

METODICHE INNOVATIVE PER L'INDIVIDUAZIONE DEI NIDI DI VESPA VELUTINA

[Simone Lioy](#)¹, Riccardo Maggiora², Marco Porporato¹

¹ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari

² Politecnico di Torino, Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni

Abstract

Il calabrone asiatico a zampe gialle, Vespa velutina, è una specie esotica invasiva che si sta diffondendo in diversi paesi Europei inclusa l'Italia. La presenza di V. velutina genera molteplici impatti legati prevalentemente all'attività predatoria nei confronti delle api da miele ma anche al rischio relativo alla presenza di nidi in ambienti frequentati dall'uomo. L'individuazione precoce delle colonie può consentire un controllo efficace della specie, in quanto permette di interrompere il ciclo di sviluppo e prevenire la nascita dei riproduttori. A tal fine, sono state sviluppate e verificate due metodiche innovative per l'individuazione dei nidi di V. velutina, utilizzando la tecnologia del radar armonico e della termocamera a infrarossi. Il radar armonico consente il tracciamento del volo dei calabroni e l'individuazione dei nidi anche in ambienti orograficamente complessi e con presenza di ostacoli. La termocamera permette invece di localizzare la posizione dei nidi grazie alla differenza di temperatura degli stessi rispetto a quella dell'ambiente circostante. Il presente lavoro descrive gli ultimi sviluppi e i possibili utilizzi di queste tecnologie mostrando alcuni risultati di sperimentazioni condotte nel contesto del progetto europeo LIFE STOPVESPA.

Parole chiave: radar armonico, tracciamento del volo, termocamera, specie invasiva.

Innovative methods for detecting Vespa velutina nests

The Asian yellow-legged hornet, Vespa velutina, is an invasive alien species that is spreading in many European countries including Italy. The presence of V. velutina generates multiple environmental, economic and social impacts, mainly linked to its predatory activity upon honey bees but also due to the risk posed by the presence of nests in human-frequented environments. However, the early detection of colonies can interrupt their life cycle and prevent their reproductive phase, thus allowing an effective control of the species. To this purpose, two innovative methods for detecting V. velutina nests were developed and tested, using the technologies of harmonic radar and thermal imaging. The harmonic radar allows to track the flight of hornets and locate their nests even in orographically complex environments with presence of obstacles. The thermal imaging camera, on the other hand, allows to spot the position of nests thanks to the temperature difference between the nest and its surroundings. This work describes the latest developments and possible uses of these technologies for the control of the species, showing some results of experiments carried out in the context of the European project LIFE STOPVESPA.

Key words: harmonic radar, flight tracking, thermal imaging camera, invasive species.

INTRODUZIONE

La globalizzazione e l'intensificazione degli scambi commerciali hanno determinato, negli ultimi secoli, un marcato aumento dei fenomeni di introduzione di specie esotiche invasive (Seebens et al., 2017). Tali specie, una volta introdotte al di fuori dei loro areali nativi, possono generare considerevoli impatti ecologici e socio-economici come l'estinzione di specie native, l'alterazione dei servizi ecosistemici o la diffusione di malattie infettive e allergeni (Pyšek et al., 2020).

Gli insetti sono tra i *taxa* introdotti con maggiore frequenza poiché sono spesso veicolati dall'uomo tramite il trasporto di merci o materiali d'imballaggio (Seebens et al., 2017; Pyšek et al., 2020). Tra gli insetti rientrano anche le vespe e i calabroni per i quali, in passato, si sono registrati almeno 34 eventi d'introduzione di differenti specie a livello globale, di cui sette specie considerate invasive (Beggs et al., 2011). Tra queste rientra anche il calabrone asiatico a zampe gialle *Vespa velutina* (Lepeletier, 1836), introdotto accidentalmente in Francia nel 2004 tramite trasporto di merci provenienti dalla Cina orientale (Monceau et al., 2014). In pochi anni, questa specie si è diffusa nell'intero territorio francese colonizzando progressivamente altri stati europei: Spagna, Portogallo, Belgio, Italia, Germania, Regno Unito, Paesi Bassi, Svizzera e Lussemburgo (Lioy et al., 2022a). In Italia, la *V. velutina* è stata segnalata per la prima volta nel 2012 nella Liguria di ponente (Demichelis et al., 2014), dove ha trovato condizioni ambientali idonee per l'insediamento. Grazie alle capacità di diffusione della specie, *V. velutina* ha successivamente colonizzato altre regioni dell'Italia settentrionale (Piemonte, Toscana e Lombardia, oltre a segnalazioni per Veneto ed

Emilia-Romagna), favorita anche da traslocazioni accidentali ad opera dell'uomo (Porporato et al., 2014; Bertolino et al., 2016; Lioy et al., 2022a).

