

Utilizzo di tecniche di landscape analysis e Remote Sensing per la caratterizzazione della nicchia ecologica delle specie di *Culicoides* appartenenti all'Obsoletus Complex

Ippoliti C. (*), Conte A. (*), Bocci M. (**), Goffredo M. (*),
Salini R. (*), Gadenz S. (**), Lelli R. (*)

(*) Istituto "G. Caporale", Via Campo Boario, Teramo, Tel. +39 0861 3321, Fax +39 0861 332251

(**) Geographike S.R.L., Via Sansedoni 7, 53100 Siena, Tel./Fax +39 0577 588408

Sommario

La Bluetongue è una malattia infettiva dei ruminanti, diffusa in tutta Europa, che ha una ricaduta economica imponente, derivante dal blocco del commercio degli animali. E' trasmessa da insetti vettori appartenenti al genere *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) e quindi la sua diffusione è strettamente legata all'ecologia dei vettori stessi.

Obiettivo del lavoro è verificare se le singole specie dell'Obsoletus Complex (*Culicoides obsoletus*, *C. scoticus* e *C. montanus*), diffuse e abbondanti in tutta Europa, condividono la medesima nicchia ecologica o si distribuiscono diversamente sul territorio in base a fattori di rischio specifici.

Nell'ambito del Piano Nazionale di Sorveglianza Entomologica sono stati selezionati i siti di cattura rilevanti per presenza e abbondanza dell'Obsoletus Complex, ed è stata effettuata l'identificazione delle singole specie. Ad ogni sito è stata associata la specie prevalente.

Sul territorio Italiano sono stati identificati 65 siti di cattura, e tutte le variabili sono state estratte nel buffer di 1 km di raggio attorno ad essi.

Nel modello sono state considerate variabili topografiche (altitudine, pendenza, esposizione dei versanti, intensità di rilievo), climatiche ed ambientali.

I dati MODIS per gli anni 2000-2010, con risoluzione spaziale sia di 1 km che 250 m sono stati scaricati, pre-processati e analizzati con analisi di Fourier, estraendo, per ciascun buffer, la media annuale, l'ampiezza e la fase del ciclo annuale e del ciclo semestrale dagli indici di vegetazione (NDVI e EVI del prodotto MOD13Q1) e dalle temperature (Land Surface Temperature del prodotto MOD11A2).

Dati dell'uso del suolo di dettaglio, sono state derivate da ortofoto disponibili come servizi dal Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente e sono stati integrate nelle analisi insieme alle principali metriche di ecologia del paesaggio.

L'utilizzo di tecniche di ecologia del paesaggio e di Analisi di Fourier su serie temporali di dati telerilevati permettono di individuare e descrivere le relazioni tra ambiente, clima e vettore ad una "alta" scala di dettaglio, utili per successive fasi di modellazione previsionale delle epidemie.

Abstract (in inglese)

Bluetongue (BT) is an arthropod-borne infectious disease of ruminants and it is present in Mediterranean basin and continental Europe: economic losses are mainly related to the ban on movements and trade. The disease is transmitted by vectors belonging to the genus *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) and its spread is related to the ecology of the vector species.

The aim of this paper is to verify if the species of the Obsoletus Complex (*Culicoides obsoletus*, *C. scoticus* and *C. montanus*), present and abundant in whole Europe, share the same ecological niche or if different environmental patterns influence the distribution of the species.

In the frame of the Italian Entomological Surveillance Plan for BT, the identification of the single species belonging to the *Obsoletus* Complex have been performed from selected sites where the Complex was abundant. Each site has been associated with the predominant species, with a total of 65 sites on the whole Italian territory.

A number of topographic (elevation, slope, aspect, range of altitudes), climatic and environmental variables have been referred to 1 km radius buffer around each site, and included in the model.

MODIS data at 1 km and 250 m spatial resolution for the period 2000-2010 have been downloaded, pre-processed and submitted to a Fourier analysis. For each buffer, the annual mean, amplitude and phase of the annual and bi-annual cycles have been extracted for the vegetation Indexes (NDVI and EVI of MOD13Q1 product) and temperature (Land Surface Temperature of MOD11A2 product).

