



Cofinanziato
dall'Unione europea



LIFE
NatConnect
2030

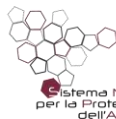


Fattibilità dell'uso dei radar meteo per il monitoraggio delle rotte migratorie

Lorenzo Serra



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

09 settembre 2026

Radar e uccelli, una relazione nuova?

Per gran parte della storia dell'ornitologia, la migrazione veniva studiata a terra:

- osservazioni
- inanellamento



Radar e uccelli, una relazione nuova?

Per gran parte della storia dell'ornitologia, la migrazione veniva studiata a terra:

- osservazioni
- inanellamento

Questi metodi permettono di sapere quali specie migrano, dove si fermano e quando, ma gran parte del fenomeno della migrazione è praticamente invisibile:

- **è molto difficile studiare gli uccelli in volo, soprattutto di notte**



Radar e uccelli, una relazione nuova?

Il radar introduce la possibilità di “osservare” il movimento degli animali mentre si spostano attraverso l’atmosfera



Radar e uccelli, una relazione nuova?

Il radar introduce la possibilità di “osservare” il movimento degli animali mentre si spostano attraverso l’atmosfera

L’applicazione di questa tecnologia allo studio della migrazione è relativamente recente, anche se in alcune aree è in uso da diversi decenni



Tipologie di radar per dati biologici

Caratteristica	Radar Meteorologico (WR)	BirdScan (BS)	Radar Marino (MR)	Radar di Tracciamento (TR)	TSR-T15 (3D Phased Array)
Metodo di scansione	Scansione orizzontale a 360°	Puntamento verticale (scansione nutazionale con antenna inclinata di 2°)	Scansione verticale (180°) o orizzontale	Inseguimento (tracking) di singoli target alla volta	Scansione meccanica in azimut (360°) e Digital Beam Forming (DBF) in elevazione (-5°~60°)
Frequenza / banda	Principalmente Banda C o Banda S	Banda X	Banda X	Banda X	Banda X (9.4 GHz)
Raggio d'azione (Uccelli)	Da 5 a 25 km (estendibile a 40 km in specifiche configurazioni)	Da 0.05 a 2 km (short/long pulse) (fino a circa 1 km per i tordi)	Da 0.1 a 3 km (fino a circa 1.2 km)	Da 0.3 a 10 km (a seconda delle dimensioni del target)	Area cieca entro i 50 m ; tracciamento a lungo raggio ad alta precisione
Tipo di output	Profili verticali di densità della biomassa e velocità al suolo	Tracce individuali continue e multiple	Tracce individuali multiple costruite da scansioni ripetute	Traccia singola continua di un singolo individuo	Tracciamento preciso in tempo reale di target multipli salvati automaticamente in file CSV (con coordinate precise, ID, velocità, altezza, lunghezza traccia, stima dimensioni)
Modalità operativa	Automatica	Automatica	Automatica	Manuale	Automatica
Classificazione target	Basata su pattern di velocità radiale e intensità dell'eco	Basata su pattern di battito alare (wing-beat) e classi di dimensioni	Basata su distanza e velocità del target	Basata su pattern di battito alare (wing-beat)	Tracciamento avanzato di target in movimento e stima della dimensione dell'uccello
Assunzioni per la quantificazione	Dimensione standard degli uccelli (RCS), movimenti principalmente direzionati	Probabilità di rilevamento dipendente dalla distanza per ciascuna classe di taglia	Probabilità di rilevamento costante	Campione rappresentativo di velocità e direzione	Calcolo e tracciamento multi-target simultaneo ad alta precisione (Azimut/Pitch $\leq 0.4^\circ$ o $\leq 0.3^\circ$ RMS, accuratezza distanza $\leq 5m$ RMS)
Applicazioni ideali	Monitoraggio su scala regionale e continentale, flussi di biomassa ad alta quota	Applicazioni locali e a bassa quota, valutazione rischi di collisione (es. parchi eolici, aeroporti)	Applicazioni locali e a bassa quota, andamenti relativi dell'intensità di migrazione	Studio quantitativo e dettagliato del comportamento di volo dei singoli individui	Studio delle migrazioni, sicurezza aerea negli aeroporti, mitigazione dell'impatto eolico (con opzione di shutdown automatico delle turbine in caso di pericolo)

Tipologie di dati raccolti

BirdScan - FaunaScan

- **Tipologia**: radar verticale
- **Specifiche**: cieco nei primi 50 m
- **Rilevamento**: Passeriformi fino a 1 km; grandi uccelli (es. gabbiani) alcuni km
- **Funzionalità**: Registra tracce continue e multiple. Classifica i soggetti (es. veleggiatori, limicoli, rondoni, pipistrelli, insetti) tramite l'analisi del battito alare
- **Applicazioni**: Monitoraggio locale a bassa quota e valutazione rischi di collisione (es. parchi eolici, aeroporti)



Tipologie di dati raccolti

Radar nautico

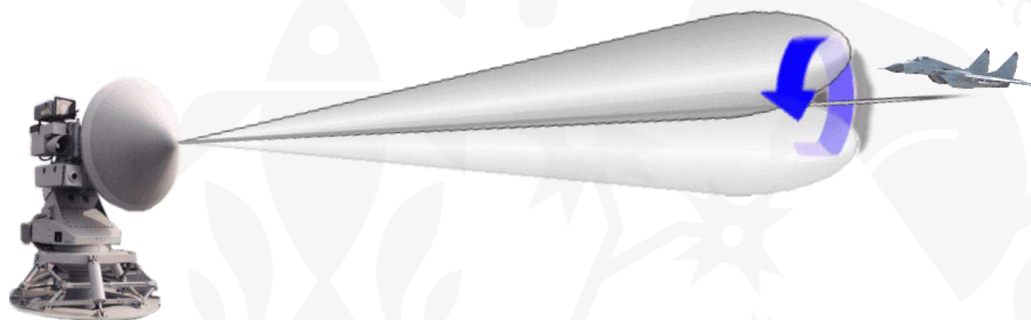
- **Tipologia**: Scansione verticale (180°) o orizzontale
- **Specifiche**: cieco nei primi 100 m
- **Rilevamento**: Passeriformi fino a 1.2 km; grandi uccelli (es. gabbiani) fino a 3 km
- **Funzionalità**: Registra tracce individuali multiple a seguito di scansioni multiple. Classifica i soggetti sulla base di distanza e velocità
- **Applicazioni**: Applicazioni locali e a bassa quota, andamenti relativi dell'intensità di migrazione



Tipologie di dati raccolti

Radar di tracciamento

- **Tipologia**: Inseguimento (tracking) di singoli target, individuati manualmente
- **Specifiche**: cieco nei primi 300 m
- **Rilevamento**: fino a 10 km, in base alle dimensioni del target
- **Funzionalità**: Traccia singola continua di un singolo individuo
Classificazione basata su pattern di battito alare (wing-beat)
- **Applicazioni**: Studio quantitativo e dettagliato del comportamento di volo dei singoli individui



