

Modelli statistici e analisi di tipo GIS per la valutazione del rischio strutturale e la previsione su base meteorologica delle dinamiche stagionali di popolazioni di Ditteri ematofagi

Luca Angeli (*), Roberto Vallorani (*), Gianni Messeri (*), Roberto Costantini (*), Anna Maria Fausto (**), Mariacristina Belardinelli (**), Laura Guerra (**), Maurizio Cocchi (***), Irene Raffaelli (***), Angelo Tamburro (***), Roberto Romi (****), Daniela Boccolini (****), Marco Di Luca (****)

(*) Consorzio LaMMA – CNR Ibimet – Fondazione per il Clima e la Sostenibilità, Via Madonna del Piano, 10
50019 Sesto Fiorentino (FI) – tel.: +39 055 448301, fax: +39 055 444083, e-mail: angeli@lamma.rete.toscana.it

(**) Dipartimento di Scienze Ambientali, Università degli Studi della Toscana, Largo dell'Università, 1 - 01100 Viterbo

(***) U.O. di Zoologia Ambientale, Dip. Prevenzione ASL. 9, Viale Cimabue, 109 - 58100 Grosseto

(****) Dipartimento di Malattie Infettive, Parassitarie e Immunomediate, Istituto Superiore di Sanità
Viale Regina Elena, 299 - 00161 Roma

Riassunto

La modellistica ambientale, insieme alle tecniche di *remote-sensing* ed ai software di tipo GIS, permette di valutare eventuali fasi di emergenza dovute alla presenza di organismi nocivi e, in generale, di fornire un supporto alla normale azione di prevenzione e controllo.

La zona di studio è identificabile nel territorio delle province di Grosseto e di Viterbo. In quest'area, caratterizzata da un'intensa attività turistica, l'abbondante presenza di insetti molesti quali "serafiche", con le specie *Leptoconops irritans*, *L. (Holoconops) kerteszi* e zanzare del genere *Anopheles*, con la specie *Anopheles labranchiae*, potenziale vettore di malaria, possono rappresentare un importante problema di sanità pubblica.

A partire dai dati dei campionamenti effettuati dall'Università della Toscana, dall'U.O. di Zoologia Ambientale dell'Azienda USL 9 di Grosseto e dall'Istituto Superiore di Sanità, sono state realizzate mappe di rischio strutturale e di densità per la definizione degli areali di distribuzione delle forme larvali e degli adulti, attraverso l'utilizzo degli strumenti di *Spatial Analyst* del software GIS.

Al fine di verificare la loro correlazione con le variabili meteorologiche, sono stati realizzati dei modelli probabilistici categoriali, utilizzando il pacchetto "NNET" del software statistico *open source* R, per descrivere e prevedere la presenza/assenza d'insetti adulti ed il "grado di infestazione".

Successivamente è stata implementata, in via sperimentale, una catena operativa per la previsione settimanale dei livelli categoriali di infestazione da *Leptoconops irritans* e *L. (H.) kerteszi*, in una zona della costa grossetana. All'interno di questa catena operativa, il modello statistico è stato alimentato con dati meteo ottenuti dal modello meteorologico WRF-NMM (*Weather Research and Forecasting – Nonhydrostatic Mesoscale Model*), già operativo presso i laboratori del Consorzio LaMMA e della Fondazione per il Clima e la Sostenibilità.

Abstract

The environmental modeling, together with remote sensing and GIS, allows assessing the emergency phases caused by pest presence and, in general, to provide support for preventive control.

The study area included in the Provinces of Grosseto and Viterbo. In this area, characterized by intense tourist activities, the presence and abundance of nuisance insects such as "serafiche"

(*Leptoconops irritans* and *L. (Holoconops) kerteszi*) and former malaria vector mosquitoes (*Anopheles labranchiae*), may represent an important public health problem.

The structural risk maps for defining the areal density of development of larvae and adults, based on collection data of the University of Tuscia, U.O. Environmental Zoology of the Azienda USL 9 of Grosseto and Italian National Health Service, were made using Spatial Analyst tools of GIS software.

In order to verify the correlation with meteorological and climatic variables categorical probabilistic models were performed to describe and predict the presence/absence and the abundance of adult insects, through the use of “NNET” package of the open source statistical software R.