Detailed information on land use has been derived from orthophoto images available as Web Services in the National Geoportal of the Italian Ministry for Environment. The main metrics of landscape ecology have been derived and integrated in the analysis.

Using landscape ecology techniques and Fourier analysis on temporal series of remote sensed data, helps in identify and describe the relationships between environment, climate and vector to a "high" level of detail, useful for subsequent phases of predictive modelling epidemics.

Introduzione

L'*Obsoletus* Complex è un gruppo di specie, morfologicamente non distinguibili, appartenenti al sottogenere *Avaritia* del genere *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) (Meiswinkel et al, 2004). Questo Complex, largamente diffuso ed abbondante in tutta Europa, è coinvolto nella trasmissione del virus della bluetongue (BT) (Savini *et al.* 2003, 2005; De Liberato 2005), ed ha assunto particolare rilevanza epidemiologica in seguito all'epidemia di BT che si è verificata in Nord Europa a partire dal 2006.

A causa delle difficoltà di identificazione specifica, le analisi delle variabili ecologico/ambientali sono state effettuate finora considerando l'intero Complex (Conte *et al.* 2003, 2007) e non le singole specie di *Culicoides* morfologicamente riferibili al Complex stesso.

A tale proposito è stata messa a punto, presso l'Istituto "Caporale" di Teramo, una metodica di identificazione tramite PCR, che permette la identificazione specifica di *C. obsoletus sensu strictu*, *C. scoticus*, *C. dewulfi* e *C. montanus* (Gomulski et al 2005; Goffredo et al 2008; Monaco et al 2010), ed è stata effettuata una mappatura delle singole specie in Italia.

Per valutare le caratteristiche ambientali e climatiche che favoriscono o inibiscono il proliferare delle singole specie, si propone l'utilizzo di dati telerilevati a media ed alta risoluzione e tecniche di ecologia del paesaggio, rispetto ai soli dati da satellite finora utilizzati negli studi sui *Culicoides* (Purse et al., 2005; Rogers et al., 2002). L'offerta di dati derivati da Remote Sensing è oggi sempre più ampia a varie risoluzioni spaziali, temporali e radiometriche, facilitando una più accurata individuazione della relazione tra presenza dell'insetto e potenziale fattore di rischio.

L'ecologia del paesaggio (landscape ecology) nasce dall'esigenza di studiare il territorio, e le configurazioni spaziali che gli ecosistemi assumono nel territorio stesso. Essa è una disciplina dell'ecologia e della geografia fisica che studia la distribuzione spaziale degli elementi che costituiscono il paesaggio e l'ambiente (Forman et al., 1986). Un contesto "monotono" dal punto di vista della tipologia di uso e copertura del suolo potrebbe, infatti, differenziarsi dal punto di vista dell'habitat dei *Culicoides*, da altri ambienti molto eterogenei e frammentati, in cui si susseguono varietà di paesaggi diversi. La sola analisi statistica sulle tipologie di uso del suolo non è sufficiente per discriminare queste tipologie di ambiente, e deve essere affiancata da specifici indicatori che consentano di valutare quantitativamente la struttura del paesaggio.

Tali tecniche di ecologia del paesaggio sono state già applicate per caratterizzare gli ambienti in cui alcune specie animali, vettori di malattie, sono più presenti e/o abbondanti (Kitron, 1998; Estrada-Peña et al., 2010; Lambin et al., 2010; Vanhuyse et al., 2010).

Tali attività sono state condotte nell'ambito della ricerca "Analisi delle variabili ecologico/ambientali associate alla distribuzione di *C. obsoletus s.s.*, *C. scoticus* e *C. montanus*,

attraverso l'utilizzo di tecniche di landscape analysis e Remote Sensing" finanziata dal Ministero della Salute, Dipartimento per la Sanità Pubblica Veterinaria, la Nutrizione e la Sicurezza degli Alimenti.

In questo lavoro saranno illustrate le tecniche utilizzate per verificare se le specie dell'Obsoletus Complex condividono la medesima nicchia ecologica o si distribuiscono diversamente sul territorio in base a fattori di rischio specifici e saranno presentati i risultati preliminari ottenuti.