Tipologie di dati raccolti

Radar a scansione di fase

- **Tipologia**: radar orizzontale (360°), angolo scansione verticale tra 5° e ~60°
- **Specifiche**: Area cieca entro i 50 m e nel cono sopra il radar; tracciamento a lungo raggio ad alta precisione
- **Rilevamento**: fino a 8 km, in base alle dimensioni del target
- **Funzionalità**: Tracciamento preciso in tempo reale di target multipli. Classificazione basata su tracciamento avanzato di target in movimento e stima della dimensione dell'uccello
- **Applicazioni**: Studio delle migrazioni, sicurezza aerea negli aeroporti, mitigazione dell'impatto eolico

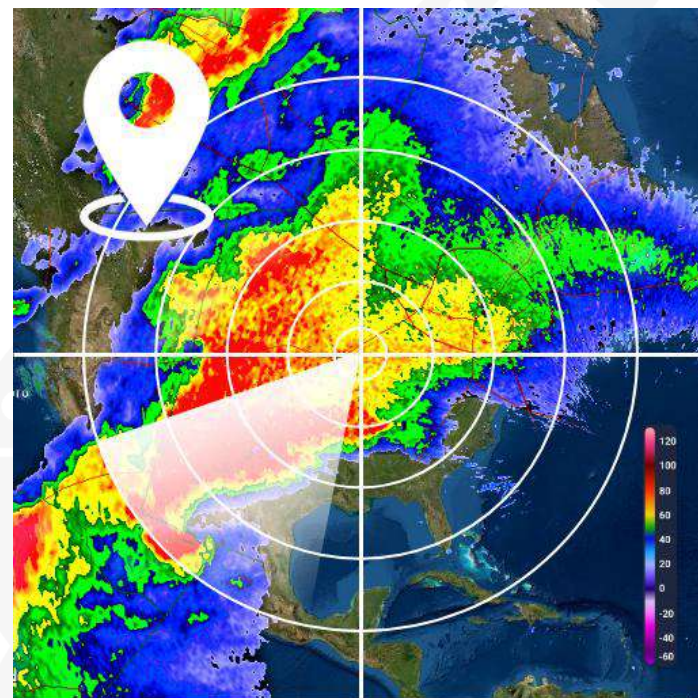


Tipologie di dati raccolti

Radar meteo

La funzione principale dei radar meteo è raccogliere dati per la meteorologia

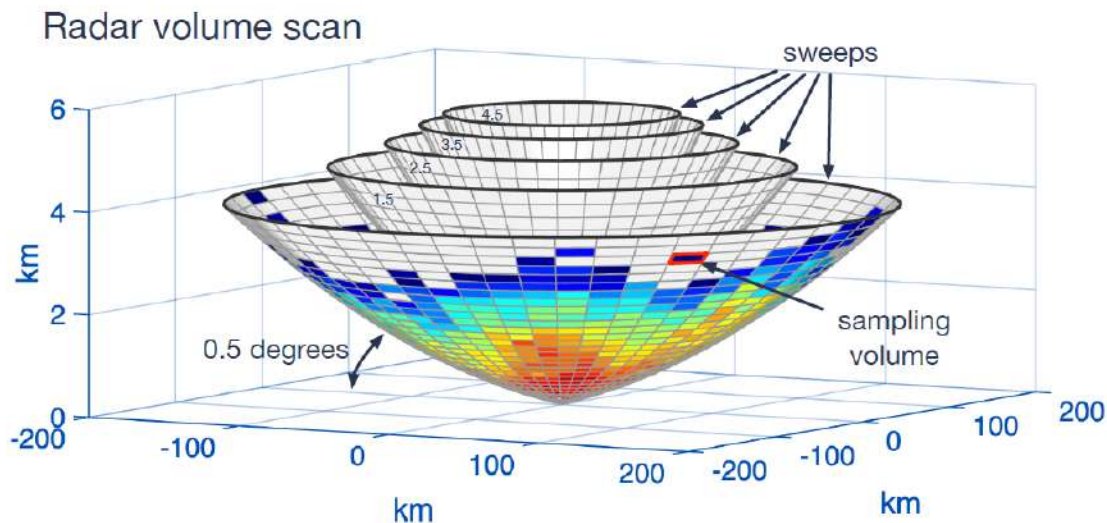
- **Tipologia**: Scansione orizzontale a 360°
- **Specifiche**: cieco nei primi 5 km
- **Rilevamento**: fino a 25-50 km
- **Funzionalità**: Profili verticali di densità della biomassa e velocità al suolo. Categorizzazione basata su pattern di velocità radiale e intensità dell'eco
- **Applicazioni**: Monitoraggio su scala regionale e continentale, flussi di biomassa ad alta quota



Cosa sono i radar meteo

- stazioni fisse
- “vedono” fino a 150-200 km (per gli uccelli fino a ca. 25-50 km)
- sono ciechi nei primi 5 km e nel cono di spazio sopra il radar
- copertura verticale tra 0.5° e 50°
- eseguono una scansione completa ogni 5-15 minuti
- costo approssimativo tra 1.5 e 2.5 milioni di euro

radar meteorologico di San Pietro
Capofiume (BO)



Pre-print Sheldon *et al.*, 2026 - <https://doi.org/10.64898/2026.06.20.733536>

Tipologie di dati raccolti

I radar meteo raccolgono anche informazioni sulla presenza di animali in volo?

normalmente i dati vengono filtrati per tenere solo le informazioni sulle idrometeore

dai dati grezzi si possono estrarre informazioni sulla presenza della componente biotica in volo

aeroecologia



Un po' di storia

UK

Anni '40: gli "angels"

Il radar scopre accidentalmente gli uccelli

Durante la Seconda guerra mondiale, gli operatori radar britannici osservano echi misteriosi che compaiono e si muovono sullo schermo e li chiamano "angels"

Inizialmente non era chiaro cosa fossero, poi alcuni di questi echi vengono ricondotti agli uccelli in volo, dando origine alla radar ornithology.

Il radar, nato per osservare oggetti artificiali, rivela accidentalmente che il cielo è pieno di vita

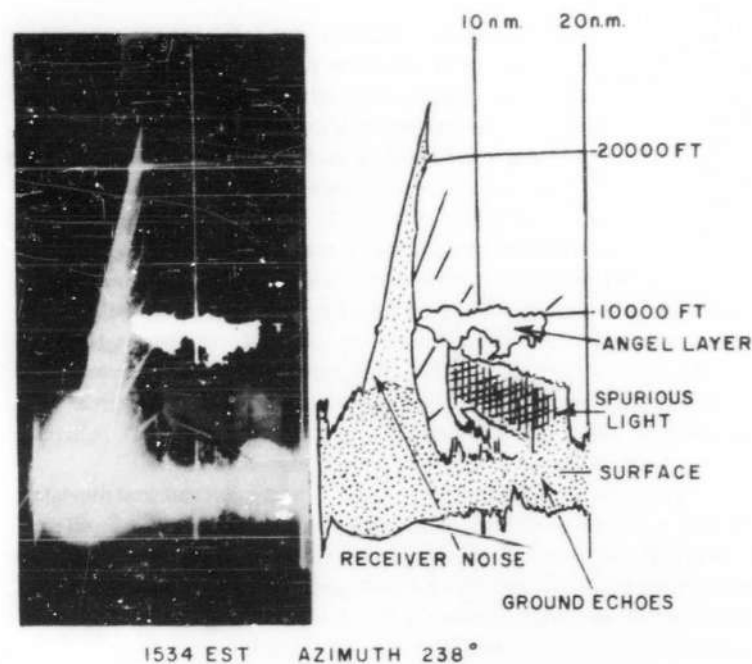


FIG. 2. Angel layer detected at S band. (Courtesy of Dr. David Atlas, Air Force Cambridge Research Center.)

