Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Lazio e della Toscana *M. Aleandri*

Mappatura della vulnerabilità del comune di Roma alla proliferazione di zanzara tigre (*Aedes albopictus*) nella stagione estivo-autunnale 2024: uno strumento di prevenzione e controllo

Sintesi

La valutazione eseguita è orientata ad una definizione delle aree urbane di Roma a teorica maggiore idoneità per la proliferazione di *Aedes albopictus* nel periodo di maggiore attività vettoriale (aprile – novembre). Queste aree sono considerate a più alto rischio di trasmissione secondaria di virus trasmessi da zanzara tigre nel caso di una nuova introduzione nel 2024. La metodologia utilizzata è la Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (S-MCDA), un approccio decisionale che consente di stimare il rischio sulla base di più criteri.

OBIETTIVO: orientare gli interventi di controllo preventivo del vettore per ostacolare la catena di trasmissione iniziale dei virus, a tutela della salute pubblica.

Nel modello, elaborato a scala spaziale di 0.25 km^2 (celle 500*500 m) e temporale quindicinale, è stato considerato il seguente set di fattori di rischio: temperatura media al suolo e distribuzione di piccole aree verdi (influenza positiva sul vettore), densità diurna di popolazione e densità di residenti, distanza dagli ospedali. In una successiva release del modello, l'analisi verrà integrata includendo fattori di rischio connessi alla presenza dell'infezione, eventuali casi umani importati ed eventualmente casi autoctoni allo scopo di orientare gli interventi in emergenza finalizzati a mitigare il rischio di trasmissione dei virus.

Parole chiave: Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (S-MCDA), fattori di esposizione, fattori ecologici e ambientali

UOC Osservatorio Epidemiologico
UOC DO Diagnostica Generale, Laboratorio di Entomologia
UOC Virologia

Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (S-MCDA) e mappatura delle aree di maggiore idoneità per la proliferazione di *Aedes albopictus*, vettore dei virus Dengue, Chikungunya e Zika, nel comune di Roma

Premessa

Nei primi mesi del 2024 si è assistito a livello globale ad una preoccupante diffusione della Dengue, una malattia virale trasmessa dalla zanzara tigre (*Aedes albopictus*), vettore anche del virus Chikungunya e Zika. Al 30 aprile 2024 sono stati segnalati all'OMS oltre 7,6 milioni di casi di dengue, di cui 3,4 milioni confermati, oltre 16.000 casi gravi e più di 3.000 decessi. I casi notificati nel 2024 hanno già superato il totale dei casi notificati nell'intero 2023 (OMS: 4,6 milioni). L'Italia e l'Europa non sono considerate endemiche per il virus poiché, ad oggi, il vettore dell'infezione (*Ae. albopictus*) non è in grado di consentire al virus di superare l'inverno (assenza di trasmissione transovarica) e quindi garantire la ripresa del ciclo di trasmissione nella stagione successiva. Tuttavia i paesi europei sono esposti all'introduzione stagionale dei virus trasmessi da questo vettore dai paesi endemici, con la segnalazione, ogni anno, di casi importati di infezione. A causa delle condizioni climatiche favorevoli alla proliferazione stagionale di *Ae. albopictus*, tuttavia, negli ultimi anni si sono osservati in Italia casi autoctoni di chikungunya e dengue, successivi all'introduzione primaria stagionale di casi importati. Nel 2023 casi autoctoni di dengue sono stati segnalati in tre paesi: Italia (82), Francia (45) e Spagna (3). Nel 2023, la provincia di Roma ha registrato 45 casi autoctoni. Questo dato ha spinto l'Autorità Sanitaria Regionale a richiedere una valutazione aggiornata del rischio di circolazione del virus a Roma, successivamente elaborata dall'IZSLT (16 ottobre 2023).
Per il 2024 è stato ulteriormente aggiornato il metodo alla base di tale valutazione, già applicato nel 2023 per la valutazione del rischio di circolazione di virus trasmessi da *Ae. albopictus* nel comune di Roma.
L'applicazione del metodo S-MCDA e il miglioramento delle sue componenti ha permesso lo sviluppo di uno strumento in grado di produrre mappe quindicinali di idoneità (suitability) per la proliferazione ed attività della zanzara tigre (*Ae. albopictus*), potenzialmente indicative del rischio di circolazione di virus trasmessi da questo vettore. Lo strumento sarà in grado di fornire informazioni utili per la prioritizzazione e la pianificazione di attività di controllo vettoriale, in termini di risorse necessarie e di strategie per ridurre la presenza del vettore e mitigare l'impatto delle malattie sulla popolazione.
Utilizzando questi modelli di suitability quindicinali per *Ae. albopictus*, verranno successivamente elaborate mappe di rischio inserendo nella S- MCDA anche il fattore connesso alla presenza di casi importati ed eventualmente autoctoni di malattie trasmesse da zanzare tigre, allo scopo di orientare gli interventi di prevenzione secondaria e di emergenza.