Materiali e metodi

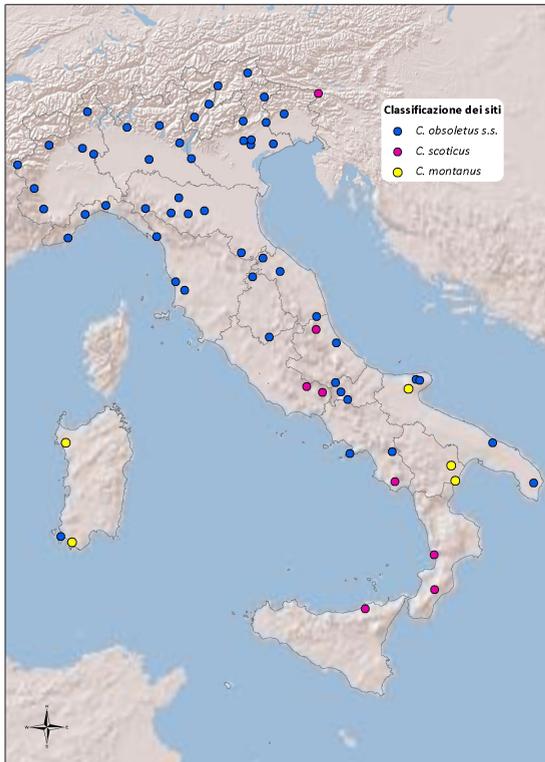


Figura 1 – Distribuzione geografica dei siti selezionati per le analisi di Remote Sensing e le associazioni alle variabili climatiche ambientali.

Dati ambientali

Nel modello sono state considerate variabili topografiche (altitudine, pendenza, esposizione dei versanti, intensità di rilievo) (Tabella 2), climatiche (LSTD – MODIS Land Surface Temperature Day) (Tabella 4) ed ambientali (uso del suolo, NDVI – MODIS Normalized Difference Vegetation Index, EVI – MODIS Enhanced Vegetation Index) (Tabelle 4 e 6).

Per ognuno dei 65 siti di cattura identificati, è stato creato un buffer di 1 km di raggio e tutti gli strati informativi sono stati a questo riferiti.

Le variabili climatiche ed ambientali sono state inserite in un unico geodatabase contenente limiti amministrativi (regione, province e comuni) in aggiunta ai risultati entomologici selezionati per i siti di cattura. La gestione e l'elaborazione dei dati sono avvenute con il software ArcGIS 10 di ESRI®.

Dal Modello Digitale del Terreno (DEM) a 20 metri di risoluzione, sono stati estratti i dati riportati in tabella 2.

Dati entomologici

Nell'ambito della collezione di *Culicoides* del Piano Nazionale di Sorveglianza Entomologica della BT sono stati selezionati i siti in cui l'Obsoletus Complex è risultato particolarmente abbondante (>80% del totale dei *Culicoides*). Successivamente, da ogni sito così selezionato, sono stati estratti casualmente almeno 20 esemplari appartenenti all'Obsoletus Complex e sottoposti singolarmente ad identificazione di specie tramite PCR, per la caratterizzazione in *C. obsoletus s.s.*, *C. scoticus* e *C. montanus*.

Dopo aver identificato tramite PCR i *Culicoides* di ogni sito, l'intervallo di confidenza al 95% della percentuale di specie prevalente è stato definito utilizzando un approccio statistico bayesiano tramite la distribuzione Beta(s+1, n-s+1).

In figura 1 è riportata la distribuzione geografica dei 65 siti considerati e la caratterizzazione in base alla specie prevalente.

Variabile	Descrizione
ALTITUDINE	Altitudine s.l.m. del sito di cattura (in metri)
RANGE ALTITUDINI	Intensità di rilievo (detta anche "energia di rilievo") misura il dislivello massimo presente in una superficie unitaria
SLOPE	Pendenza percentuale media
ESPOSIZIONE_PREVALENTE	Classe di esposizione dei versanti (riclassificato in N,NE,E,SE,S,SO,O,NO) prevalente del buffer

Tabella 2 – Metadati degli strati informativi geografici orografici.

I dati MODIS per gli anni 2000-2010, sono stati scaricati, pre-processati e analizzati con analisi di Fourier, estraendo, per ciascun buffer, la media annuale, l'ampiezza e la fase del ciclo annuale e del ciclo semestrale dagli indici di vegetazione (NDVI ed EVI del prodotto MOD13Q1, 250 m di risoluzione) e dalle temperature (Land Surface Temperature del prodotto MOD11A2, 1 km di risoluzione).