Un po' di storia

USA

1950–1980: da fenomeno curioso a strumento scientifico

Il radar viene progressivamente utilizzato per studiare sistematicamente le migrazioni degli uccelli

Tra gli anni 1960 e 1970 il radar viene integrato con osservazioni sul campo e studi sperimentali

La radar ornithology si consolida come disciplina

Un po' di storia

USA

Anni '90: arriva NEXRAD

Negli Stati Uniti la diffusione della rete WSR-88D / NEXRAD cambia radicalmente le possibilità

Rispetto ai radar precedenti, il radar Doppler permette di ottenere anche informazioni sulla velocità radiale dei bersagli

I pattern degli echi biologici possono essere studiati in modo più sistematico e quantitativo in quanto separabili dalla componente statica e meteorica

NEXRAD: rete nazionale nata per la meteorologia: si passa dalla scala del singolo radar a quella continentale

Un po' di storia

USA

Anni 2000-oggi: dagli echi ai grandi archivi

I dati archiviati nel passato permettono di ricostruire trend

Introdotti algoritmi automatici e machine learning in grado di separare i segnali biologici dalla precipitazione e da altri echi non meteorologici in modo efficiente e automatizzato

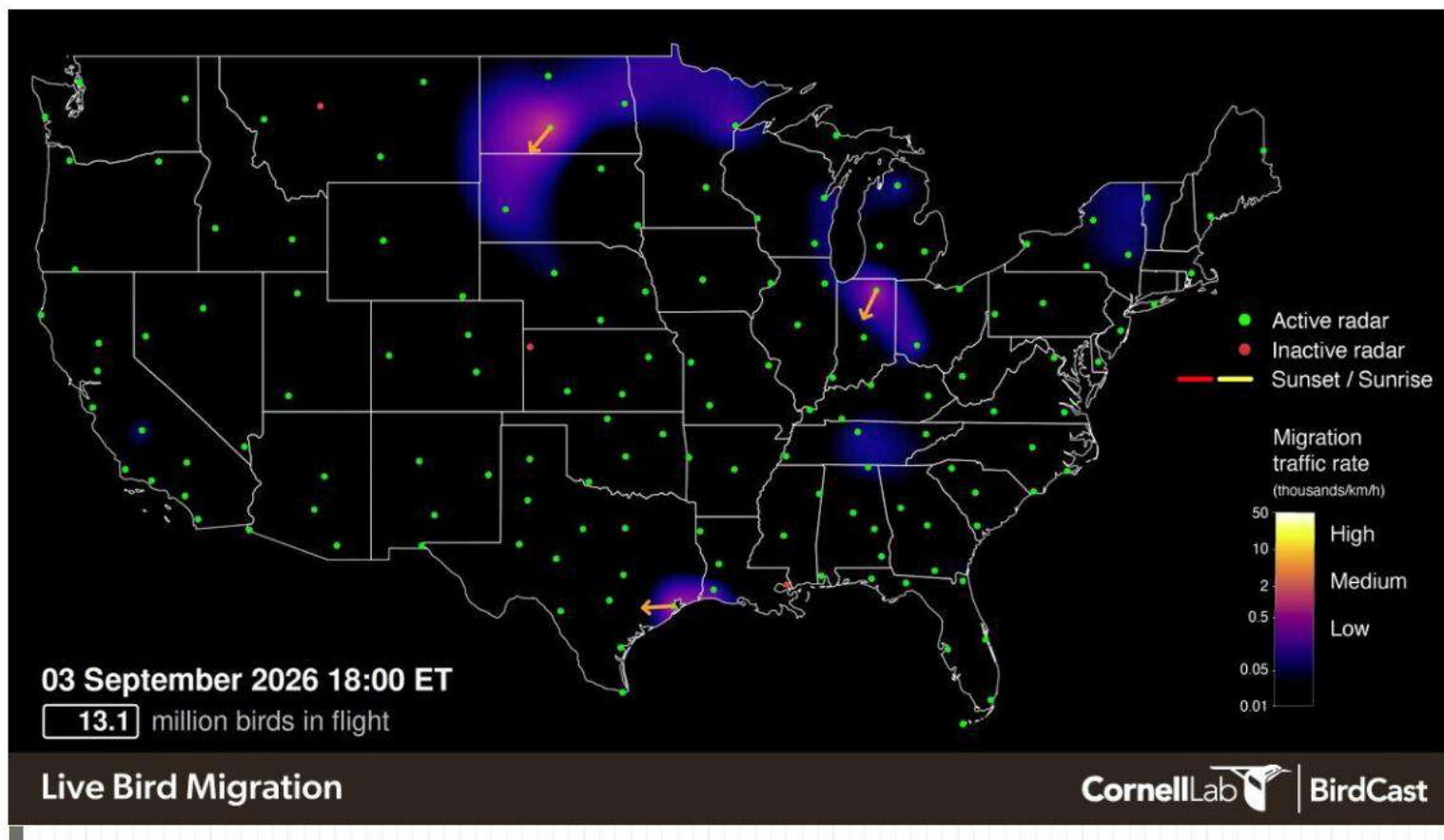
Nasce BirdCast: la rete NEXRAD può essere trasformata in un sistema di monitoraggio della migrazione su scala continentale in tempo reale

La rete radar meteo diventa fonte di dati per analisi storiche, modellistica e previsione