After that an operational chain for a weekly prediction of the *Leptoconops irritans* and *L. (H.) kerteszi* infestation levels was experimentally implemented in an area of Grosseto coast.

Within this operational framework, the statistical model was fed with updated data obtained from the WRF-NMM (Weather Research and Forecasting - Nonhydrostatic Mesoscale Model) meteorological model, already operating at LaMMA Consortium and Foundation for Climate and Sustainability laboratories.

Introduzione

La zona litoranea della Maremma Grossetana e Viterbese presenta condizioni ambientali favorevoli allo sviluppo di zanzare del gen. *Anopheles* e di ceratopogonidi ematofagi (serafiche) del genere *Leptoconops*.

La presenza e l'abbondanza di questi insetti molesti possono rappresentare un serio problema di sanità pubblica.

Grazie alle moderne tecniche di studio del territorio, quali il telerilevamento e la modellistica ambientale e con l'ausilio di software di tipo GIS, è stato possibile monitorare alcuni aspetti legati alle condizioni meteo-climatiche, agli elementi fisiografici ed alle attività antropiche locali, così da poter scegliere le migliori strategie per gestire fasi di “normale” presenza ed abbondanza di tali ditteri, sia fasi di emergenza per la salute pubblica.

Questo lavoro ha permesso di realizzare mappe di potenziale rischio strutturale basate sull'habitat di sviluppo di specie di ditteri appartenenti a due distinte famiglie e, nel caso di *Leptoconops*, un bollettino prototipale di presenza/assenza legato alle condizioni meteo-climatiche.



Figura 1 – Area di studio.

Mappa di rischio strutturale: *Leptoconops* spp.

A partire dai dati dei campionamenti effettuati negli anni 2007, 2008 e 2009 dall'Università della Tuscia e dall'U.O. di Zoologia Ambientale dell'Azienda USL di Grosseto, nonché sulla base delle informazioni bibliografiche raccolte, è stato possibile definire una “mappa di rischio strutturale” da *Leptoconops* spp.

Per la definizione degli areali di sviluppo delle forme larvali e di diffusione delle alate, è stata di fondamentale importanza anche la conoscenza delle caratteristiche pedologiche e dello stato di idromorfia dei terreni. Infatti, alcune specie di *Leptoconops* trovano nel grossetano i substrati ideali per il loro sviluppo: terreni sabbiosi per *L. (H.) kerteszi* od argilloso-limosi per *L. irritans* (Fausto *et al.*, 2007).

Attraverso tecniche di *Kernel density* sono state elaborate mappe di densità basate sulla presenza/assenza degli individui adulti di sesso femminile, catturati nel periodo di massima densità d'infestazione, secondo due differenti modalità operative: catture «su uomo» e mediante trappole CDC/CO₂ a batteria.

Per i siti ove è stata rilevata la presenza di *Leptoconops* spp., sono state “estratte” le informazioni relative alle principali caratteristiche ambientali che condizionano l'habitat di sviluppo di questi insetti:

- tessitura, idromorfia ed uso del suolo;
- distanza dal mare.

Le mappe di densità ricavate dalla *Kernel density*, sono state quindi estese agli ambienti con caratteristiche simili, attraverso l'uso di strumenti di spazializzazione presenti nel Tool *Spatial Analyst* del software ArcMap.

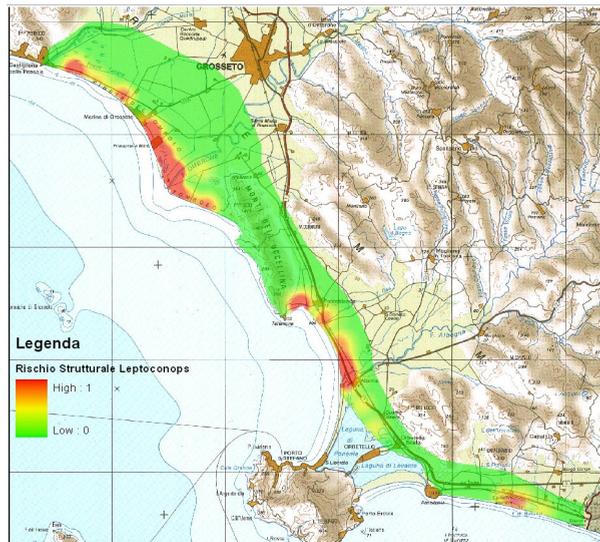


Figura 2 – Mappa di rischio strutturale: *Leptoconops* spp.