I prodotti scelti sono realizzati mediante elaborazioni che sintetizzano l'andamento medio dei rispettivi parametri per un intervallo di tempo dato (16 giorni per il MOD13Q1 ed 8 giorni per il MOD11A2).

Le attività di preprocessing si sono svolte con la successione delle seguenti fasi:

1. importazione dal formato hdf al formato img dei soli layer individuati per la ricerca;
2. mosaicatura dei 4 frame;
3. trasformazione dalla proiezione sinusoidale a quella WGS84 UTM33;
4. subset dell'area italiana;
5. trasposizione del dato finale nell'unità di lavoro:
 - a. per la temperatura il valore è stato riportato in gradi centigradi,
 - b. per gli indici NDVI ed EVI si è riportato il valore nel range -0.002 – 1.

Le varie operazioni sono state svolte mediante script in Python in ambiente ArcGIS, con ridotti interventi dell'operatore, limitati alla modifica dei file di comando e alla verifica dei risultati.

I dati MODIS sono stati processati in ambiente Idrisi mediante il modulo STA (Seasonal Trend Analysis). Si è scelto di considerare il periodo 2001-2010, per la mancanza di dati nel primo anno della raccolta, il 2000.

Sono state condotte delle prime operazioni di MDI (Missing Data Interpolation) in quanto, soprattutto i dati di temperatura presentano pixel con assenza di dato, in corrispondenza di periodi particolarmente nuvolosi e con abbondante copertura nevosa. Tali operazioni sono state condotte più in particolare con la successione delle seguenti 3 fasi:

- 1 - LTI - Linear temporal interpolation (provvede alla interpolazione del dato analizzando per lo stesso pixel le date precedenti e successive);
- 2 - SI - Spatial interpolation (provvede alla interpolazione del dato mancante mediante un'analisi dell'intorno del pixel nella stessa immagine);
- 3 - Climatology - temporal median (provvede all'interpolazione mediante analisi su tutti i pixel delle altre immagini nello stesso periodo).

Successivamente il modulo STA analizza tutto il volume di dati, rappresentati in figura 3.

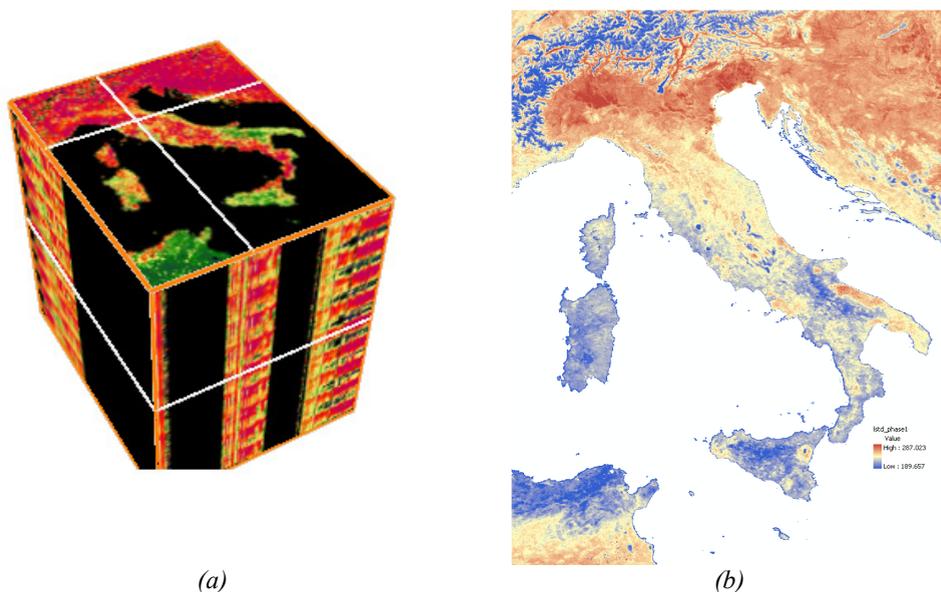


Figura 3 – Immagini satellitari MODIS: la serie multitemporale (a) e la fase 1 della temperatura (LSTD_F1_MEDIA).