Le conseguenze dovute alla presenza di *V. velutina* sono molteplici, sia a carico delle componenti ambientali sia a carico di quelle socio-economiche (Monceau et al., 2014; Lioy et al., 2022a). La specie è un predatore generalista di insetti e concentra la sua attività predatoria prevalentemente a carico di altri Imenotteri (60%) e Ditteri (30%). Le api rappresentano la preda principale (38%), in particolare le api da miele (*Apis mellifera*) (Rome et al., 2021). L'attività predatoria a carico delle api genera inizialmente una paralisi dell'attività di foraggiamento e, nel tempo, il collasso delle colonie di api, a cui sono associati danni economici per gli apicoltori (Requier et al., 2019; Laurino et al., 2020). La predazione nei confronti degli insetti pronubi autoctoni può inoltre modificare la frequenza di foraggiamento degli insetti sulle infiorescenze, generando quindi un impatto sul servizio ecosistemico di impollinazione (Rojas-Nossa e Calviño-Cancela, 2020). Inoltre, *V. velutina* può entrare in competizione con vespe e calabroni autoctoni a causa di una parziale sovrapposizione di nicchia ecologica (Carisio et al., 2022; Lioy et al., 2023). Tra estate e autunno, i nidi di *V. velutina* tendono a raggiungere dimensioni ragguardevoli (fino a 1 metro d'altezza e 80 cm di diametro) producendo mediamente 6.000 esemplari per colonia nell'arco dell'anno, con valori massimi di 13.000 individui (Rome et al., 2015). Le dimensioni di queste colonie, unitamente ai siti in cui vengono costruiti i nidi (alberi ed abitazioni) e alla densità che possono raggiungere negli ambienti urbani (12 nidi/km²; Monceau e

Thiéry, 2017), costituiscono dei fattori di rischio per le persone, le quali possono essere aggredite dai calabroni per scopi difensivi. Nei paesi colonizzati da *V. velutina* è infatti aumentato il numero di richieste d'intervento per la rimozione dei nidi e il numero di incidenti legati a punture di Imenotteri (Feás, 2021).

In relazione ai molteplici impatti associati alla presenza di *V. velutina* in Europa, la specie è stata inserita nell'elenco delle specie esotiche invasive di rilevanza unionale ai sensi del Reg. UE 1143/2014. Tale inclusione comporta l'adozione di una serie di divieti e obblighi, tra i quali il controllo delle popolazioni anche con metodiche finalizzate alla distruzione dei nidi, al fine di limitarne gli impatti negativi sulla biodiversità e le attività antropiche.

Per far fronte all'espansione di *V. velutina* in Italia e contenere i danni causati dalla specie, è stato avviato nel 2015 il progetto europeo [LIFE STOPVESPA](#) coordinato dall'Università di Torino con il coinvolgimento del Politecnico di Torino e di due associazioni rappresentanti del settore apistico del Piemonte e della Liguria (le regioni inizialmente colonizzate dalla specie), rispettivamente Aspromiele e l'Abbazia dei Padri Benedettini S.M. di Finalpia. Tra gli obiettivi del progetto rientrava lo sviluppo di una rete di sorveglianza nonché di una strategia d'intervento che permettesse la localizzazione dei nidi di *V. velutina* (spesso nascosti dalla vegetazione fino all'autunno inoltrato) e la rimozione prima che le colonie potessero generare le future regine fondatrici (Lioy et al., 2022b). Sono state pertanto sviluppate e verificate due nuove tecnologie che permettessero di individuare la posizione dei nidi: 1) il radar armonico per il tracciamento del volo dei calabroni; 2) la termocamera per l'individuazione delle

colonie. Di seguito vengono descritti i principali sviluppi tecnologici raggiunti nel corso del progetto e la loro applicazione in Italia.

IL RADAR ARMONICO

La tecnologia radar permette di rilevare e determinare la posizione e la velocità di determinati oggetti nell'ambiente, sia fissi che mobili, ed è utilizzata in innumerevoli contesti di tipo civile e militare. Diverse sono infatti le applicazioni in campo automobilistico, marittimo e aeronautico a supporto della navigazione, nel campo della meteorologia o in ambito satellitare per le applicazioni di telerilevamento. Dalla seconda metà del secolo scorso, questa tecnologia è stata inoltre adattata per lo studio dei movimenti delle specie animali, in particolare per i *taxa* di piccole dimensioni tra cui gli insetti, per i quali le metodiche di tracciamento basate sulla radio telemetria tradizionale risultano di difficile applicazione (Drake e Reynolds, 2012; Kissling et al., 2014).

Le tipologie di radar che possono essere utilizzate per le applicazioni in campo entomologico possono essere classificate in tre categorie: 1) radar a scansione verticale (*vertical-looking radar*) per lo studio delle abitudini migratorie degli insetti a diverse centinaia di metri d'altezza; 2) radar armonico a scansione orizzontale (*harmonic radar*) per lo studio dei movimenti e delle caratteristiche di volo degli insetti a lungo raggio; 3) radar armonico direzionale (*harmonic direction finder*) per lo studio dei movimenti degli insetti e della dispersione a corto raggio (Chapman et al., 2004).

