

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA

Entomologia Agraria
Ciclo XXI

Settore scientifico disciplinare di afferenza: Agr 11

TITOLO TESI

**Analisi spaziale dei dati entomologici in ambiente
GIS: prospettive di utilizzo nell'agricoltura di
precisione**

Presentata da: **Dott. Valentino De Luigi**

Coordinatore Dottorato

Chiar.ssim Prof. Piero Baronio

Relatore

Dott. Giovanni Burgio

Esame finale anno 2009

INTRODUZIONE	1
Cap. 1 - GEOSTATISTICA ED ENTOMOLOGIA	
L'analisi geostatistica applicata in ambito enologico	1
Procedimenti per l'analisi dei dati e specie studiate	6
Cap. 2 – GENERALITA' DEGLI INSETTI TRATTATI NEI CASI STUDIO	
Caso studio 1: Elateridi di importanza economica in Italia	8
Caso studio 2: Diabrotica del mais	10
Cap.3 - MATERIALI E METODI	
Caso Studio 1: monitoraggio su scala di campo	15
Anno 2006	15
Anno 2007	19
Anno 2008	20
Caso Studio 2: monitoraggio su scala regionale	22
Anno 2006	22
Anno 2007	25
Anno 2008	27
Cap. 4 - RISULTATI E DISCUSSIONE	
Caso Studio 1: monitoraggio su scala di campo	29
Risultati 2006: catture degli adulti	29
Campo A	29
Catture di <i>A. brevis</i>	29
Catture di <i>A. sordidus</i>	32
Catture di <i>A. litigiosus</i>	32
Campo B	33
Catture di <i>A. brevis</i>	33
Catture di <i>A. sordidus</i>	34
Catture di <i>A. litigiosus</i>	34
Approccio probabilistico	35
Risultati delle catture delle larve	35
Riassunto dati 2006	35
Risultati 2007: catture degli adulti	36
Campo A	36
Catture di <i>A. brevis</i>	36
Catture di <i>A. sordidus</i>	37
Catture di <i>A. litigiosus</i>	37
Campo B	37
Catture di <i>A. brevis</i>	37

Catture di <i>A. sordidus</i>	38
Catture di <i>A. litigiosus</i>	38
Approccio probabilistico	38
Riassunto dati 2007	38
Risultati 2008: catture degli adulti	40
Campo A	40
Catture di <i>A. brevis</i>	40
Catture di <i>A. sordidus</i>	40
Catture di <i>A. litigiosus</i>	40
Campo B	40
Catture di <i>A. brevis</i>	40
Catture di <i>A. sordidus</i>	41
Catture di <i>A. litigiosus</i>	41
Approccio probabilistico	41
Riassunto dati 2008	42
Riassunto dei tre anni di campionamento	43
Caso Studio 2: monitoraggio su scala regionale	45
Catture del 2006	45
Catture del 2007	46
Catture del 2008	46
Riassunto dei tre anni di indagine	47
Cap. 5 - CONCLUSIONI	48
Cap. 6 - BIBLIOGRAFIA	87
Cap. 7 – ALLEGATI	51

INTRODUZIONE

Questa tesi è una raccolta di studi condotti su specie di insetti di importanza economica nel nord Italia mediante l'utilizzo di Geostatistica e GIS in diversi contesti di scala spaziale.

Scopo del lavoro è valutare l'utilità delle applicazioni di geostatistica per il monitoraggio delle popolazioni di insetti dannosi su scala aziendale e regionale nel contesto dell'agricoltura di precisione.

L'agricoltura di precisione è un complesso di tecniche agronomiche in cui gli interventi e la gestione (apporti di fertilizzanti, interventi agronomici, campionamento e applicazione dei metodi di difesa) sono controllati in maniera sito-specifica e informatizzata. Tutto ciò al fine di ottimizzare le risorse, ridurre gli sprechi, aumentare i profitti e non incidere in maniera dannosa sull'ambiente. L'agricoltura di precisione consiste, in altre parole, nella gestione agronomica del terreno coltivato, considerando i fenomeni legati alla variabilità spaziale. Nata negli anni novanta negli Stati Uniti (Pierce & Sadler, 1997), grazie alla riduzione dei costi degli investimenti iniziali e alla facilità di ottenere strumentazione adeguata, comincia negli ultimi anni ad essere considerata anche dagli agricoltori italiani (Basso *et al.*, 2005; Mulla, 1997). Dal punto di vista entomologico l'importanza dell'agricoltura di precisione sta nel verificare l'entità della popolazione di un fitofago presente in un dato momento e in un dato luogo, e di scegliere quindi se intervenire, o meno, e nella maniera più appropriata. In questo tipo di approccio la geostatistica gioca un ruolo di primaria importanza in quanto, a supporto di queste decisioni, un ruolo fondamentale è giocato dalle mappe create mediante modelli statistico-matematici (Burrough & Swindell, 1997; Fleischer *et al.*, 1999; Mulla, 1997).

Il presente lavoro comprende anche una collaborazione con il Servizio Fitosanitario Regionale della regione Veneto per ottimizzare la rete di monitoraggio su scala regionale di un fitofago del mais (Diabrotica) che si sta diffondendo in maniera preoccupante in tutto il nord Italia. Si può parlare, in questo caso, di “*Area - wide pest management program*”, approccio sviluppato nella prima parte degli anni 90 da Knipling e Rohwer che si basa sul monitoraggio di popolazioni su vaste aree per migliorare la conoscenza della specie in oggetto nel contesto territoriale in esame e di calibrare con precisione gli interventi, individuando il bersaglio sensibile, le aree soggette a maggior rischio e le epoche più favorevoli per gli interventi (Gray, 1995).

Cap. 1 – GEOSTATISTICA ED ENTOMOLOGIA

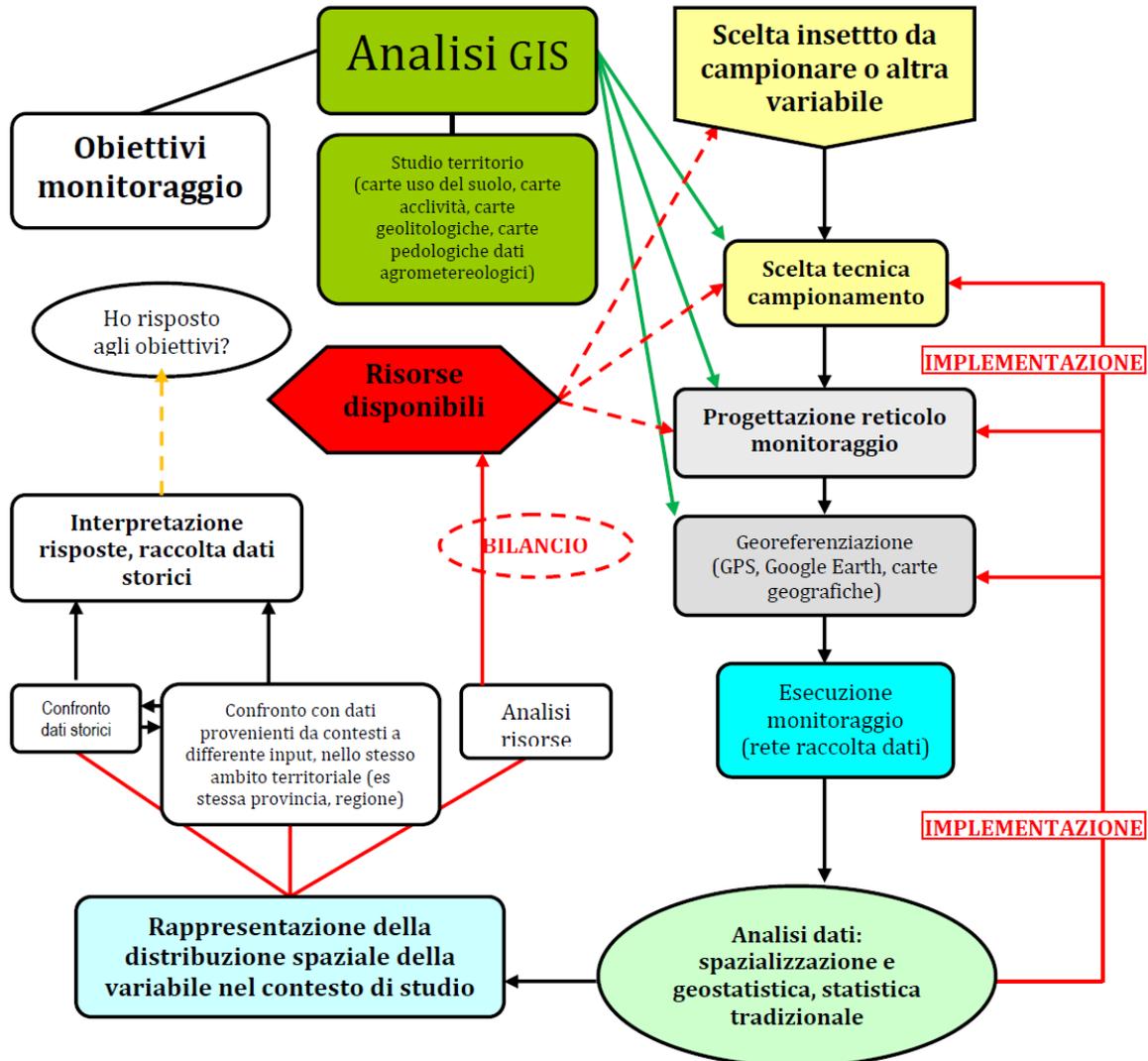
L'analisi geostatistica applicata in ambito entomologico

La Geostatistica è una disciplina che fa parte della statistica applicata e che fonda le sue radici nella geologia, nell'ingegneria mineraria e nella mineralogia. Le prime teorie furono sviluppate da Matheron (Matheron, 1965) e poi diffuse negli decenni successivi in contesti prettamente minerari (Cressie, 1991; Isaaks & Srivastava, 1989; Journel & Huijbregts, 1978; Webster & Oliver, 1990). Negli ultimi anni la sua applicazione si è diffusa sempre più in varie discipline ambientali come ecologia, meteorologia, scienze forestali e recentemente anche in agronomia nelle discipline correlate come biologia, patologia ed in particolare in entomologia (Bi *et al.*, 2000; Bianchi e van der Werf, 2004; Blom *et al.*, 2002; Carbajo *et al.*, 2006; Dalthorp *et al.*, 2000; Ellsbury *et al.*, 1998; strada-Pena, 1998; 1999a; 1999b; Farias *et al.*, 2004; Ferguson *et al.*, 1999; 2000; Gilbert *et al.*, 2003; Gribko *et al.*, 1995; Hohn, 1993; Holland *et al.*, 1999; 2000; Korie *et al.*, 2000; Kruijjer, 2004; Liebhold, 1994; Liebhold e Barret, 1992; Liebhold *et al.*, 1996; 1998; Morin *et al.*, 2005; Nansen *et al.*, 2002; Orum *et al.*, 2001; Park e Obrycki, 2004; Park e Tollefson, 2005a; 2005b; Peltonen *et al.*, 2002; Perry, 1998; Relethford, 2008; Schell, 1994; Sciarretta *et al.*, 2001; Sharov e Liebhold, 1998;

Trematerra *et al.*, 2004; Trematerra e Sciarretta, 2004; Winder *et al.*, 1999; 2001; Woldewahid *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2003; Zhou e Liebhold, 1995).

In geostatistica le variabili studiate nei punti campionati hanno sempre un valore e una posizione associata nello spazio e tramite l'utilizzo di modelli di interpolazione è possibile stimare il valore della variabile nei punti non campionati, creando una superficie continua che rappresenti la distribuzione della variabile nello spazio.

In modo generale l'approccio per l'analisi geostatistica di una variabile, soprattutto per quanto riguarda il monitoraggio in entomologia si potrebbe riassumere nel seguente modo:



Le tecniche di interpolazione si possono dividere in 2 categorie: quelle *deterministiche* e quelle *stocastiche* o *probabilistiche*.

Le tecniche *deterministiche* permettono la creazione delle mappe a partire dai valori misurati nei punti di campionamento mediante un algoritmo che si basa sulla similarità e differenze tra i dati. A loro volta queste pratiche si suddividono in tecniche di *interpolazione globale* (*Global Polynomial Functions*), che calcolano i valori predetti utilizzando l'intero dataset, e tecniche di *Interpolazione locale*, che basano la previsione a partire dai punti più vicini, analizzando quindi una piccola porzione di spazio per volta fino a ricreare l'intera superficie. Possiamo infine distinguere *interpolatori esatti*, che ciò predicono nei punti valori identici a quelli misurati nei punti campionati (*Inverse Distance Weighted*), ed *Interpolatori inesatti*.

La funzione generale per l'interpolazione è la seguente:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^N \lambda_i S_i$$

Dove Z_0 è il valore predetto, N è il numero di punti campionati attorno al valore predetto, λ_i sono i pesi corrispondenti ai valori misurati, infine S_i sono i valori relativi ai punti campionati quello che cambia tra le varie tecniche di interpolazione o il modo di assegnazione dei pesi.

La tecnica dell'IDW si basa sull'assunto che punti nello spazio più vicini tra loro siano più somiglianti rispetto a punti più lontani (Tobler, 2004). Sulla base di questo assunto, essa calcola il valore dei punti non campionati in funzione della distanza dei punti realmente campionati. In sostanza i valori predetti sono condizionati in modo proporzionalmente più intenso in funzione della vicinanza con i punti campionati.

Nell'IDW il valore dei pesi λ_i assegnato ad ogni valore misurato, è determinato dalla potenza p che riduce tale valore all'aumentare della distanza (d) del punto in cui viene fatta la previsione:

$$\lambda = d^p / \sum_{i=1}^N d^p$$

Per i valori di $p=0$ il peso λ rimane invariato all'aumentare della distanza, per valori crescenti di p λ diminuisce in funzione dell'aumento della distanza.

Come si diceva l'IDW è un *interpolatore esatto*, cioè i valori misurati nei punti conosciuti vengono riportati tali e quali nella mappa di previsione, mentre i valori predetti sono ottenuti tenendo conto degli effetti locali.

Proprio per queste prerogative questa tecnica è utile per dare risalto al valore misurato ed al suo rapporto con i punti vicini.

L'altra famiglia di interpolatori (*stocastici*) è rappresentata da quelle tecniche che basano le previsioni sullo studio delle proprietà statistiche dei valori misurati mediante lo studio di dell'autocorrelazione e della dipendenza spaziale dei dati attraverso la costruzione del semi-variogramma (Rossi *et al.*, 1992; Liebhold *et al.*, 1993). Queste tecniche furono sviluppate inizialmente in ambiti minerari e geologici (Liebhold e Gurevitch, 2002), poi a partire dalla fine degli anni ottanta hanno cominciato ad essere prese in considerazione anche in ambito ecologico (Liebhold *et al.*, 1993).

Nelle classiche analisi statistiche in ecologia, nel campionamento e nella raccolta dei dati, ci si trova spesso di fronte al problema legato all'indipendenza dei campioni. Le tecniche di analisi geostatistiche hanno permesso di oltrepassare questo problema poiché si basano proprio sulla misurazione del grado di dipendenza spaziale tra i punti campionati (Liebhold e Gurevitch, 2002) mediante l'analisi dell'autocorrelazione spaziale.

Una migliore interpretazione dei dati e della loro distribuzione spaziale è supportata dalla possibilità di misurare il livello e la direzione della varianza, vantaggio che può essere utilizzato, ad esempio, per casi studio in cui si hanno delle parcelle con tesi diverse a confronto (Liebhold e Gurevitch, 2002).

Tra le tecniche di maggior rilievo nell'interpolazione abbiamo una serie di strumenti di analisi che vanno sotto il nome di *Kriging*. Come l'IDW, il *Kriging* fonda i suoi assunti sul fatto che punti vicini nello spazio siano maggiormente autocorrelati rispetto a punti più lontani:

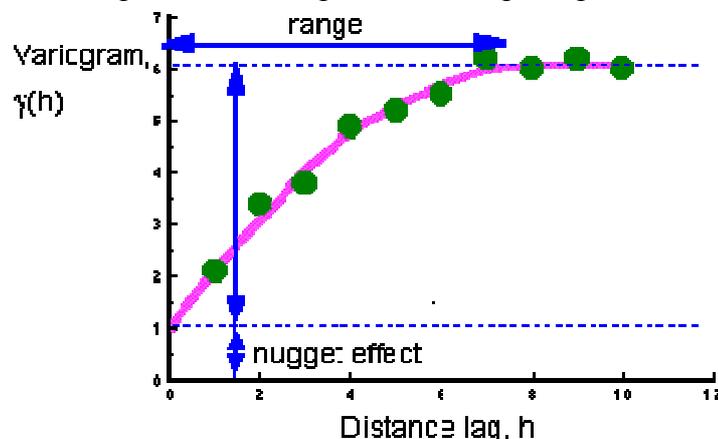
$$Z_0 = \sum_{i=1}^N \lambda_i S_i$$

Come per l'IDW, Z_0 è il valore predetto, N è il numero di punti campionati attorno al valore predetto, λ_i sono i pesi corrispondenti ai valori misurati, infine S_i sono i valori relativi ai punti campionati.

A differenza dell'IDW, dove i pesi λ_i sono assegnati in funzione della distanza tra il punto predetto e i punti misurati, nel *Kriging* il peso viene assegnato anche sulla base dell'analisi della semi-varianza in funzione della distanza tra i punti. Questa analisi si effettua tramite la costruzione e l'analisi del semi-variogramma, che si definisce come la relazione matematica che intercorre tra la varianza di una coppia di punti e la distanza che le separa:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var} [Z(x) - Z(x+h)]$$

Dove $\gamma(h)$ è la semivarianza ($\frac{1}{2} \text{var}$) stimata tra le coppie di punti Z posti a distanza h tra di loro. Dallo studio del semi-variogramma si deduce se esiste autocorrelazione tra i punti, cioè se all'aumentare della distanza tra le coppie di punti aumenta anche la varianza, avvalorando l'assunto che punti tra loro più vicini sono più simili che punti più lontani.

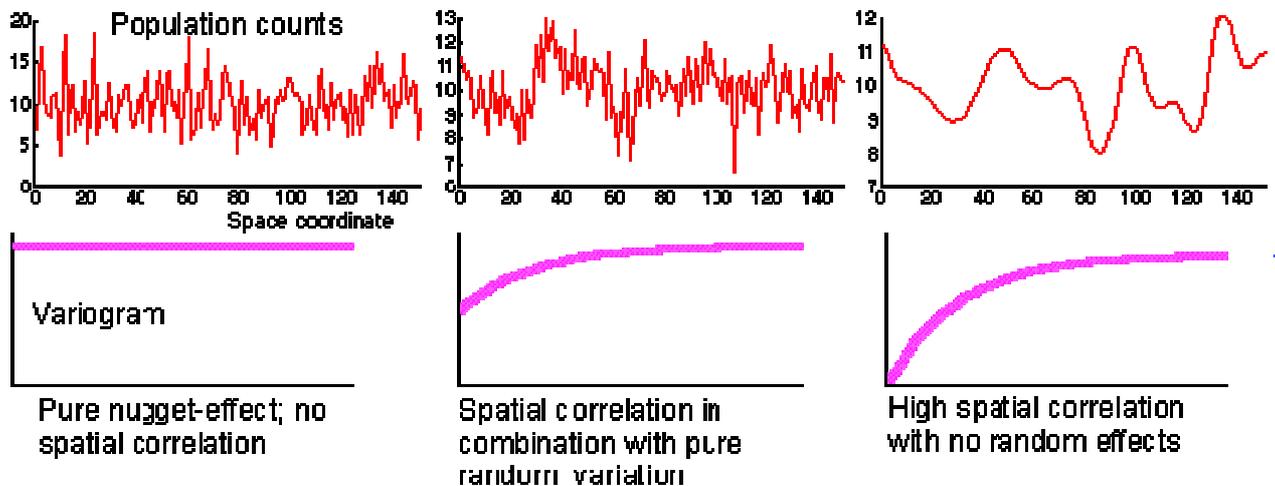


(Da Sharov, <http://home.comcast.net/~sharov/PopEcol/>)

I parametri fondamentali di un semi-variogramma sono: *range*, *sill*, *partial sill* e *nugget effect*. Il *range* è la distanza h massima oltre la quale il valore semivarianza rimane costante. Questo valore massimo di semivarianza prende il nome di *sill*, il cui valore è la somma di una componente generata dalla varianza in funzione della distanza tra i punti campionati (*partial sill*) e una parte generata dalla una variabilità casuale dei dati (*nugget effect*).

