

Progetto LIFE14 NAT/IT/001128 STOPVESPA
Realizzato con il contributo dello strumento LIFE della Commissione Europea



‘Valutazione dell’efficacia del radar armonico per il tracciamento del volo dei calabroni’ Report finale dell’Azione D.2

***“Final report on the effectiveness of the harmonic radar”
Action D.2***



Luglio 2019



**POLITECNICO
DI TORINO**



Introduzione

Il calabrone asiatico a zampe gialle (*Vespa velutina* Lepeletier 1836) è una specie alloctona invasiva introdotta in Francia nel 2004, che attualmente risulta in espansione in diversi paesi europei. La sua presenza è accertata in Francia, Spagna, Italia, Portogallo, Germania, Belgio e Regno Unito. *V. velutina* rappresenta una forte minaccia per gli insetti pronubi autoctoni e pertanto, vista la sua rapida espansione sul territorio europeo, richiede lo sviluppo di misure e di strategie di contenimento.

La localizzazione e distruzione tempestiva delle colonie prima della comparsa degli individui riproduttori, rappresenta attualmente la contromisura maggiormente efficace per contenere e limitare l'espansione della specie. Individuare la posizione dei nidi di *V. velutina* richiede tuttavia molto tempo, in quanto sono frequentemente costruiti tra la vegetazione e situati a considerevoli altezze all'interno delle chiome degli alberi, e non sempre è possibile localizzarli.

Nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA sono stati realizzati due prototipi di radar armonico entomologico appositamente ideati per facilitare le operazioni di localizzazione dei nidi di *V. velutina*. Nel presente documento verranno descritte le attività sviluppate dal progetto, i principali risultati raggiunti e verrà analizzata l'efficacia di questa tecnologia innovativa rispetto ad altre metodiche tradizionali per l'individuazione dei nidi di *V. velutina*.

Metodiche tradizionali per l'individuazione dei nidi di V. velutina

Una tecnica tradizionale che può essere utilizzata per localizzare i nidi di *V. velutina* nei nuovi focolai d'invasione è la triangolazione. Questa tecnica prevede la cattura, presso fonti di alimentazione, di almeno tre individui di *V. velutina* e il loro successivo rilascio da posizioni differenti, per registrare le direzioni di volo dei calabroni (Turchi & Derijard, 2018). La tecnica si basa sull'assunto che gli Imenotteri, stressati dalla manipolazione, tendono a ritornare al nido seguendo una linea di volo pressoché lineare (Turchi & Derijard, 2018). Pertanto, se gli individui catturati provengono tutti dallo stesso nido (caso verosimile in un nuovo focolaio d'invasione), esiste una buona probabilità che le linee di volo si intersechino in un punto che rappresenta la posizione del nido, con una precisione di alcune decine di metri (Blot, 2008). Effettuata la triangolazione, è necessario cercare visivamente la posizione del nido nella vegetazione

circostante, in funzione di caratteristiche del territorio più idonee per lo sviluppo della colonia (alberi isolati, alberi al limite del bosco, fonti d'acqua e vegetazione arborea ripariale). Blot (2008) ha stimato un'efficienza di localizzazione dei nidi pari al 70%, tuttavia senza fornire dati quantitativi.

Una variante della triangolazione prevede l'utilizzo di stazioni di alimentazione artificiale, contenenti attrattivi zuccherini o proteici, posizionate in un raggio di 1,5 km da un apiario ove siano stati osservati individui di *V. velutina* in predazione (Leza et al., 2017). La fase successiva prevede di osservare e registrare le direzioni di volo principali dei calabroni in partenza dai punti di alimentazione. Le direzioni di volo appartenenti a calabroni provenienti da almeno tre stazioni di alimentazione differenti vengono quindi utilizzate per la triangolazione. Questa tecnica è stata utilizzata da Leza et al (2017) per localizzare diversi nidi di *V. velutina* sull'isola di Majorca. Il metodo ha permesso di rinvenire 10 nidi in 5 mesi effettivi di ricerca (Ottobre 2015, Agosto – Novembre 2016), con una media di 2 nidi al mese, senza però fornire informazioni sia sul numero di punti di alimentazione monitorati sia sul numero di operatori impiegati.