I. Obiettivi

L'obiettivo dello strumento è quello di identificare le zone del comune di Roma ed i periodi più favorevoli alla presenza ed alla attività del vettore e quindi maggiormente a rischio di una eventuale diffusione dei virus trasmessi da *Ae. albopictus*, quali dengue, Zika e chikungunya, nel corso della stagione estiva-autunnale del 2024. Il fine è quello di consentire all'Autorità Competente l'efficiente prioritizzazione degli interventi mirati di controllo del vettore a tutela della salute pubblica.

II. Risk questions

Quali saranno le aree e i periodi più favorevoli alla presenza ed alla attività della zanzara tigre (*Ae. albopictus*) nel corso della stagione estiva-autunnale del 2024 a Roma?

III. Metodologia

La metodologia utilizzata per la valutazione è la Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (S-MCDA).

La S-MCDA è un metodo per prendere decisioni quando sono presenti più fattori di rischio da considerare. Le diverse alternative o combinazioni di fattori sono localizzate in uno spazio geografico e il loro peso relativo viene valutato in base all'opinione degli esperti. Per l'applicazione di tale metodologia sono stati considerati un vincolo spaziale, relativo all'area di interesse (comune di Roma), e uno temporale, considerando il periodo a maggior attività vettoriale (aprile-novembre).

Una volta definito l'obiettivo, la metodica prevede passaggi successivi, qui sinteticamente descritti.
Per gli scopi di questa valutazione è stata adottata una procedura semplificata in alcuni dei passaggi:

1. Identificazione dei parametri per la S-MCDA.
   Utilizzando diverse fonti di informazioni (ad es., parere di esperti, ricerca bibliografica e analisi di dati storici) è stato identificato il seguente setting minimo di fattori da considerare, suddivisi in fattori di esposizione e fattori ecologici e/o ambientali.

1.1. Fattori di esposizione

Tali fattori esprimono il rischio di esposizione della popolazione suscettibile, individuando le aree prioritarie per la pianificazione di attività di controllo vettoriale. Sono state prese in considerazione le aree a maggior densità di popolazione residente, i luoghi di aggregazione diurna e i siti in cui è presente popolazione vulnerabile e/o casi umani importati di malattie trasmesse da *Ae. albopictus* (es., ospedali).

⇒ Densità della popolazione umana residente: i valori di densità di popolazione umana residente relativi all'ultimo censimento ISTAT (2021), sono stati estratti in formato raster interpolato, alla risoluzione spaziale di 1 km^2. È stato in seguito effettuato un upscale del dato per calcolare il valore di densità su una cella di 500 m (risoluzione 0.25 km^2) (ISTAT-Eurostat: https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/population-distribution-demography).

⇒ Densità della popolazione umana diurna: i valori di densità di popolazione diurna, a scala temporale mensile, sono stati estratti per il periodo aprile-novembre ed alla risoluzione spaziale di 1 km^2, in formato raster. È stato in seguito effettuato un upscale del dato per calcolare il valore di densità su una cella di 500 m (risoluzione 0.25 km^2) (GHSL - Global Human Settlement Layer2, ENACT project: ENhancing ACTivity and population mapping: https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/download.php?ds=ENACT).

⇒ Distanza dagli ospedali (proxy di casi potenziali): a partire dall'elenco delle strutture sanitarie e ospedaliere presenti sul territorio è stato generato un raster (risoluzione 0.25 km^2) calcolando la distanza euclidea (ED) da ogni punto (struttura) georeferenziato.

1.2.Fattori ecologici e/o ambientali

Non essendo disponibili dati aggiornati, esaustivi ed omogenei per l'intera area del comune di Roma sull'abbondanza del vettore, si è deciso di utilizzare delle variabili proxy, quali temperatura e presenza di siti di riposo dove il vettore può digerire il pasto di sangue. Tali fattori influenzano l'abbondanza, l'attività e la capacità vettoriale della zanzara tigre.