Quando la varianza casuale (*nugget effect*) è tale per cui non è possibile individuare un *partial sill* ci si trova di fronte ad un'assenza di correlazione spaziale o comunque non rilevabile in quanto il *nugget effect* copre la correlazione spaziale, e il grafico risultante è una linea piatta. Nel caso contrario, quando cioè il *nugget effect* è nullo, il risultato è che *sill* e *partial sill*

coincidono e la curva del semi-variogramma ha origine nell'intersezione degli assi del grafico.



(Da Sharov, <http://home.comcast.net/~sharov/PopEcol/>)

Come è stato precedentemente specificato, uno dei vantaggi di queste tecniche è quella di poter misurare la varianza in funzione della direzione (*anisotropia*), al fine di individuare la presenza di una direzione preferenziale dell'autocorrelazione. Cioè è possibile analizzando il cambiamento della varianza in funzione delle diverse direzioni e quando questa aumenta in maniera più intensa in una rotta rispetto ad un'altra, raggiungendo il *sill* più rapidamente, l'autocorrelazione è maggiore.



(Da Sharov, <http://home.comcast.net/~sharov/PopEcol/>)

Normalmente si considera esserci una buona autocorrelazione quando il rapporto *nugget/sill* è minimo o comunque inferiore a 0,5 e quando all'interno del *range* ci sono la maggior parte dei punti campionati.

Le tecniche geostatistiche permettono, oltre allo studio della varianza spaziale, di verificare anche la "bontà", o meglio l'attendibilità delle interpolazioni nello spazio (mappe), attraverso l'analisi delle differenze tra i valori misurati sperimentalmente e quelli predetti dal modello di interpolazione (*cross validation*).

La *cross validation* è quindi un metodo che permette di misurare la correlazione tra valori realmente misurati e quelli calcolati e stimare l'errore commesso attraverso le medie delle differenze tra tali valori (*mean predicted error*).

Nella “Famiglia” delle tecniche di interpolazione *stocastiche* ne esiste una che prende il nome di *Indicator Kriging*. Si tratta di una tecnica che prevede la trasformazione dei dati misurati in valori binari secondo con la seguente formula:

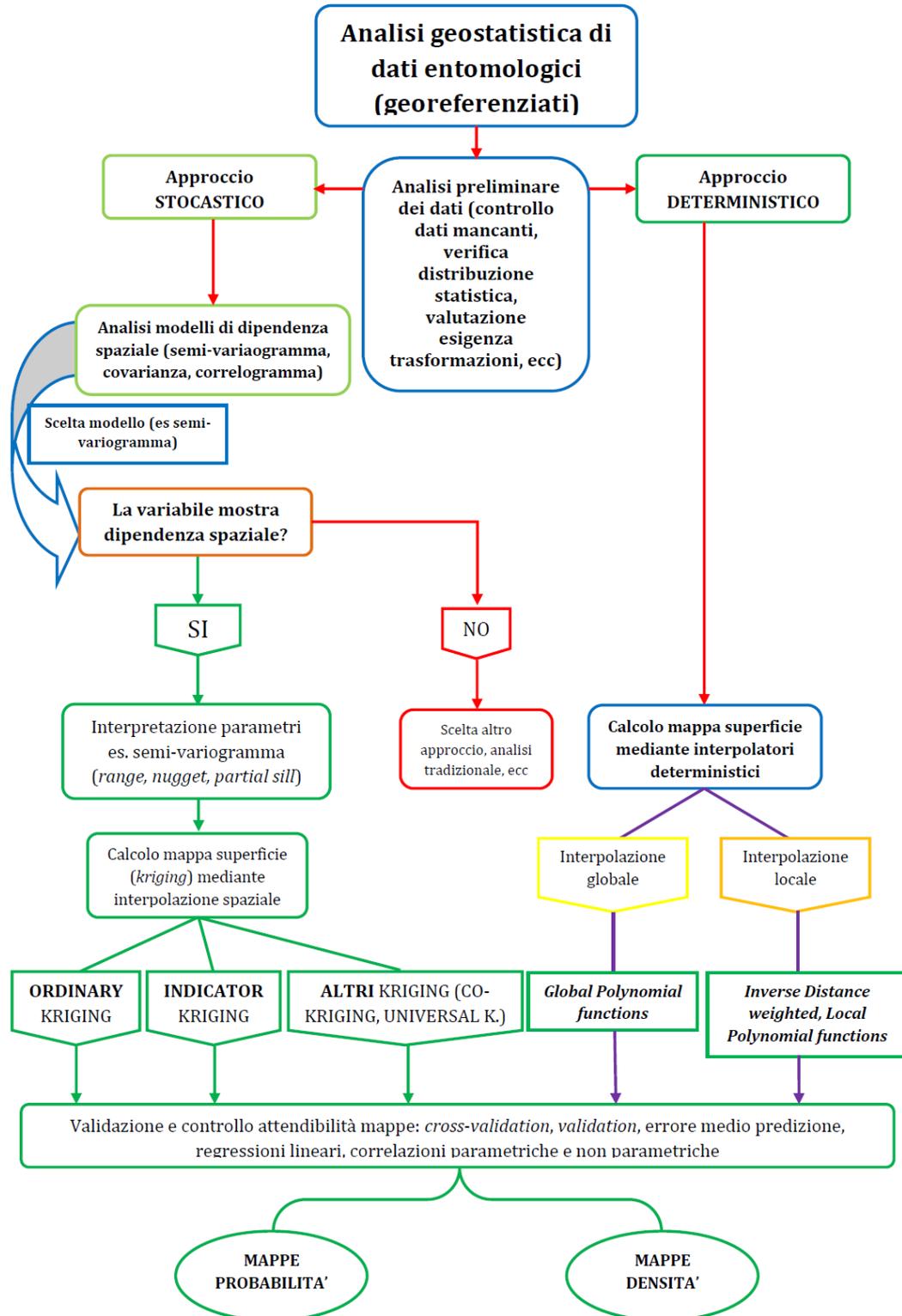
$$Ic(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > c \\ 0, & \text{se } x \leq c \end{cases}$$

Dove c è un valore soglia (*cut off*) che determina la trasformazione del dato misurato in valore binario (1, 0).

Tale tecnica risulta di notevole utilità per stimare il rischio del superamento di soglie di attenzione o di danno in ambito entomologico (Liebhold *et al.*, 1993; Ge *et al.*, 2005; Byrne *et al.*, 1996; Brenner, 1997).

Procedimenti per l'analisi dei dati e specie studiate

Per l'analisi geostatistica dei dati raccolti si è sempre proceduto nel seguente modo:



In questo lavoro le specie considerate sono *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte e tre specie di Elateridi importanti economicamente in Emilia Romagna: *Agriotes brevis* Candèze, *Agriotes sordidus* (Illieger) e *Agriotes litigiosus* (Rossi).

Cap. 2 – GENERALITA' DEGLI INSETTI TRATTATI NEI CASI STUDIO

Caso studio 1: Elateridi di importanza economica in Italia

Gli elateridi che sono stati presi in considerazione sono i maggiori responsabili dei danni alle colture di piena campo come patata, bietola, mais, pomodoro, girasole, melone e diverse altre orticole (Curto et al., 1999; Furlan et al., 2000). Le specie di maggior importanza agraria presenti nel nord Italia sono *A. brevis*, *A. sordidus* e *A. litigiosus* (Furlan et al., 2000; Furlan 2004; Burgio et al., 2005).

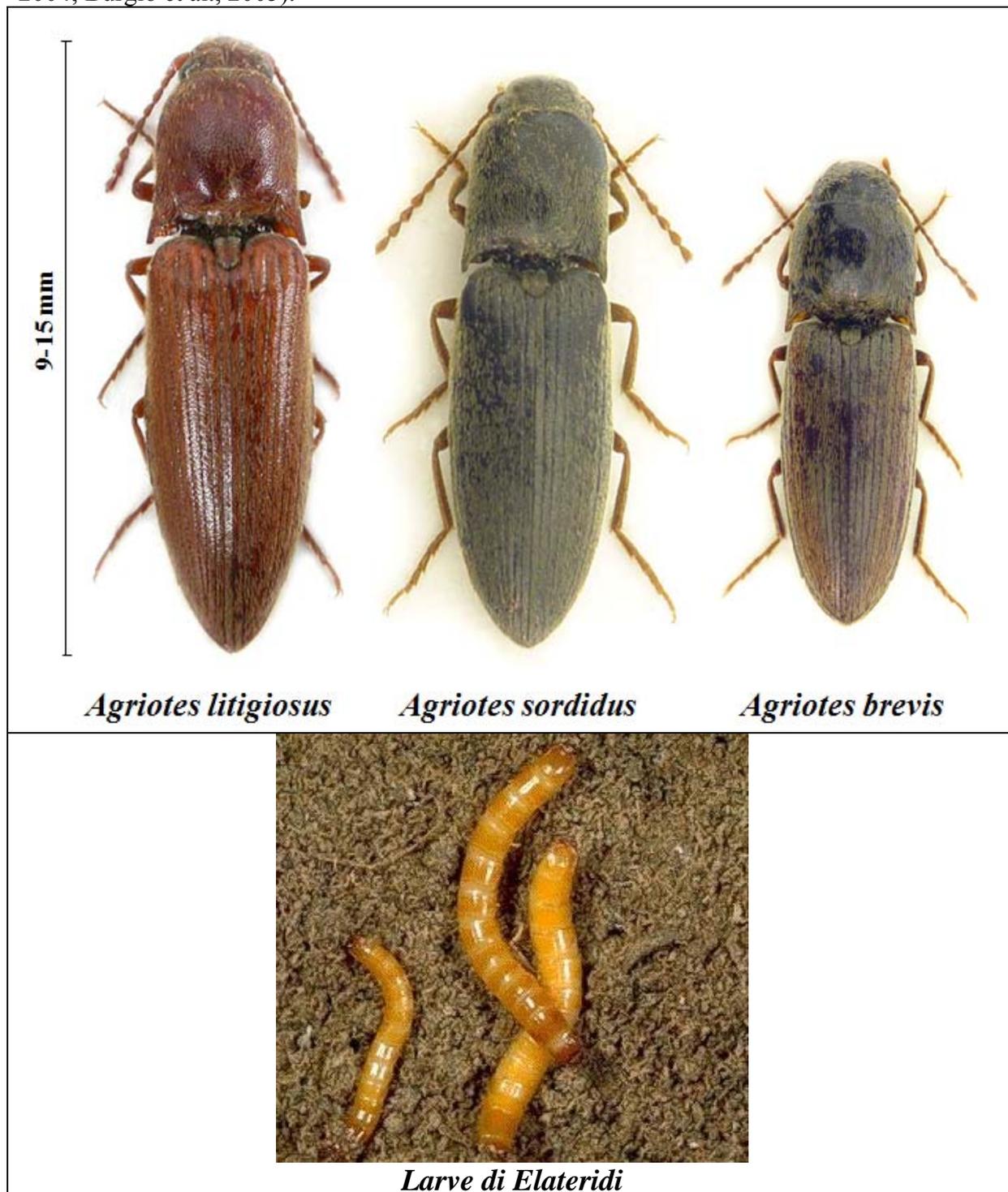


Figura 1: Adulti e Larve di Elateridi (Fonte: <http://www.elateridae.com>).

Il ciclo di questi coleotteri è caratterizzato da uno stato larvale particolarmente lungo che si svolge nel corso di più anni. In funzione dello stadio di svernamento si possono dividere in 2 gruppi:

- Specie in cui gli adulti non svernano, ma sfarfallano alla fine della primavera e vivono per meno di un mese. In questo periodo avviene l'accoppiamento e l'ovodeposizione si esaurisce nel corso di pochi giorni.
- Specie in cui gli adulti svernano e vivono per molti mesi. L'ovodeposizione si protrae per un lungo periodo dalla primavera fino all'estate.

Nel primo gruppo troviamo *A. litigiosus*, caratterizzato da un'attività larvale molto prolungata e pullulazioni degli adulti favorite da condizioni pedoclimatiche favorevoli nell'estate dei due anni precedenti all'ovodeposizione.

Nel secondo gruppo troviamo, invece, le altre due specie, caratterizzate dall'avere un ciclo biologico più breve delle specie del primo gruppo, con un numero più ridotto di stadi larvali e uno sviluppo più rapido. Ciò rende le larve dannose già pochi mesi dopo lo sgusciamento (Furlan, 2004; Furlan et al., 2004). Queste caratteristiche determinano che le caratteristiche pedoclimatiche che condizionano maggiormente le pullulazioni sono quelle della primavera-estate dell'anno precedente.

Diverse indagini hanno dimostrato come spesso vengono condotti trattamenti che senza una vera necessità in quanto le popolazioni rimangono sotto la soglia di rischio (Furlan, 1989; 1990; Furlan et al. 1999); spesso ciò è legato alla difficoltà di valutare con precisione l'infestazione e di conseguenza rendono problematica la corretta applicazione della lotta (Furlan, 1997).

Per il monitoraggio degli elateridi vengono solitamente utilizzate tre tecniche: una che si basa sull'utilizzo di carotatori, una che si basa sull'utilizzo di trappole alimentari, un'altra mediante trappole a feromoni.

Il monitoraggio mediante carotatore prevede l'utilizzo di questo strumento per prelevare porzioni di terreno ("carota") e ricercare le larve presenti. Questa tecnica è abbastanza precisa, però, ha il notevole svantaggio di essere estremamente onerosa dal punto di vista economico (Furlan e Burgio, 1999). Questo svantaggio ha sfavorito la diffusione di questa tecnica a vantaggio dell'utilizzo della tecnica mediante trappole alimentari che prevedono l'utilizzo di una miscela di frumento, mais e vermiculite. Anche questa tecnica, però, è piuttosto impegnativa a causa della distribuzione aggregata delle larve e la bassa densità di popolazione richiedono l'installazione di un elevato numero di trappole per avere una stima sufficientemente precisa. Negli ultimi anni alcune ricerche hanno dimostrato come l'utilizzo di trappole a feromoni possa ottimizzare il campionamento di elateridi (Furlan et al., 2001).

Questa tecnica di monitoraggio, in combinazione con la geostatistica, è già stata utilizzata in altre ricerche per il monitoraggio su scala aziendale (Burgio et al., 2005) e comprensoriale (Blackshaw e Vernon, 2006).

L'importanza del monitoraggio e l'applicazione mirata di trattamenti geodisinfestanti sta diventando sempre di maggiore importanza in campo agrario in virtù anche dei provvedimenti disciplinari emanati dallo Stato italiano (Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali, 2008) che stanno per limitare l'impiego dei principi attivi che normalmente vengono impiegati per la concia delle sementi (clothianidin, thiamethoxam, imidacloprid e fipronil). Diventa, quindi di primaria importanza l'adozione prioritaria di tutti i mezzi agronomici volti alla riduzione del rischio di danni economici come ad esempio una corretta rotazione colturale e in questo ambito l'adozione della geostatistica permette di conoscere le aree a maggiore rischio di infestazione e quindi la possibilità di fare trattamenti mirati o, ancor meglio, la coltivazione di specie non soggette all'attacco di elateridi o, grazie alle pratiche colturali adottate permettono di ridurre la popolazione.

Caso studio 2: Diabrotica del mais

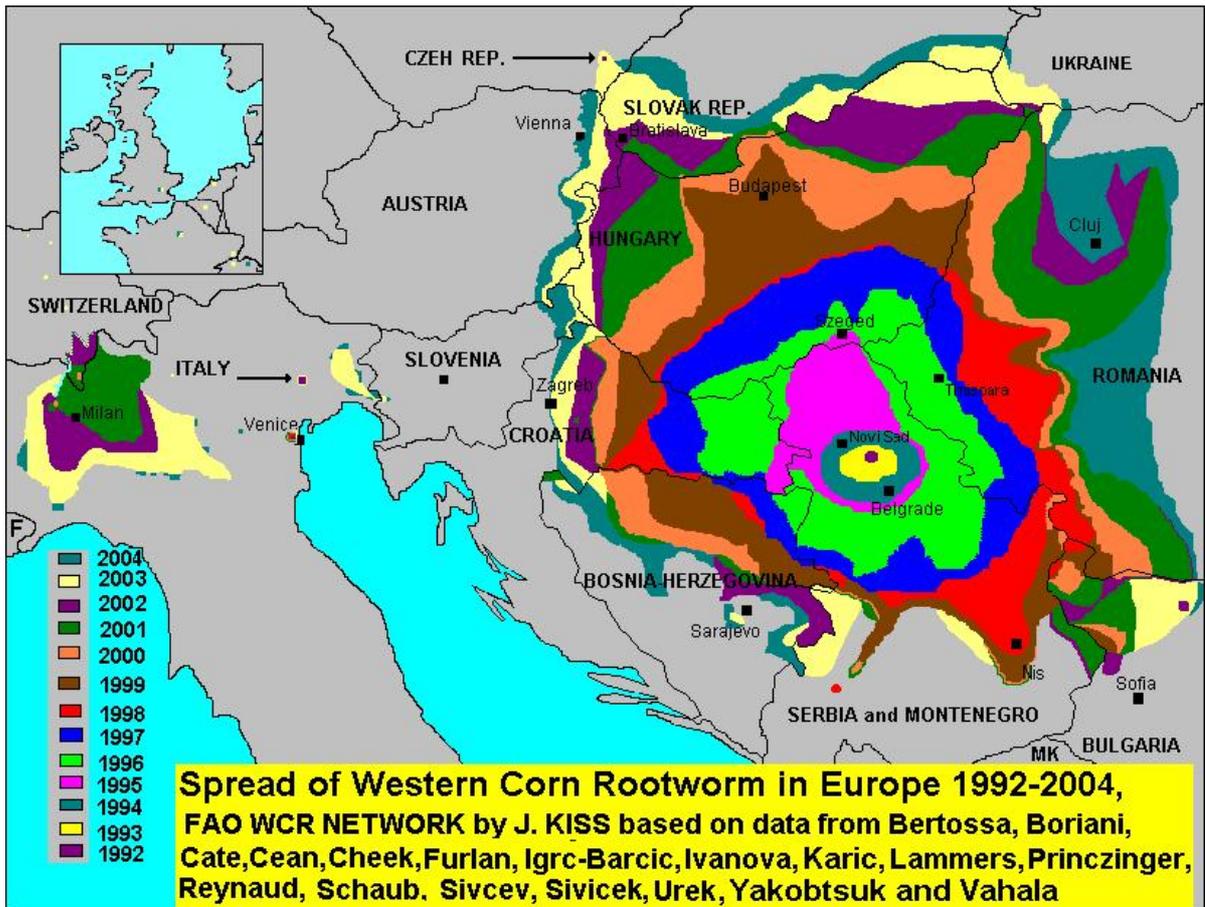
D. virgifera virgifera (Diabrotica) rappresenta uno dei principali problemi fitosanitari per il mais negli Stati Uniti. Si tratta di un Coleottero Crisomelide che compie una generazione all'anno e sverna nel terreno come uovo. In Europa le larve sgusciano a partire da maggio e i tre stadi larvali si sviluppano esclusivamente a spese dell'apparato radicale del mais (Moeser & Vidal, 2004). Le larve neosgusciate iniziano a nutrirsi direttamente delle radici primarie delle piante di mais, poi si addentrano creando gallerie nelle radici più grosse. Il danno maggiore causato in questa fase: le piante attaccate intensamente si allettano in maniera tipica e assumono una posizione "a collo d'oca" (Chiang, 1973). Gli adulti cominciano a sfarfallare circa a metà dell'estate e si nutrono di polline. In caso di forti infestazioni possono produrre gravi danni agli stocchi delle infiorescenze femminili del mais, causando aborti e riduzione del numero di fecondazioni.