Il metodo implementato, secondo quanto esposto in “Seasonal trend analysis of image time series” di J. Ronald Eastman et al., 2009, si basa sull’analisi di fenomeni periodici riconducibili ad alcune armoniche principali. Per fenomeni annuali la maggior parte di informazioni risiede nelle armoniche 1 (ciclo annuale) e 2 (ciclo semestrale).

L’analisi produce una vasta serie di dati di output, compresi elementi per valutare i trend nel tempo. Per gli obiettivi dello studio in oggetto si è scelto di estrarre le informazioni medie del periodo in quanto potenzialmente indicative di legami con gli habitat delle specie in esame.

I dati di sintesi, sia per la temperatura (LSTD) che per gli indici di vegetazione (EVI e NDVI) sono stati pertanto i seguenti:

Variabile	Descrizione
LSTD_A0_MEDIA	Temperatura media diurna registrata negli anni 2001-2010 nel buffer
LSTD_A1_MEDIA	Ampiezza massima della 1 armonica di temperatura
LSTD_A2_MEDIA	Ampiezza massima della 2 armonica di temperatura
LSTD_F1_MEDIA	Fase della 1 armonica di temperatura
LSTD_F2_MEDIA	Fase della 2 armonica di temperatura
NDVI_A0	Media negli anni 2001-2010 nel buffer dell’indice di vegetazione NDVI
NDVI_A1	Ampiezza della 1 armonica dell’NDVI
NDVI_A2	Ampiezza della 2 armonica dell’NDVI
NDVI_F1	Fase della 1 armonica dell’NDVI
NDVI_F2	Fase della 2 armonica dell’NDVI
EVI_A0	Media negli anni 2001-2010 nel buffer dell’indice di vegetazione EVI
EVI_A1	Ampiezza della 1 armonica dell’EVI
EVI_A2	Ampiezza della 2 armonica dell’EVI
EVI_F1	Fase della 1 armonica dell’EVI
EVI_F2	Fase della 2 armonica dell’EVI

Tabella 4 – Metadati degli strati informativi geografici derivati da remote sensing.

I dati dell'uso del suolo di dettaglio, sono stati derivati da ortofoto disponibili come servizi dal Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente.

La classificazione dell'uso del suolo è stata fatta mediante fotointerpretazione, basandosi sulla Legenda del Corine Land Cover – Livello 3 (EAA Technical Report, 2007).

Nella seguente figura si evidenzia l'intorno di 1 km di raggio centrato su un'azienda, nel contesto delle ortofoto del servizio PCN e con la classificazione dell'Uso del Suolo.



Figura 5 – Un esempio della classificazione di dettaglio dell'uso del suolo nell'intorno di 1 km di un sito di cattura.

Le principali metriche di ecologia del paesaggio (area, numero di poligoni, Shape Index) sono state indagate ed incluse nelle analisi.

Dato che per ogni sito l'area del buffer costituisce l'entità areale di riferimento, la numerosità dei poligoni ne rappresenta un primo indicatore di struttura paesaggistica; con il calcolo della metrica "shape index", basata sul seguente rapporto:

$$\text{Shape index} = \text{perimetro}/4*\text{radq}(\text{area})$$

è possibile poi completare l'analisi quantitativa della struttura territoriale con informazioni specifiche sul grado di compattezza delle varie unità del paesaggio. Alti valori di shape index indicano forme molto contorte e complesse, mentre valori bassi sono caratteristici di forme compatte.

Variabile	Descrizione
URBANO	Percentuale di superficie artificiale nel buffer
COLTIVATO	Percentuale di superficie coltivata nel buffer
VEGETAZIONE SEMINATURALE	Percentuale di superficie con vegetazione semi-naturale nel buffer
BOSCHI	Percentuale di superficie boscata nel buffer
VEGETAZIONE SPONTANEA	Percentuale di superficie con vegetazione spontanea nel buffer
ACQUE	Percentuale di superficie coperta da acque nel buffer
NUM POLY	Metrica di landscape analysis - numero di poligoni nel buffer – misura dell'eterogeneità territoriale in termini di pezzatura di areali a diversa tipologia
SHAPE INDEX	Metrica di landscape analysis - $\text{perimetro}/4*\text{radq}(\text{area})$ – misura del grado di compattezza delle varie unità del paesaggio

Tabella 6 – Metadati degli strati informativi geografici derivati da fotointerpretazione ed ecologia del paesaggio.