Un po' di storia

USA

Live Maps



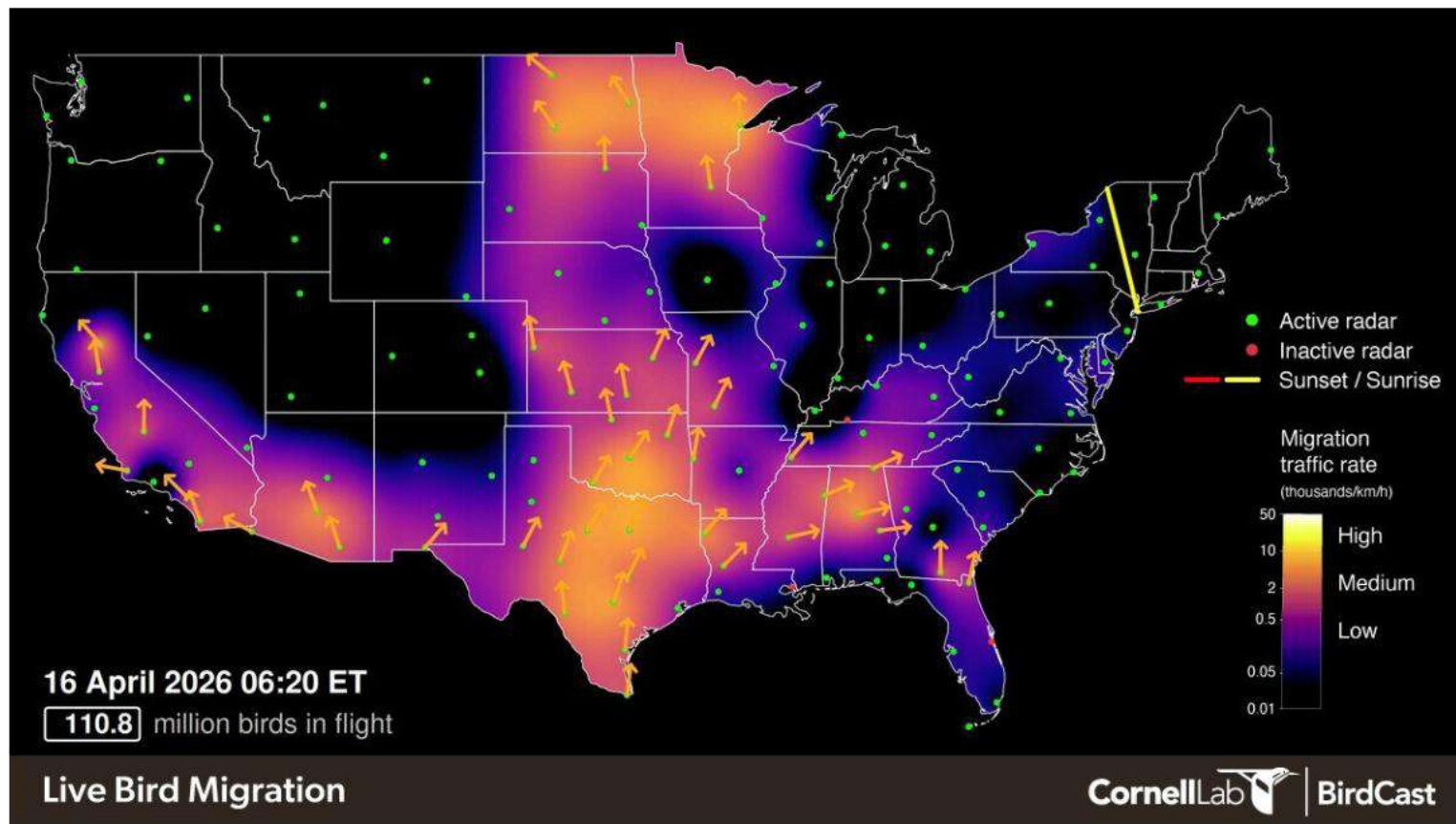
Un po' di storia

USA

Live Maps



BirdCast



Cofinanziato
dall'Unione europea



09/09/2026

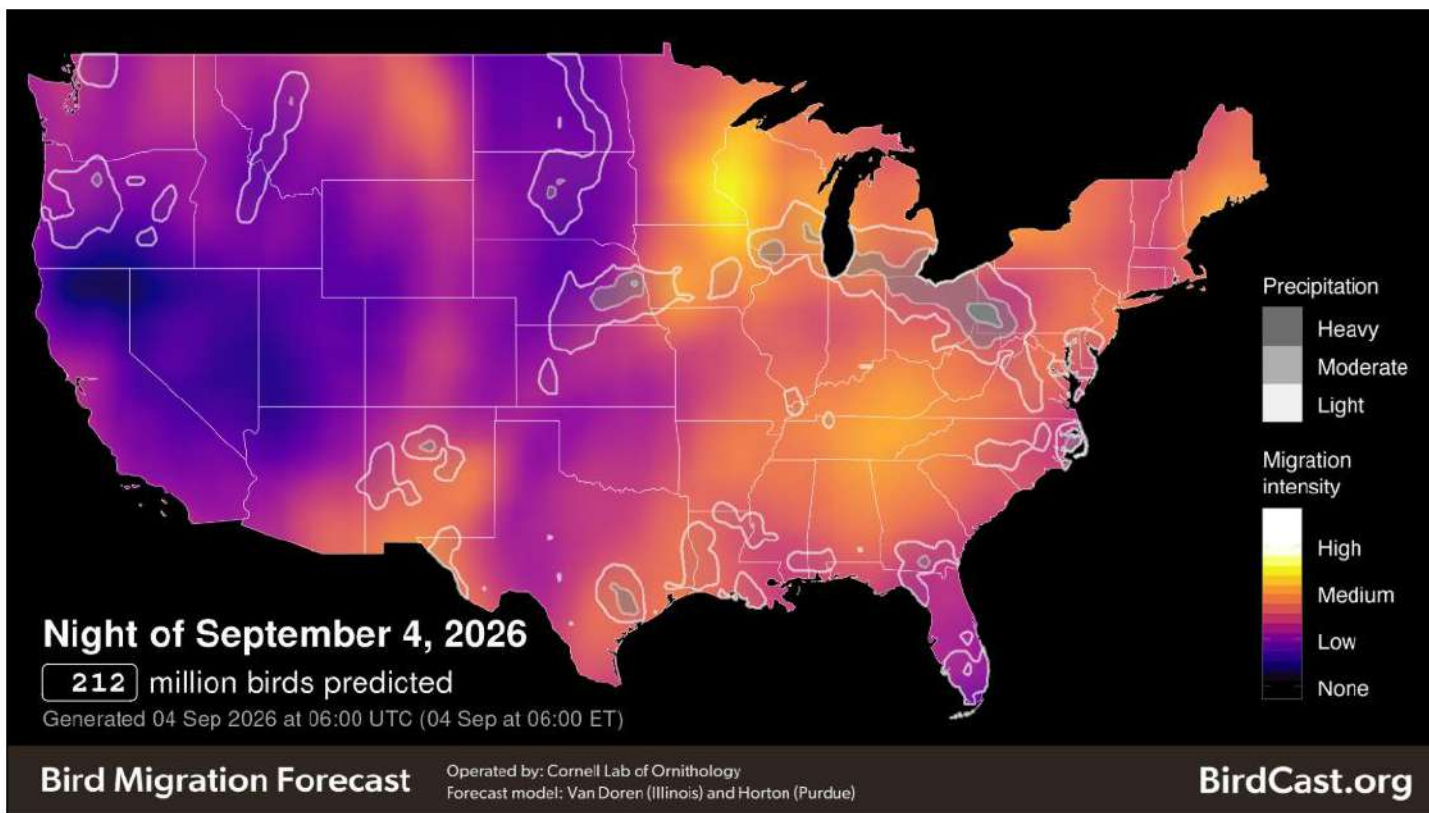
Fattibilità dell'uso dei radar meteo per il monitoraggio delle rotte migratorie

19

Un po' di storia

USA

Forecast Maps



3-night Migration Forecast

Fri, Sep 4

Medium

6000-12.000 birds/km/night

Sat, Sep 5

Medium

6000-12.000 birds/km/night

Sun, Sep 6

Medium

6000-12.000 birds/km/night

BirdCast

New York

Here's what happened last night...