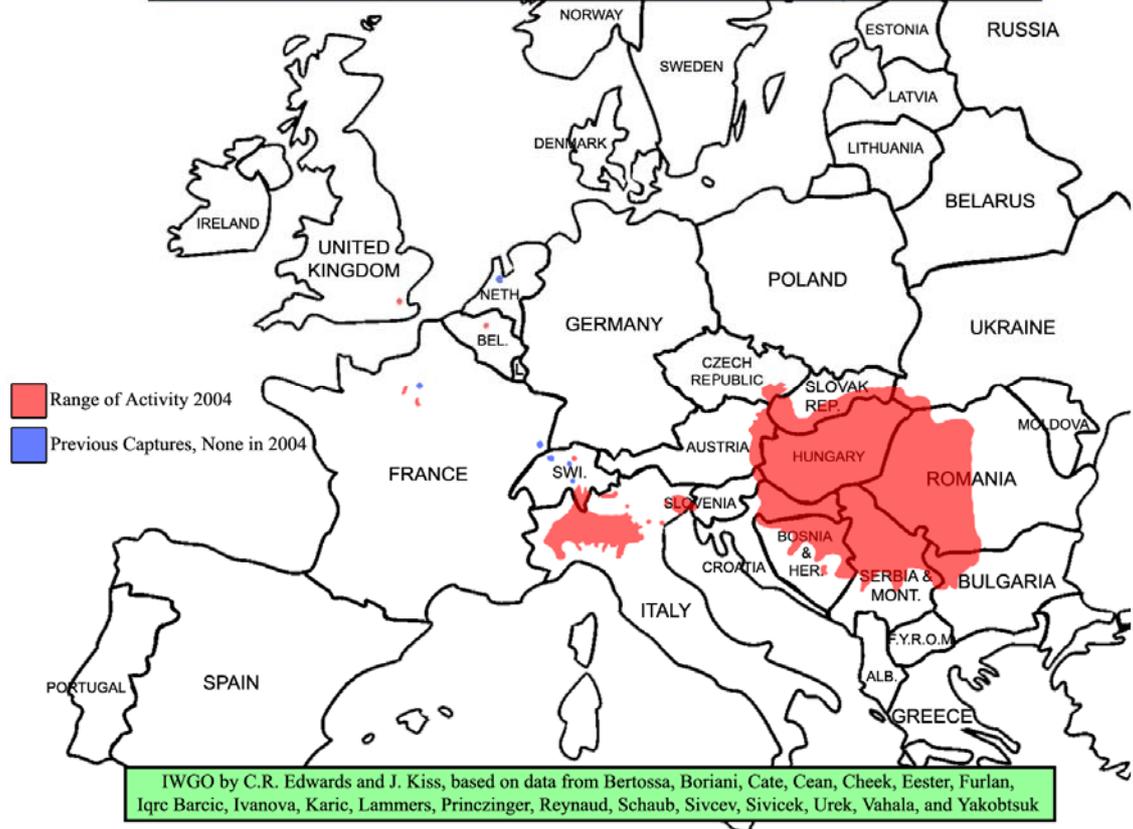
Figura 2: Adulto e vari stadi larvali di *D. virgifera virgifera*.

Fu introdotta accidentalmente in Europa nel 1992 in Serbia (Bača, 1993) da dove cominciò a diffondersi rapidamente in tutta Europa, nel 1994 la Comunità Europea la dichiarò insetto da quarantena, ma nonostante le regolamentazioni si propagò nel 1995 in Croazia (Barčić-Igrc et al., 2000) e Ungheria, nel 1996 in Romania (Vonica, 1996), nel 1997 in Bosnia-Erzegovina (EPPO, 1998), nel 1998 in Bulgaria (Ivanova, 2000) e Italia (Furlan et al., 1998), nel 1999 in Montenegro (Hrncic, 1999) nel 2000 in Slovacchia (Siviček, 2000) e Svizzera (Bertossa et al., 2001), nel 2001 in Ucraina (Sadlyak, 2001) nel 2002 Austria (Cate, 2002), Francia (Reynaud 2002), Repubblica Ceca (Ruzicka, 2003), nel 2003 in Inghilterra, Olanda, Belgio (EPPO, 2003) e Slovenia (Urek e Modic, 2004), nel 2005 in Polonia (Sahajdak et al., 2006) e nel 2007 in Germania (NPPO Germany, 2007).

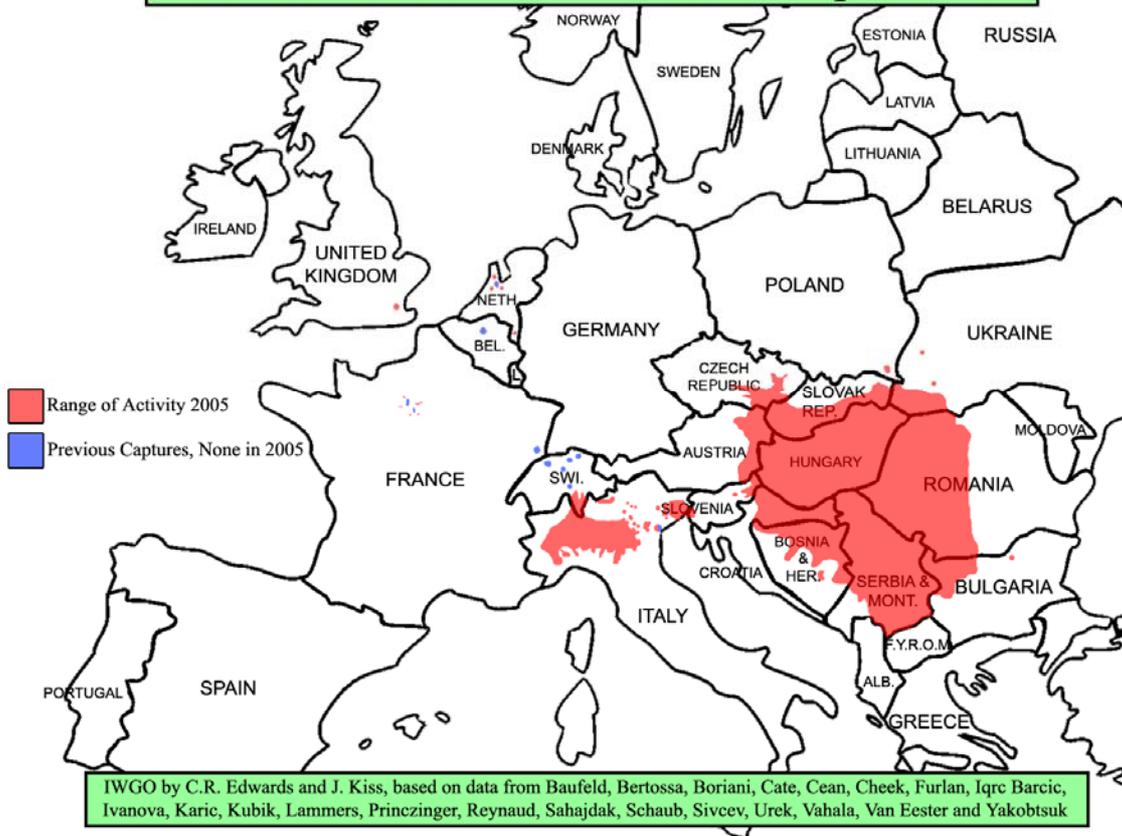
Il primo avvistamento in Italia fu registrato nei pressi dell'aeroporto di Venezia (Furlan et al., 1998), a questa prima segnalazione ne seguirono altre, tutte in Italia settentrionale: Lombardia (Boriani e Gervasini 2000), Piemonte, Friuli-Venezia Giulia, Trentino Alto Adige (Furlan et al., 2001) e nel 2003 in Emilia Romagna (Furlan, 2004).



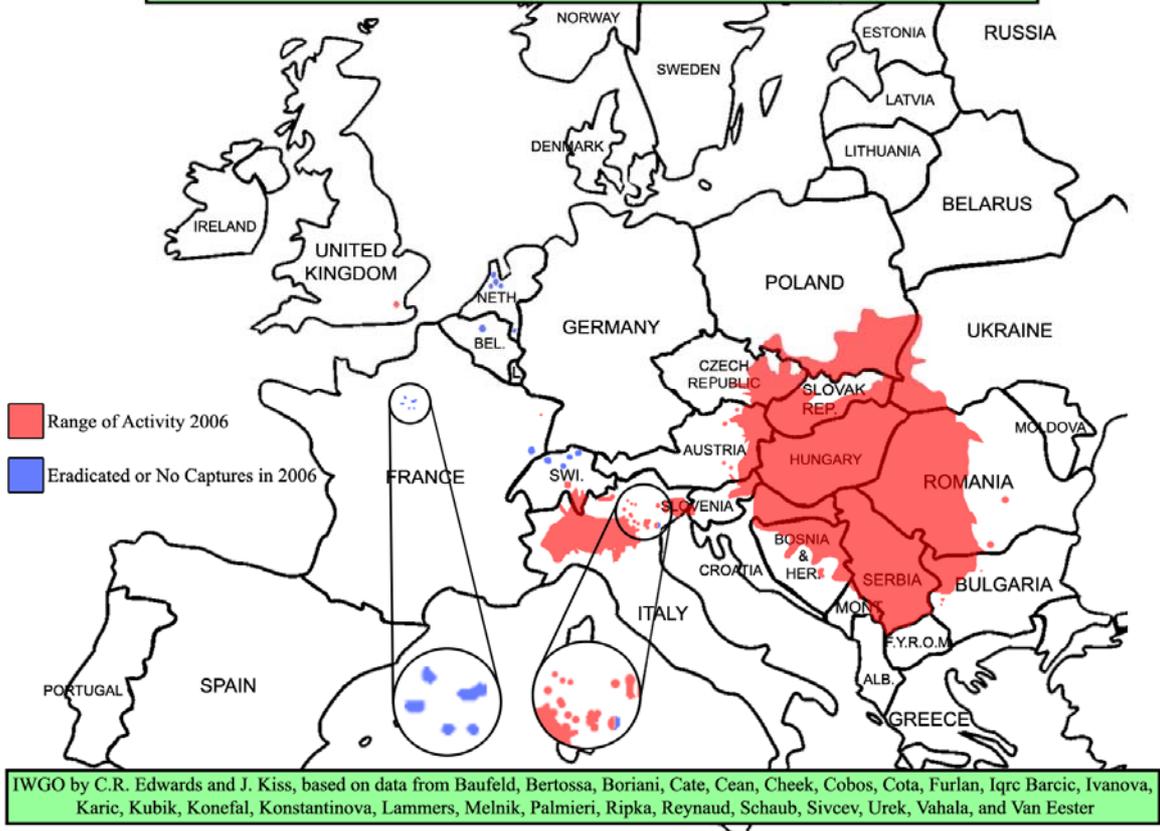
Western Corn Rootworm in Europe 2004



Western Corn Rootworm in Europe 2005



Western Corn Rootworm in Europe 2006



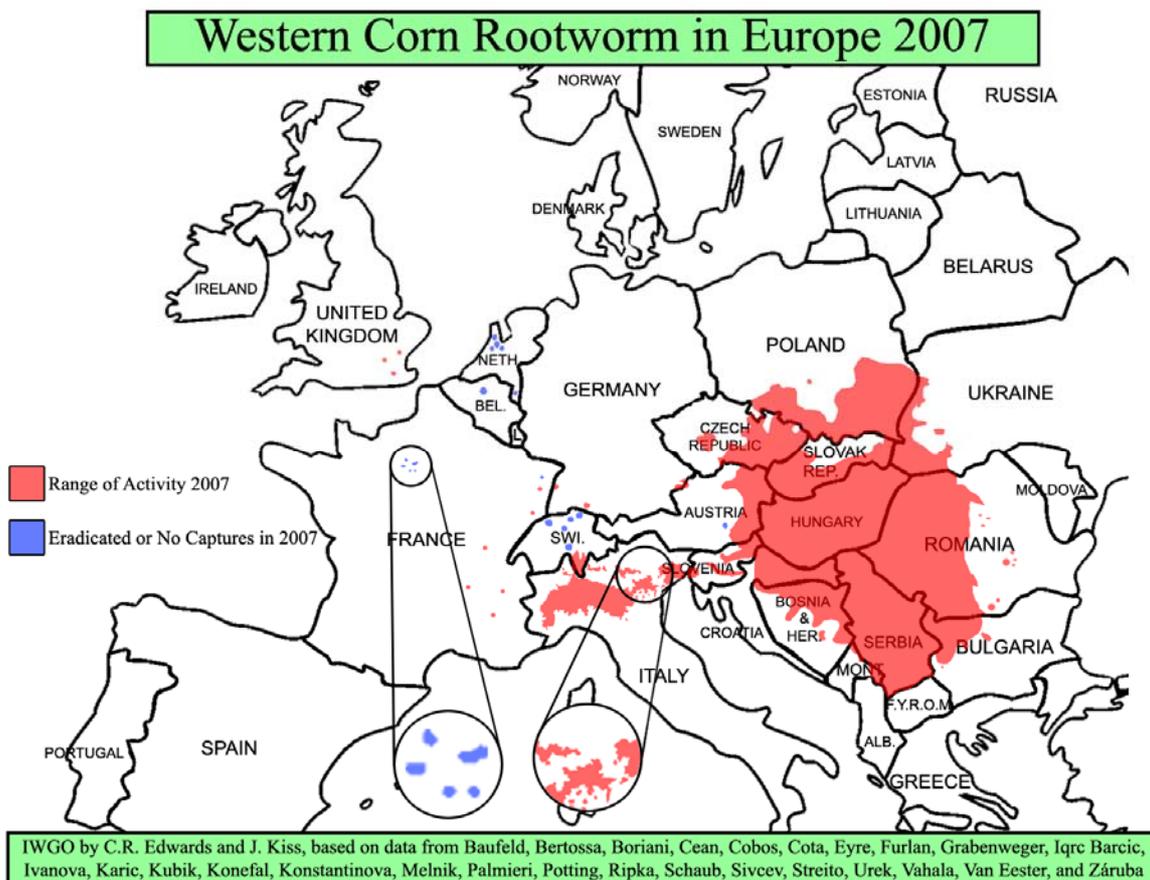


Figura 3: Evoluzione della diffusione di Diabrotica in Europa (Fonte: <http://www.eppo.eu>)

In seguito a questo rinvenimento l'Italia, per prima in ambito comunitario, ha avviato un progetto su larga scala finalizzato al monitoraggio e all'eradicazione dei focolai di *D. virgifera virgifera*, mettendo a punto degli standard d'intervento formalizzati a livello legislativo. Per armonizzare sul territorio nazionale le procedure d'indagine e rendere comparabili nel tempo e nello spazio i dati sulla diffusione del parassita, è stato inoltre istituito un gruppo di lavoro ministeriale che ha individuato una serie di linee guida sulla conduzione dei monitoraggi (D.M. 21 agosto 2001).

In Veneto a partire dal 1999 (anno successivo a quello della prima segnalazione) e fino al 2005, il monitoraggio, mancava di una vera e propria struttura organizzata e si concentrava, al di là dei focolai via via individuati su situazioni considerate di particolare rischio, come assi e snodi stradali e ferroviari, aeroporti, aree di intensa coltivazione maidicola e di stoccaggio delle produzioni, situazioni confinarie con regioni di già accertata infestazione.

Con l'intento di offrire un fattivo contributo in questa direzione, la Regione Veneto, dal 2006, ha intrapreso una propria autonoma sperimentazione. In particolare l'obiettivo è stato quello di individuare un sistema di monitoraggio su scala regionale, rispondente nello stesso tempo a criteri di efficacia ed efficienza; sufficientemente affidabile, quindi, in quanto fondato su una conoscenza accurata del comportamento, della biologia e dell'ecologia della specie, (con particolare riguardo alla distribuzione spaziale) e su un coerente utilizzo dei mezzi di rilevazione (rete di trappole a feromone), pur con l'attenzione costante all'abbattimento dei costi dell'intervento.

Fondamentale per lo sviluppo di un tale avanzato sistema di monitoraggio è stato il supporto di tecniche di analisi spaziale dei dati interfacciate in ambiente GIS (Geostatistica).

In Questo tipo di contesto si sono applicate queste tecniche di analisi per monitorare la diffusione di questo fitofago in tutto il territorio regionale coltivato a mais.

Cap.3 - MATERIALI E METODI

Caso Studio 1: monitoraggio su scala di campo

Anno 2006

Per il 2006 è stata scelta l'azienda privata Produttori Sementi sita nel comune di Argelato (44°39'2.78"N; 11°20'33.40"E). Sono state coinvolte due aree d'indagine di circa 5 ha ognuna (Fig. 4), suddivise a loro volta in 18 appezzamenti (di cui 11 di 120 x 30 m e 7 di 140 x 40 m). Mediante l'ausilio di foto satellitari si è ipotizzata una maglia di campionamento su cui si sono individuati i punti di campionamento. In ognuna delle due aree sono state distribuite, rispettivamente, 21 e 39 trappole per il rilevamento degli adulti (una per ogni singola stazione) secondo un reticolo a trama regolare e adottando il criterio del campionamento stratificato (Fig. 5 e 6). Le stazioni sono state georeferenziate mediante l'ausilio di GPS in modo tale da assegnare loro le relative coordinate e quindi localizzare con precisione il punto esatto di ubicazione di ogni singola trappola rilevate sul sistema cartesiano di riferimento WGS84.

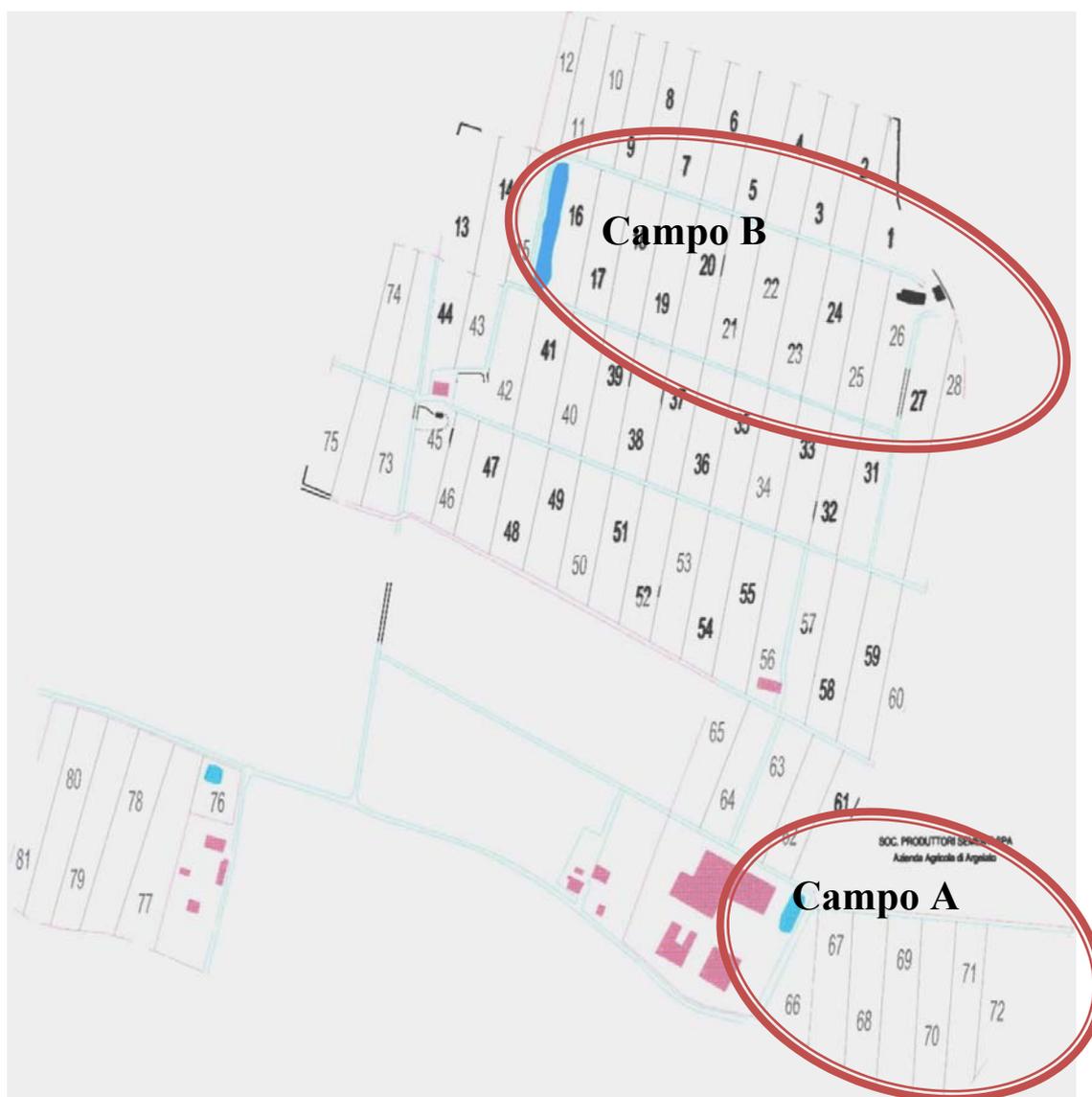


Figura 1: Mappa del complesso aziendale Produttori Sementi.