⇒ Temperatura media al suolo (proxy dell'idoneità microclimatica dell'habitat per il vettore): i valori di temperatura diurna media, a cadenza quindicinale, sono stati calcolati su base quindicinale, per la stagione di maggior attività vettoriale (aprile – novembre). A tal fine sono stati utilizzati dati NASA relativi agli ultimi tre anni, a cadenza settimanale e risoluzione ~ 1 km^2, per il periodo aprile – novembre (www.earthdata.nasa.gov). È stato in seguito

effettuato un upscale del dato per calcolare il valore di temperatura su una cella di 500 m (risoluzione 0.25 km^2).

⇒ "Macchie" di vegetazione sparsa in zone urbane caratterizzate da un edificato a media-alta densità (aree idonee dove le zanzare adulte effettuano la digestione del pasto di sangue): per individuare le celle in cui è presente una vegetazione sparsa, a fronte di un medio-alto valore di superficie edificata, sono stati associati tra loro il raster di NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e il raster di GHS-S (Global Human Settlement – built-up Surface). L'NDVI rappresenta un indice che fornisce dati sulla vegetazione fotosinteticamente attiva, mentre GHS-S rappresenta la superficie edificata all'interno di ogni cella. I raster di NDVI sono stati ottenuti dal sito NASA (https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/mod13.php), a cadenza quindicinale e a risoluzione spaziale di ~ 0,06 km^2, per il periodo aprile – novembre. È stato in seguito effettuato un downscale del dato per calcolare il valore di NDVI su una cella di 500 m (risoluzione 0.25 km^2). I raster di GHS-S sono stati ottenuti dal sito relativo al progetto della Commissione Europea GHSL - Global Human Settlement Layer (https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/ghs_buS2023.php), ad una risoluzione di 0,01 km^2. È stato in seguito effettuato un downscale del dato per calcolare il valore di GHS-S su una cella di 500 m (risoluzione 0.25 km^2). L'indice sintentico calcolato stima la presenza di habitat idoneo alla specie per completare il ciclo biologico in un range da 0 a 1 (Hi). I raster sono stati ritagliati in base ai confini del comune di Roma. A questo fine sono state individuate le celle con valori di NDVI tra 0.2 e 0.5, che corrispondono, in ambiente urbano ed edificato, a vegetazione rada e arbustiva (https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology). Per la sintesi tra NDVI e GHS-S è stata utilizzata la funzione "raster calculator" in QGIS che applica la seguente formula:

$$Hi = 1 - \frac{1}{e^{(NDVI + GHS-S)}}$$

quando i valori di NDVI sono compresi nel range di interesse (0.2-0.5) e quelli di GHS-S sono maggiori di 0.2, in modo da valorizzare la loro interazione.

Quando invece i valori dei due raster ricadono all'interno di range differenti da quelli di interesse, la formula applicata è stata la seguente:

$$Hi = 1 - \frac{1}{e^{(NDVI * GHS-S)}}$$

2. Ponderazione dei fattori in base alla loro importanza relativa

Questo passaggio consiste nell'attribuire un peso a ciascun fattore in base alla sua importanza relativa rispetto agli altri. Si è proceduto seguendo questo iter:

⇒ valutazione basata sull'opinione di esperti (Expert Opinion), coinvolgendo personale dell'IZSLT (Osservatorio epidemiologico, Virologia e Diagnostica - Laboratorio di Entomologia) e un epidemiologo dell'INMI.

⇒ ogni esperto ha assegnato un valore relativo di ogni fattore rispetto agli altri in una griglia riportata in Tabella A1 e utilizzando la scala di valutazione in Tabella A2 (Appendice).

⇒ la serie di valutazioni è stata sottoposta ad una analisi per valutare la coerenza delle opinioni espresse dal gruppo di esperti.

⇒ I prodotti generati nelle fasi precedenti sono serviti da input per il calcolo del peso di ognuno dei fattori (Metodo: AHP, Sw: Easy AHP - QGis) e successivamente ne è stata calcolata la media.