Una terza tecnica prevede di rilasciare un individuo di *V. velutina* e seguirne la direzione di volo per poche decine di metri. Il rilascio consecutivo di altri esemplari permette di rettificare il percorso di volo verso il nido (Turchi & Derijard, 2018).

Queste tecniche, anche se costano relativamente poco in termini di attrezzatura, sono complesse e richiedono un cospicuo impegno in termini di personale e tempistiche per l'individuazione dei nidi.

La tecnologia radaristica in campo entomologico

Il riconoscimento dell'origine di specifici "disturbi" correlati con il movimento di insetti e sopravvenuti durante l'impiego di apparecchiature radar convenzionali, può essere definito come l'avvento della radaristica entomologica. Le apparecchiature radar sono utilizzate in studi entomologici da circa mezzo secolo (Drake & Reynolds, 2012). I primi esperimenti svolti grazie alla suddetta tecnologia erano focalizzati sullo studio dei voli di insetti ad alte quote e prevedevano l'impiego di radar a scansione verticale (VLR – vertical looking radar) e resero possibile acquisire informazioni sulle abitudini migratorie di insetti di elevate dimensioni (>100 mg, in primis locuste e

falene – vedasi Schaefer, 1969; Riley, 1975). Per quanto riguarda invece i voli a bassa quota, le apparecchiature radar allora disponibili potevano essere impiegate esclusivamente in contesti particolarmente pianeggianti e privi di ostacoli di qualsivoglia natura, a causa dei disturbi dovuti ad eco derivanti da vegetazione e altri ostacoli (Riley & Smith, 2002).

Un passo cruciale nello sviluppo della disciplina radaristica entomologica fu mosso da Mascanzoni & Wallin (1986), i quali, partendo da una tecnologia radar originariamente sviluppata per la ricerca di dispersi in valanga (RECCO), idearono, nell'abito di uno studio sull'ecologia di coleotteri carabidi, il primo dispositivo radar armonico entomologico. Tale dispositivo, portatile, era in grado di individuare la presenza di un piccolo transponder passivo incollato sull'elitra dei suddetti insetti. Seppure il raggio di ricezione pari a 5 metri ne limitava l'utilizzo al solo studio di spostamenti di insetti camminatori, l'introduzione del radar armonico ha permesso di disporre di una tecnologia in grado di eliminare i molteplici segnali di disturbo generati da ostacoli fisici di varia natura che limitavano l'utilizzo dei radar tradizionali ai soli ambienti pianeggianti e privi di ostacoli.

Durante gli anni '90 del secolo scorso, la tecnologia radar armonica entomologica compì numerosi passi avanti. Con lo sviluppo di modelli di radar armonico a postazione fissa ed antenna rotativa, risultò possibile individuare in modo precisa la posizione di uno o più insetti muniti di trasponder passivo (o tag) a distanze di svariate centinaia di metri (Osborne et al. 1996). Le ridotte dimensioni e il peso contenuto dei tag ne hanno permesso l'applicazione su insetti senza pregiudicarne le capacità di volo. Tali fattori hanno permesso di utilizzare con successo dispositivi radar armonici nello studio dell'ecologia di differenti specie di insetti (vedasi Riley et al., 1996; Osborne et al., 1999).

L'ideazione di un prototipo di radar armonico a postazione fissa ed antenna rotativa, sviluppato nell'ambito del progetto europeo LIFE STOPVESPA (Maggiora et al. 2019; Milanesio et al 2016, 2017), ha avuto come obiettivo quello di rendere fruibile la tecnologia radar applicata all'entomologia non solo per scopi prettamente correlati alla ricerca scientifica, ma anche per le operazioni di contenimento e controllo di specie alloctone invasive come nel caso di *V. velutina*.