Le specie di insetti cu cui si sono concentrati i rilievi sono stati tre Coleotteri Elateridi di elevata importanza economica nel nord Italia (Furlan *et al.*, 2000) per i danni causati a diverse colture: *A. brevis*, *A. litigiosus* e *A. sordidus*.

Le catture degli elateridi sono state effettuate mediante trappole a Feromoni tipo YATLORfunnel (Furlan *et al.* 2001) (Fig. 7), innescate con tre tipi di miscele attrattive contenute in capsule Kartel 730:

- Geranyl-isovalente per *A. litigiosus*
- Geranyl-hexanoate per *A. sordidus*
- Geranyl-butyrate + E,E farnesyl butyrate per *A. brevis*.



Figura 4: Trappola a feromoni YATLORfunnel.

Queste trappole hanno dimostrato di essere estremamente utili per la cattura di elateridi in quanto facili da installare e da svuotare, per l'indubbio vantaggio di poter alloggiare contemporaneamente i diffusori dei feromoni di tutte e tre le specie in esame e quello di poter catturare sia gli individui che si spostano in volo, sia quelli che si spostano sul terreno (Pozzati *et al.* 2006).

Il 6 aprile sono state piazzate le trappole e a cadenza mensile si è provveduto a svuotare le trappole e alla sostituzione dei feromoni come di seguito riportato:

Data	Specie	Azione
6 aprile	<i>A. brevis</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico

5 maggio	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
6 giugno	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
	<i>A. litigiousus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
7 luglio	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. litigiousus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
12 Agosto	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti e recupero trappole
	<i>A. litigiousus</i>	

Dopo ogni controllo delle trappole gli individui raccolti sono stati posti in freezer a -25°C e poi conteggiati.

Per avere la possibilità di avere un controllo migliore della situazione dei due appezzamenti, oltre alle catture di adulti con le trappole a feromoni, sono state installate delle trappole alimentari per la cattura delle larve. Questo tipo di tecnica prevede l'impiego di vasetti di plastica (diametro 10-11 cm) riempiti per metà di vermiculite, 30 ml di semi di mais e grano e il rimanente volume con altra vermiculite. Dopo essere stati messi a bagno per circa 10 ore sono stati interrati in maniera tale che il bordo superiore del vasetto risultasse 5 cm più in basso della superficie del terreno. Dopo aver posizionato il vasetto si sono aggiunti 2 cm di terreno, poi si è coperto il tutto con un sottovaso (diametro 18 cm) rovesciato verso il basso e poi si è aggiunto altro terreno fino ad arrivare al livello del terreno circostante.

Sono stati eseguiti due campionamenti: il primo con un totale di 120 trappole distribuite su entrambi gli appezzamenti tra il 5 e il 22 maggio, il secondo, invece, con 30 trappole installate tra il 5 e il 20 giugno solo sul Campo B.

Dopo 10 giorni dall'installazione delle trappole si è provveduto al dissotterramento e il contenuto è stato analizzato sminuzzando il groviglio di vermiculite, semi e radici per individuare le larve presenti.

I dati sono stati elaborati con il programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ e più precisamente con l'estensione di Geostatistica di ArcMap™ mediante calcolo del semi-variogramma e mappe *IDW (Inverse Distance Weighting)* e *Ordinar Kriging*.

Per valutare i rischi infestazione, relativi ad ogni singola specie è stata fatta un'interpolazione mediante *Indicator Kriging* adottando per ogni singola specie una soglia ipotetica di rischio (c).

Per *A. brevis* la soglia *c* era pari a 30 catture annuali e la formula generale diventa:

$$I_c(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \geq 30 \\ 0, & \text{se } x < 30 \end{cases}$$

Per *A. sordidus* la soglia *c* era pari a 100 catture annuali e la formula generale diventa:

$$I_c(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \geq 100 \\ 0, & \text{se } x < 100 \end{cases}$$

Per *A. sordidus* la soglia c era pari a 150 catture annuali e la formula generale diventa:

$$I_c(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \geq 150 \\ 0, & \text{se } x \leq 150 \end{cases}$$

Si tratta di sogli estremamente basse, 10 volte più basse, rispetto a quelle applicate normalmente. Questo è dovuto al fatto che l'azienda in questione fa prove sperimentali di confronto e selezione varietale, per cui i possibili danni effettuati dagli elateridi potevano dare dei risultati sperimentali che non corrispondevano ai reali potenziali delle varietà in oggetto.

Anno 2007

Dopo l'esperienza del 2006 presso l'azienda Produttori Sementi di Bologna si è proseguito il progetto di monitoraggio tramite l'utilizzo della geostatistica su scala aziendale sugli stessi appezzamenti utilizzati per prove di confronto varietale.

I campionamenti sono stati eseguiti con trappole a feromoni tipo YATLORfunnel, innescate con le miscele attrattive specifiche. I dati sono stati elaborati con il programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ e più precisamente con l'estensione di Geostatistica di ArcMap™ mediante calcolo del semi-variogramma e mappe *IDW* (*Inverse Distance Weighting*) e *Ordinar Kriging*.

Come svolto nell'anno precedente sono state elaborate anche delle mappe mediante l'utilizzo dell'*Indicator Kriging* per stimare il rischio di infestazione per i campi monitorati con le stesse soglie (c) utilizzate nel 2006:

- 30 catture per trappola all'anno per *A. brevis*
- 100 catture per trappola all'anno per *A. sordidus*
- 150 catture per trappola all'anno per *A. litigiosus*

Per quanto riguarda il Campo A si sono utilizzate lo stesso numero di trappole (Fig. 5). Nel Campo B si è esteso il campionamento anche ai campi adiacenti per verificare l'influenza di "effetti di bordo" (Fig. 6). Nei giorni successivi all'innescò delle trappole sono state nuovamente georeferenziate le trappole mediante GPS, come avvenuto nel 2006.

Nei primi giorni di aprile si sono posizionate ed innescate le trappole con lo stesso schema sperimentale adottato nell'anno 2006 e si è proceduto all'installazione delle trappole.

Durante il corso del monitoraggio le trappole sono state controllate e svuotate 5 volte nelle seguenti date:

Data	Specie	Azione
9 aprile	<i>A. brevis</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
11 maggio	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
13 giugno	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
	<i>A. litigiosus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
16 luglio	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti

	<i>A. litigiosus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
14 Agosto	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. litigiosus</i>	
03 Ottobre	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti e recupero trappole
	<i>A. litigiosus</i>	

Il materiale raccolto da ogni trappola è stato poi controllato in laboratorio per identificare gli individui di ogni specie.

2008

Nell'ultimo anno di dottorato è stato utilizzato lo stesso schema di monitoraggio applicato nel 2008.

Il 9 aprile si sono posizionate ed innescate le trappole con i feromoni attrattivi per *A. brevis* e *A. sordidus* con lo stesso schema sperimentale adottato negli anni precedenti.

Per quanto riguarda l'appezzamento più piccolo si sono utilizzate lo stesso numero di trappole (Fig. 5). Nell'appezzamento più regolare si sono installate 11 trappole anche ai campi adiacenti per verificare l'eventuale influenza degli "effetti di bordo". Durante il corso del monitoraggio le trappole sono state controllate e svuotate 5 volte nelle seguenti date:

Data	Specie	Azione
6 aprile	<i>A. brevis</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
	<i>A. sordidus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
13 maggio	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti
10 giugno	<i>A. brevis</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. sordidus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
	<i>A. litigiosus</i>	Attivazione della trappola con il feromone specifico
09 luglio	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. litigiosus</i>	Sostituzione erogatore del feromone e raccolta degli adulti
13 Agosto	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti
	<i>A. litigiosus</i>	
4 settembre	<i>A. sordidus</i>	Raccolta degli adulti e recupero trappole
	<i>A. litigiosus</i>	

Il materiale raccolto da ogni trappola è stato poi controllato in laboratorio per identificare gli individui di ogni specie.

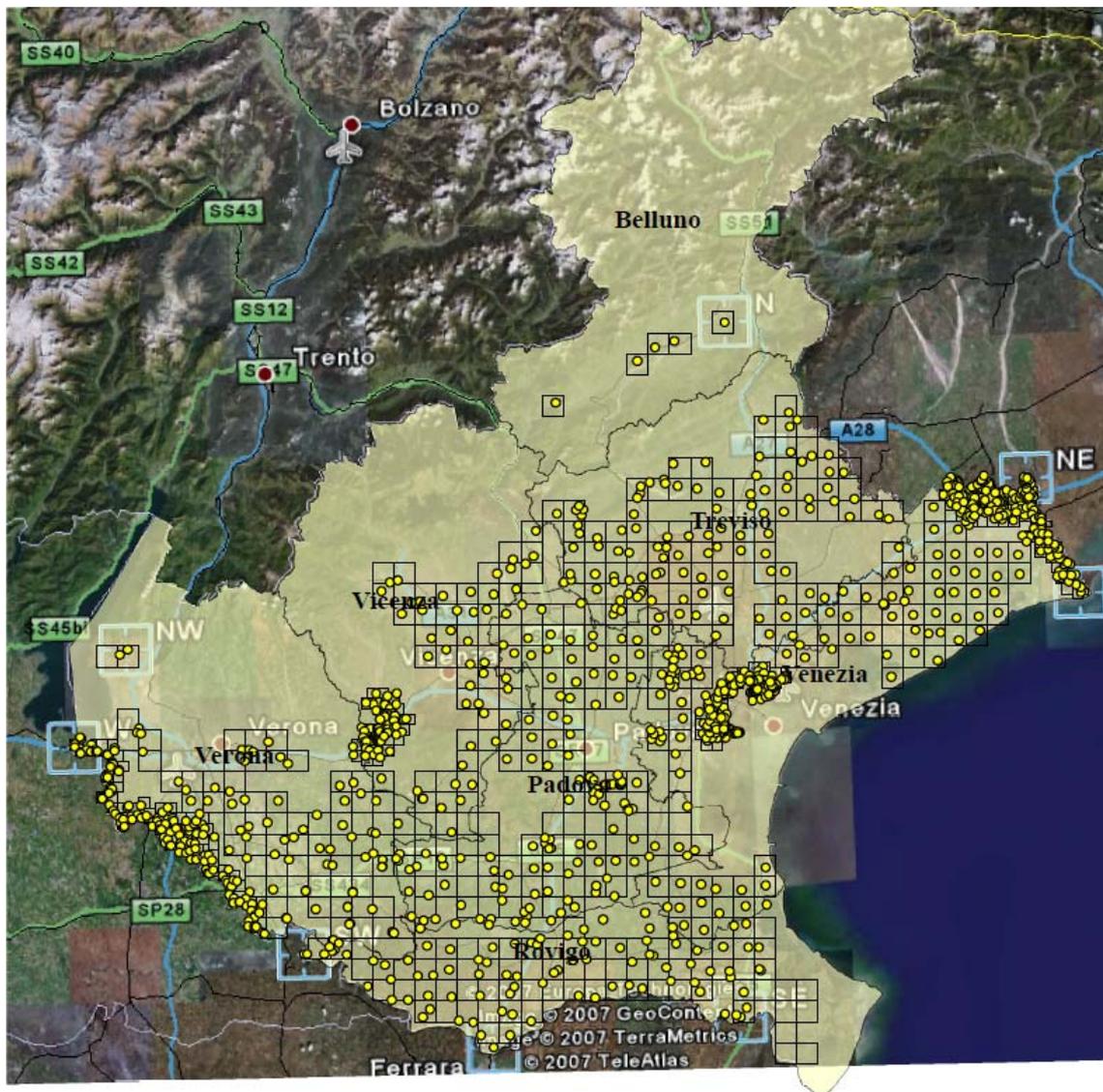
I dati sono stati nuovamente elaborati geostatisticamente mediante l'utilizzo del programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ con il quale sono state elaborate le mappe relative alla distribuzione della popolazione e mappe di rischio con le seguenti soglie (c):

- 30 catture per trappola all'anno per *A. brevis*
- 100 catture per trappola all'anno per *A. sordidus*
- 150 catture per trappola all'anno per *A. litigiosus*

Caso Studio 2: monitoraggio su scala regionale

Anno 2006

Nel 2006 il servizio fitosanitario della regione Veneto ha predisposto un piano di monitoraggio costituito da 1436 trappole georeferenziate, installate in tutta la regione (Fig. 8), in funzione del rischio di infestazione di *Diabrotica*, valutato direttamente dai tecnici regionali in base alle catture degli anni precedenti e alla presenza di fattori agronomici (monosuccessione) e territoriali (aeroporti, vie di commercio) in grado di favorire gli attacchi. Questo tipo di impostazione ha portato ad una maggior concentrazione di trappole nelle zone di Verona e Vicenza, sul confine regionale a nord-est con Friuli-Venezia Giulia e nell'intorno di Venezia. L'impostazione ricalca a grandi linee un campionamento stratificato, ottenuto però in modo empirico



Legenda

- Trappole 2006
- Rete 2006
- Province

Figura 8: Rete di monitoraggio utilizzata nel 2006.

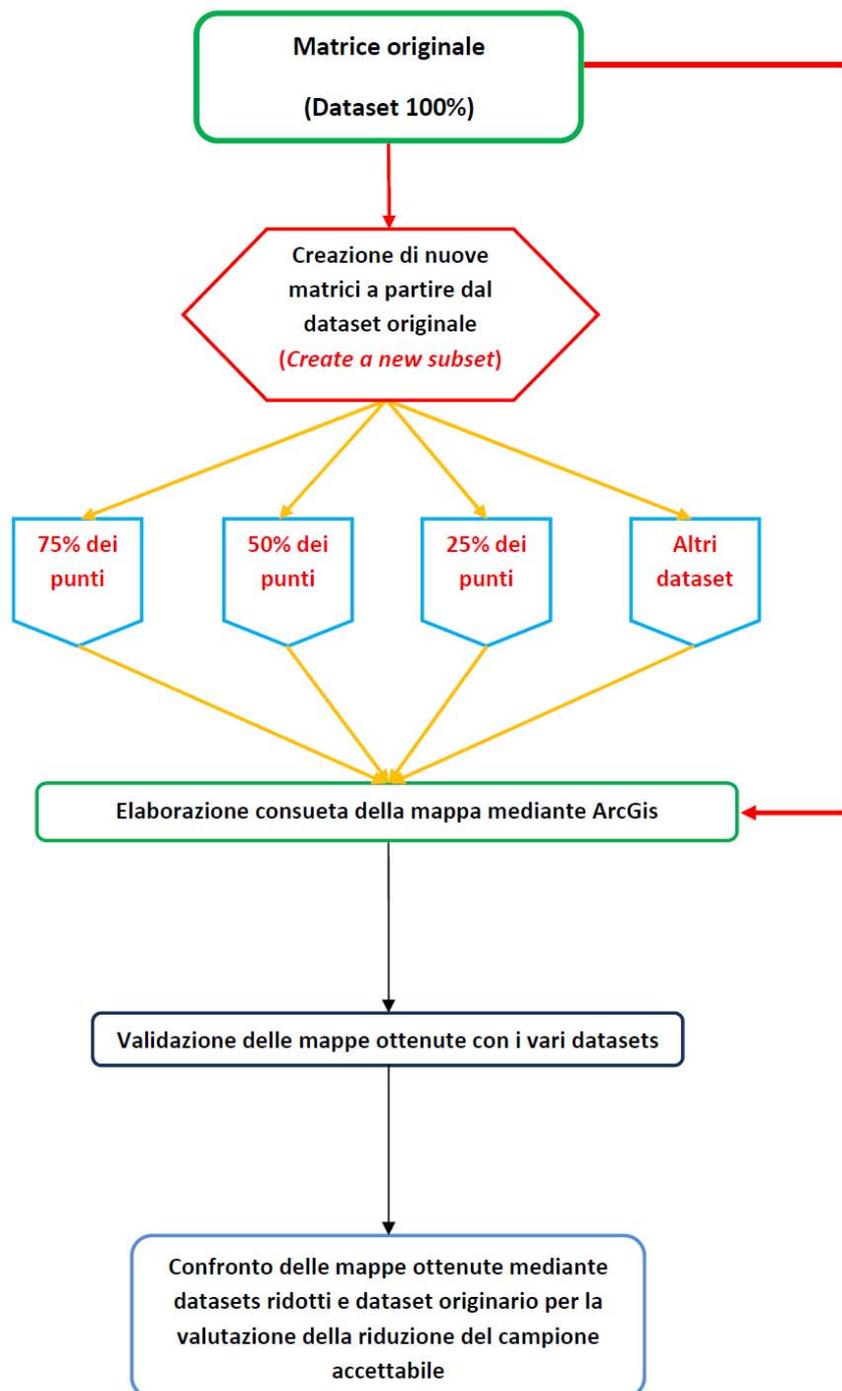
Le trappole utilizzate erano di tipo PAL, costituite da fogli di materiale plastico invischiati di colla entomologica e attivate con il feromone specifico per *D. virgifera virgifera* (Fig. 9). Le trappole sono state installate a partire dall'ultima settimana di giugno. I controlli, eseguiti ogni 15 giorni dai tecnici del Servizio Fitosanitario e da altro personale delegato, si sono protratti fino a metà settembre.



Figura 9: Trappole utilizzate per il monitoraggio. In evidenza il diffusore del feromone.

I dati raccolti sono stati elaborati mediante geostatistica principalmente allo scopo di razionalizzare e di ottimizzare la rete di monitoraggio che era caratterizzata da un elevatissimo dispendio economico. Tale spesa era il risultato di una spesa fissa legata al costo totale delle trappole e una spesa variabile determinata dal tempo necessario a controllare tutte le trappole in maniera contemporanea su tutto il territorio regionale.

Per raggiungere tale obiettivo sono state elaborate inizialmente le mappe relative alla distribuzione della popolazione di *D. virgifera virgifera* mediante *Ordinary Kriging*. Successivamente, mediante riduzione del dataset originale (*Creation of a subset*) sono state elaborate una serie di mappe utilizzando un numero di dati sempre minore al fine di individuare il numero minimo che garantisca una buona affidabilità della mappa.

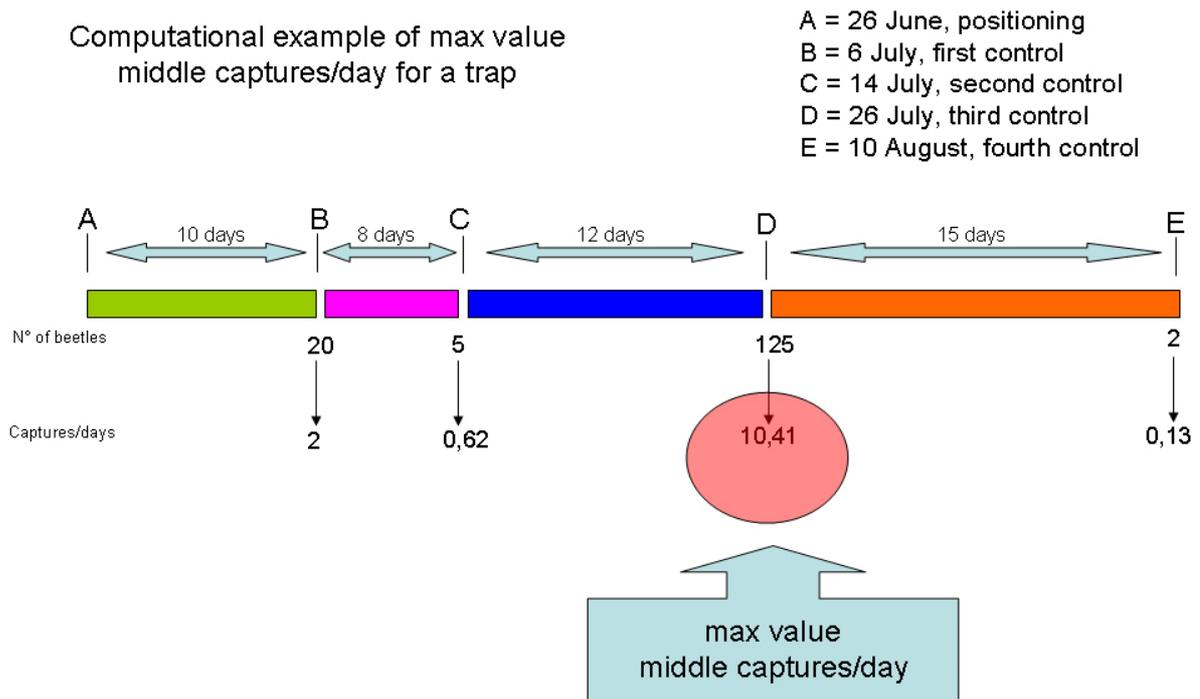


La bontà della riduzione del campione è stata valutata sulla base delle distribuzioni e dell'intensità dei patches di distribuzione delle catture, cioè la scelta è ricaduta sulle mappe che mostravano la stessa ripartizione di catture sul territorio.