Analisi statistiche

I dati entomologici sono stati strutturati in modo da ottenere due gruppi cui applicare le successive analisi:

siti di cattura con specie prevalente *C. obsoletus s.s.* (n= 52)

siti di cattura con specie prevalente *C. scoticus* (n= 8).

Nei due gruppi (*C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus*), per ciascuna variabile è stata calcolata la media e il relativo intervallo di confidenza al 95%.

E' stato effettuato un confronto tra i due gruppi per ciascuna variabile mediante test non-parametrico per campioni indipendenti di Mann Whitney per verificare la presenza di differenze statisticamente significative (Siegel et al., 1988).

Sette variabili hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra *C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus* (p-value<0,05).

Dopo questa prima analisi, si è deciso di eliminare l'insieme delle variabili legate all'indice EVI, essendo correlate per media, ampiezza e fasi con le omologhe dell'NDVI (Goetz, 2000) ed è stata applicata una regressione logistica multipla stepwise di tipo backward sui dati disaggregati, considerando la numerosità degli insetti identificati in ogni sito e non la mera prevalenza di una specie sull'altra (Ricci, 2006). In questo modo la presenza/assenza di *C. obsoletus s.s.* è stata considerata come variabile risposta della regressione logistica.

La regressione logistica stepwise ha prodotto un modello che include 17 variabili invece delle 20 iniziali, considerando l'interazione tra le variabili, ed ha l'indice pseudo $R^2 = 0,343$.

Le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software statistico open-source R (R Development Core Team, 2010).

Risultati

I coefficienti del modello della regressione logistica hanno evidenziato caratteristiche ambientali peculiari per le due specie *C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus*.

L'NDVI A0, misura del rigoglio vegetativo, e l'NDVI A1, escursione annuale dello stesso, contribuiscono, con la stessa magnitudo ed in maniera opposta nell'habitat del *C. obsoletus s.s.*: il *C. obsoletus s.s.* è presente su basse colline (altitudine media di circa 360 m), dove l'ambiente agricolo è prevalente (il 50% dei buffer è classificato come agricolo), quindi il valore medio di rigoglio vegetativo è più basso (media di NDVI_A0 = 0,57) e l'escursione annuale è maggiore (NDVI_A1 = 0,15). Viceversa, il *C. scoticus* è presente a quote più alte (altitudine media di circa 460 m), dove l'intensità media del verde durante l'anno (NDVI_A0 = 0,67) è più alta per la presenza di ambienti più naturali e minore intervento umano (16% di vegetazione naturale, 33% di boschi, solo 4% di urbano). Questi fattori contribuiscono ad una minore escursione (NDVI_A1 = 0,11) del rigoglio vegetativo durante l'anno.

Le variabili legate all'uso del suolo contribuiscono tutte con magnitudo simile e nella stessa direzione a spiegare la presenza del *C. obsoletus s.s.*, evidenziando che questa specie è presente in ogni categoria ed uso del suolo. Viceversa, ognuna di queste categorie è associata negativamente alla presenza di *C. scoticus*.

La variabile Shape index applicata ai poligoni di uso del suolo nel buffer considerato, assume alti valori per forme molto contorte e complesse, tipiche di vegetazione spontanea, mentre valori bassi sono caratteristici di forme compatte, tipiche di ambienti in cui l'uomo con la sua attività influenza il paesaggio. La presenza di *C. obsoletus s.s.* è associata negativamente a tale indice (shape index = -3,151), contrariamente al *C. scoticus*.

Le variabili legate all'altitudine e alla temperatura (in misura minore), seppur significative, non influenzano molto la presenza delle due specie (coefficienti molto piccoli, compresi tra -1 e 1).

Per i siti a prevalenza *C. montanus* si è proceduto ad estrarre tutte le variabili come sopra descritto e, data l'esiguità degli stessi, si è proceduto ad una descrizione qualitativa degli stessi.