Il radar armonico a scansione orizzontale è la tecnologia maggiormente utilizzata per tracciare il volo di insetti di piccole dimensioni

tra i quali diversi imenotteri come le api da miele (Riley et al., 1996) o i bombi (*Bombus terrestris*; Osborne et al., 1999), oltre ad altri *taxa* come lepidotteri e ditteri (Drake e Reynolds, 2012). Tale tecnologia prevede l'applicazione di un leggero transponder passivo (tag) sul torace degli insetti, costituito da un sottile filo di rame a cui viene saldato un diodo (Figura 1a). Il transponder riceve il segnale trasmesso dal radar (9.41 GHz) e genera l'armonica del segnale stesso (18.82 GHz), quest'ultimo captato dall'antenna ricevente del radar (Figura 1b), permettendo quindi di definire la posizione dell'insetto sulla base della distanza e dell'angolo da cui proviene il segnale (Drake e Reynolds, 2012). Tuttavia, uno dei principali limiti che ha caratterizzato la tecnologia finora sviluppata è una sua difficile applicazione in contesti ambientali caratterizzati da ostacoli (edifici, alberi) e da un'orografia del territorio complessa (rilievi, avvallamenti), caratteristiche tipiche dei territori della Liguria, i primi colonizzati dalla *V. velutina*. Pertanto, nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA, sono stati sviluppati due prototipi di radar in grado di tracciare le direzioni di volo

preferenziali dei calabroni in ambienti caratterizzati da rilievi e ostacoli (Milanesio et al., 2016; 2017), con il fine ultimo di individuare la posizione dei nidi per poterli rimuovere prima della fase riproduttiva delle colonie (fine estate-autunno). Gli ultimi sviluppi hanno consentito sia di aumentare l'efficacia di tracciamento (500 m di raggio dalla posizione del radar) sia di tracciare i calabroni con un ampio angolo di rilevamento sul piano orizzontale, migliorando quindi le performance in ambienti orograficamente complessi (Maggiara et al., 2019).

Metodi e risultati delle attività di tracciamento con radar armonico

La ricerca dei nidi di *V. velutina* con la tecnica del radar armonico è stata condotta in nove località della Liguria in cui era stata precedentemente segnalata la presenza della specie. Cinque di queste località erano situate in comuni della provincia di Imperia caratterizzati da un'alta densità di nidi, mentre quattro in nuovi focolai d'invasione delle province di La Spezia e Savona, caratterizzati quindi da una bassa densità di colonie (Lioy et al., 2021a).

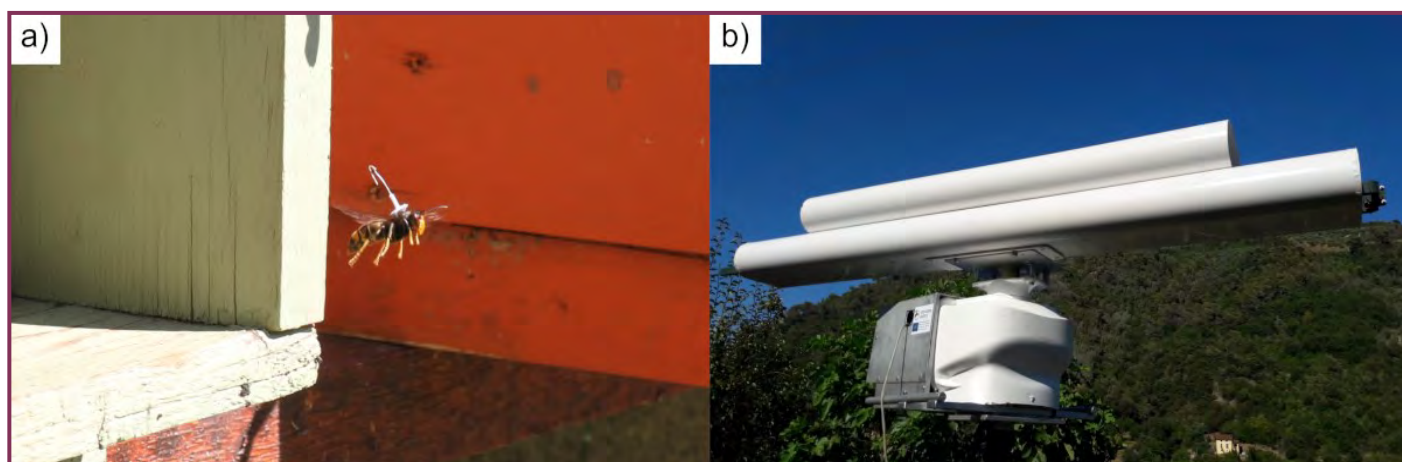


Figura 1. Il radar armonico per il tracciamento del volo dei calabroni: a) esemplare di *V. velutina* equipaggiato con trasmettitore intento a cacciare le api da miele; b) prototipo di radar armonico sviluppato nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA (fonte: elaborazione degli Autori).

Gli esemplari di *V. velutina*, dopo esser stati catturati (generalmente in apiario, intenti a predare le api da miele) venivano equipaggiati con i transponder e rilasciati nuovamente per poter essere tracciati con il radar armonico. Quando i tracciati di volo preferenziali fuoriuscivano dal range massimo di individuazione del radar, questo veniva riposizionato al fine di proseguire l'attività di tracciamento fino alla posizione del nido, o al fine di superare ostacoli e rilievi che potessero impedire la trasmissione del segnale (Figura 2).

Tra il 2017 e il 2019 è stato tracciato il volo di 657 esemplari di *V. velutina*, registrando 2.580 rilevazioni che hanno permesso la ricostruzione di 389 tracciati di volo differenti. Gli esemplari dotati di transponder sono stati tracciati, mediamente, per 100 m di distanza (96 ± 62 m) con valori che hanno raggiunto i 300 m. I tracciati di volo hanno permesso l'individuazione di 11 nidi di *V. velutina* in sei località differenti, con un'efficacia di localizzazione del 75% nei focolai d'invasione e del 60% nelle aree colonizzate caratterizzate da alte densità di colonie.