A completamento del lavoro sono state create mappe di probabilità (*Indicator Kriging*) calcolate su alcune soglie ipotetiche con $c=0$ per cui:

$$Ic(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \geq 0 \\ 0, & \text{se } x \leq 0 \end{cases}$$

La risultante mappa mostra in maniera chiara la probabilità di cattura di Diabrotica in Veneto. Sulla base dei dati raccolti i tecnici della Regione Veneto hanno elaborato empiricamente un sistema per stimare le catture giornaliere del fitofago. In pratica per ogni intervallo di controllo si è calcolato il valore medio di catture dividendo il numero di individui catturati, per il numero di giorni trascorsi dal controllo precedente. In questo modo è stato risalire all'andamento indicativo delle catture nel corso del periodo di campionamento. Questo dato non è stato però utilizzabile per la creazione delle mappe a causa dello sfasamento temporale di controllo tra una trappola e l'altra. Con questo sistema è stato possibile individuare il valore teorico del picco di cattura di ogni trappola, inteso come il più alto valore medio tra quelli ottenuti con il metodo precedentemente descritto e come illustrato nello schema seguente:



Questi dati sono stati utilizzati per elaborare le mappe dei picchi di cattura mediante *Ordinary Kriging*.

L'elaborazione delle mappe è stata condotta mediante l'utilizzo del programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ e più precisamente con l'estensione di Geostatistica di ArcMap™

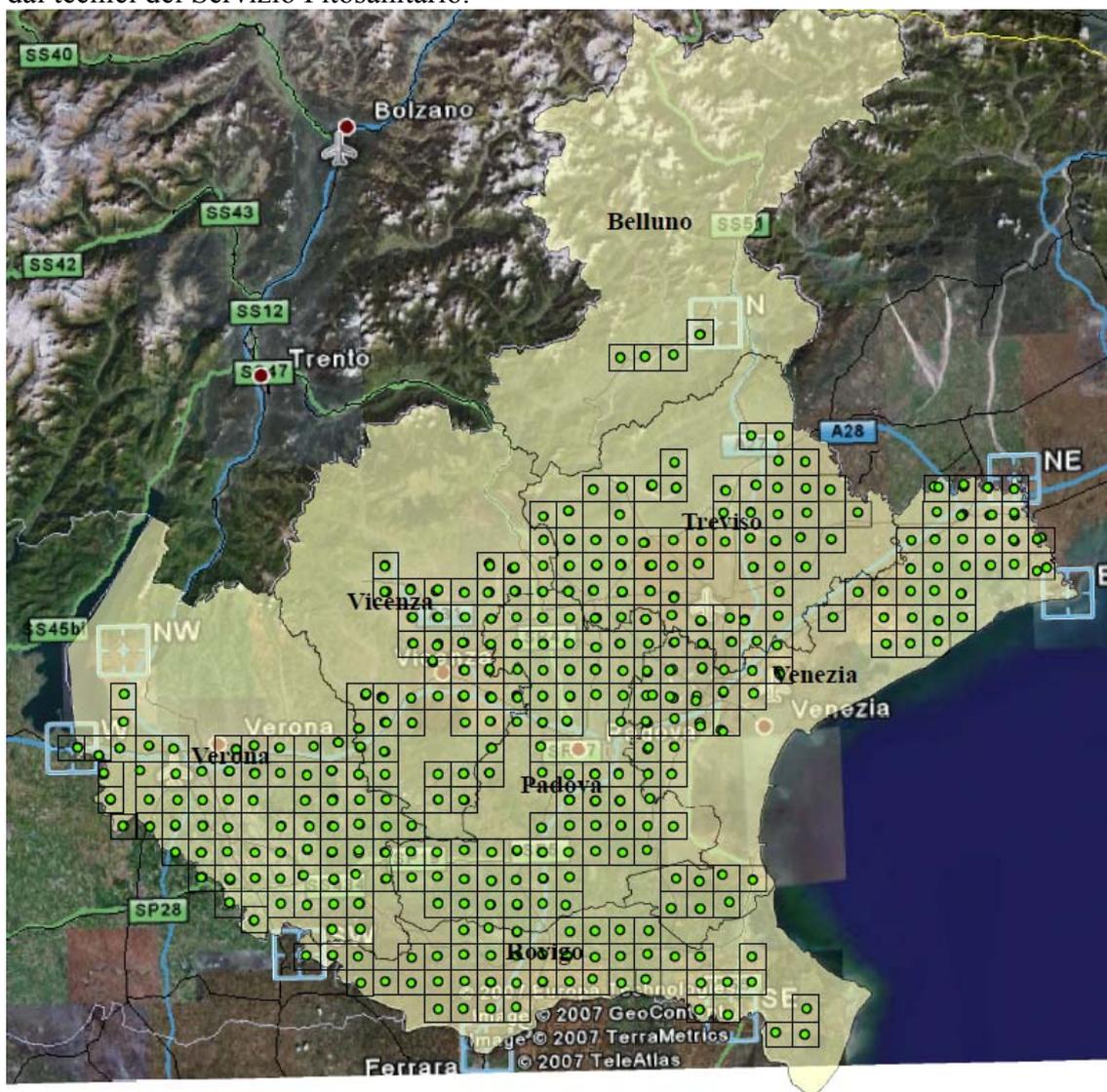
Anno 2007

Sulla base delle elaborazioni condotte durante il 2006 si è provveduto a razionalizzare la griglia di monitoraggio impostando una rete B costituita da quadranti di 5 km di lato (pari a un totale di 343 quadranti, all'interno dei quali sono state installate 2-4 trappole

georeferenziate poste ad una distanza almeno doppia rispetto al raggio di azione di ogni singola trappola, cioè circa 60 metri) per un totale di 935 trappole.

Questa scelta è stata fatta per correggere la variabilità locale delle singole trappole e per evitare, in caso di inconvenienti (smarrimento, rottura), la perdita del dato relativo al quadrante. Questo ha portato ad una riduzione dei costi relativi alle trappole e ad una riduzione del tempo necessario ai tecnici per il controllo e la sostituzione delle trappole.

Anche questo anno, le trappole utilizzate sono state PAL traps attivate con il feromone specifico per la cattura di *D. virgifera virgifera* (Fig. 10). Tutta la parte relativa all'installazione, gestione e controlli periodici, avvenuti circa ogni 15 giorni, è stata condotta dai tecnici del Servizio Fitosanitario.



Legenda

- Trappole 2007
- Rete 2007
- Province

Figura 10: Rete di monitoraggio utilizzata nel 2007.

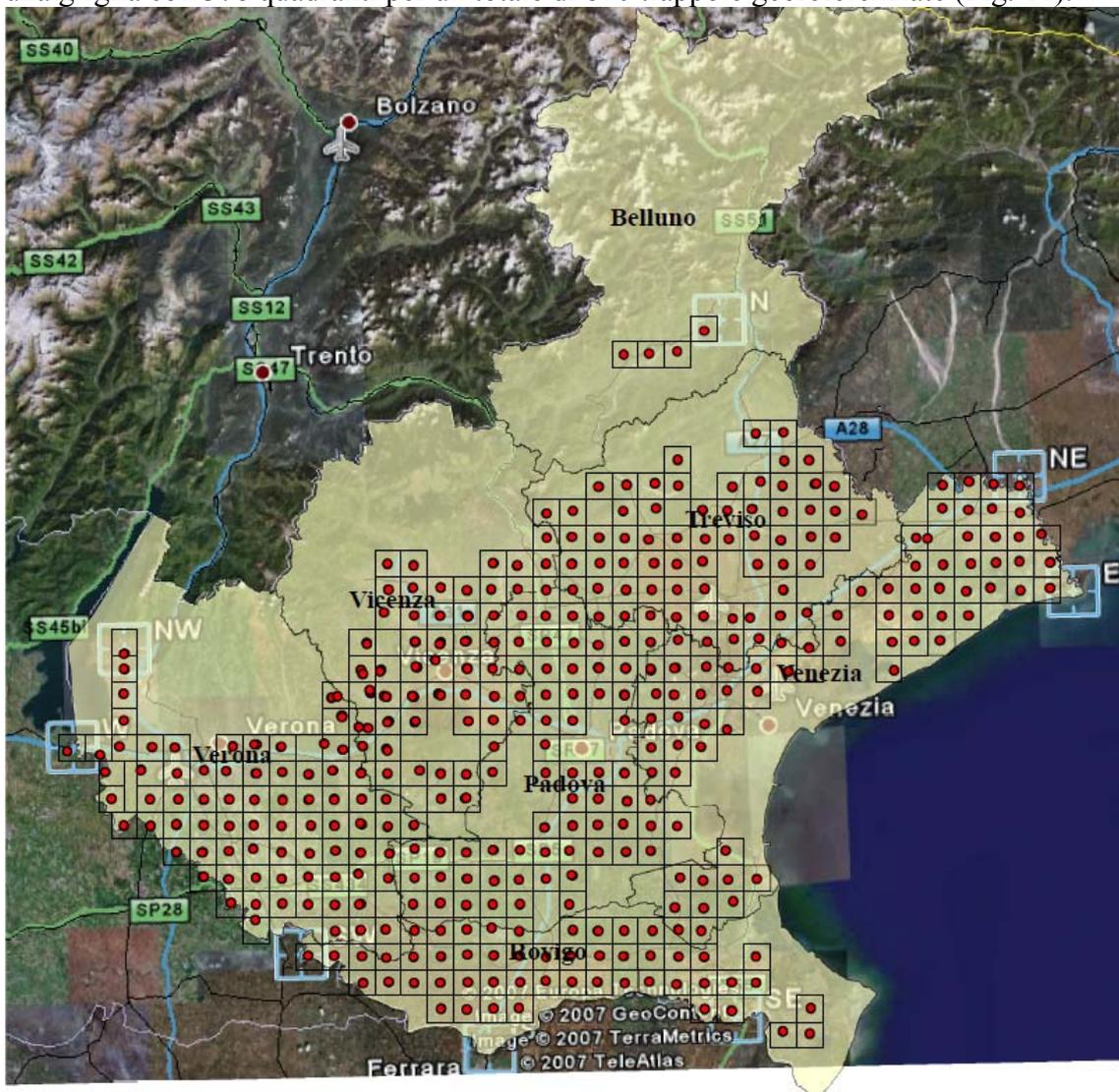
I dati raccolti sono stati elaborati nuovamente mediante geostatistica con lo scopo di analizzare la distribuzione spaziale dell'insetto e ottenere informazioni per ottimizzare ulteriormente il monitoraggio.

Sono state elaborate delle mappe relative alla distribuzione della popolazione mediante *Ordinary Kriging*, utilizzando come dati il numero di catture relativo alle singole trappole e il picco di cattura empirico calcolato come nel 2006. Sono state elaborate anche delle mappe di probabilità mediante *Indicator Kriging* con $c=0$, allo scopo di osservare la probabilità di cattura nella regione.

L'elaborazione delle mappe è stata condotta mediante l'utilizzo del programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ e più precisamente con l'estensione di Geostatistica di ArcMap™

2008

All'inizio dell'ultimo anno di indagine i tecnici del servizio fitosanitario della regione Veneto hanno evidenziato altre criticità, auspicando un'ulteriore ottimizzazione della rete. Per raggiungere questo scopo si sono ridotti i quadranti all'interno dei quali erano presenti 4 trappole. Al contempo però si è disegnata una rete più ampia, mantenendo quadranti regolari di 5 km di lato, e che coprisse maggiormente il territorio. Seguendo questo criterio si è creata una griglia con 378 quadranti per un totale di 810 trappole georeferenziate (Fig. 11).



Legenda

- Trappole 2008
- Province
- Rete 08

Figura 11: Rete di monitoraggio utilizzata nel 2007.

Anche per questo ultimo anno il tipo di trappole è stato identico (Fig. 9) e l'elaborazione delle mappe è stata nuovamente condotta mediante l'utilizzo del programma ArcGIS™ 9.0 by Esri™ e più precisamente con l'estensione di Geostatistica di ArcMap™. L'analisi dei dati è stata condotta allo scopo di creare mappe di probabilità, utilizzando l'*Indicator Kriging*, e mappe delle catture totali e del picco di cattura (inteso come numero massimo di individui catturati ogni giorno) utilizzando *IDW* e *Ordinary Kriging*.

Cap. 4 - RISULTATI E DISCUSSIONE

Risultati 2006: catture degli adulti

Campo A

In questo primo anno di monitoraggio il piano colturale adottato negli anni precedenti ha reso omogenei tutti campi dal punto di vista fitosanitario. Ciò è stato reso possibile dal fatto che i trattamenti geodisinfestanti non sono stati applicati dal 2003 e non è stata utilizzata semente concziata, a differenza di quanto invece è stato per l'appezzamento regolare (Fig. 4).

campo	superficie	99-00	01-02	02-03	03 04	04-05	05-06
15	0,29	G	BB	G	R	G	R
16	0,42	BB	G	R	BB	G	R
17	0,52	G	G	R	G	BB	G
18	0,55	R	R	G	BB	G	R
19	0,55	R	BB	G	P.C+C	G	BB
20	0,55	R	BB	G	C	G	G
21	0,56	G	R	G	R	G	BB
22	0,55	S	PBB	R	G	BB	G
23	0,57	R	PBB	R	G	BB	G
24	0,62	G	G	R	G	BB	R
25	0,51	BB	R	G	BB	G	R
26	0,47	BB	R	G	P.BB+BB	G	R
66	0,6	R	C	BB	G	S	R
67	0,53	S	C	BB	G	S	G
68	0,62	R	C	BB	G	S	G
69	0,68	S	R	G	P.BB+BB	S	R
70	0,64	G	G	BB	G	S	R
71	0,48	G	G	BB	R+P.C.M	S	G
72	0,39	G	G	BB	G	S	G

03/10/2003
c.17-22-23-24-66-67-68-70-71-72 Mocap 20EC 10Lt/Ha

13/02/2004
c.18-25-26 Semina barbabietole tr. Gaucho 3Kg/Ha

10/02/2005
c.17-22-23-24 Semina barbabietole tr. Gaucho Montur + Umos Start Geo Super 20Kg/Ha

14/02/2006
c.19-21 Semina barbabietole con seme non trattato + Regent G 9Kg/Ha

Figura 12: Piano colturale adottato negli anni precedenti l'inizio del monitoraggio.

Catture di *A. brevis*

Le catture di maggio mettono in evidenza un evidente effetto bordo relativo ai campi 66 e 72 che potrebbe indurre a pensare ad un effetto di immigrazione dai campi adiacenti (All. 1), anche se la presenza di una strada e del centro aziendale a est e la presenza del canale sul lato sud e ovest dell'appezzamento rendono inverosimile l'ipotesi (Foto 1, 2, 3).

Ricercando una spiegazione nei dati fornitici dall'azienda, si viene a conoscenza di una semina di barbabietole nel 2003 nel campo 69 che, osservando sia le mappe delle catture parziali sia quelle dei totali, è proprio quello in cui si sono registrate le catture più basse.

Quest'analisi lascia pensare che le lavorazioni necessarie per preparare il terreno di semina per la barbabietola possano avere influito sullo sviluppo della popolazione di elateridi.

Nelle date successive le catture sono state nella maggior parte nelle trappole localizzate nel lato nord dell'appezzamento, manifestando un probabile effetto di immigrazione dai campi adiacenti a quelli monitorati (Foto 4 e All. 2 e 3).

Complessivamente nel corso di questo primo anno le catture di *A. brevis* si sono concentrate in prevalenza lungo i bordi dell'appezzamento che corrono lungo il canale che costeggiano l'appezzamento (All. 4). Le catture sono state molto ridotte, risultato dovuto probabilmente all'effetto dei trattamenti geodisinfestanti.



Foto 1: Strada tra il Campo A e il centro aziendale.



Foto 2: Canale sul lato sud del Campo A.



Foto 3: Canale sul lato est del Campo A.



Foto 4: Strada interpodereale a nord del Campo A.

Catture di *A. sordidus*

Le catture di questa specie sono iniziate fin dal mese di maggio (All. 5) con una relativa uniformità. Nel corso del successivo campionamento le catture si sono concentrate nella trappola 13 del campo 70 e nelle trappole vicine (All. 6). Secondariamente anche le trappole del campo 66 hanno catturato moderatamente. Nell'ultimo campionamento le trappole con le catture maggiori sono state quelle dei campi 68, 69, 70 (All. 7). Dall'osservazione delle catture annuali si nota come la distribuzione ricalca le catture avvenute nel campionamento di giugno (All. 6 e 9) con una forte predominanza delle catture nelle trappole a Nord dell'appezzamento. Anche questa un'evidenza che rafforza l'ipotesi di una migrazione di adulti dai campi adiacenti.

Catture di *A. litigiosus*

Nella prima data di cattura di questa specie non si è osservata una stretta dipendenza spaziale; le catture, infatti, si sono distribuite nell'appezzamento con maggiore omogeneità (All. 10). Nel mese di agosto le catture si sono concentrate invece nel lato sud-est del campo, particolarmente nella trappola 7 (All. 11). Da sottolineare come ci sono stati problemi nella fase di analisi dei dati relativi alle catture del 12 agosto (quelle più elevate) in quanto numerose trappole sono andate perse o distrutte a causa delle operazioni svolte sugli appezzamenti. L'osservazione della mappa ci porterebbe ad ipotizzare un effetto bordo lungo il lato sud-est dell'appezzamento, giustificabile forse con la maggiori capacità di volo di *A. litigiosus* rispetto *A. brevis*, in quanto proprio su questo lato abbiamo la congiunzione di 2 canali di scolo (Foto 5). Questa interpretazione risulta in ogni caso relativamente azzardata, in quanto a causa della distruzione di 5 trappole sono venuti a mancare dati importanti che avrebbero permesso un'analisi migliore della popolazione di *A. litigiosus*. Da considerare che il periodo in cui sono andati persi questi dati (tra il 7 luglio e il 12 agosto) è stato il momento in cui si sono registrate le maggiori catture.

La mappa elaborata con i dati complessivi delle catture mettono in evidenza come la maggior parte degli individui si siano concentrati lungo i confini che costeggiano i canali (All. 13).

Tale concentrazione di catture può essere motivata con la presenza delle aree umide lungo il canale e il fatto che tali zone sono soggette a minori lavorazioni rispetto al resto del campo.



Foto 5: Punto di congiunzione dei canali di scolo lungo i margini del campo A.

Campo B

In questo primo anno di indagine, a seguito delle rotazioni colturali i campi hanno subito trattamenti con geodisinfestanti in tempi diversi. Ciò ha sicuramente provocato evidenti effetti locali nelle catture, evidenziando una dipendenza spaziale relativa al singolo campo (Fig. 12).

Catture di *A. brevis*

Le catture di maggio hanno mostrato una distribuzione tendenzialmente uniforme, con un picco in corrispondenza della trappola 33, mentre nelle vicinanze del macero (Foto 6) non ci sono state catture. (All. 16). Nel mese successivo le elaborazioni mostrano una concentrazione degli adulti nei campi 18, 19, 22, 23, 24 e 25 (All. 17). Gli ultimi individui, con un massimo di 10 adulti, sono stati raccolti nel campionamento di luglio e i campi maggiormente infestati erano il 17, 19 e 26. (All. 18).

È possibile fare delle considerazioni al riguardo: i campi 18, 24 e 25 non sono stati investiti a barbabietola dal 2004, mentre i campi 23 e 24 dal 2005. Quindi l'effetto di abbattimento causato dai geodisinfestanti è risultato piuttosto ridotto in questi appezzamenti, a differenza di quello che avvenuto nei campi 21 e 19, dove la barbabietola è stata seminata a febbraio 2006 (Fig. 12).