Materiali e metodi

Il radar armonico permette di rilevare i percorsi di volo delle operaie di *V. velutina* alle quali viene apposto un piccolo transponder passivo (tag). Il principio di funzionamento del radar armonico entomologico prevede la presenza di un transponder applicato sull'insetto e di due differenti tipologie di antenne impiegate nella trasmissione e nella ricezione degli impulsi elettromagnetici generati dal radar. Il transponder è dotato di un diodo in grado di ritrasmettere a frequenza doppia (armonica) il segnale generato dall'antenna emettitrice. Siccome l'antenna ricevente è in grado di captare esclusivamente un segnale elettromagnetico avente frequenza doppia rispetto a quella captabile dall'antenna ricevente, tale caratteristica permette l'indubbio vantaggio di escludere il disturbo imputabile ai segnali di ritorno provenienti da altri ostacoli.

La metodologia impiegata per la ricerca dei nidi mediante radar armonico si basa sulla cosiddetta "*Judas technique*", tecnica impiegata con successo in differenti specie animali gregarie, che consiste nell'ottenere informazioni sulla posizione dell'intero gruppo di appartenenza grazie alle indicazioni geospaziali fornite da un transponder apposto su un adeguato numero di individui (Kennedy et al., 2018). Le dimensioni e il peso contenuto del tag non influiscono in modo apparente sulle capacità di volo dei calabroni, i quali possono continuare con successo le consuete attività predatorie nei confronti di *Apis mellifera*, permettendo così agli operatori di registrare le tracce dei voli sia di andata, sia di ritorno al nido.

Il tragitto dei voli dei calabroni dotati di tag viene registrato dal radar sotto forma di una sequenza di punti, ognuno generato durante una singola rotazione del blocco antenne e corrispondente alla posizione da cui è partito il segnale di risposta del tag. Il segnale di risposta del tag è registrato e geolocalizzato in tempo reale grazie a un software appositamente sviluppato dal Politecnico di Torino. La posizione di ogni punto è determinata dal valore di azimuth, che determina l'angolazione delle antenne nell'istante della ricezione, e dal valore della distanza tra il tag che l'ha generato e l'antenna radar. La velocità di rotazione del blocco antenne è pari a 20 giri min^{-1} mentre l'accuratezza spaziale dei singoli punti è pari a $\pm 2,5$ m.

Le sequenze di punti generate dal passaggio dei calabroni dotati di tag vengono trasposte in tempo reale su una mappa georeferenziata, avente per centro la posizione geografica in cui si trova ad operare il radar. La registrazione di più tracce permette di individuare i corridoi di volo utilizzati dai calabroni nel tragitto apiario-nido. È inoltre possibile determinare la direzione di volo

della traccia nonché calcolarne la velocità al suolo (ground speed - GS) misurando la lunghezza dei segmenti formati da punti contigui originatisi da rotazioni immediatamente successive e dividendo tale valore per il tempo di rotazione delle antenne (3 s).

Il raggio di ricezione massimo dell'unità radar è attualmente pari a 470 m; qualora i percorsi di volo dei calabroni siano superiori a tale valore, il radar viene spostato per completare il rilevamento del tracciato fino al nido. Gli spostamenti del radar sono funzionali anche per completare percorsi di volo rilevati in modo parziale per la complessità geomorfologica del territorio e/o la presenza di ostacoli fisici di varia natura (edifici, alberi, ecc).

I nidi di *V. velutina* possono essere individuati in corrispondenza dei punti ove vengono registrati segnali persistenti e/o nei punti dove convergono e si dipartono più tracciati di volo. Un attento e meticoloso sopralluogo nella zona indicata dal radar permette successivamente l'identificazione visuale della posizione del nido. Una volta individuati, i nidi sono stati rapidamente neutralizzati da parte di operatori appositamente formati.