Birds in flight



Birds usually begin to migrate 30 to 45 minutes after sunset, with the greatest number in flight two to three hours later.

Flight direction and speed



Birds tend to migrate southward in autumn, but seasonal timing, weather, and geography alter their flight directions and speeds.

Altitude



Migrating birds regularly fly up to 10,000 feet above ground, although seasonal timing and weather conditions dramatically impact their distributions.

13,277,800

Birds crossed New York last night (est.)

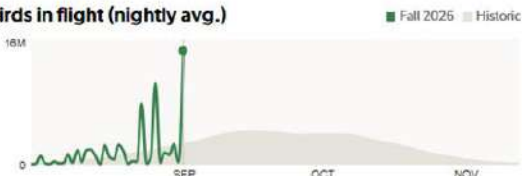
High

Starting: Thu, Sep 3, 2026, 7:40 PM EDT
Ending: Fri, Sep 4, 2026, 6:30 AM EDT

[Learn more](#)

And so far this season...

Birds in flight (nightly avg.)



During fall migration, most birds pass through the contiguous U.S. from early September through October.

Total birds crossed



This is the estimated total number of birds that have fully crossed this region. The curve rises quickly during peak migration and levels off at the end of the season.

PEAK MIGRATION TRAFFIC

28.288.200

Birds in flight (est.) High

Direction: S Speed: 19 mph Altitude: 1300 ft

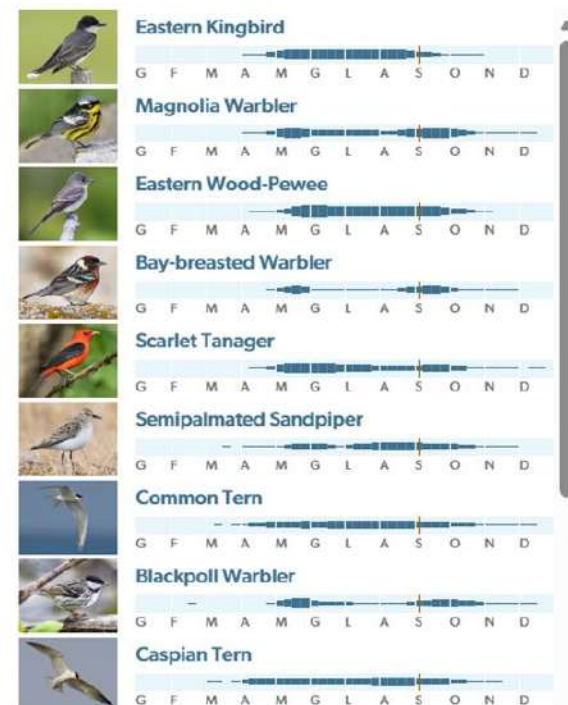
Recorded: Thu, Sep 3, 2026, 10:50 PM EDT

Not all birds may fully cross a region in one night, resulting in a greater number of birds in flight than total birds crossed.

Expected nocturnal migrants

POWERED BY EBIRD

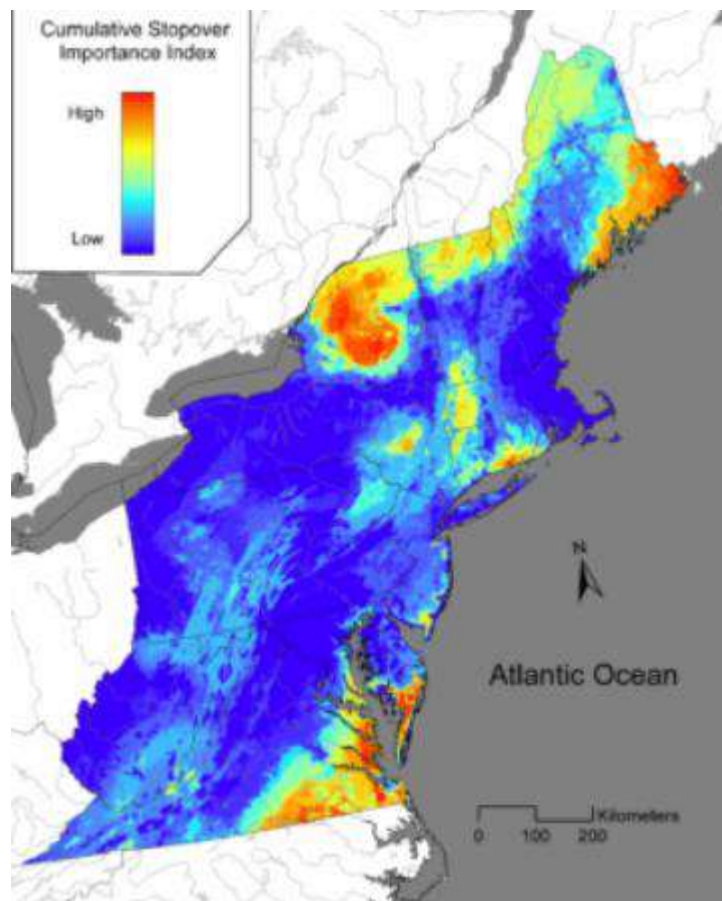
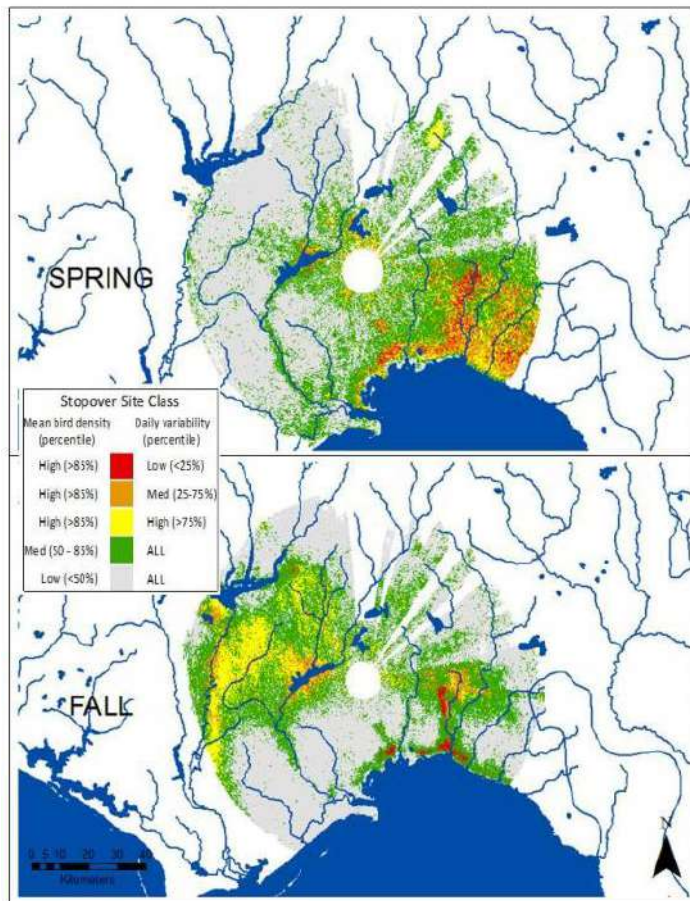
Nocturnally migrating species most likely to arrive or depart this region at this time of year, based on frequency of observations