Un'analisi a parte va condotta sul campo 16, che nonostante non fosse trattato dal 1990, ha registrato catture irrisorie, probabilmente a causa dell'effetto bordo causato dal macero sul lato est dell'appezzamento (Foto 6).

Un'ultima considerazione va fatta sulle catture del campo 20: questo ha avuto un numero di catture elevate solo sul lato nord e ciò induce a pensare che questo effetto sia dovuto "all'immigrazione" di individui dai campi a nord dell'appezzamento monitorato (All. 19).



Foto 6: Macero adiacente al campo 16.

Catture di *A. sordidus*

Nel mese di maggio questa specie è stata catturata in maniera esigua e solamente in poche trappole (All. 20). Nel mese successivo è stato raggiunto il picco di cattura con un massimo di 85 individui nella trappola 31. I campi che hanno catturato maggiormente sono il 18, 19, 20, 21, 24 e 25 (All. 21). Le catture si sono esaurite nel mese di agosto, con le trappole dei campi 17, 18, 19, 25 e 26 in cui sono stati trovati i maggiori individui (All. 22).

Analizzando complessivamente le catture si mette in evidenza come la distribuzione della popolazione nel mese di giugno abbia condizionato la struttura dell'intera popolazione, con i campi 18, 19, 21, 24 e 25 maggiormente infestati (All. 25). Da notare come le trappole nei pressi del macero abbiano catturato un numero esiguo di individui per tutto l'anno di monitoraggio.

Catture di *A. litigiosus*

Le prime catture di *A. litigiosus* sono state registrate a partire dal mese di luglio, con una distribuzione prevalente nel lato sud dell'appezzamento e in particolare dei campi 16, 19 e 26, mentre un numero ridotto di individui è stato catturato nei campi 23, 23 e 25 (All. 26).

Nel campionamento di agosto la maggior parte degli individui è stato ritrovato nelle trappole del campo 26 e nelle trappole lungo il lato sud dell'appezzamento, in vicinanza cioè del canale irriguo (All. 27).

In virtù del fatto che le maggiori catture sono state registrate nel mese di agosto, la distribuzione complessiva della popolazione ha ricalcato la distribuzione di questo mese con le catture maggiori nel campo 26, in tutte le trappole a sud dell'appezzamento e nella trappola 39 del campo 16 (All. 29).

Approccio probabilistico

Ipotizzando una soglia arbitraria di danno, sono state create mappe mediante *Indicator Kriging*, che indicano il rischio probabilistico di oltrepassare tale valore.

Tenendo in considerazione che l'azienda in esame conduce sperimentazioni e ricerche mediante confronto varietale per la selezione di nuove varietà di frumento sono state ipotizzate soglie dieci volte più basse rispetto a quelle abituali di campo (che risultano di 300/trappola per *A. brevis* 1000/trappola per *A. sordidus* e 1500/trappola per *A. litigiosus*). Questo perché danni seppur minimi potevano influire negativamente sul confronto tra le varietà in sperimentazione.

Nel campo A le catture di *A. brevis* hanno mostrato una probabilità maggiore di superare la soglia ipotizzata in particolare nelle zone Est ed Ovest, oltrepassando il 50% di probabilità nei campi 66 e 72 (All. 14).

A. sordidus e *A. litigiosus* hanno mostrato due focolai nei campi 70 e 71 che non hanno destato comunque nessun allarme (All. 15).

Risulta evidente che nell'appezzamento regolare l'unico campo a rischio di attacchi di *A. brevis* è il 18, ma da come si desume dalla legenda la probabilità è compresa solo tra il 50 e il 65%, mentre su tutto il resto dell'appezzamento il rischio è al di sotto del 20%. Per le altre due specie invece non è si è nemmeno superata la soglia di danno ipotizzata.

In definitiva, nonostante i livelli di soglia siano stati ipotizzati dieci volte più bassi di quelli solitamente utilizzati, l'infestazione di elateridi mostra probabilità di rischio sempre inferiori alla soglia normalmente considerata.

Risultati delle catture delle larve

Dal primo campionamento con trappole alimentari si sono ottenute solamente 3 larve: 2 nel campo A e 1 solo individuo nel campo B; dal secondo campionamento si è ottenuta solo 1 larva (All. 32).

Le trappole alimentari sono rimaste nel terreno meno tempo (15 giorni circa) delle trappole a feromoni, e i dati di cattura di questi due sistemi di campionamento non possano essere direttamente confrontabili a causa della difficoltà di interpolazione di valori di cattura così esigui. Inoltre le difficoltà tecniche e le condizioni del pedoclimatiche necessarie per un corretto funzionamento delle trappole rendono tale tecnica abbastanza difficoltosa da applicare. In generale, però, questo campionamento sembra confermare come la popolazione larvale sia molto bassa.

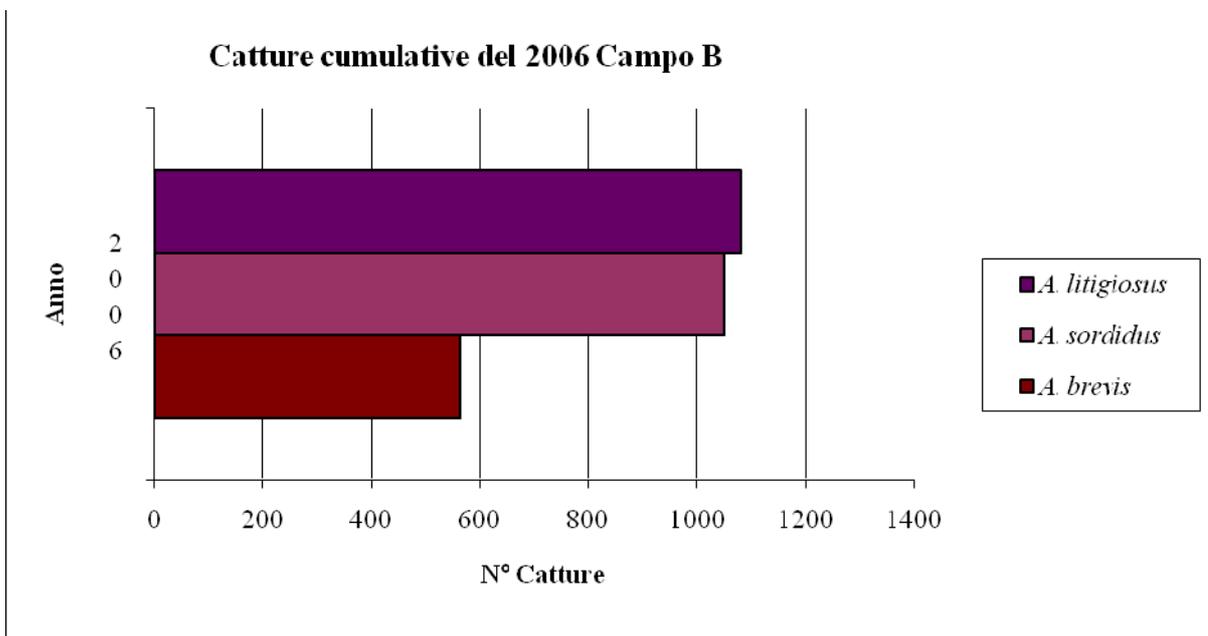
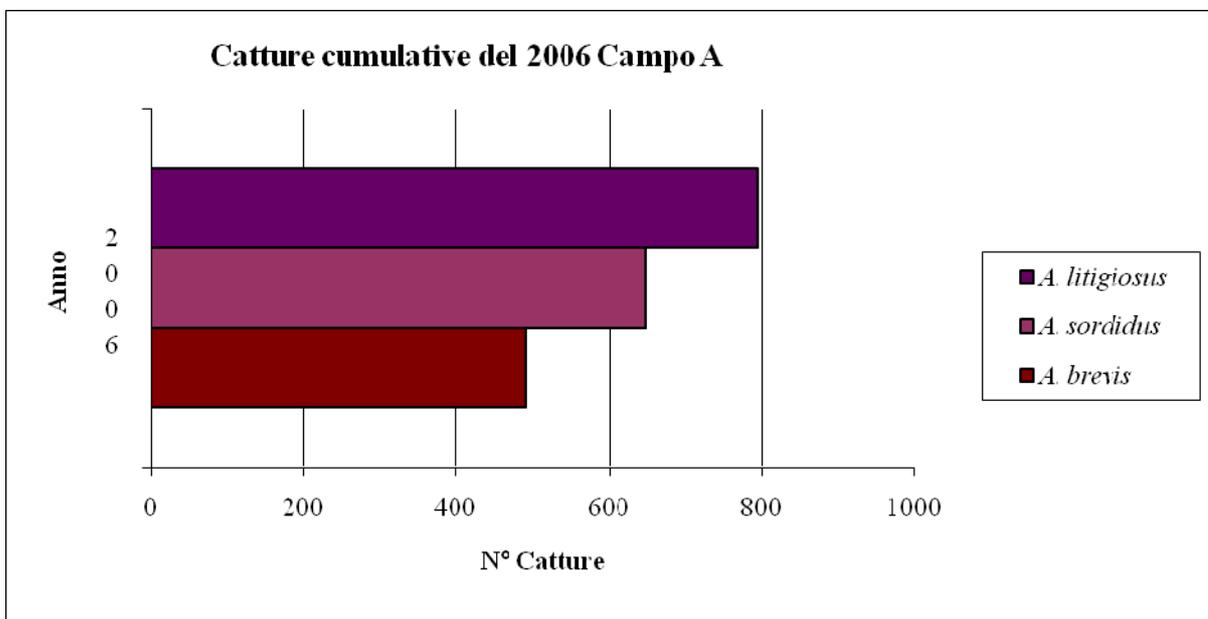
Riassunto dati 2006

Innanzitutto va precisato che in termini assoluti le catture di elateridi sono state piuttosto basse. Come dimostrano i grafici, le catture totali di Elateridi in entrambi i campi sono estremamente ridotte. La popolazione di *A. brevis* non è andata oltre le 500 catture nel Campo A ed è rimasta al di sotto delle 600 nel campo B. *A. sordidus* ha oltrepassato le 1000 e 600 catture rispettivamente nel Campo A e B. *A. litigiosus* invece non è andato oltre le 800 e 1100 catture.

La situazione del Campo A ha messo in evidenza come le rotazioni colturali siano responsabili di una riduzione delle popolazioni di elateridi, in particolar modo di *A. brevis* e *A. sordidus*, anche a 2-3 anni di distanza dal trattamento geodisinfestante o dalla semina di seme conciato.

I dati del Campo B hanno evidenziato un altro particolare: probabilmente l'effetto soppressivo sulle popolazioni degli elateridi non è esercitato solamente dai trattamenti geodisinfestanti, ma anche dalle lavorazioni che vengono svolte. Infatti, in questo appezzamento, i trattamenti

geodisinfestanti sono stati effettuati contemporaneamente nel 2003 (quindi l'effetto del trattamento dovrebbe essere identico in tutti i singoli campi), invece le catture più basse sono state registrate nell'unico campo dove è stata seminata barbabietola. In ultima analisi i dati relativi alle catture con trappole alimentari hanno dimostrato che la densità larvale non fosse un parametro utile per l'elaborazione di mappe chiare e significative.



Risultati 2007

Campo A

Catture di *A. brevis*

Gli individui di questa specie sono stati catturati fin dalla prima data di controllo. A questa data si rileva che i campi maggiormente infestati sono quelli centrali, mentre in quelli

periferici non si sono avute catture elevate, salvo nella trappola nord del campo 66 (All. 1). Nella seconda data di campionamento le trappole che hanno catturato maggiormente sono state quelle centrali dei campi 68, 69 e 70. (All. 2)

Dal punto di vista numerico l'intensità assoluta delle catture non è sostanzialmente variata rispetto all'anno precedente (39 catture massime per trappola nel 2006 contro le 34 nel 2007); da evidenziare, invece, la distribuzione delle catture che sono state maggiori in tutta la parte centrale e nord dell'appezzamento, al contrario di ciò che era avvenuto nel 2006 (All. 4).

Catture di *A. sordidus*

Le prime catture si sono registrate nel campionamento del 13 giugno, e il numero degli individui è stato piuttosto ridotto e distribuito a chiazze in tutta l'area (All. 6). Durante il rilevamento successivo il numero di individui ritrovati è aumentato in maniera evidente, soprattutto nelle trappole posizionate a nord e in particolare nel campo 69, dove si è registrato il picco si cattura (All. 7). Gli ultimi individui sono stati rilevati al controllo del 14 agosto dove sono stati conteggiati pochi individui in corrispondenza dei campi 71 e 72 (All. 8), dimostrando che il periodo di cattura si è prolungato rispetto all'anno precedente (nel quale le catture non erano andate oltre al 7 luglio).

Complessivamente, nel 2007 le catture di *A. litigiosus* sono risultate circa dimezzate in tutto l'appezzamento diminuendo soprattutto lungo il canale che scorre ai bordi dell'appezzamento, e concentrandosi, invece, lungo i lati nord dei campi che si affacciano sui terreni della vicina proprietà. (All. 9).

Catture di *A. litigiosus*

Nel mese di luglio, prima data di rilevamento di questa specie, si sono registrate un elevato numero di catture, pari alla metà degli individui catturati durante tutto l'anno 2007. Il maggior numero di individui sono stati catturati dalla trappola del lato sud del campo 72 e in modo meno evidente nei campi 66 e 69 (All. 10). Nel controllo del mese di agosto le catture si sono estese anche nei campi 70 e 71 diminuendo però nel numero (All. 11). Le ultime catture sono state registrate nel campionamento di fine settembre (All. 12), data in cui tutte le trappole sono state rimosse, limitandosi solo a poche unità isolate nelle trappole 8 e 20.

Facendo riferimento alla popolazione totale catturata nel 2007 si osserva che la numerosità di cattura si è ridotta del 30% rispetto al 2006, concentra dosi però nei campi 66 e 72 (All. 13).

Campo B

Catture di *A. brevis*

Nel 2007 le catture si sono concentrate nella prima data di campionamento, con maggiore intensità nei campi 22 e 23 e ancor di più nelle trappole periferiche attorno al macero (All. 16). Da sottolineare che nella rotazione colturale i campi 22 e 23 erano stati trattati nel 2005 con Gaucho Montur e Umos Start Geo Super alla dose di 20Kg/Ha. Tale coincidenza suggerisce un ridotto effetto di tali trattamenti a distanza di 2 anni. Durante il secondo campionamento si sono registrate le ultime catture, limitate a poche unità per trappola, solo nelle trappole dei campi 24, 25 e 26 ad Est dell'appezzamento (All. 17).

La distribuzione totale dell'appezzamento rispecchia la ripartizione delle catture nel mese di maggio, con i campi 22 e 23 che risultano essere quelli con le catture maggiori. Complessivamente la popolazione totale è rimasta agli stessi livelli del 2006. A differenza di quanto si poteva supporre dai dati del 2006 il macero non sembra influire negativamente nei confronti di questa specie, infatti, le trappole posizionate nelle immediate vicinanze hanno avuto le catture più numerose: 47 la trappola a sud (il massimo delle catture registrate), 35 quella a ovest e circa 20 quelle a est e a nord (All. 19).

Catture di *A. sordidus*

I primi individui si sono campionati durante il controllo del 13 giugno. A questa data la distribuzione degli individui era trasversale rispetto all'orientamento degli appezzamenti con un picco di cattura in corrispondenza della trappola a nord del macero (All. 21). Al 16 luglio la popolazione era distribuita omogeneamente nei campi, salvo in corrispondenza delle capezzagne dove si sono registrate catture maggiori (All. 22).

Gli ultimi individui sono stati rilevati nel campionamento del 14 agosto nei campi 17, 18, 22, 23 e 24 (All. 23). La popolazione di questa specie è diminuita rispetto al 2006 anche in questo appezzamento passando da un massimo di quasi 90 individui a soli 40 con una distribuzione che non sembra avere legami né con l'orientamento dei campi né, quindi, con le rotazioni effettuate (All. 25).

Catture di *A. litigiosus*

Le gran parte delle catture si sono registrate al rilievo del 16 luglio (All. 26) e si sono progressivamente esaurite fino al campionamento del 14 agosto (All. 27). Il picco di cattura è stato rilevato nelle trappole nord dei campi 19 e 20 e nella trappola a sud del macero (All. 26). Nel campionamento del 14 agosto le catture maggiori si sono avute nelle trappole della capezzagna lungo il lato nord dell'appezzamento. Da sottolineare che la numerosità degli individui era di alcune unità per trappola e, nella scala di riferimento scelta, non si vedono differenze di colorazione nella mappa perché tutte le trappole hanno catturato la stessa quantità di individui (All. 27).

Le catture di questa specie risultano ridotte del 25% rispetto al 2006; la distribuzione, invece, è molto diversa, con dei picchi di catture nelle trappole nord nei campi 19, 20, 21 e 26 (All. 29).

Approccio probabilistico

Anche per i dati relativi alle catture del 2007 si è deciso di calcolare mappe che indicassero il rischio probabilistico di oltrepassare un'ipotetica soglia di rischio.

Anche in questa annata, tenendo in considerazione che l'azienda in esame conduce ricerche sperimentali sono state ipotizzate soglie dieci volte più basse rispetto a quelle abituali.

Nel campo A le aree con il maggior rischio di catturare oltre 30 individui di *A. brevis* a est e ovest, con valori compresi tra il 50 e il 60% di probabilità, mentre nelle zone centrali dell'appezzamento il rischio è praticamente nulla, situazione identica a quella del 2006 (All. 14).

Nel campo B le aree che hanno il maggior rischio di oltrepassare la soglia fissata sono le zone attorno al campo sottoposto al monitoraggio e in particolar modo i campi a est e quelli in vicinanza del macero, dove si ha una probabilità di superamento della soglia tra 80-100% (All. 30). In tutto il resto del campo B la probabilità è sotto il 10% tranne nei campi 20 e 22, dove la probabilità supera rispettivamente del 30% e 50%.

In entrambi i campi, le catture di *A. sordidus* e *A. litigiosus* non hanno permesso l'elaborazione di queste mappe in quanto le catture in ogni trappola è rimasta abbondantemente al di sotto delle soglie supposte.