Fig. 1 - Prototipi di radar armonico entomologico sviluppati dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA, per il tracciamento del volo di *V. velutina* e l'individuazione dei nidi.

<i>Peak output power</i>	1 kW
<i>Transmitted frequency</i>	9.4 GHz
<i>Pulse time duration</i>	45 us
<i>Number of sub-pulses</i>	1024
<i>Pulse repetition interval</i>	1 ms
<i>Range resolution</i>	7 m
<i>Revolutions per minute</i>	20

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della tecnologia radar sviluppata per il contenimento di *V. velutina* nell'ambito del progetto LIFE STOPVESPA (tratto da Maggiora et al., 2019).

Transponder

Il tag, costituito da un diodo saldato a un filo di rame con diametro di 0,25 mm, che ha la funzione di antenna, è in grado di ricevere il segnale elettromagnetico emesso dal radar alla frequenza di 9,4 GHz e di ritrasmetterlo a frequenza doppia (18,8 GHz). Questo permette di poter essere rilevato dall'antenna ricevente del radar in modo univoco rispetto ai disturbi ambientali. La funzionalità di ogni tag viene preventivamente verificata in laboratorio presso il Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni del Politecnico di Torino, mediante analizzatore di spettro. Il tag ha una lunghezza di circa 12 mm e un peso medio che non supera i 20 mg; esso viene montato su un idoneo supporto cartaceo per permetterne il saldo fissaggio sul torace dei calabroni.



Fig. 2 - Ultima versione di transponder sviluppato da LIFE STOPVESPA per il tracciamento del volo dei calabroni mediante radar armonico entomologico.

L'operazione di applicazione del tag sull'insetto rappresenta una fase particolarmente critica del processo. Tale operazione richiede un'elevata esperienza da parte dell'operatore, allorché un'applicazione imprecisa può comprometterne fortemente le capacità di volo. L'intera operazione richiede circa due minuti e, non sottoponendo i calabroni ad anestesia, garantisce l'immediata ripresa dell'attività di volo degli insetti, con percentuali di successo che possono arrivare al 100%. I calabroni dotati di tag proseguono la loro attività di caccia senza apparenti problemi, e i loro spostamenti possono essere rilevati dal radar armonico anche nei giorni successivi all'incollaggio del tag.

Il procedimento di applicazione del tag richiede le seguenti fasi:

- cattura di un'operaia di *V. velutina*, generalmente in caccia presso un alveare;
- inserimento del calabrone in una provetta tipo Falcon;
- immobilizzazione del calabrone sul bordo della provetta;
- eventuale marcatura univoca dell'individuo mediante pennarello indelebile all'acqua (tipo Uniposca)

Risultati

I prototipi di radar armonico entomologico sviluppati dal progetto LIFE STOPVESPA sono stati testati nel corso del progetto e utilizzati attivamente nella strategia di controllo di *V. velutina*. I prototipi sono stati utilizzati con successo sia nelle aree ad alta densità di *V. velutina* (provincia di Imperia), sia nei nuovi focolai d'invasione, caratterizzati da una bassa densità di nidi. In tabella 2 sono elencati i nidi di *V. velutina* individuati in Liguria grazie ai prototipi di radar armonico entomologico sviluppati dal progetto.

Anno	Comune	Provincia	Nidi individuati	Distanza nido - apiario	Densità di <i>V. velutina</i>
2017	Dolceacqua	Imperia	1	72	Alta
	Ventimiglia	Imperia	2	190; 197	Alta
2018	Ventimiglia	Imperia	3	394; 346; 415	Alta
	Dolceacqua	Imperia	1	520	Alta
	Arcola	La Spezia	1	448	Bassa
	Ameglia	La Spezia	1	786	Bassa
	Finale Ligure	Savona	1	561	Bassa
2019	Camporosso	Imperia	1	136	Alta