Le zone coi più elevati valori di densità, presentano suoli di tipo sabbioso od argilloso-limoso. In particolare, le aree palustri colonizzate da *L. irritans*, impregnate d'acqua o completamente allagate nel periodo invernale-primaverile, diventano secche e profondamente fessurate in estate.

Mappa di rischio strutturale: *Anopheles labranchiae*

Con il supporto scientifico dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) è stata realizzata una mappa di rischio relativa alla presenza del potenziale vettore di malaria (*An. labranchiae*), sulla base di

campionamenti effettuati negli anni 2005-2008 in diversi siti ubicati nelle province di Grosseto, Siena e Viterbo (Di Luca *et al.*, 2009).

La metodologia per la realizzazione della mappa ha previsto l'utilizzo dei seguenti tematismi, elaborati con il software ArcMap ESRI:

- Uso del suolo;
- Aree umide;
- Idrografia;
- Siti zootecnici;
- Mappe di temperatura media, minima e massima;
- Modello Digitale del Terreno (DTM).

Il tema uso del suolo ha permesso di identificare, anche grazie ai supporti aerofotogrammetrici e satellitari, le aree coltivate a riso, riconosciute come i principali focolai larvali di *An. labranthiae*.

Allo stesso modo, a partire dalle informazioni di base dell'uso del suolo e dell'idrografia, sono stati individuati altri potenziali ambienti lentici idonei allo sviluppo larvale quali: stagni, aree umide e porzioni rivierasche di fiumi e laghi.

Rispetto ad ogni focolaio larvale è stato calcolato un nuovo *grid*, basato sulle distanze dagli stessi siti, con lo strumento di ArcToolbox. Il dato ottenuto è stato inserito nel modello di calcolo dell'indice larvale, insieme alle informazioni relative a risaie, aree umide, reticolo idrografico e corpi idrici.

Ogni singolo strato informativo è stato moltiplicato per dei coefficienti di regressione, derivanti dalle analisi svolte sui siti larvali della Camargue (Tran *et al.*, 2008): il risultato del modello è un valore definito "indice larvale", che rappresenta la probabilità di reperire larve in un sito almeno una volta in un anno.

L'elaborazione è stata svolta con ModelBuilder, uno strumento per la progettazione, la simulazione e l'analisi di modelli matematici integrato nel software ArcMap.

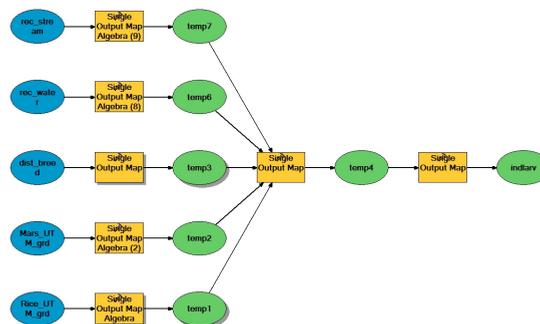


Figura 3 – Schema di calcolo dell'indice larvale in ModelBuilder.

I valori dell'indice larvale sono stati confrontati con i valori di densità massime annuali di ogni sito di campionamento: ciò ha permesso di trovare la soglia di distanza dal sito larvale, che meglio rappresenta la densità osservata degli adulti, risultata pari a 2000 metri; il coefficiente angolare della retta di regressione moltiplicato per i valori del *grid* dell'indice larvale, ha fornito la mappa finale di distribuzione degli adulti di *An. labranthiae*.