Un po' di storia

USA

Individuazione dei siti di sosta durante la migrazione



Un po' di storia

Europa

Molti radar, ma una rete più frammentata

Già negli anni 2000 viene dimostrato che i radar meteo usati in Europa possono rilevare e quantificare il passaggio degli uccelli

Il limite principale è la **disomogeneità**: frequenze, scansioni, elaborazione dei dati, filtri e disponibilità degli archivi possono cambiare tra Paesi diversi

Per questo l'obiettivo europeo è armonizzare dati e metodi

Un po' di storia

Europa

Anni 2010-oggi: verso un monitoraggio continentale

Dokter *et al.* (2011) sviluppano un metodo automatico per estrarre densità, velocità e direzione degli uccelli in funzione della quota

Il metodo viene validato confrontando i dati dei radar meteo con quelli derivanti da un radar dedicato agli uccelli in Paesi Bassi, Belgio e Francia

I radar meteo possono essere utilizzati per il monitoraggio operativo della migrazione anche in Europa

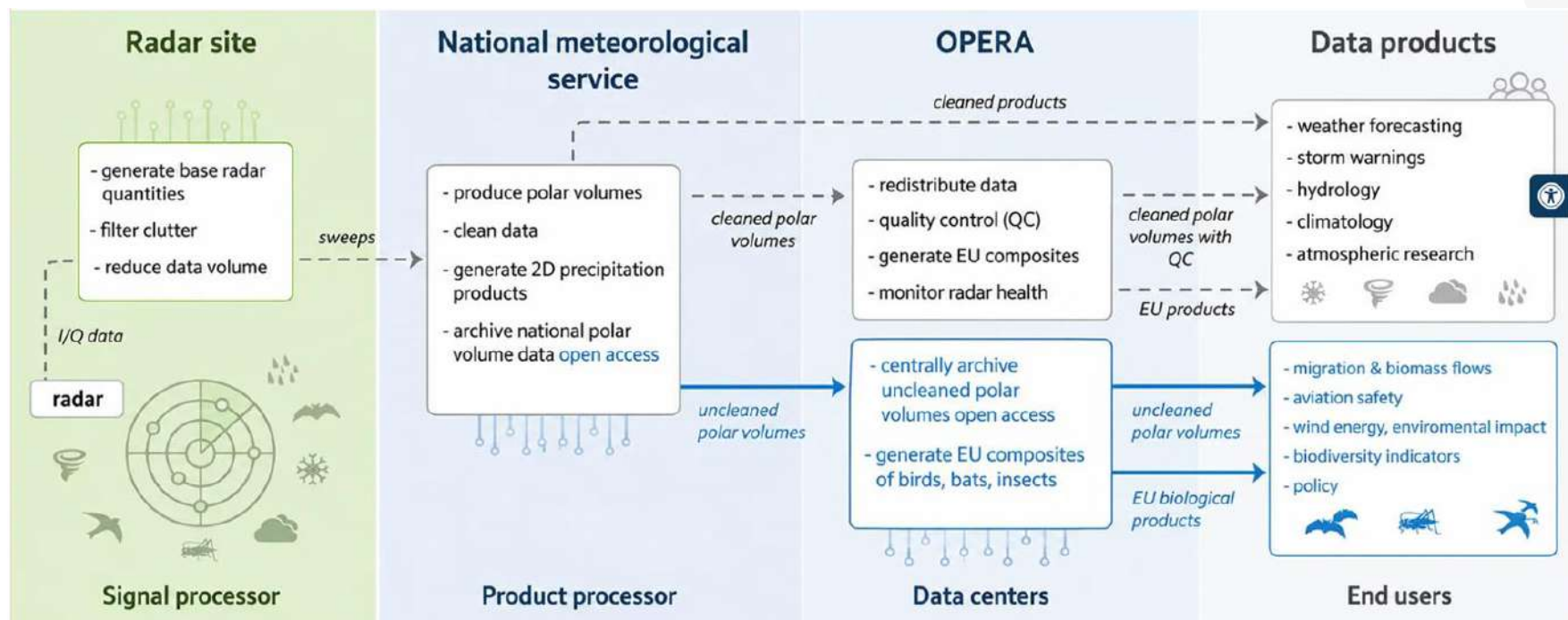
Nel 1999 nasce la banca dati europea OPERA raccoglie dati radar grezzi da 141 stazioni di 18 Paesi

Nascono progetti che utilizzano i dati a scala continentale
(es. link: [BIODIVERSA+ GloBAM](#))

Un po' di storia

Europa

Flusso dei dati europei centralizzati



Shamoun-Baranes *et al.*, 2022 - <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0196.1>

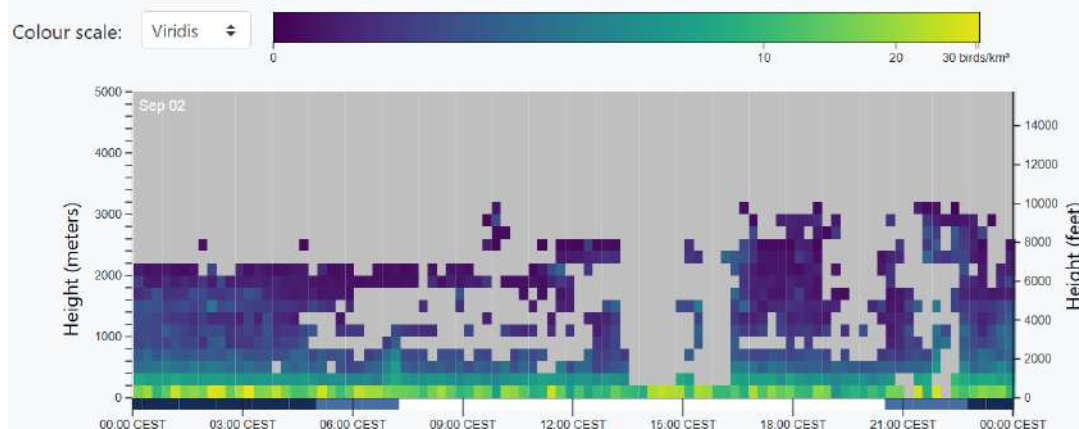
Come si arriva alle mappe?

I dati estratti da ogni stazione radar vengono rielaborati per ottenere:

- il numero di uccelli per fascia altitudinale (circa 100 m) nel tempo
- l'andamento del passaggio di animali

Link [Aloft](#)

This chart shows the measured **bird density** (colour: birds/km³) per height above mean sea level. The BirdTAM colour scale is tailored to aviation.



This chart shows the **total number of birds** passing at any given moment over the radar. In total about **3100 birds** flew across a 1 km line during the time shown.