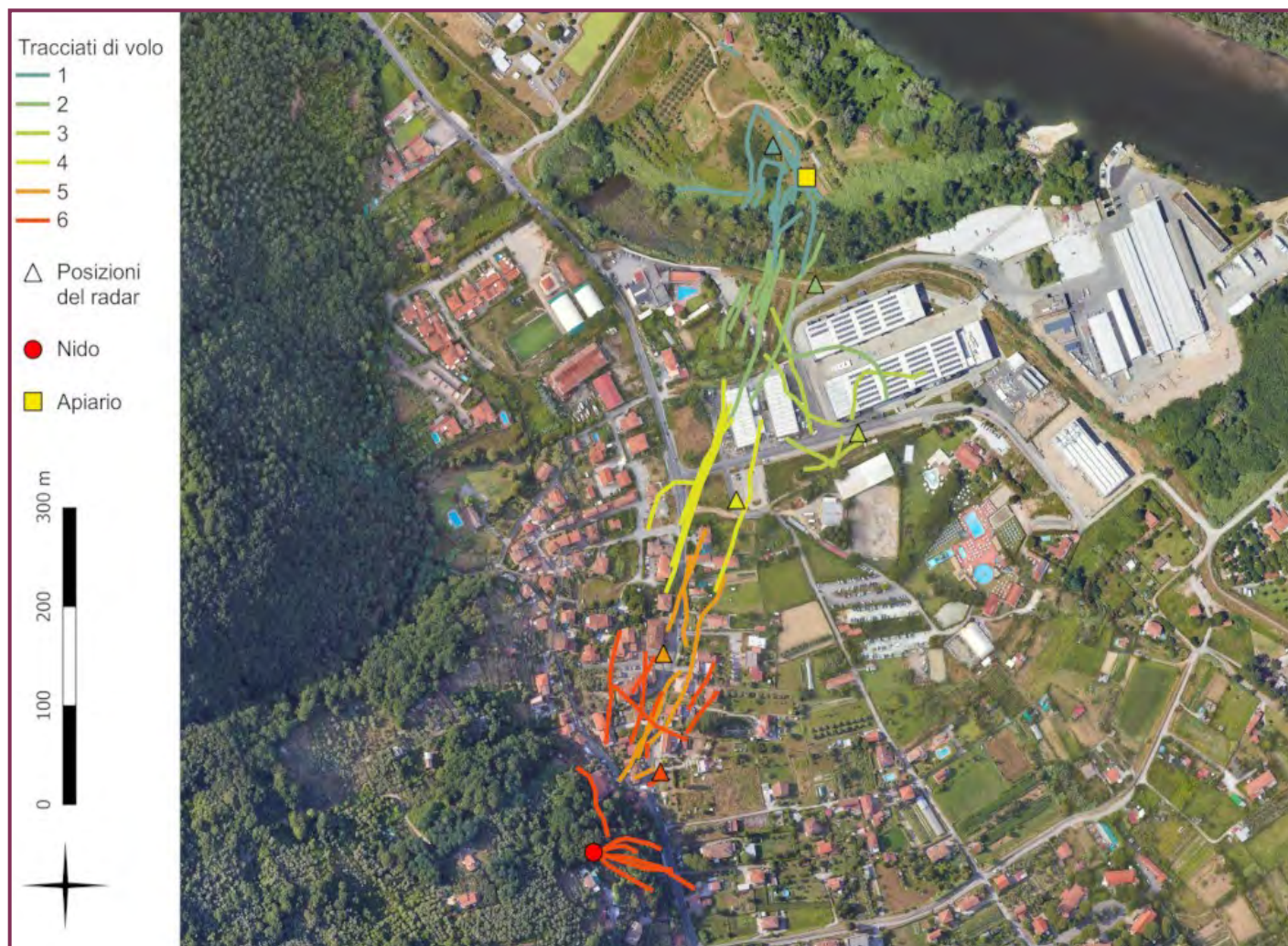


Figura 2. Cartografia relativa alla sessione di tracciamento del volo di *V. velutina* con radar armonico nel focolaio di Ameglia (SP). Il radar ha operato da sei postazioni, lungo le direzioni preferenziali di volo registrate, consentendo l'individuazione del nido (fonte: elaborazione degli Autori).

La metodica di tracciamento si è mostrata più efficace in occasione di focolai d'invasione con bassa densità di nidi; questo ha determinato un'alta convergenza dei tracciati di volo, semplificando le operazioni di ricerca dei nidi stessi. Le colonie di *V. velutina* individuate erano localizzate a circa 400 m di distanza (395 ± 208 m) rispetto alla posizione degli apiari in cui erano stati catturati i calabroni, e alla distanza massima di 786 m.

La presenza di aree urbane e boschi non ha influenzato negativamente l'efficacia di tracciamento. L'unica variabile ambientale che ha diminuito significativamente la lunghezza dei tracciati di volo è la pendenza dei versanti (GLMM: $\beta = -0,33$; $p < 0,05$). Il radar armonico è infatti dotato di un angolo di rilevamento sul piano orizzontale di 24° ; pertanto, in presenza di versanti scoscesi, è maggiore la probabilità che gli insetti possano fuoriuscire dal raggio di rilevazione del radar.