Tabella 2 - Nidi di *V. velutina* individuati grazie alla tecnologia del radar armonico entomologico sviluppata da LIFE STOPVESPA

La rimozione dei nidi di *V. velutina* dalle aree a bassa densità di La Spezia e Finale Ligure ha determinato l'interruzione dei fenomeni di predazione negli apiari monitorati. Questo evidenzia l'efficacia di questa tecnologia per la gestione dei nuovi focolai d'invasione di *V. velutina*. Il ritrovamento mediante radar armonico di 3 nidi in località Calvo di Ventimiglia (IM) e Dolceacqua (IM), entrambe località caratterizzate dalla presenza stabile del calabrone asiatico, ha invece permesso di diminuire significativamente la pressione predatoria di *V. velutina* sugli alveari.

Nelle sessioni radar svolte a Latte di Ventimiglia (IM) e Riccò del Golfo (SP) nel 2018, la mancata individuazione di colonie è in larga parte dovuta alle difficoltà operative connesse alla marcata accidentalità dei versanti e alla presenza di estese zone boschive prive di viabilità. Nella sessione radar di Ospedaletti (IM) sono invece stati riscontrati problemi alla strumentazione radar legati all'abbondante presenza di superfici riflettenti delle serre ivi presenti.

I tempi necessari per individuare i nidi di *V. velutina* con il radar armonico entomologico variano in relazione all'orografia del territorio e alla distanza del nido (Tabella 3). In media sono necessarie 13 ore di lavoro, con valori minimi di 5 ore a Calvo di Ventimiglia a massimi di 23 ore ad Arcola. Tali tempistiche, che risentono comunque dei tempi di spostamento del radar (in media 40 minuti per spostamento), sono marcatamente inferiori alle tempistiche richieste dalle metodiche tradizionali (dati di letteratura permettono di stimare tempistiche comprese tra una settimana a un mese).

Località	Data (da-a)		Distanza nido (m)	Calabroni taggati	Tempo tag (h)	Postazioni radar	Tempo radar (h)
Ventimiglia Calvo (IM)	24/07/2018	26/07/2018	415	111	7.0	8	18.5
Ventimiglia Calvo (IM)	08/08/2018	09/08/2018	346	33	11.5	2	11.8
Arcola (SP)	11/09/2018	13/09/2018	448	14	23.3	9	23.0
Ameglia (SP)	18/09/2018	19/09/2018	786	21	16.5	6	12.0
Finale Ligure (SV)	04/10/2018	09/10/2018	561	21	7.0	5	10.5
Ventimiglia Calvo (IM)	12/10/2018	17/10/2018	394	148	20.7	2	5.0
Dolceacqua (IM)	10/11/2018	13/11/2018	520	74	4.0	6	12.0

Tabella 3 - Tempi necessari per l'individuazione dei nidi di *V. velutina* nel 2018 e numero di calabroni taggati per sessione di ricerca.

La metodica del radar armonico è stata confrontata, in termini di efficacia di tracciamento, con le metodiche tradizionali per l'individuazione dei nidi di *V. velutina*. La sperimentazione condotta in alcune aree della Liguria evidenzia che il radar armonico è in grado di seguire con maggiore efficacia il volo dei calabroni rispetto alle metodiche tradizionali (Fig. 3; Test di Wilcoxon: $W = 20889$, $p < 0.001$).