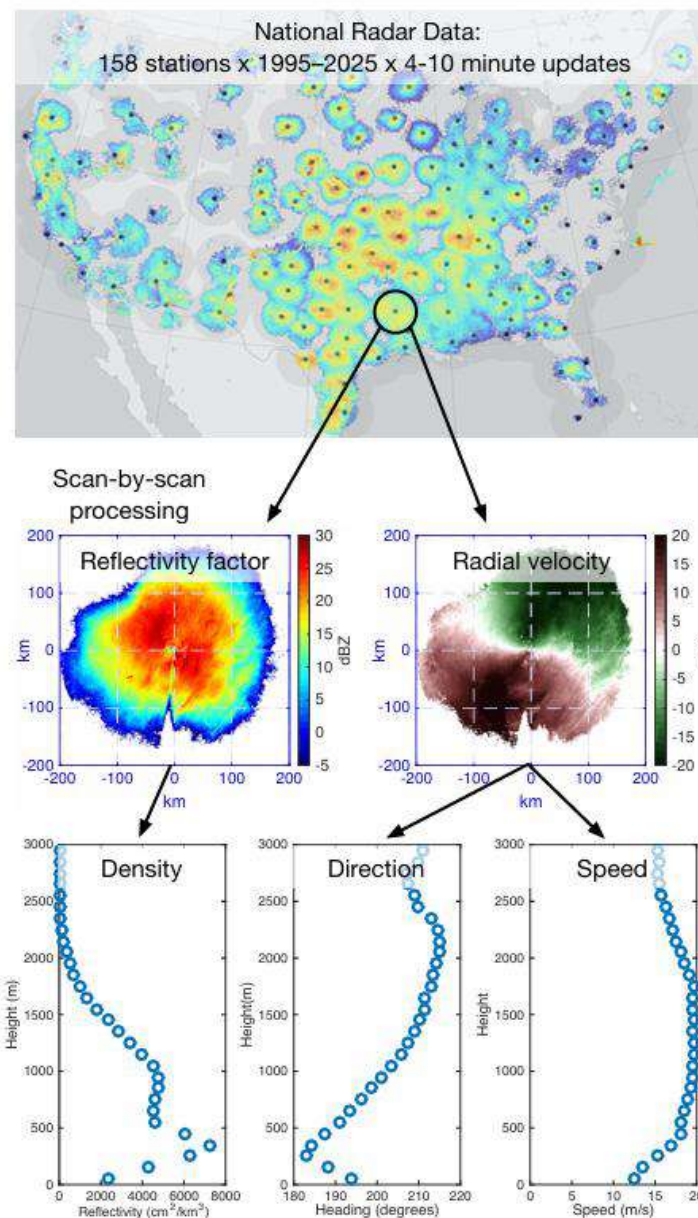


Come si arriva alle mappe?

Inoltre si possono ottenere

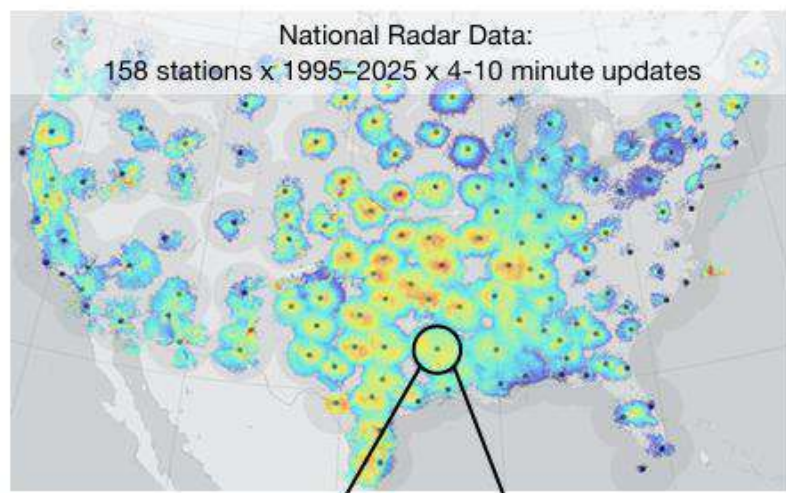
- velocità
- direzione

Aiutano a discriminare uccelli ed insetti, e danno informazioni sulla direzionalità degli spostamenti

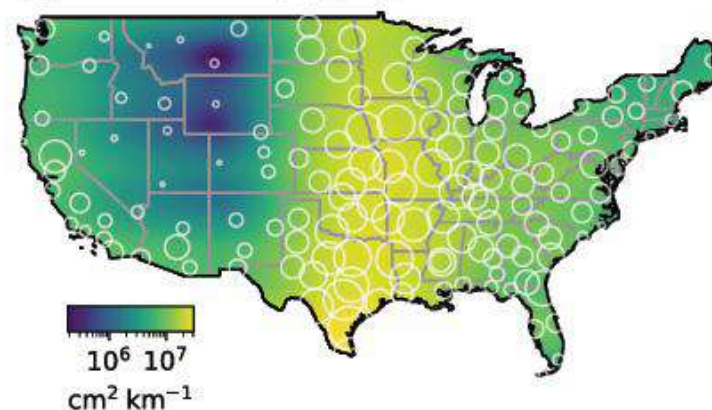


Pre-print Sheldon *et al.*, 2026 - <https://doi.org/10.64898/2026.06.20.733536>

Come si arriva alle mappe?