Rispetto al lavoro svolto dal gruppo di ricerca francese (Tran *et al.*, 2008) abbiamo provato, in accordo con i colleghi dell'ISS, ad inserire un fattore spaziale che tenesse conto della presenza di allevamenti zootecnici, quali siti attrattivi per le zanzare per la presenza degli ospiti vertebrati sui quali effettuare il pasto di sangue. A differenza della Camargue, che presenta un'omogenea localizzazione dei focolai larvali (elevato numero di risaie, area umida molto più estesa), la Maremma conserva un mosaico più "diradato" di tali ambienti umidi.

Abbiamo notato che, rispetto all'elaborazione svolta senza l'uso dei siti zootecnici, sono aumentate le aree con densità di individui adulti superiori a 1000, in particolare nelle aree collinari, dove più frequenti sono gli allevamenti e gli invasi per l'acqua.

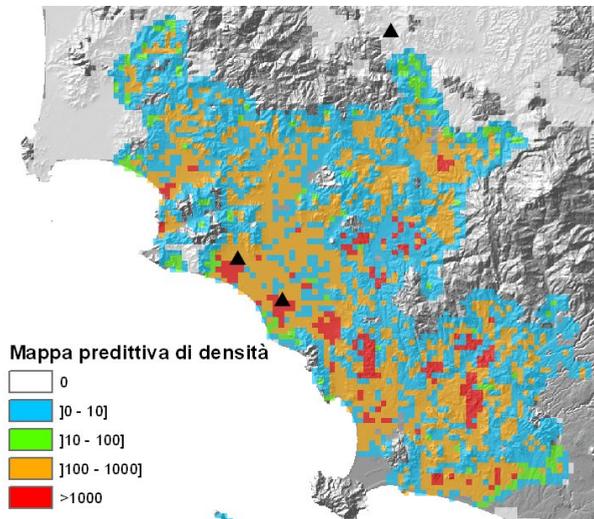


Figura 4 – Mapa predittiva di densità di popolazione di *Anopheles labranchiae*, con l'inserimento degli allevamenti.

Modello statistico categoriale di presenza/assenza di *Leptoconops* spp.

A partire dall'analisi esplorativa dei dati osservati (catture di insetti adulti), al fine di verificare la loro correlazione con le variabili meteo-climatiche, sono stati realizzati modelli probabilistici categoriali, validi per *L. irritans* e per *L. (H.) kerteszi*. Tutti i modelli statistici hanno messo in relazione le catture di alate con i parametri atmosferici rilevati dalle stazioni meteorologiche prossime ai punti di campionamento

Per la calibrazione del modello sono stati utilizzati i dati del biennio 1968-1969 (fonti: ISS, Medico Provinciale di Grosseto e Comitato Antimalarico di Grosseto), che presentavano requisiti migliori (maggiore regolarità) rispetto a quelli forniti per il biennio 2005-2006 dall'U.O. Zoologia Ambientale dell'Azienda USL di Grosseto. I dati del 2005 e 2006 sono comunque stati usati per una prima validazione del modello, ripetuta successivamente sulla campagna di catture 2009.

Le osservazioni usate sia per la calibrazione che per la verifica dei modelli, sono state interpolate linearmente, per coprire il periodo in esame, con dati a frequenza settimanale. Successivamente i dati sono stati categorizzati, ricavando la corrispondente variabile binomiale (0 – assenza, 1 - presenza), e quella multinomiale (0 – assenza, 1 - presenza medio bassa, 2 presenza medio alta), attraverso la scelta di ragionevoli soglie di transizione tra le varie categorie.

Nel corso della stagione estiva 2009 il modello per *L. irritans* e per *L. (H.) kerteszi*, è stato fatto girare in modalità previsionale all'interno di una catena operativa multi-modello appositamente realizzata. Sono stati usati i dati osservati a partire da gennaio 2009, dalla stazione di Grosseto Aeronautica, più il dato di previsione per la settimana successiva, fornito dal modello meteorologico WRF-NMM. Dal grigliato di calcolo del modello sono stati selezionati i due punti prossimi ai siti di campionamento. Tutte le variabili meteo previste sono state calibrate con appositi algoritmi statistici a regressione lineare sui dati della predetta stazione meteo, al fine di garantire una maggiore continuità tra i dati meteo osservati e quelli previsti.