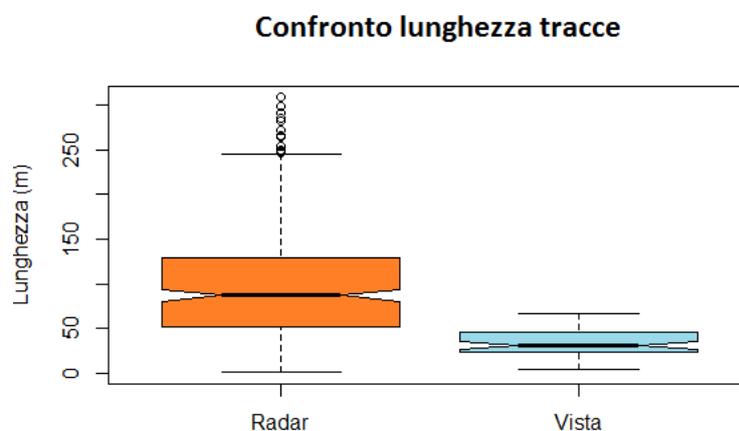


Fig. 3 - Confronto dell'efficacia di tracciamento del volo di *V. velutina* con la metodica del radar armonico entomologico (Radar) e la metodica tradizionale di (Vista).

Modello di comparazione dei costi

Per confrontare adeguatamente i costi delle metodiche di ricerca nidi di *V. velutina*, è necessario tenere in considerazione e modellizzare differenti parametri (tabella 4):

- ✓ Costo dell'attrezzatura;
- ✓ Costo del personale in relazione al tempo di lavoro necessario per individuare i nidi.

Metodica	Voce di spesa	Costo	Descrizione
Tradizionale	Attrezzatura	2,000 €	2 binocoli, materiale vario
	Costo personale (min)	750 €	2 persone a tempo pieno per 1 settimana (stipendio mensile 1500 €)
	Costo personale (max)	3,000 €	2 persone a tempo pieno per 1 mese (stipendio mensile 1500 €)
Radar armonico	Sviluppo radar	100,000 €	Costruzione radar
	Attrezzatura	2,000 €	1 binocolo, materiale vario
	Costo personale (min)	600 €	4 persone per 3 giorni (stipendio mensile 1500 €)
	Costo personale (max)	1,200 €	4 persone per 6 giorni (stipendio mensile 1500 €)

Tabella 4 - Stima dei costi per l'applicazione delle metodiche di ricerca dei nidi di *V. velutina*..

Le metodiche tradizionali di ricerca nidi richiedono l'utilizzo di attrezzatura con un valore economico generalmente contenuto (es. provette e retini entomologici), fatta eccezione per l'utilizzo di binocoli. La metodica del radar armonico entomologico prevede un elevato costo iniziale legato essenzialmente allo sviluppo del radar, mentre il materiale per taggare i calabroni presenta costi particolarmente contenuti.

L'individuazione dei nidi di *V. velutina* richiede invece tempistiche variabili, che possono dipendere dalle condizioni orografiche del territorio, dalla posizione del nido, dalle condizioni meteorologiche, dall'esperienza degli operatori, ecc. La metodica tradizionale della triangolazione può richiedere, a seconda delle condizioni operative, da un minimo di una settimana fino a un mese di lavoro a tempo pieno per una squadra composta da due persone. La metodica del radar armonico entomologico richiede invece 13 ± 6 ore di lavoro da parte di una squadra addestrata composta da 2-4 operatori. Modellizzando i parametri della tabella 4 è possibile analizzare il costo a lungo termine del radar armonico entomologico rispetto al costo a lungo termine delle metodiche tradizionali (Fig. 4). Tenuto in considerazione il costo iniziale per lo sviluppo del radar e i tempi operativi delle due metodiche di ricerca nidi, è possibile constatare che superata la soglia

di 42 nidi di *V. velutina*, il costo del radar armonico entomologico rientra all'interno dell'intervallo di confidenza del costo delle metodiche tradizionali. Aumentando progressivamente il numero d'interventi, il costo di questa metodica innovativa tende al limite inferiore del costo delle metodiche tradizionali.