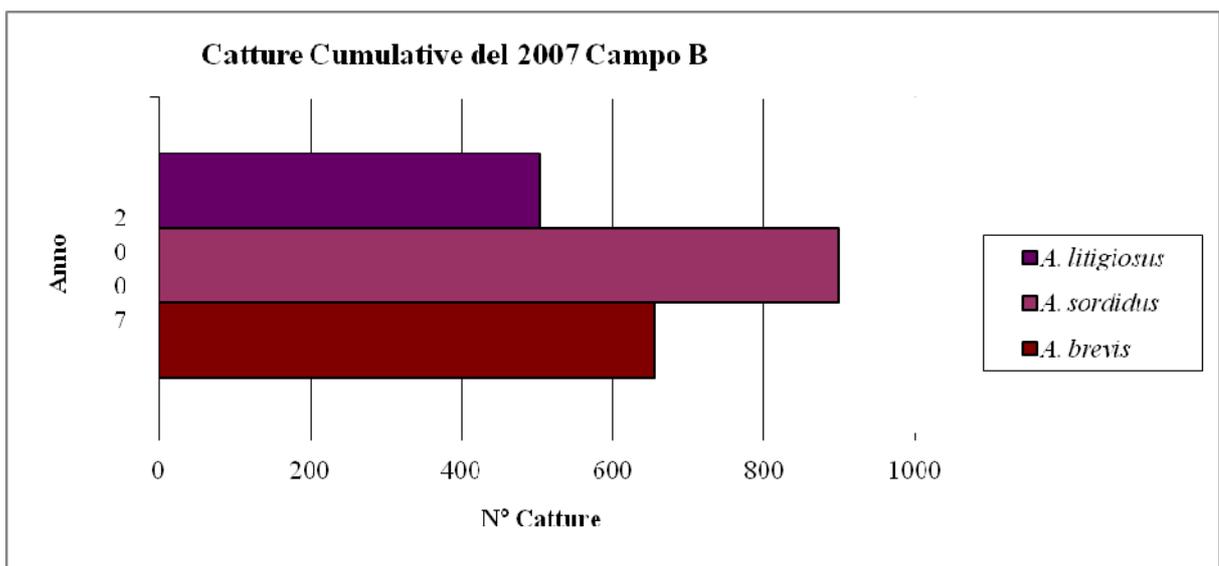
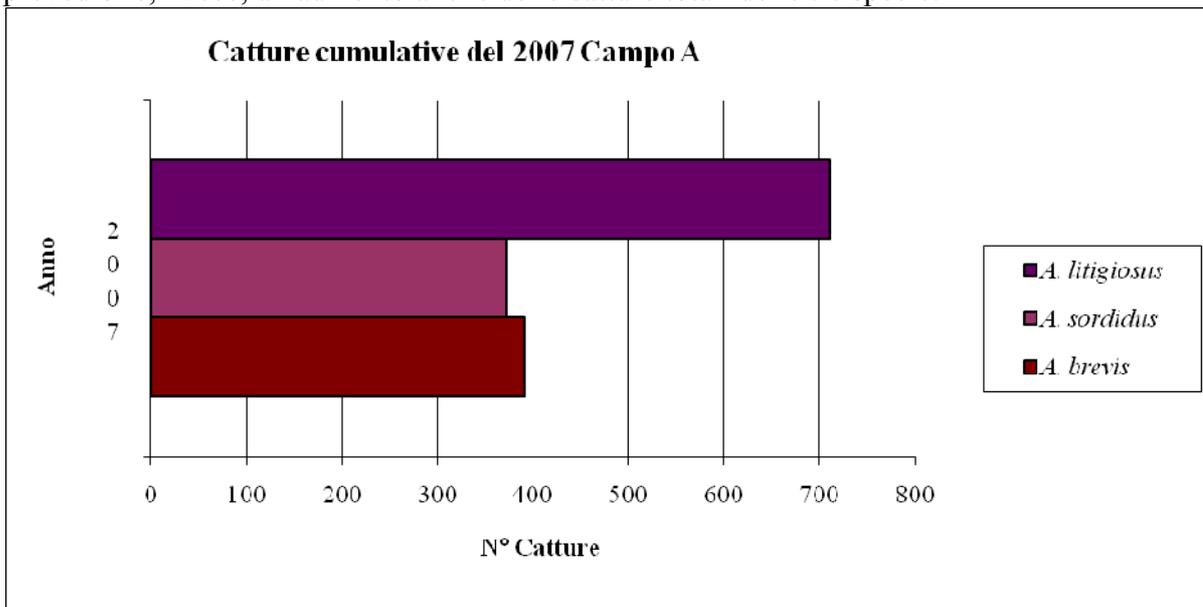
Globalmente anche nel 2007 non sono stati evidenziati rischi evidenti di infestazione, nemmeno utilizzando soglie dieci volte più ridotte di quelle normalmente considerate. L'unica specie che ha superato le soglie adottate per lo specifico caso studio è risultata *A. brevis*. Anche questo un indice del fatto che l'infestazione era estremamente ridotta.

Riassunto dati 2007

I dati raccolti in questo anno confermano quelle che erano state le previsioni dell'anno precedente. Le catture, infatti, sono risultate limitate anche in questo anno di indagine. Nel

Campo A le popolazioni *A. brevis* e *A. sordidus* hanno mostrato gli stessi livelli di cattura, diminuendo rispetto al 2007 di 100 e 250 unità rispettivamente. In questo appezzamento *A. litigiosus* è rimasta la specie prevalente, ma anche la sua popolazione si è ridotto rispetto al 2007 di 100 individui.

Nel campo B la popolazione di *A. brevis*, in controtendenza rispetto alle altre specie, è aumentata di circa 200 unità. *A. litigiosus* ha mostrato la riduzione maggiore di individui, diminuendo di oltre 600 individui e risultando la specie meno numerosa nell'appezzamento. *A. sordidus* invece è la specie che risulta aver avuto variazioni minori in questo appezzamento, con una regressione di circa 200 adulti. Considerando che in questo appezzamento sono state aggiunte 11 trappole rispetto al 2006 la riduzione della popolazione è sicuramente sottostimata, in quanto aumentando le trappole e la superficie monitorata era prevedibile, invece, un aumento anche delle catture totali delle tre specie.



Risultati 2008

Campo A

Catture di *A. brevis*

Come avvenuto negli anni precedenti, la maggior quantità di catture sono state realizzate nel periodo di maggio raggiungendo un massimo di 45 catture nelle trappole poste nei campi 69, 70 e 71, mentre catture ridotte si sono registrate nel campo 66, quello più vicino alla strada (All. 1). Nel mese successivo le catture si sono concentrate prevalentemente nei campi 66 e 70, con un numero comunque ridotto di individui analogamente a quanto avvenuto nel 2006 (All. 2). Le catture si sono protratte fino al mese di luglio limitatamente ai campi 66 e 70 (All. 3) con un numero ridotto di catture.

Dall'analisi complessiva delle catture annuali si osserva un generale aumento delle catture registrate in tutto l'appezzamento con particolare incidenza nei campi 68, 69, 70, 71 e 72 (All. 4). Il picco di cattura non è aumentato rispetto al 2006, ma la distribuzione delle catture si è estesa su gran parte dell'appezzamento.

Catture di *A. sordidus*

Le catture di questa specie sono cominciate fin da maggio, come avvenuto nel 2006, ma nel 2008 le catture sono state maggiori su tutto l'appezzamento (All. 5) con un picco nella zona nord del campo 70. Le catture sono proseguite nel mese di giugno sugli stessi livelli del 2007 con le catture concentrate lungo il canale, ai bordi dell'appezzamento (All. 6). Confrontando le catture del mese di maggio del 2008 con le catture del mese di giugno del 2006 (All. 5 e 6) si nota una distribuzione identica delle catture, anche dal punto di vista numerico. Nel mese di luglio le catture sono proseguite con il massimo di 40 individui, concentrate nel campo 70 (All. 7). Gli ultimi individui sono stati ritrovati nel controllo del mese di agosto (All. 8) con una prevalenza nei campi 67, 68 e 69. Facendo un confronto complessivo delle catture nei tre anni si osserva una diminuzione dei picchi di cattura rispetto al 2006, ma un aumento complessivo delle catture rispetto ad entrambi gli anni precedenti (All. 9).

Catture di *A. litigiosus*

Gli individui di questa specie sono stati rinvenuti a partire dal campionamento di luglio. Il numero di esemplari ritrovati è confrontabile con quelli del 2006, con un calo rispetto al 2007, e con un'analogia distribuzione alle zone maggiormente infestate (All. 10). Nel campionamento successivo si nota un'ulteriore corrispondenza delle zone infestate lungo il canale che costeggia l'appezzamento, soprattutto nella zona sud-est (All. 11).

Gli ultimi individui catturati sono stati raccolti durante il campionamento di settembre e anche in questo caso sono stati rinvenuti nelle trappole poste lungo la periferia dell'appezzamento (All. 12).

Dall'osservazione complessiva delle catture annuali si osserva la netta prevalenza delle catture lungo il margine dell'appezzamento che corre vicino al canale (All. 13).

Campo B

Catture di *A. brevis*

Come avvenuto nell'appezzamento irregolare, la popolazione di *A. brevis* al campionamento di maggio è aumentata sia rispetto al 2006 che al 2007. Le maggiori catture sono concentrate nelle vicinanze del macero e lungo i margini dell'appezzamento (All. 16). Nel mese successivo le catture sono diminuite attestandosi sugli stessi livelli degli anni precedenti, con un solo picco di cattura nella trappola sud del campo 25 (All. 17). Le catture si sono esaurite il

mese successivo con numero esiguo di individui distribuiti regolarmente in tutto l'appezzamento (All. 18). Dall'analisi delle catture totali risulta che le trappole con il maggior numero di catture sono quelle agli estremi dei campi e quelle attorno al macero (All. 19).

Catture di *A. sordidus*

A differenza degli altri anni, il numero di individui catturati nel primo mese di campionamento è stato elevato, con 190 catture nella trappola posta a nord del macero (All. 20). Catture elevate sono state registrate anche nelle trappole poste alle estremità dei singoli campi. Da registrare che le trappole che hanno catturato il maggior numero di *A. brevis*, hanno anche consentito di raccogliere anche molti individui *A. sordidus* (All. 16 e 21).

Nel mese successivo le catture sono diminuite, attestandosi sugli stessi livelli del 2006 e 2007, mantenendosi comunque più alte in vicinanza del macero e nel campo 25 (All. 22). Nel terzo mese di monitoraggio le catture sono incrementate nelle trappole vicino al macero e lungo i margini esterni dei campi monitorati, in particolare nelle trappole nord dei campi 23, 25 e nelle porzioni a sud dei campi 18 e 19 (All. 23).

Nel campionamento del mese di agosto le catture sono diminuite, risultando comunque maggiori, rispetto agli anni precedenti. Anche in questa data il maggior numero di catture è avvenuto nei pressi del macero e un consistente numero di individui è stato raccolto dalle trappole a sud dei campi 20, 21 e nelle trappole esterne all'appezzamento monitorato a nord dei campi 17, 21 e a sud del campo 22 (All. 24). Per la prima volta si sono catturati un elevato numero di individui anche nel mese di settembre, tutti nelle vicinanze del macero (All. 25).

La popolazione globale del 2008 si è concentrata in vicinanza del macero e un elevato numero di catture è riscontrabile nella trappola sud del campo 19.

Catture di *A. litigiosus*

Le prime catture di questa specie sono state registrate nel campionamento di luglio. Gli individui raccolti sono stati inferiori rispetto a quanto avvenuto nello stesso periodo degli anni precedenti e concentrate nei pressi del fabbricato nord del campo 26 (All. 26). Nel successivo il maggior numero di individui è stato raccolto dalle trappole a ovest e sud del macero e sono aumentate in maniera evidente anche le catture nella parte sud di tutto l'appezzamento. Rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti il numero di catture si è ridotto, mentre la distribuzione è molto simile a quella del 2006 (All. 27).

Le catture sono proseguite anche durante l'ultimo periodo di campionamento, con un numero esiguo di individui concentrati in vicinanza del macero (All. 28).

Complessivamente nell'arco dei tre anni il picco di cattura è aumentato, soprattutto in vicinanza del macero, ma dal confronto delle mappe si evince che la popolazione di questa specie è cresciuta rispetto al 2007, ma nell'insieme dell'appezzamento si è ridotta rispetto al 2006 (All. 29).

Approccio probabilistico

Anche per i dati relativi alle catture del 2008 si è deciso di calcolare mappe che indicano il rischio probabilistico di oltrepassare un'ipotetica soglia di rischio. Sono state nuovamente utilizzate soglie ritenute dieci volte più basse di quelle abituali di campo:

- 30 catture per trappola all'anno per *A. brevis*
- 100 catture per trappola all'anno per *A. sordidus*
- 150 catture per trappola all'anno per *A. litigiosus*

In questo ultimo anno di monitoraggio le catture sono state maggiori rispetto agli anni precedenti, e ne è risultata quindi una maggiore probabilità di cattura di tutte le specie e in tutti i campi.

Nel campo A il rischio di oltrepassare la soglia di 30 *A. brevis* per trappola è stata superiore al 50% in oltre metà del campo, con un picco del 100% nel campo 70. Tale probabilità di rischio diventa progressivamente minore proseguendo verso ovest, raggiungendo un valore compreso tra lo 0 e il 10% nel campo 60 (All. 14).

In questo campo per il terzo anno di seguito le altre due specie non hanno superato le soglie di rischio ipotetico, avvalorando la strategia che si era suggerita alla fine del primo anno, ovvero di ridurre i trattamenti geodisinfestanti.

Nel Campo B la soglia ipotetica di rischio di *A. brevis* è stata oltrepassata praticamente ovunque, infatti, in gran parte della superficie considerata si arriva al 100% di probabilità. Solamente nel campo 21, 25 e a ovest del macero, sono presenti trappole dove la probabilità scende considerevolmente (All. 30).

La mappa relativa alla popolazione di *A. sordidus* mette ancora più in risalto le catture che si sono avute nelle trappole periferiche dell'appezzamento. Infatti, i punti a nord e sud dei campi 16, 17, 18 e solo quelle a nord dei campi 22, 23, 24, 25 e 26, hanno avuto la massima probabilità di oltrepassare la soglia ipotetica di rischio. In tutto il resto dell'appezzamento il rischio rimane al di sotto del 40%. Questa è una conferma del fatto che le capezzagne sembrano avere un'influenza considerevole sulla distribuzione delle catture (All. 31).

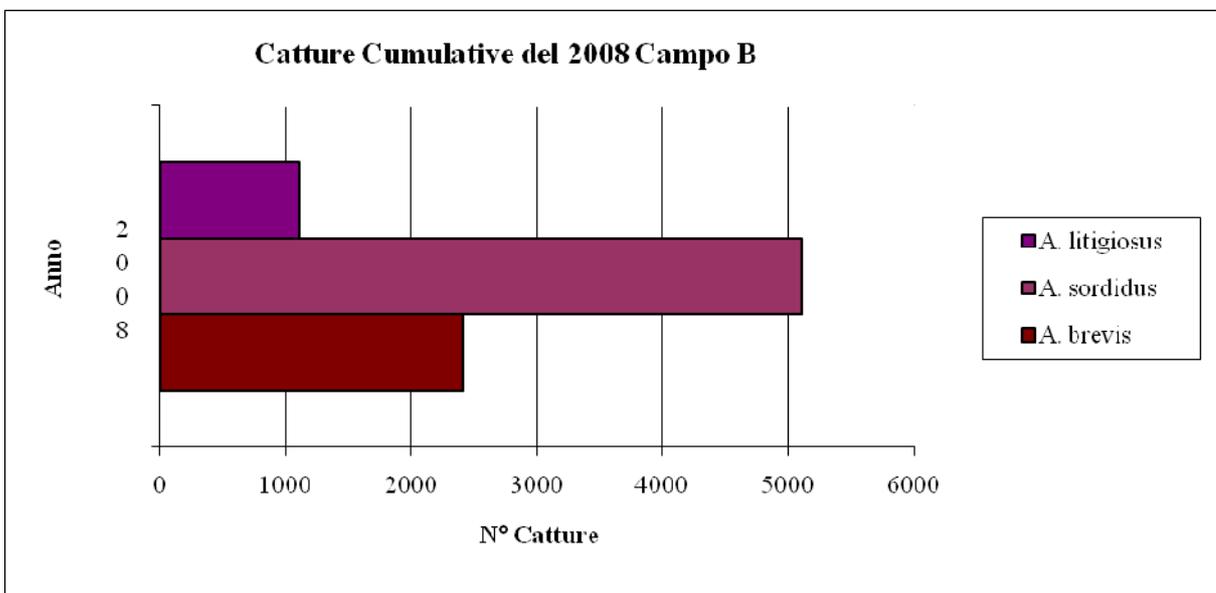
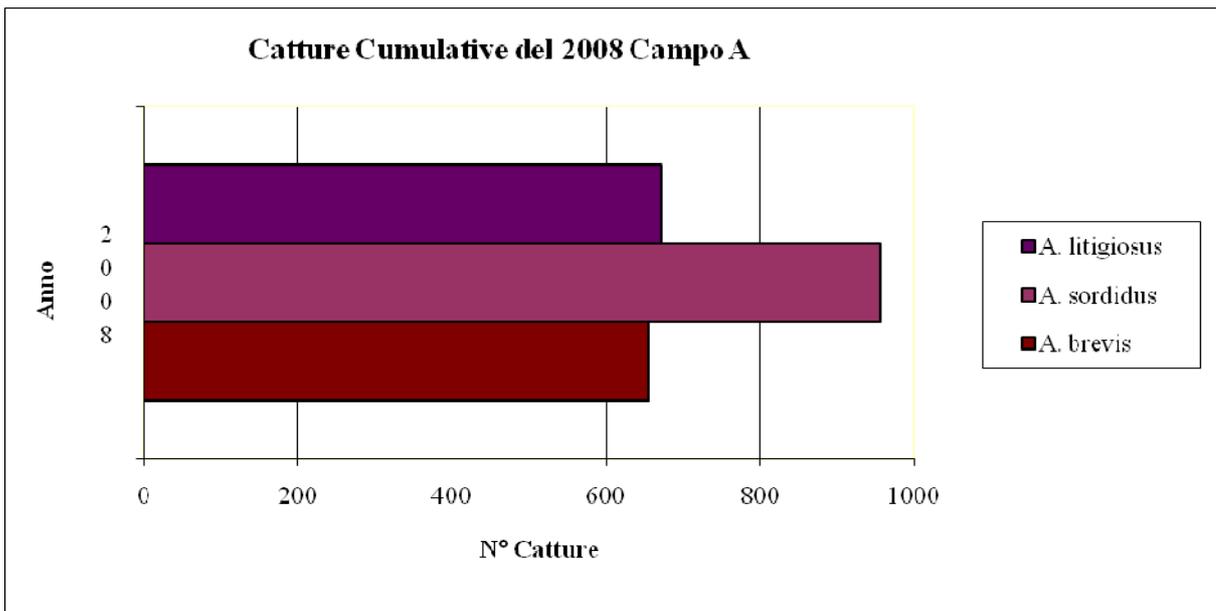
Le catture di *A. litigiosus*, infine, non hanno superato le soglie di cattura nel campo regolare, e questo fatto che dimostra come la strategia suggerita alla fine del primo anno di monitoraggio si sia dimostrata corretta.

Riassunto dati 2008

In questo ultimo anno di monitoraggio si è assistito ad un aumento delle catture di *A. brevis* in entrambi gli appezzamenti (650 nel campo A e 2400 nel campo B), che però sono rimaste sempre ad un livello di non pericolosità per le colture sperimentali.

Analoghe considerazioni si possono fare sulle catture di *A. sordidus*, la cui popolazione totale è aumentata in entrambi gli appezzamenti (950 e 5100 rispettivamente nei campi A e B). Anche in questo caso le infestazioni prevedibili per la stagione primaverile - estiva del 2009 non dovrebbero comportare danni significativi in quanto le catture rimangono al di sotto dei livelli ritenuti pericolosi per le colture. Relativamente ad alcune trappole dell'appezzamento irregolare va però segnalato il superamento di un'ipotetica soglia di attenzione. Tali soglie, molto cautelative, sono state pensate appositamente per le colture sperimentali alle quali i campi oggetto d'indagine sono destinati. Inoltre va notato che la maggior parte di queste catture provengono dalle trappole posizionate in campi esterni all'appezzamento di indagine, fatto registrato in tutti e tre gli anni di monitoraggio.

Per quanto riguarda *A. litigiosus*, infine, i risultati del monitoraggio dimostrano che la popolazione è aumentata solo nel campo B rispetto al 2007, ma ben al di sotto delle catture del 2006.

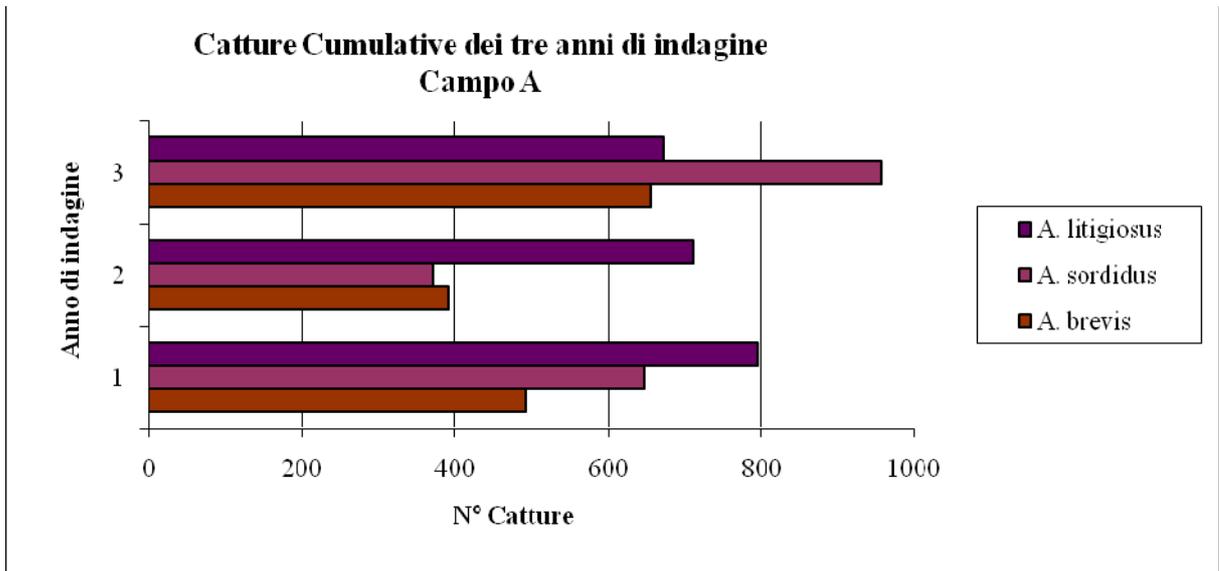


Riassunto dei tre anni di campionamento

Nel corso del triennio di monitoraggio si è osservato un progressivo aumento del numero di catture in entrambi gli appezzamenti, evento prevedibile in quanto dopo aver preso atto della ridotta popolazione di elateridi l'azienda Produttori Sementi ha ridotto l'impiego di geodisinfestanti.