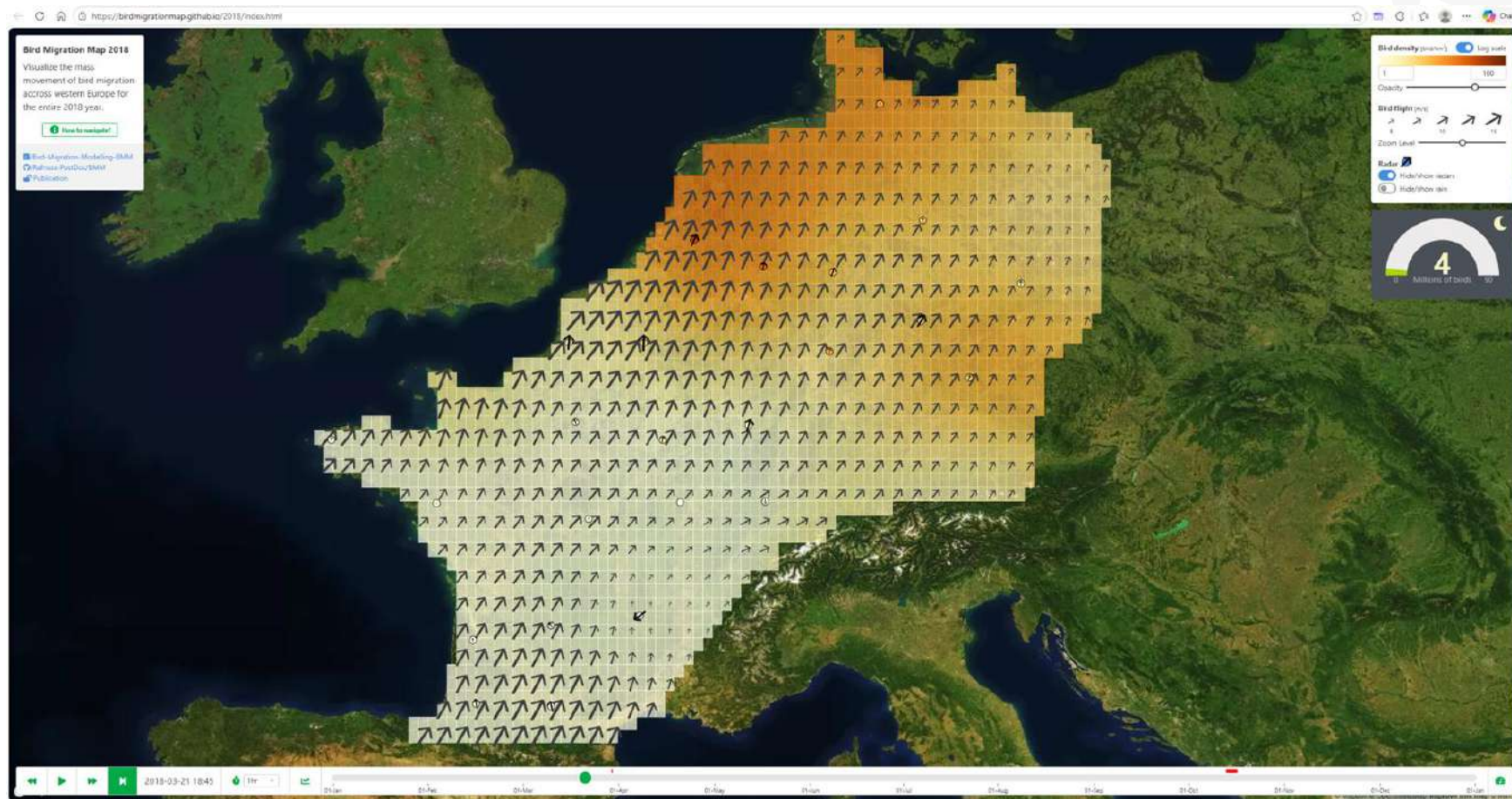
(a) US cumulative spring migration traffic: 1999–2025



interpolando spazialmente i dati raccolti dalle singole stazioni radar è possibile ottenere delle mappe che mostrano la distribuzione del passaggio dei migratori

Pre-print Sheldon *et al.*, 2026 - <https://doi.org/10.64898/2026.06.20.733536>

Come si arriva alle mappe?



Bird Migration Map 2018 - [link](https://birdmigrationmap.github.io/2018/index.html) celle interpolate di ca. 0.2° Lat-Long (21-03-2018 18:45)

Situazione italiana

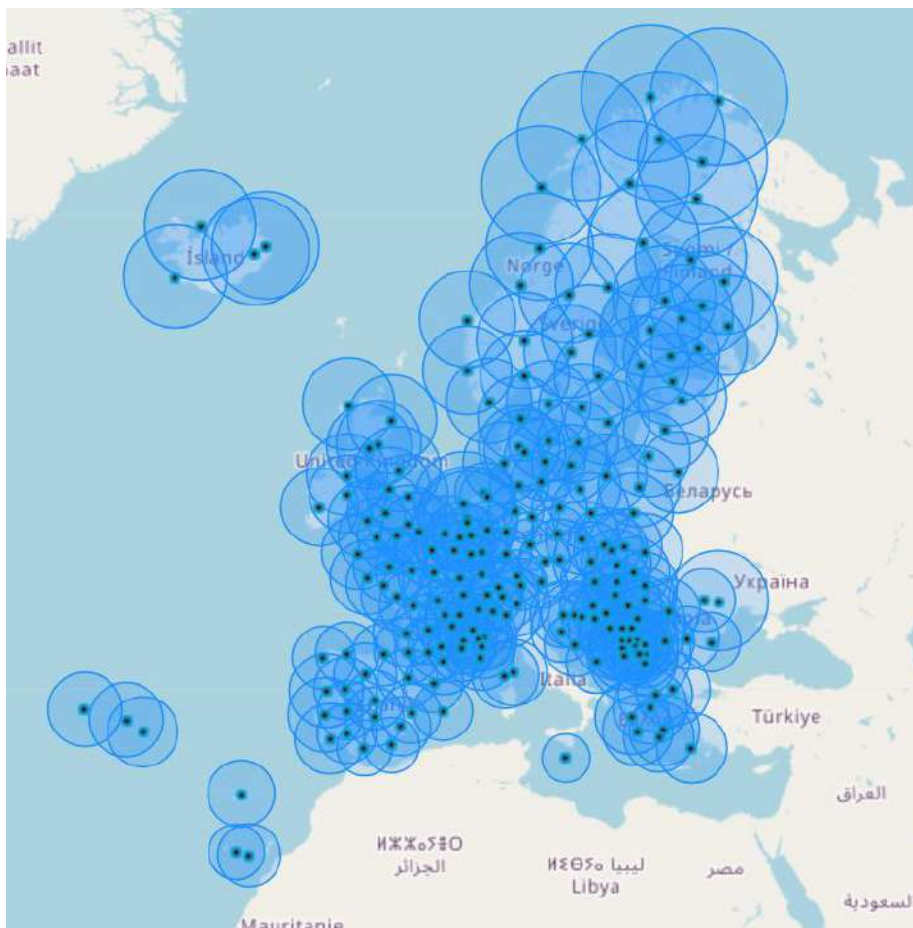
Mappa dei radar meteo

- localizzazione dei 26 radar (dal sito della Protezione Civile) con buffer di 25 km
- proprietà e gestione:
 - 11 Protezione Civile
 - 10 Regioni
 - 2 ENAV
 - 1 Aeronautica Militare
- dal 2026 la Protezione Civile raccoglie i dati dei radar meteo italiani senza la componente biologica
- *Nebuloni et al. 2008; Nebuloni e Capsoni 2024*
- *Andreotti e Nardelli, 2012. relazione tecnica ISPRA*



Situazione italiana

Siamo fuori dal sistema OPERA e dai progetti di aeroecologia (es. GloBAM, Aloft)



Ricapitolando

Anche i radar meteo possono fornire dati importanti per lo studio della migrazione degli uccelli a scala locale e continentale

- quando migrano (fenologia giornaliera e stagionale)
- stima degli uccelli in volo
- direzioni di volo
- quota di migrazione
- relazione tra condizioni meteo e migrazione
- dove si fermano (siti di stop-over)

Applicazioni pratiche

- mitigazione del fenomeno *birdstrike*
- mitigazione impatto infrastrutture energetiche
- mitigazione inquinamento luminoso
- ottimizzazione periodi attività impianti eolici
- mappe di rischio zoonosi



Obiettivi

Raccogliere e centralizzare i dati grezzi italiani
comprensivi della componente biotica

Caricare tutti i dati su OPERA

Utilizzare questa fonte di dati per:

- lo studio dell'avifauna europea a supporto delle politiche di conservazione
- mitigazione degli impatti delle attività antropiche
- Implementazione di sistemi di allerta per zoonosi, *birdstrike* e *curtailment* (impianti eolici)





Cofinanziato
dall'Unione europea



LIFE
NatConnect
2030



Grazie per l'attenzione

[GloBAM video](#)