Essi sono caratterizzati da un valore medio di temperatura diurna al suolo elevato (23,6°C - 25,3°C) e una latitudine massima di 41,7°N.

La fase I della temperatura al suolo (250 - 256 giorni) ha una minima escursione tra i 5 siti di cattura (il coefficiente di variazione che misura la variabilità relativa tra i valori è 1%, il valore più basso tra tutte le variabili considerate).

L'uso del suolo prevalente nel buffer di 1 km attorno a ciascun sito di cattura è il Coltivato (rappresenta più del 50% per 3 siti).

Conclusioni

L'utilizzo di tecniche di ecologia del paesaggio e di Analisi di Fourier sulle variabili ambientali e climatiche permettono di individuare e descrivere le relazioni tra l'ambiente e le specie potenziali vettori di malattie animali ad una "alta" scala di dettaglio.

Dal punto di vista dei dati satellitari, lo studio ha permesso di sperimentare tecniche di telerilevamento nel campo dell'epidemiologia e dell'entomologia a livello nazionale con risoluzioni spaziali molto elevate (250 metri di risoluzione per la temperatura diurna al suolo e per gli indici di vegetazione, e livello 3 della legenda Corine per la classificazione dell'uso del suolo, impiegando ortofoto con risoluzione 1m).

Lo studio dell'habitat di insetti potenziali vettori di BT a livello di composizione dell'uso del suolo in 1 km di buffer, e l'identificazione di landscape favorevoli o non idonei alla loro sopravvivenza, permette di identificare aree potenzialmente a rischio di introduzione e/o diffusione della malattia.

L'utilizzo di indici derivati quali le ampiezze e fasi delle trasformate di Fourier, permette di caratterizzare impronte uniche degli habitat, come medie, momenti e magnitudini dei picchi stagionali di valori di temperatura e vegetazione.

Nello studio in oggetto, le tre specie condividono spesso lo stesso habitat, ma i dati raccolti permettono di differenziare qualche caratteristica peculiare dell'habitat delle singole specie, anche se l'esigua numerosità dei siti classificati probabilisticamente a prevalenza *C. scoticus* (n. 8) e *C. montanus* (n. 5) rispetto ai siti a prevalenza *C. obsoletus* s.s. (n. 52) non permette sempre di darne conferma statistica.

I dati permettono di concludere che *C. obsoletus* s.s. sia una specie più facilmente adattabile a diversi habitat, concordemente con la minore altitudine media e la maggior presenza di territori coltivati ed urbanizzati, a maggior impatto di attività umane. Invece *C. scoticus* è risultato più selettivo nelle preferenze di habitat, con minore capacità generale di adattamento: la preferenza sembra per siti a prevalenza di vegetazione naturale e boschiva, con vegetazione spontanea e con minima antropizzazione. Infine per quanto riguarda *C. montanus*, i siti in cui è risultato probabilisticamente rilevante hanno in comune un valore medio di temperatura diurna al suolo elevato ed è presente nelle regioni del sud Italia.

La ricaduta epidemiologica di questi risultati è di grande interesse, in quanto le conoscenze acquisite con questo progetto rappresentano il punto di partenza per la creazione di mappe di rischio più dettagliate sulle possibilità di diffusione della BT e di altri virus esotici trasmessi da *Culicoides*.

Bibliografia

1. Conte A., Colangeli P., Bocci M., Galante F., Caporale V. (2003) "Realizzazione di un GIS per la gestione dell'epidemia di Bluetongue in Italia", in "e-geography: GIS e società", Atti della 6ª Conferenza Italiana Utenti ESRI – Roma, 9-10 aprile 2003.
2. Conte A., Goffredo M., Ippoliti C. and Meiswinkel R., (2007) Influence of biotic and abiotic factors on the distribution and abundance of *Culicoides imicola* and the Obsoletus Complex in Italy. *Veterinary Parasitology* 150 (2007) 333–344.
3. De Liberato C., Scavia G., Lorenzetti R., Scaramozzino P., Amaddeo D., Cardati G., Scicluna M., Ferrari G. & Autorino G.L. (2005) Identification of *Culicoides obsoletus* (Diptera: Ceratopogonidae) as a vector of bluetongue virus in central Italy. *Veterinary Record* 156 : 301-304.
4. EAA Technical Report 2007. CLC2006 Technical guidelines No 17/2007 - European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
5. Eastman J.R., F. Sangermano, B. Ghimire, H. Zhu, H. Chen and N. Neeti et al. (2009) Seasonal trend analysis of image time series, *International Journal of Remote Sensing* 30 (10), pp. 2721–2726
6. Estrada-Peña A; Vatansever Z; Gargili A; Ergönul O (2010) The trend towards habitat fragmentation is the key factor driving the spread of Crimean-Congo haemorrhagic fever. *Epidemiology and Infection* 2010;138(8):1194-203.