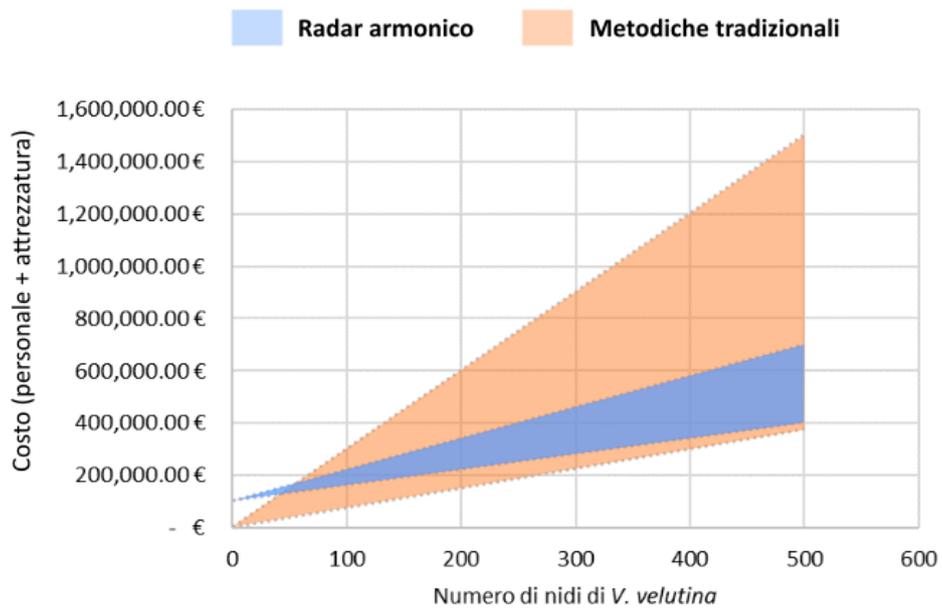


Fig. 4 - Analisi economica per l'applicazione della metodica del radar armonico entomologico per la ricerca dei nidi di *V. velutina* (azzurro) rispetto alle metodiche tradizionali di ricerca nidi (rosso).

Discussione e conclusioni

Analizzando i risultati ottenuti è possibile constatare che l'utilizzo del radar armonico entomologico permette un tracciamento del volo dei calabroni maggiormente efficace rispetto al semplice tracciamento a vista, ossia l'approccio utilizzato nelle operazioni di ricerca nidi di *V. velutina* mediante la tecnica della triangolazione. Per quanto riguarda l'efficacia, è stato possibile appurare come il radar armonico abbia consentito di individuare in breve tempo diversi nidi di *V. velutina*, contribuendo significativamente al contenimento della specie in particolare nei focolai di recente insediamento. Il numero contenuto di calabroni taggati nei focolai d'invasione evidenzia che è possibile individuare i nidi anche nelle situazioni di bassa densità, con un numero limitato di calabroni nell'ambiente. Inoltre, l'elevata percentuale di successo nell'apposizione del tag rappresenta un vantaggio operativo in questi contesti di bassa densità, dove il numero di individui di *V. velutina* nell'ambiente è modesto. In seguito alla rimozione dei nidi dai focolai di La Spezia e Finale Ligure, gli apicoltori hanno monitorato la presenza di individui di *V. velutina* in caccia negli apiari. L'esito negativo dei controlli di verifica effettuati dagli apicoltori locali nelle due settimane successive alla neutralizzazione delle colonie individuate permette di constatare l'efficacia di questa strategia di controllo.

La metodica del radar armonico nei contesti di alta densità comporta la necessità di utilizzare un maggior numero di tag, in quanto gli esemplari catturati possono appartenere a differenti colonie, e quindi la probabilità di tracciare medesimi corridoi di volo aumenta con l'aumentare del numero di esemplari taggati. Questo rende maggiormente difficile l'individuazione dei corridoi di volo. Purtuttavia, alla rapida neutralizzazione delle colonie individuate nelle aree ad alta densità è seguita una diminuzione della pressione predatoria esercitata dai calabroni negli apiari. Questi risultati evidenziano quindi come la tecnologia del radar armonico entomologico possa contribuire in modo efficace alla gestione della *V. velutina*.