L'attività di tracciamento con radar armonico ha inoltre permesso di acquisire nuove informazioni di carattere biologico sulla specie come le caratteristiche di volo di *V. velutina* in condizioni non controllate. Tracciando l'attività di volo dei calabroni, è stato infatti possibile osservare come gli individui di una colonia frequentino assiduamente gli apiari per predare le api da miele, con molteplici visite durante la stessa giornata. È stata inoltre notata una differenza nella velocità di volo tra gli esemplari di ritorno ai nidi, che trasportavano la preda per alimentare le proprie larve, e quelli che volavano in direzione degli apiari, per catturare le api da miele. I primi volavano infatti ad una velocità di 4.06 ± 1.34 m/s, mentre gli esemplari diretti verso gli alveari ad una velocità di 6.66 ± 2.31 m/s, in quanto non appesantiti dal peso della preda.

LA TERMOCAMERA

Ogni oggetto che possiede dei valori di temperatura superiori allo zero assoluto emette delle radiazioni infrarosse in grado di essere rilevate da specifici sensori termici. Le immagini termiche prodotte dalle termocamere sono pertanto in grado di mettere in evidenza i valori di temperatura di un determinato oggetto - o le differenze di temperatura dello stesso rispetto all'ambiente - e possono quindi essere utilizzate per individuare determinate fonti di calore (Vadivambal e Jayas, 2011). Gli ambiti d'applicazione delle termocamere sono molteplici, tra i quali l'edilizia, la medicina, l'agricoltura e l'ecologia. In quest'ultimo, le termocamere sono utilizzate come metodica di monitoraggio della fauna selvatica, in particolare per quelle specie (es. cinghiale e chiroteri) difficilmente monitorabili con altre metodiche dirette (Focardi et al., 2001; Cilulko et al., 2013). I nidi degli insetti sociali come le api, le vespe o i calabroni, sono composti da numerosi individui che tendono ad adottare comportamenti atti a mantenere condizioni di temperatura costanti per favorire lo sviluppo delle colonie, aiutati anche dalle proprietà di isolamento dei nidi stessi (Schmolz e Lamprecht, 2004). Per esempio, durante la fase riproduttiva, la temperatura interna dei nidi delle vespe è generalmente mantenuta tra i $28-30^\circ\text{C}$ (Martin, 1990). Tale caratteristica permette quindi di poterli individuare con dei sensori termici, in particolare per quelle specie che nidificano fuori suolo e quando la temperatura ambientale differisce significativamente dalla temperatura del nido. Ad esempio, le termocamere sono state adottate per localizzare i nidi dei bombi (*Bombus* sp.) in Inghilterra (Roberts e Osborne, 2019),

nonostante le colonie di queste specie siano costruite in cavità del suolo o di muretti a secco. Tali premesse permettono quindi di ipotizzare un possibile impiego delle termocamere per l'individuazione dei nidi di *V. velutina*, soprattutto perché i nidi di questa specie sono generalmente costruiti tra le chiome degli alberi.

Metodi e risultati delle attività di ricerca dei nidi con termocamera

La possibilità di individuare la posizione dei nidi di *V. velutina* tramite termocamera è stata valutata nel 2018 nel comune di Ventimiglia (IM). La sperimentazione è stata eseguita durante il mese di agosto in condizioni controllate, monitorando tre differenti nidi di *V. velutina* da diverse angolazioni e in diversi momenti della giornata (Lioy et al., 2021b). Le immagini termiche sono state rilevate manualmente da un operatore utilizzando una termocamera Avio Advanced Thermo TVS-500E, e analizzate successivamente con software dedicato (GORATEC Thermography Studio). I risultati della sperimentazione hanno evidenziato un possibile utilizzo delle termocamere per individuare i nidi di *V.*

velutina, in quanto tutti i nidi presentavano una differenza di temperatura significativa rispetto alla temperatura ambientale o alla temperatura della chioma degli alberi entro i quali erano stati costruiti (Figura 3).

Inoltre, i nidi potevano essere individuati con maggiore facilità: 1) al mattino, prima dell'alba, quando le differenze di temperatura tra nido e ambiente erano superiori; 2) quando i nidi non erano schermati dal tronco, dai rami o dalle foglie degli alberi; 3) quando l'operatore eseguiva la scansione delle chiome degli alberi da brevi distanze.