Le previsioni, a scala settimanale, hanno dato valori soddisfacenti, in particolare per quanto riguarda l'evento "categoria 0" (assenza), mentre una maggiore incertezza emerge nella

discriminazione della “categoria 1” (presenza medio – bassa) e “categoria 2” (presenza medio – alta). Tuttavia è decisamente incoraggiante constatare l’ottima performance del modello nel discriminare la “categoria 0” dalle altre due, ovvero di riuscire ad individuare la presenza di *L. irritans* nel 75% dei casi.

Conclusioni

Le analisi svolte per la realizzazione delle mappe di rischio strutturale, hanno permesso di identificare le aree con elevata potenzialità di presenze di stadi preimaginali ed adulti di *Leptoconops* spp. ed *Anopheles labranchiae*. Viene confermata la necessità di un’approfondita conoscenza del territorio a partire dagli elementi idrografici, di uso del suolo e pedologici, nonché di informazioni meteorologiche puntuali: infatti, grazie a tali informazioni è possibile ottenere una risoluzione spaziale di dettaglio, altrimenti non raggiungibile attraverso l’uso di dati cartografici a scala minore (es. Corine Land Cover). Preme inoltre sottolineare l’importanza d’acquisire la localizzazione degli allevamenti zootecnici (soprattutto nel caso di *An. labranchiae*), sia nell’ottica del miglioramento dei risultati del modello, sia per la corretta gestione delle possibili emergenze sanitarie.

Per quanto riguarda il modello previsionale di presenza/assenza delle due specie di *Leptoconops*, i risultati ottenuti ci invitano a proseguire nello sviluppo e nel miglioramento del descritto modello di rischio, così da fornire nel medio termine un efficace servizio di tutela della salute pubblica, ed allo stesso tempo un interessante sostegno per l’economia turistica.

Riferimenti bibliografici

- Bettini S., Majori G., Finizio E., Pierdominici G. (1969) - “Ricerche sui Ceratopogonidi nel Grossetano. Nota I: Identificazione dei focolai di *Leptoconops irritans*, Noè, 1907”. *Rivista di Parassitologia*, 30: 227-238.
- Bettini S., Majori G., Finizio E., Pierdominici G. (1969) - “Ricerche sui Ceratopogonidi nel Grossetano. Nota II: Identificazione dei focolai di *Leptoconops bezzii* Noè, 1907”. *Rivista di Parassitologia*, 30: 239-242.
- Bettini S., Majori G., Finizio E., Pierdominici G., (1969) - “Ricerche sui Ceratopogonidi nel Grossetano. Nota III: Osservazioni sulla biologia delle alate di *Leptoconops irritans* e *Leptoconops (Holoconops) kerteszi*”. *Rivista di Parassitologia*, 30: 311-318.
- Di Luca M., Boccolini D., Severini F., Toma L., Mancini Barbieri F., Massa A., Romi R., (2009) - “A 2-Year Entomological Study of Potential Malaria Vectors in Central Italy”. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 9(6): 703-711.
- Fausto A.M., Belardinelli M., Cocchi M., Tamburro A. (2007) - “Le serafiche (*Leptoconops* spp., Diptera: Ceratopogonidae) nelle aree umide del litorale grossetano: aspetti biologici e socio-sanitari”. *Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, Anno LV: 79-83.
- Majori G., Bettini S., Finizio E., Pierdominici G., (1970) - “Ricerche sui Ceratopogonidi nel Grossetano. Nota IV: Identificazione dei focolai di *Leptoconops (Holoconops) kerteszi* Kieffer, 1908”. *Rivista di Parassitologia*, 31: 279-284.
- Majori G., Bettini S., Finizio E., Pierdominici G., (1971) - “Ricerche sui Ceratopogonidi nel Grossetano. Nota V: Caratteristiche geologiche dei focolai di *Leptoconops* spp.”. *Rivista di Parassitologia*, 32: 277-291.
- Tran A., Ponçon N., Toty C., Linard C., Guis H., Ferré J.B., Lo Seen D., Roger F., De La Rocque S., Fontenille D., Baldet T. (2008) - “Using remote sensing to map larval and adult populations of *Anopheles hyrcanus* (Diptera: Culicidae) a potential malaria vector in Southern France”. *International Journal of Health Geographics* 7: 9.