Tabella 1. Risultato della media dei pesi dei fattori in base ad Expert Opinion

Fattori	Peso
Densità della popolazione umana residente	0,151
Densità della popolazione umana diurna	0,104
Distanza dagli ospedali	0,295
Temperatura media al suolo	0,144
"Macchie" di vegetazione	0,307

3. Standardizzazione dei raster:
I valori dei fattori in formato raster sono stati standardizzati per consentirne il confronto. I raster generati in fase 1 sono stati "normalizzati" col metodo della "Fuzzy Membeship", Sw: ArcGis Pro, ottenendo i fuzzy raster (Tabella A3). Per ogni fattore di rischio è stato quindi generato un raster di risoluzione spaziale 0.25 km^2, con valori all'interno del range 0-1.

4. Combinazione lineare pesata:
È stata effettuata una somma pesata dei fuzzy raster, per aggregare i diversi fattori, ciascuno moltiplicato per il proprio peso, al fine di ottenere le mappe quindicinali di vulnerabilità rispetto ai virus trasmessi da *Ae. albopictus* per il periodo aprile – novembre alla risoluzione di 0.25 km^2.
A tale scopo la formula utilizzata per la somma ponderata è la seguente:

$$V = \sum_{i=1}^{5} (X_i * w_i)$$

Dove *V* è la Vulnerabilità calcolata per ogni cella (0.25 km^2); *X* corrisponde al valore del fattore per quella cella, mentre *w* è il peso relativo del fattore stesso.
Vengono riportate a titolo esemplificativo le mappe relative alle seconde metà di ciascun mese da giugno a novembre in Fig. 1.

IV. Risultato finale – mappe quindicinali di vulnerabilità del comune di Roma ai virus trasmessi dalla zanzara tigre (*Ae. albopictus*)

I risultati della S-MCDA hanno consentito di realizzare mappe di vulnerabilità ai virus trasmessi da *Ae. albopictus* nel comune di Roma per la stagione vettoriale 2024. Il grado di vulnerabilità viene rappresentato secondo la seguente scala.

Tabella 2. Descrizione dei diversi gradi di vulnerabilità ai virus trasmessi da *Ae. albopictus*.

Label	Valore pesato	Descrizione	Priorità d'intervento
	0,00 - 0,22	BASSO	3 - bassa
	0,23 - 0,44	INTERMEDIO	2 - media
	0,45 - 0,67	MODERATO	2 - media
	> 0,68	ALTO	1 - alta

Le classi sono state calcolate con il metodo "equal interval" in QGIS.
In termini di ricaduta rispetto all'impegno delle risorse per la programmazione preventiva e l'attuazione degli interventi di contrasto al vettore, si propongono tre livelli di attivazione, contrassegnati da livelli di priorità da 1 a 3.

Su richiesta dell'Autorità competente sarà fornito il link su cui sono rese accessibili le mappe, utilizzabili per la definizione dettagliata delle aree urbane nei confronti delle quali indirizzare prioritariamente le azioni di contrasto del vettore.

Seguirà l'elaborazione delle mappe di rischio per virus trasmessi da *Ae. albopictus*, ottenute inserendo nel modello S-MCDA i casi attivi di infezione notificati.

V. Commenti

Le mappe prodotte, accessibili online (link: https://arcg.is/1zXP5n) e presentate in forma grafica in questo documento, permettono la quantificazione (su una scala da 0 a 1) della vulnerabilità ai virus trasmessi da *Ae. albopcitus* nel comune di Roma (link ArcGis online) e una categorizzazione di tale vulnerabilità in quattro classi (da bassa ad alta). In questo modo sono state individuate le aree a maggiore rischio di proliferazione della zanzara tigre nel Comune di Roma, finalizzata a indirizzare i trattamenti preventivi.

È importante sottolineare che queste mappe non indicano un rischio diretto di trasmissione di dengue, chikungunya o Zika, in quanto non prendono in considerazione i fattori di rischio dovuti alla presenza di casi importati o autoctoni di tali malattie.

Il metodo S-MCDA utilizzato, già applicato nel 2023, è stato ulteriormente migliorato per il 2024, permettendo di produrre mappe quindicinali utili per la pianificazione di interventi di controllo vettoriale mirati, ottimizzando le risorse e le strategie sul campo per mitigare l'impatto delle malattie sulla popolazione.

In un secondo momento, al prodotto qui presentato verranno integrati i raster relativi ai casi (importati o autoctoni) che si inseriranno nella metodologia S-MCDA al fine di produrre mappe di rischio di malattie virali trasmesse da *Ae. albopictus*.