L'efficacia è stata inoltre dimostrata nel mese di agosto, uno dei periodi dell'anno in cui le temperature ambientali sono maggiori e raggiungono valori simili alle temperature dei nidi di *V. velutina*. Si presume pertanto che applicazioni in altri periodi dell'anno (es. settembre, ottobre) possano consentire una maggior facilità di localizzazione, per la maggiore differenza di temperatura fra il nido e l'ambiente.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le attività condotte in Italia per limitare la diffusione di *V. velutina* hanno consentito, da

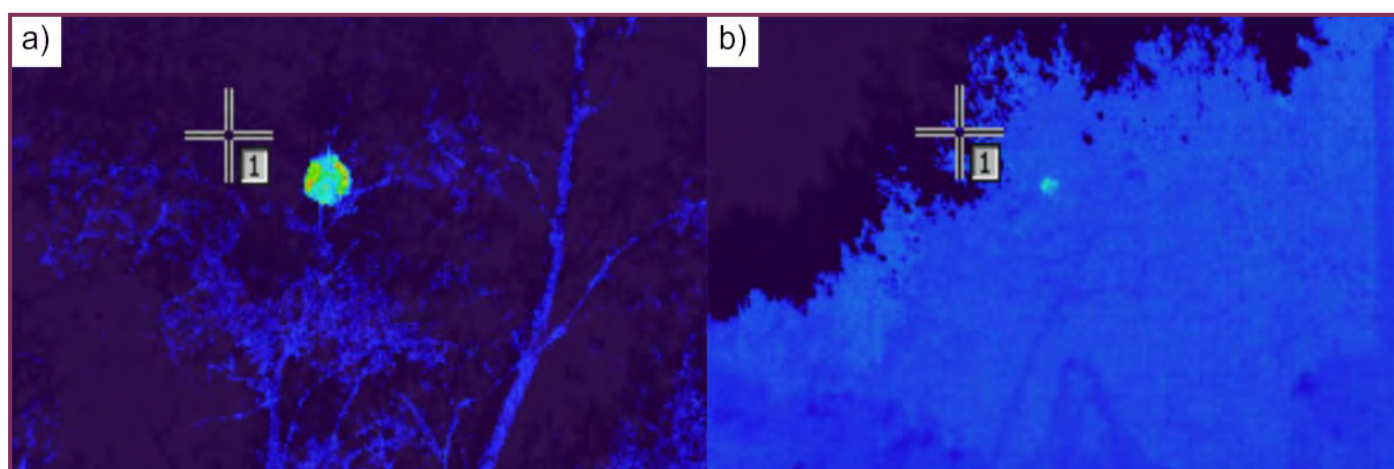


Figura 3. Nidi di *V. velutina* sui rami di un albero, osservati tramite termocamera: a) nido a 10 m di distanza dall'operatore; b) nido a 30 m di distanza dall'operatore (fonte: elaborazione degli Autori).

un lato, di sviluppare una vasta rete di monitoraggio e di pronto intervento per individuare e rimuovere i nidi di questa specie esotica invasiva, con il coinvolgimento di numerosi cittadini e portatori d'interesse differenti tra i quali gli apicoltori, la protezione civile, i vigili del fuoco, la polizia locale e gli amministratori locali e regionali.

Al contempo, hanno permesso di sviluppare metodiche innovative di ricerca dei nidi in grado di fornire un supporto aggiuntivo alle metodiche tradizionali, quali la triangolazione delle direzioni di volo e la ricerca a vista delle colonie, in particolare nelle situazioni e nei contesti che possano permettere l'eradicazione dei nuovi focolai d'invasione.

Le metodiche tradizionali di tracciamento "a vista" prevedono il posizionamento di esche proteiche per attirare le operaie di *V. velutina*, e la successiva triangolazione delle direzioni di volo degli esemplari osservati nella fase di allontanamento dalle esche al fine di individuare la posizione dei nidi. Questa tecnica, adottata sull'isola di Maiorca (Spagna), ha consentito l'individuazione di diverse colonie e la successiva eradicazione della specie dall'isola, ma ha comportato sforzi di ricerca e costi di personale molto elevati (Leza et al., 2021). Si stima infatti che tale tecnica richieda in media $19,2 \pm 18,9$ giorni di lavoro per l'individuazione di una singola colonia di *V. velutina*. Al contrario, le sperimentazioni condotte in Italia con il radar armonico hanno consentito di individuare le colonie in $2,5 \pm 1,0$ giorni di lavoro (Lioy et al., 2021a). Tale differenza comporta quindi un maggior risparmio in termini di tempo e di costi di personale, nonché una maggiore probabilità di individuare i nidi prima del periodo riproduttivo delle colonie, aumentando quindi le possibilità di eradicazione della

specie. L'utilizzo del radar armonico comporta tuttavia un costo iniziale legato alla strumentazione (circa 100.000 €) che deve essere previsto qualora occorra replicare ulteriori prototipi oltre a quelli sviluppati nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA e attualmente ancora a disposizione. Inoltre, devono essere considerati i costi legati alla logistica dell'apparecchiatura e al personale, in quanto sono necessarie almeno due persone formate rispettivamente sull'utilizzo del sistema radar e sulle tecniche di cattura e manipolazione dei calabroni. La metodica d'individuazione dei nidi tramite termocamera, per la quale mancano al momento informazioni di dettaglio sulle tempistiche per la localizzazione dei nidi in condizioni non controllate, prevede anch'essa costi maggiori in termini di strumentazione (variabili sulla base dei modelli utilizzati) rispetto alle metodiche tradizionali, ma potrebbe consentire una rapida individuazione dei nidi qualora questi siano nascosti tra la vegetazione.

Queste tecnologie potranno inoltre essere adottate nella gestione di altre specie esotiche invasive che presentino caratteristiche ecologiche e biologiche analoghe alla *V. velutina*. Per esempio, potranno essere adottate nel caso di introduzione di altri Vespidae (Beggs et al., 2011) come nel caso della recente introduzione di *V. mandarinia* in Nord America (Wilson et al., 2020).

