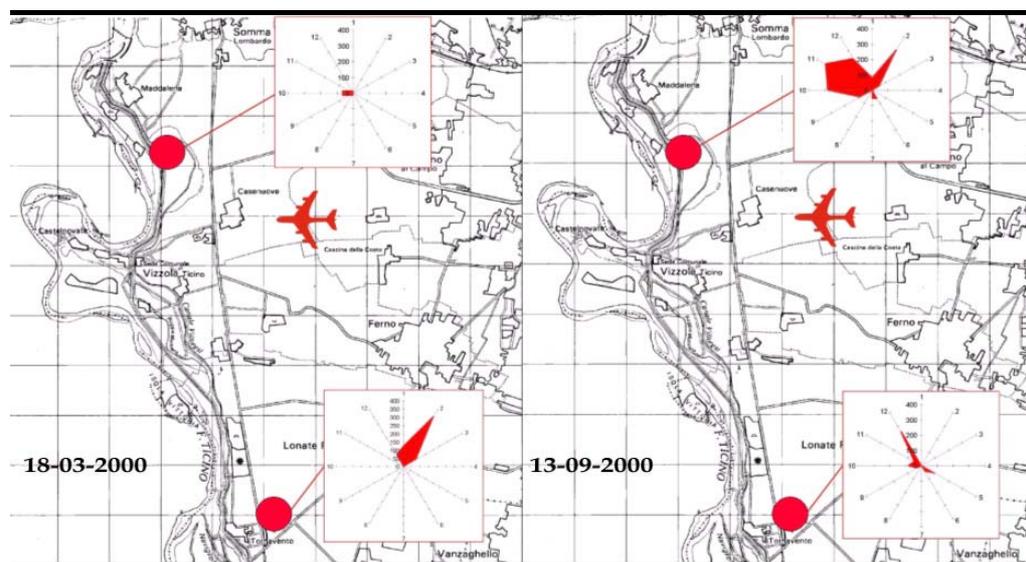
Il numero di uccelli contati è tuttavia indicativo del volume complessivo della migrazione e può essere utilizzato per il calcolo di un *Migration Traffic Rate* (MTR), pari al numero di uccelli che in un'ora volano attraverso un ipotetico fronte di un chilometro di larghezza (Lardelli & Liechti, 1999). Ovviamente è impossibile riconoscere le singole specie, quindi l'MTR rappresenta un indice generale dell'intensità di migrazione complessiva. Sia in primavera sia in autunno si evidenziarono differenze assolutamente inattese tra i due punti di osservazione, distanti solo 8 km l'uno dall'altro, estremamente vicini quindi dal punto di vista della migrazione.

Prendendo nota per ciascun migratore del punto di ingresso e di uscita dal disco lunare, suddiviso in 12 spicchi come un orologio, e conoscendo il momento esatto di ciascuna osservazione è possibile risalire, con l'aiuto della

trigonometria, all'esatta direzione di volo (Nisbet, 1959; Lardelli & Liechti, 1999).

In questo modo furono prodotti con la collaborazione della Stazione Ornitologica Svizzera (Schweizerische Vogelwarte Sempach) dei grafici radar che enfatizzarono queste differenze: era come se gli uccelli che seguivano il normale percorso migratorio non fossero in grado di superare Malpensa (Figura 5.4B1.2.4d). I bassi numeri contati "dopo" l'aeroporto lungo il tragitto della migrazione (verso nord-est in primavera, verso ovest in autunno) rimarcavano la presenza di una barriera (luminosa) che attraeva gli uccelli al suolo. Le carte riportate in Figura sono basate su una griglia di 1 km di lato.

**Figura 5.4B1.2.4d** *Grafici Radar dei Conteggi Eseguiti tramite la Tecnica del Moonwatching a Brughiera Dosso, a nord, e Tornavento, a sud (ubicazione di Malpensa marcata con sagoma aereo)*



È quindi naturale dopo aver illustrato i risultati di questo studio, ipotizzare un futuro incremento del disturbo dovuto all'inquinamento luminoso conseguente la realizzazione del Nuovo Master Plan Aeroportuale.

La terza pista ed ognuna delle infrastrutture ad essa legate (ferrovie, strade, parcheggi, industrie) saranno, infatti, dotate di un proprio sistema di illuminazione: tanto più questi disperderanno luce verso l'alto, tanto più aumenterà l'effetto attrattivo dell'area verso i numerosissimi migratori notturni che la attraversano durante i due periodi migratori.

Tale effetto attrattivo aumenterà verosimilmente in condizioni di scarsa illuminazione, come ad esempio durante giornate non serene, quando però, solitamente, il flusso migratorio è ridotto.