VI. Limiti della valutazione, raccomandazioni e conclusioni

Limiti

L'analisi eseguita presenta alcuni limiti che vanno tenuti in considerazione. In particolare l'approccio applicato e quindi il valore predittivo della S-MCDA, potrebbe essere sensibile a variazioni dei seguenti dati di input:

- La selezione dei fattori è un processo soggettivo. Ciò può influire sulla incertezza dei risultati dell'analisi.
- La ponderazione dei fattori è un processo complesso, che può essere fonte di distorsioni, poiché influenzato dalla completezza del panel di esperti utilizzato per l'attribuzione dei pesi.
- La combinazione dei fattori è un processo non lineare, il che può rendere difficile la sua interpretazione. In fase epidemica o di emergenza è critico identificare i driver dell'infezione nel contesto reale e contingente.

Raccomandazioni

Nonostante i limiti intrinseci o contingenti della S-MCDA effettuata, la valutazione condotta ha consentito una stima della vulnerabilità, utile per gli interventi preventivi ed in tempi relativamente rapidi.
Nonostante tale semplificazione, sono stati considerati i fattori ritenuti più importanti, sia di natura oggettiva (temperature medie, caratteristiche geografiche, densità di popolazione suscettibile), che di natura soggettiva (selezione dei fattori e dei vincoli; pesatura del rischio in funzione dell'expert opinion).
Il risultato finale permette di assegnare livelli di idoneità diversificati su base spaziale, consentendo una diversificazione delle priorità di intervento e rendendo disponibile uno strumento utile ad orientare l'allocazione delle risorse disponibili per il contrasto alla diffusione del virus.

Conclusioni

Le mappe di rischio saranno sviluppate durante la stagione di attività vettoriale, seguendo il modello S-MCDA proposto, e aggiornando la situazione relativa ai casi di importazione/autoctoni di malattie virali trasmesse da *Ae. albopictus*.

Sarà inoltre effettuata una validazione preliminare della bontà del modello S-MCDA sull'area di Roma, utilizzando i dati relativi ai casi autoctoni di dengue del 2023. I casi notificati saranno divisi in gruppi temporalmente sequenziali (es., gruppo 1°: casi settembre; gruppo 2°: casi ottobre), utilizzando il primo gruppo per informare il modello. Sarà quindi valutata la probabilità che i casi del secondo gruppo ricadano nelle aree identificate a maggior rischio.

Sarà quindi rielaborato un modello più specificamente predittivo, al fine di orientare gli interventi di prevenzione secondaria attraverso le azioni di contrasto al vettore. Sarà quindi impostato un criterio di progressività con aggiustamenti del rischio in funzione delle eventuali notifiche di nuovi casi nella stagione a rischio.
L'obiettivo finale è quello di produrre un modello aggiornabile che informi il Sistema di prevenzione sugli opportuni interventi di disinfestazione nel Comune di Roma.