Entrambe le tecnologie possono inoltre essere ulteriormente ottimizzate per incrementarne l'efficacia. I prototipi di radar armonico possono essere incorporati su veicoli che ne permettano un rapido spostamento, caratteristica utile sia per il superamento di ostacoli che possano impedire la trasmissione del segnale sia per

riprendere il tracciamento degli insetti qualora fuoriuscissero dal raggio di rilevamento del radar stesso. Al contempo, i rapidi progressi tecnologici degli aeromobili a pilotaggio remoto, anche in campo civile, permettono di incorporare le termocamere su droni, in grado quindi di effettuare scansioni dall'alto di vaste aree forestali. Tale implementazione potrebbe migliorare l'applicabilità della termocamera, in quanto diminuirebbero le limitazioni di movimento che possono verificarsi con un'applicazione da terra.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutte le persone che hanno collaborato nelle attività del Progetto LIFE STOPVESPA per il contenimento della *V. velutina*. I prototipi di radar armonico sono stati realizzati dal Politecnico di Torino grazie alla preziosa collaborazione di Daniele Milanese e Maurice Sacconi. Le attività di campo descritte nel presente articolo sono state realizzate grazie al supporto di molteplici collaboratori dell'Università di Torino, tra cui Federico Berta, Sandro Bertolino, Mattia Bessone, Ettore Bianchi, Michela Capello, Luca Carisio, Luca Croce, Davide Cuttini, Eugenio Fiasconaro, Marco Gallesi, Davide Greco, Daniela Laurino, Aulo Manino, Peter John Mazzoglio, Antonio Prestia, Andrea Romano, Alessandro Viscardi. Desideriamo inoltre ringraziare i colleghi dell'Unità di Meccanica, Davide Ricauda e Alessandro Biglia, per aver messo a disposizione la termocamera utilizzata in questo lavoro. Le attività condotte sono state realizzate grazie al contributo del Programma LIFE della Commissione Europea (LIFE14 NAT/IT/001128 STOPVESPA).

BIBLIOGRAFIA

- Beggs J.R., Brockerhoff E.G., Corley J.C., Kenis M., Masciocchi M., Muller F., Rome Q., Villemant C., 2011. [Ecological effects and management of invasive alien Vespidae](#). *BioControl* 56(4):505–526.
- Bertolino S., Lioy S., Laurino D., Manino A., Porporato M., 2016. [Spread of the invasive yellow-legged hornet *Vespa velutina* \(Hymenoptera: Vespidae\) in Italy](#). *Appl Entomol Zool* 51(4):589–597.
- Carisio L., Cerri J., Lioy S., Bianchi E., Bertolino S., Porporato M., 2022. [Impacts of the invasive hornet *Vespa velutina* on native wasp species: a first effort to understand population-level effects in an invaded area of Europe](#). *J Insect Conserv* 26:663–671.
- Chapman J., Reynolds D., Smith A., 2004. [Migratory and foraging movements in beneficial insects: A review of radar monitoring and tracking methods](#). *Int J Pest Manag* 50(3): 225–232.
- Cilulko J., Janiszewski P., Bogdaszewski M., Szczygielska E., 2013. [Infrared thermal imaging in studies of wild animals](#). *Eur J Wildl Res* 59(1): 17–23.
- Demichelis S., Manino A., Minuto G., Mariotti M., Porporato M., 2014. *Social wasp trapping in north west Italy: comparison of different bait-traps and first detection of *Vespa velutina**. *Bull Insectology* 67(2):307–317.
- Drake V.A., Reynolds D.R., 2012. *Radar entomology: observing insect flight and migration*. CABI, Wallingford, UK ; Cambridge, MA. 489 pp.
- Feás X., 2021. [Human Fatalities Caused by Hornet, Wasp and Bee Stings in Spain: Epidemiology at State and Sub-State Level](#)

[from 1999 to 2018](#). *Biology* 10(2): 73.

Focardi S., Marinis A.M.D., Rizzotto M., Pucci A., 2001. [Comparative Evaluation of Thermal Infrared Imaging and Spotlighting to Survey Wildlife](#). *Wildl Soc Bull* 29(1): 133–139.

Kissling D.W., Pattemore D.E., Hagen M., 2014. [Challenges and prospects in the telemetry of insects](#). *Biol Rev* 89(3): 511–530.

Laurino D., Lioy S., Carisio L., Manino A., Porporato M., 2020. [Vespa velutina: An Alien Driver of Honey Bee Colony Losses](#). *Diversity* 12(1): 5.

Leza M., Herrera C., Picó G., Morro T., Colomar V., 2021. [Six years of controlling the invasive species Vespa velutina in a Mediterranean island: The promising results of an eradication plan](#). *Pest Manag Sci* 77(5): 2375–2384.

Lioy S., Laurino D., Maggiora R., Milanesio D., Saccani M., Mazzoglio P.J., Manino A., Porporato M., 2021a. [Tracking the invasive hornet Vespa velutina in complex environments by means of a harmonic radar](#). *Sci Rep* 11(1): 12143.

Lioy S., Bianchi E., Biglia A., Bessone M., Laurino D., Porporato M., 2021b. [Viability of thermal imaging in detecting nests of the invasive hornet Vespa velutina](#). *Insect Sci* 28(1): 271–277.