7. Forman R.T.T., Godron M. (1986) Landscape ecology. New York, NY, John Wiley and Sons. 619 p.p.
8. Goetz S.J., Prince, S.D., and Small, J., (2000) Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications pages 293-311 in Remote sensing and GIS in public health, S.I. Hay (ed.), Academic Press, London.
9. Goffredo M., Benedetto L., Di Marcello V., Monaco F. (2008) Identification of *C. obsoletus*, *C. scoticus*, *C. montanus* and *C. dewulfi*: an integrated morphological and genetic approach. Proceedings of the Bluetongue Satellite Symposium “Bluetongue in Europe: back to the future!!”, Brescia – Italy – 7 June 2008
10. Gomulski, L.M., Meiswinkel, R., Delécolle, J.C., Goffredo, M. and Gasperi, G. (2005) Phylogenetic relationships of the subgenus *Avaritia* Fox, 1955 including *Culicoides obsoletus* (Diptera, Ceratopogonidae) in Italy based on internal transcribed spacer 2 ribosomal DNA sequences. Syst. Entomol. 30, 619-631.
11. Kitron, U. (1998) Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. J. Med. Entomol. 35:435-445
12. Lambin E. F., Tran A., Vanwambeke S.O., Linard C., Soti V. (2010) Pathogenic landscapes: Interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts International Journal of Health Geographics 2010, 9:54 <http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/54>
13. Meiswinkel, R., Gomulski, L., Delécolle, J.-C., Goffredo, M. and Gasperi, G. (2004) The biosystematics of *Culicoides* vector complexes – unfinished business. In: Proceeding of the Third International Symposium on Bluetongue, Taormina, Italy, 26-29 October 2003. Veterinaria Italiana. 40 (3), 151-159.
14. Monaco F., Benedetto L., Di Marcello V., Lelli R., Goffredo M. (2010) Development and preliminary evaluation of a real-time PCR for the identification of *Culicoides obsoletus*, *Culicoides scoticus* and *Culicoides montanus* amongst the Obsoletus Complex. Veterinaria Italiana, 46 (2) 209-214
15. Purse, B.V., Mellor, P.S., Rogers, D.J., Samuel, A.R., Mertens, P.P.C. & Baylis, M. (2005) Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. Nature Reviews. Microbiology, 3, 171–181
16. R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>
17. Ricci V. (2006) "Principali tecniche di regressione con R", cran.r-project.org
18. Rogers, D. J., S. E. Randolph, Snow R. W. & Hay S. I. (2002) Satellite imagery in the study and forecast of malaria, Nature 415(6872): 710-715.
19. Savini, G., Goffredo, M., Monaco, F., de Santis, P., Meiswinkel, R. (2003) Transmission of bluetongue virus in Italy. Vet. Rec. 152, 119.
20. Savini, G., Goffredo, M., Monaco, F., Di Gennaro, A., Cafiero, M. A., Baldi, L., De Santis, P., Meiswinkel, R. & Caporale, V. (2005) Bluetongue virus isolations from midges belonging to the Obsoletus complex (*Culicoides*, Diptera: Ceratopogonidae) in Italy. Veterinary Record 157, 133-143.
21. Siegel S., Castellan N. J. (1988) Nonparametric Statistics for the behavioural sciences, MacGraw-Hill Book Company, New York
22. Vanhuysse S., Ippoliti C. Conte A., Goffredo M., De Clercq E., De Pus C., Gilbert M., Wolff E. (2010) Object-based classification of SPOT and ASTER data complemented with data derived from MODIS Vegetation Indices time series in a Mediterranean test-site. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-4/C7