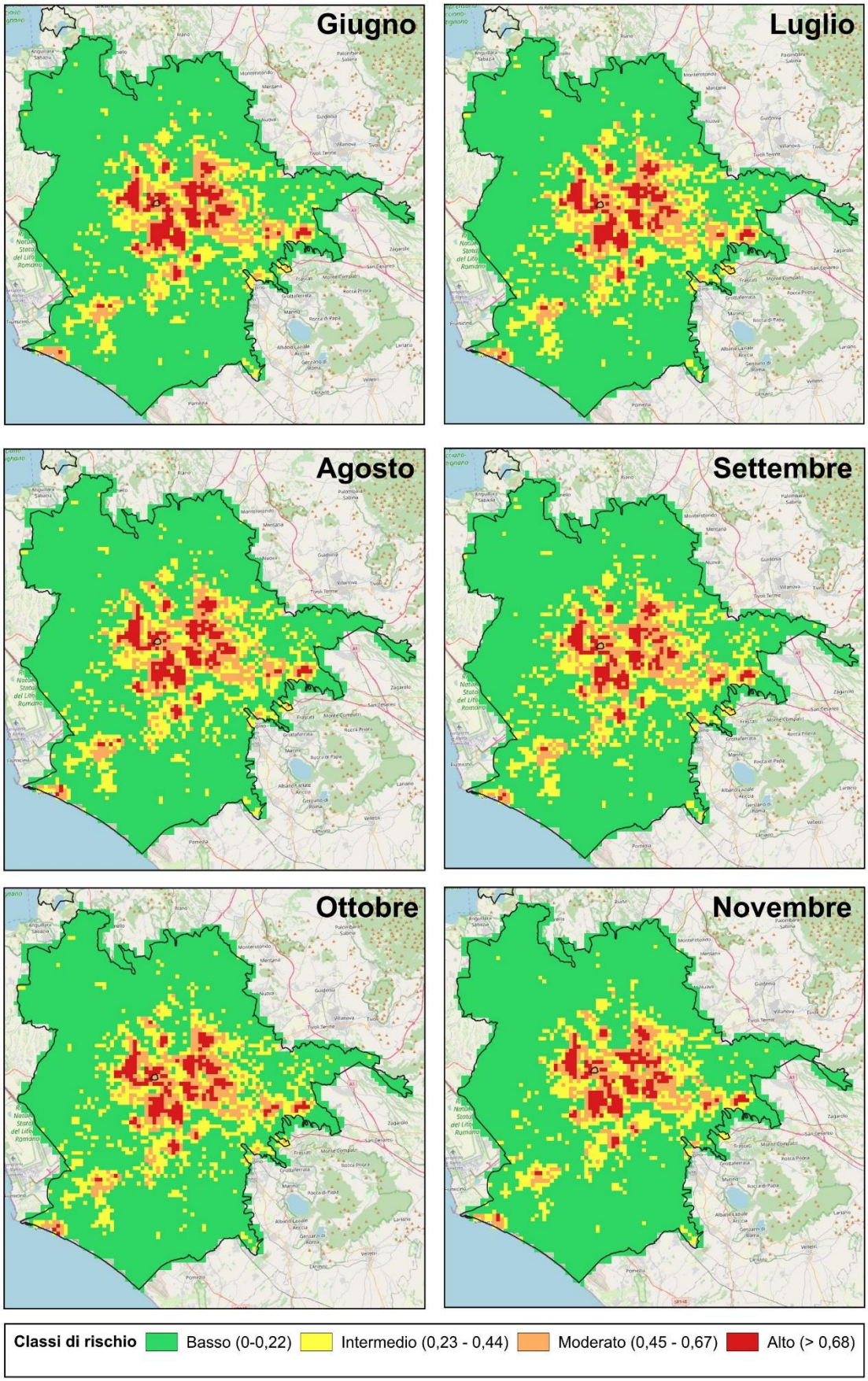

Fig. 1. Distribuzione della vulnerabilità ai virus trasmessi da *Ae. albopictus* nel comune di Roma, relativa alla seconda metà dei mesi di giugno-novembre, con risoluzione spaziale di 0,25 km^2.

Appendice tabelle

Tabella A1 – Expert opinion - griglia per il confronto a coppie tra i fattori

	Densità della popolazione umana residente	Densità della popolazione umana diurna	Distanza dagli ospedali	Temperatura media al suolo	"Macchie" di vegetazione
Densità della popolazione umana residente	1				
Densità della popolazione umana diurna		1			
Distanza dagli ospedali			1		
Temperatura media al suolo				1	
"Macchie" di vegetazione					1

Tabella A2. – Expert opinion – Sistema di scoring per la griglia di confronto a coppie tra i fattori

Meno importante					**Più importante**	
1/4	**1/3**	**1/2**	**1**	**2**	**3**	**4**
Decisamente molto meno importante	Molto meno importante	Moderatamente meno importante	Ugualmente importante	Moderatamente più importante	Molto più importante	Decisamente molto più importante

Tabella A3. – Sintesi assunzioni e trasformazioni operate sui fattori scelti

Fattore	**raster1**	**rischio**	**raster2**
Densità della popolazione umana residente	-	il rischio aumenta all'aumentare della densità	Fuzzy MS Large
Densità della popolazione umana diurna		il rischio aumenta all'aumentare della densità	Fuzzy Small midpoint
Distanza dagli ospedali	raster ED	il rischio diminuisce all'aumentare della distanza	Fuzzy Small midpoint
Temperatura media al suolo	Upscaling	il rischio aumenta linearmente con la temperatura	Fuzzy Linear
"macchie" di vegetazione	GHS-S e NDVI	Il rischio aumenta all'aumentare del valore riportato nella cella	Fuzzy Linear