Lioy S., Bergamino C., Porporato M., 2022a. [The invasive hornet Vespa velutina: distribution, impacts and management options](#). *CABI Rev* 17:30.

Lioy S., Bertolino S., Laurino D., Manino A., Porporato M., 2022b. *Piano nazionale per la gestione del Calabrone asiatico a zampe gialle (Vespa velutina)*. Ministero della Transizione Ecologica e Istituto Superiore per

la Protezione e la Ricerca Ambientale. 35 pp.

Lioy S., Carisio L., Manino A., Porporato M., 2023. [Climatic Niche Differentiation between the Invasive Hornet Vespa velutina nigritorax and Two Native Hornets in Europe, Vespa crabro and Vespa orientalis](#). *Diversity* 15(4): 495.

Maggiora R., Saccani M., Milanesio D., Porporato M., 2019. [An Innovative Harmonic Radar to Track Flying Insects: the Case of Vespa velutina](#). *Sci Rep* 9(1): 11964.

Martin S.J., 1990. [Nest thermoregulation in Vespa simillima, V. tropica and V. analis](#). *Ecol Entomol* 15(3): 301–310.

Milanesio D., Saccani M., Maggiora R., Laurino D., Porporato M., 2016. [Design of an harmonic radar for the tracking of the Asian yellow-legged hornet](#). *Ecol Evol* 6(7): 2170–2178.

Milanesio D., Saccani M., Maggiora R., Laurino D., Porporato M., 2017. [Recent upgrades of the harmonic radar for the tracking of the Asian yellow-legged hornet](#). *Ecol Evol* 7(13): 4599–4606.

Monceau K., Bonnard O., Thiéry D., 2014. [Vespa velutina: a new invasive predator of honeybees in Europe](#). *J Pest Sci* 87(1):1–16.

Monceau K., Thiéry D., 2017. [Vespa velutina nest distribution at a local scale: An 8-year survey of the invasive honeybee predator](#). *Insect Sci* 24(4): 663–674.

Osborne J.L., Clark S.J., Morris R.J., Williams I.H., Riley J.R., Smith A.D., Reynolds D.R., Edwards A.S., 1999. [A landscape-scale study of bumble bee foraging range and constancy, using harmonic radar](#). *J Appl Ecol* 36(4): 519–533.

Porporato M., Manino A., Laurino D.,

- Demichelis S., 2014. *Vespa velutina* *Lepeletier (Hymenoptera Vespidae): a first assessment two years after its arrival in Italy*. Redia 97:189–194.
- Pyšek P., Hulme P.E., Simberloff D., Bacher S., Blackburn T.M., Carlton J.T. 2020., [Scientists' warning on invasive alien species](#). Biol Rev 95:1511–1534.
- Requier F., Rome Q., Chiron, G., Decante D., Marion S., Menard M., Muller F., Villemant, C., Henry M., 2019. [Predation of the invasive Asian hornet affects foraging activity and survival probability of honey bees in Western Europe](#). J Pest Sci 92(2): 567–578.
- Riley J.R., Smith A.D., Reynolds D.R., Edwards A.S., Osborne J.L., Williams I.H., Carreck N.L., Poppy G.M., 1996. [Tracking bees with harmonic radar](#). Nature 379(6560): 29–30.
- Roberts B.R., Osborne J.L., 2019. [Testing the efficacy of a thermal camera as a search tool for locating wild bumble bee nests](#). J Apic Res 58(4): 494–500.
- Rojas-Nossa S.V., Calviño-Cancela M., 2020. [The invasive hornet *Vespa velutina* affects pollination of a wild plant through changes in abundance and behaviour of floral visitors](#). Biol Invasions 22: 2609–2618.
- Rome Q., Muller F.J., Touret-Alby A., Darrouzet E., Perrard A., Villemant C., 2015. [Caste differentiation and seasonal changes in *Vespa velutina* \(Hym.: Vespidae\) colonies in its introduced range](#). J Appl Entomol 139(10): 771–782.
- Rome Q., Perrard A., Muller F., Fontaine C., Quilès A., Zuccon D., Villemant C., 2021. [Not just honeybees: predatory habits of *Vespa velutina* \(Hymenoptera: Vespidae\) in France](#). Ann Soc Entomol Fr 57(1): 1–11.
- Schmolz E., Lamprecht I. 2004. *Thermal investigations on social insects*. The Nature of Biological Systems as Revealed by Thermal Methods (eds. D. Lorinczy), pp. 251–283. Springer, Dordrecht.
- Seebens H., Blackburn T.M., Dyer E.E., Genovesi P., Hulme P.E., Jeschke J.M. et al., 2017. [No saturation in the accumulation of alien species worldwide](#). Nat Commun 8:14435.
- Vadivambal R., Jayas D.S., 2011. [Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry - A Review](#). Food Bioprocess Technol 4: 186–199.
- Wilson T.M., Takahashi J., Spichiger S.E., Kim I., Van Westendorp P., 2020. [First Reports of *Vespa mandarinia* \(Hymenoptera: Vespidae\) in North America Represent Two Separate Maternal Lineages in Washington State, United States, and British Columbia, Canada](#). Ann Entomol Soc Am 113(6): 468–472.