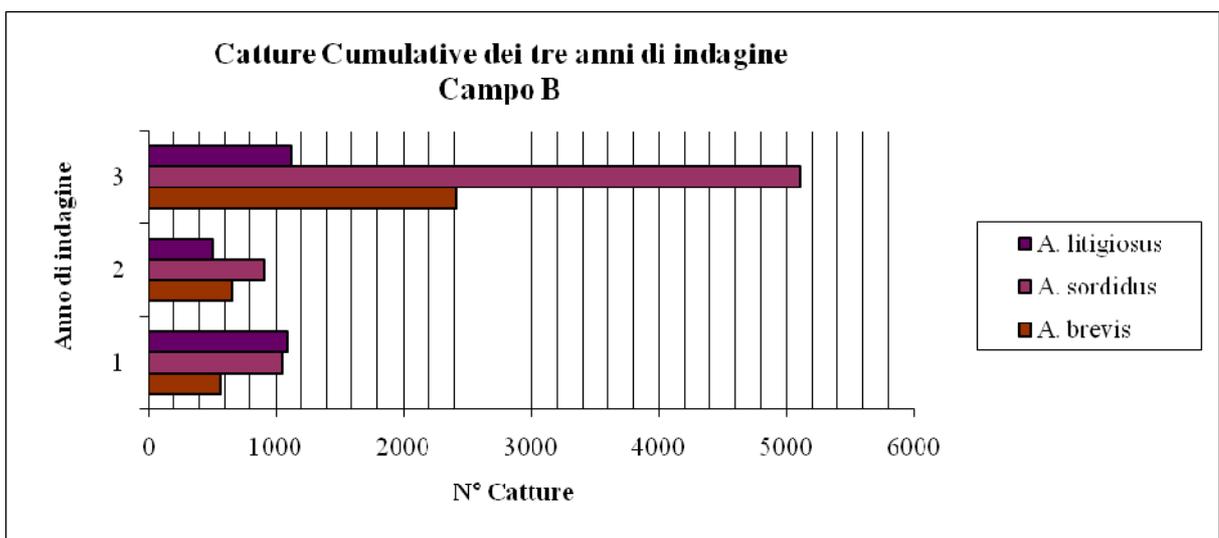
Analizzando nel dettaglio le dinamiche delle popolazioni nel campo A si osserva come l'intensità di cattura di *A. brevis* sia diminuita tra il primo e il secondo anno campionamento, per poi tornare a salire nel terzo anno. Stesso comportamento ha avuto la popolazione *A.sordidus* che però nel terzo anno è aumentata più intensamente. In controtendenza invece *A. litigiosus*, la cui catture sono diminuite ogni anno. Dal punto di vista della distribuzione delle catture invece si è osservata una preponderanza di catture di *A. brevis* e *A. litigiosus* in vicinanza lungo le zone umide ed incolte lungo il margine sud ed est del campo. Distribuzione differente hanno avuto le catture di *A. sordidus* in tutto il triennio: questa specie ha mostrato una netta preferenza per il lato nord del campo. Questo aspetto però andrebbe approfondito in quanto non è stato possibile definire se le catture più elevate in questo margine del campo

siano da imputare ad una migrazione degli adulti dai terreni confinanti, oppure da condizioni pedoclimatiche più favorevoli per questa specie.



Nel campo B le catture di *A. Brevis* sono aumentate progressivamente fino ad oltrepassare il livello d'attenzione che ci si era posti su quasi la totalità del campo. Le catture delle altre due specie invece sono diminuite tra il primo e il secondo anno per poi aumentare nel terzo. In particolare le catture di *A. sordidus* sono incrementate fortemente oltrepassando anche in questo caso la soglia d'attenzione in gran parte degli appezzamenti del campo. Come si è precedentemente sottolineato, va considerato che il livello di attenzione applicato nel caso studio è 10 volte più basso di quello comunemente adottato per le colture ordinarie in Emilia Romagna, infatti, se si fossero adottate le soglie abitudinali anche in questo anno si sarebbe raggiunto il livello di attenzione in nessuna delle trappole installate.

Dal punto di vista della posizione delle trappole che hanno manifestato ricorrentemente maggiori catture sono state quelle vicino al macero posto a ovest del campo. Questa fenomeno è stato registrato per tutte e tre le specie anche se nel primo anno non in maniera così evidente come negli anni seguenti.



In tabella 1 (nella sezione Allegati) sono riportati i dati delle mappe che sono risultati significativi alla cross-validation.

Caso Studio 2: monitoraggio su scala regionale

Catture del 2006

Dall'analisi interpretativa condotta sulle mappe, *D. virgifera virgifera* ha mostrato fin dal primo anno di monitoraggio, un elevato grado di aggregazione, associato a una popolazione concentrata in alcune zone della regione (All. 33). I dati mostrano come due province (Vicenza e Verona) siano caratterizzate di un elevato rischio di infestazione. In particolare in queste province vi sono dei *foci* con un elevato numero di catture; in particolare esistono 2 *hot spots* situati tra le due province, dove si sono avute le maggiori catture, in corrispondenza del tratto autostradale che collega i due capoluoghi di provincia. Nella provincia di Verona altre 2 zone lungo il confine regionale con l'Emilia Romagna hanno avuto un elevato numero di catture. Nella provincia di Vicenza un altro "*patch*" con elevate catture è situato a nord del capoluogo provinciale, ai confini con il padovano. Gran parte delle rimanenti catture sono state registrate nella zona nord della provincia di Padova e nei territori confinanti delle province di Treviso e Venezia. Un'ultima segnalazione è riferita ai *foci* individuati tra le province di Rovigo e Padova, nei pressi del tratto autostradale che va da Ferrara a Padova e a due situati a nord nella provincia di Venezia dove si sono registrate un ridotto numero di catture.

Il picco di cattura massimo è stato di 40 individui al giorno, valore registrato in corrispondenza del confine tra le province di Verona e Vicenza. Dall'osservazione della mappa si osserva come in gran parte della regione i picchi di cattura siano stati molto bassi. Solo in alcune zone limitate delle province di Vicenza e Verona (All. 34) si sono registrati dei picchi di cattura significativamente elevati, a dimostrazione del fatto che qui vi è la maggior infestazione dell'insetto, situazione che si desume anche dal confronto tra la mappa ottenuta utilizzando il dato delle catture totali e quelle ottenute con il picco di cattura.

Attraverso una serie di riduzioni del dataset si è provveduto alla ricerca di un'ottimizzazione della rete di monitoraggio allo scopo di ridurre le spese relative al costo delle trappole e alla relativa gestione. Per fare ciò, si è provveduto alla creazione di dataset ridotti ottenuti estraendo in maniera random i punti trappola dai dati originali e creando delle mappe di distribuzione con i dati estratti. Tale procedura è stata ottenuta mediante l'utilizzo di una funzione del programma chiamata "*Creation of a subset*" che permette di creare in maniera progressiva nuovi dataset ridotti a partire da uno più generale. (vedi flow chart)

Successivamente alla validazione di ogni singola mappa si è provveduto al confronto diretto delle mappe risultanti con quelle ottenute con il dataset originale verificando la coincidenza dell'estensione e dell'intensità di infestazione.

Dal confronto tra le varie estrazioni si è arrivati alla conclusione che con una riduzione del 25% delle trappole era possibile mantenere un elevato grado di precisione della mappa (All. 35). Si è provato a fare una riduzione fino al 50% del dataset originale e si è osservato che era ancora possibile avere una buona stima della popolazione (All. 36). Questo ha suggerito che riducendo del 50% il numero di punti, ma rendendo più omogenea la rete era possibile ottenere un'ottima griglia di monitoraggio.

Utilizzando l'*Indicator Kriging* si crea una mappa estremamente sensibile alla presenza del fitofago, infatti, utilizzando una soglia di cattura pari a 0 è stata possibile l'elaborazione della mappa relativa alla probabilità di presenza dell'insetto (All. 38). Dall'osservazione di questa mappa si osserva come gran parte del territorio vicentino sia soggetto ad un'elevatissima probabilità di rinvenimento di *D. virgifera virgifera*. Anche nel veronese sono presenti diverse aree in cui la probabilità di cattura è elevata, soprattutto lungo il confine con l'Emilia Romagna. Altri 2 punti ad elevata probabilità di cattura sono nella provincia di Venezia e più precisamente uno, più grande, nei pressi del confine con Treviso e Padova, l'altro, più piccolo ai confini con il Trentino. Da notare come questo

potente mezzo di indagine ha messo in risalto tutte quelle zone dove con l'*Ordinary Kriging* non è stato possibile mettere in evidenza le catture poco numerose. Infatti, grazie a questa tecnica di interpolazione, si sono osservate diffuse chiazze relative ad una bassa probabilità di cattura in un'ampia porzione della provincia di Padova e anche in provincia di Treviso.

Catture del 2007

Fin dalle prime analisi dei dati di questo secondo anno di analisi si osservato un aumento del numero di catture, associato ad aumento delle superfici interessate dalla presenza di Diabrotica. Dall'analisi effettuata utilizzando come dato la media delle catture per ogni singolo quadrante è risultato evidente che le due province maggiormente interessate dagli attacchi del fitofago siano continuate ad essere le province di Verona e Vivenza, con le zone a maggior densità di cattura situate lungo il tratto autostradale che collega le due province. Nella provincia di Vicenza si sono distinti altri punti di cattura sempre lungo il tratto autostradale e in particolare intorno al capoluogo. La provincia di Verona comprende le trappole che hanno catturato maggiormente, nei pressi dell'autostrada del Brennero al confine con l'Emilia Romagna. Nel nord del padovano e alla stessa latitudine nella provincia di Venezia si sono osservate delle macchie di infestazione relativamente elevate. Le altre province in cui si sono avute delle catture rilevabili sono la provincia di Venezia al confine con la regione Friuli, e il trevigiano nelle zone limitrofe con le province di Belluno e Vicenza. Ripetendo la stessa elaborazione, ma utilizzando i dati di ogni singola trappola, si osserva come le zone a maggior infestazione rimangono le stesse, ma aumenta la sensibilità della mappa e di conseguenza aumentano i valori assoluti delle catture e si intensificano le aree soggette all'attacco di Diabrotica (All. 39).

Osservando la mappa ottenuta utilizzando i picchi di cattura si vede come i valori massimi siano identici a quelli ottenuti nel 2006 (All. 34), ma le aree interessate si sono ridotte evidenziando una diminuzione delle zone soggette a forte pressione. In dettaglio le zone con le maggiori catture giornaliere sono state nelle province di Vivenza e di Verona, in particolare in vicinanza del lago di Garda (All. 40).

Utilizzando l'*Indicator Kriging* per ottenere una mappa di probabilità di cattura al calcolate con le catture medie per quadrante si è osservato come il territorio vicentino sia interessato dalla presenza dell'insetto in tutta la sua estensione. Nel veronese, il territorio con la maggior probabilità di cattura è quello ai confini con l'Emilia Romagna. Si sono osservate inoltre diverse località con una ridotta probabilità di cattura, ma estremamente diffuse in tutto il territorio Veneto che non erano state rilevate con l'utilizzo dell'*Ordinary Kriging*. Queste zone sono situate in gran parte nella provincia di Venezia, nel trevigiano e con valori ridotti nella provincia di Rovigo.

Utilizzando i dati relativi alle catture di ogni trappola (interpolazione ottenuta con i dati delle singole trappole) si osserva che l'estensione delle aree è più ridotta, ma la distribuzione ricalca perfettamente quella che si è ottenuta utilizzando i dati relativi alla media per quadrante (All. 41).

Catture del 2008

In questo ultimo anno il trend di crescita delle catture e dell'estensione delle aree interessate dall'infestazione è aumentato ulteriormente (All. 42). La provincia di Vicenza si è riconfermata come quella caratterizzata dalle zone a maggior rischio di infestazione. Il *focus* che si era riscontrato negli anni precedenti lungo il tratto autostradale tra le due province si è ingrandito e al centro di esso ci sono state le maggiori catture registrate in tutto il corso della sperimentazione (930 individui nell'arco di tutta la stagione).

Un'osservazione di rilievo è come le catture massime registrate tra le due province in questione seguano in maniera quasi perfetta l'andamento del tratto autostradale che le collega. Questo fenomeno di intensificazione di catture si è registrato anche lungo l'autostrada del Brennero sul confine tra Emilia Romagna e Veneto.

Nel trevigiano le catture si sono intensificate rispetto agli anni precedenti andando ad interessare metà del territorio provinciale. Le catture sono state estremamente diffuse, anche se numericamente ridotte. Situazione simile si è registrata in provincia di Venezia dove, dal *focus* registrato negli anni precedenti nei pressi del confine con il padovano, le catture si sono estese fino alla costa.

Rispetto alle altre province, nel padovano è avvenuta una diffusione insolita delle catture. Negli anni precedenti le catture che si registravano erano in prevalenza nel territorio nord della provincia, mentre nel 2008 le catture si sono estese a tutto il territorio provinciale con un focus intenso situato nel sud-est della provincia. Situazione probabilmente favorita monosuccessione spinta.

Dalla mappa ottenuta mediante l'elaborazione del picco delle catture si osserva come il valore massimo si sia ridotto, ma le aree con picchi di cattura significativi si siano estesi nelle province di Verona e Vicenza, dove già si erano registrati dei picchi negli anni precedenti, e nella provincia di Padova dove le catture sono aumentate (All. 44)

Nella provincia di Rovigo infine non si registrano variazioni di rilievo rispetto agli anni precedenti.

Dall'osservazione della mappa ottenuta con l'*Indicator Kriging* si desume come la Diabrotica si sia insediata in tutto il territorio delle province di Vicenza, Verona e Padova. Da sottolineare come nelle province di Venezia Treviso e Rovigo le aree soggette al rischio di cattura si siano estese in gran parte del territorio.

Riassunto dei tre anni di indagine

Nel corso dei tre anni di indagine si è osservata l'espansione della popolazione di Diabrotica in tutto il territorio del Veneto. Le catture preponderanti nel primo anno erano situate nei pressi del confine tra la provincia di Verona e Vicenza, con 2 centri di cattura molto intensi lungo il tratto autostradale che collega le due province. Nel secondo anno di monitoraggio le aree infestate sono rimaste le stesse con un aumento delle catture nei punti maggiormente infestati già nell'anno precedente. Nell'ultimo anno di indagine l'espansione di Diabrotica ha raggiunto quasi la totalità dell'estensione della provincia di Verona e Vicenza, inoltre nelle province di Padova e Venezia si sono sviluppati nuovi punti di cattura con una notevole intensità di cattura. Da notare inoltre come i picchi di cattura siano diminuiti come intensità, ma al contempo si sono estesi su grandi porzioni del territorio. Questo un chiaro indice di come Diabrotica si insediando in maniera sempre più evidente sul territorio del Veneto.

In tabella 2 (nella sezione Allegati) sono riportati i dati delle mappe che sono risultati significativi alla cross-validation.

Cap. 7 - CONCLUSIONI

Caso studio 1:

L'azienda dove è stata condotta la ricerca conduce sperimentazioni facendo confronti varietali per la selezione di nuove varietà di frumento. Prima dell'inizio della collaborazione venivano condotte geodisinfestazioni regolari senza conoscere l'entità della popolazione di Elateridi in virtù della particolare attività condotta dall'azienda. Infatti, in questo contesto, danni minimi alle varietà in sperimentazione, possono rendere poco significativa la sperimentazione.

Nel 2006 i dati relativi ad entrambi gli appezzamenti monitorati hanno rivelato che le popolazioni delle tre specie erano piuttosto ridotte, con catture che complessivamente non hanno superato che poche migliaia di adulti, rimanendo abbondantemente al di sotto delle soglie di intervento normalmente utilizzate in Emilia-Romagna. Le mappe elaborate mediante IDW e *Ordinary Kriging* hanno permesso di interpretare la distribuzione spaziale delle catture mettendo in evidenza una chiara influenza delle zone umide in alcuni lati degli appezzamenti, sulle popolazioni.

Allo scopo di stabilire la reale necessità di trattamenti geodisinfestanti sono state elaborate delle mappe di probabilità ottenute mediante *Indicator Kriging*. Sono state impiegate soglie estremamente cautelative, 10 volte inferiori rispetto a quelle normalmente applicate in aziende a conduzione ordinaria.

Sulla base delle mappe di distribuzione e di probabilità l'azienda ha ridotto i trattamenti geodisinfestanti ed evitato la coltivazione di colture suscettibili agli attacchi dove la popolazione di elateridi era più elevata.

Nel 2007 le catture hanno confermato le previsioni del 2006: l'azienda non ha effettuato trattamenti e la popolazione non è incrementata in maniera significativa. Sono state nuovamente elaborate mappe di densità e di probabilità, che hanno dimostrato ancora l'assenza della necessità di geodisinfestazioni.

Nell'ultimo anno di monitoraggio si è assistito ad un aumento delle catture di *A. brevis* in entrambi gli appezzamenti, che sono comunque rimaste sempre ad un livello inferiore alla soglia di rischio suggerite per le colture sperimentali. Analoghe considerazioni si possono fare sulle catture di *A. sordidus*, la cui popolazione totale è aumentata in entrambi gli appezzamenti. Anche in questo caso le infestazioni prevedibili per la stagione primaverile - estiva del 2009 non dovrebbero comportare danni significativi in quanto le catture sono rimaste al di sotto dei livelli ritenuti pericolosi per le colture. Relativamente ad alcune trappole dell'appezzamento irregolare va però segnalato il superamento dell'ipotetica soglia di attenzione, fissata a 100 individui catturati all'anno. Tale soglia, molto cautelativa, è pensata appositamente per le colture sperimentali alle quali i campi oggetto d'indagine sono destinati. Inoltre va notato che la maggior parte di queste catture provengono dalle trappole posizionate in campi esterni all'appezzamento di indagine, fatto registrato in tutti e tre gli anni di monitoraggio.

Attraverso questo approccio è stato possibile seguire le dinamiche di popolazioni delle tre specie monitorate segnalando e interpretando possibili fattori predisponenti le fluttuazioni di popolazione. Mediante *Indicator Kriging* sono state elaborate mappe che hanno suggerito la non necessità di trattare in maniera sistematica. Sulla base delle elaborazioni è stato pianificato un programma di geodisinfestazione quadriennale riducendo l'utilizzo di trattamenti inutili e dannosi, coadiuvato da corretta rotazione delle colture.

Tali tecniche, in definitiva, si sono dimostrate un valido aiuto per condurre scelte agronomiche e valutarne gli effetti a breve e medio termine.

Caso studio 2:

Alla fine del 2006 i tecnici del Servizio Fitosanitario Regionale del Veneto hanno proposto una collaborazione per ottimizzare il monitoraggio su scala regionale di Diabrotica. I tecnici avevano collocato oltre 1300 trappole su gran parte del territorio regionale e distribuite secondo una filosofia di "statificazione", con una concentrazione maggiore nelle aree già soggette a maggiore rischio di infestazione. Da sottolineare erò come questa pianificazione

dei punti di monitoraggio fosse stata condotta in maniera molto empirica. I dati di cattura di questo caso studio sono stati elaborati allo scopo di studiare la distribuzione del fitofago e le zone soggette a maggior rischio di infestazione.

L'analisi dei dati ha mostrata che la popolazione di *Diabrotica* è risultata estremamente aggregata su scala regionale. L'analisi dei dati ha mostrato come due province (Vicenza e Verona) fossero caratterizzate da un maggiore rischio di infestazione rispetto ad altre. Allo scopo di monitorare il rischio di diffusione del fitofago sono state elaborate mappe di probabilità mediante *Indicator Kriging* che descrivessero le aree a maggior rischio di infestazione. Queste hanno messo in evidenza come Vicenza, e in modo maniera più ridotta Verona, fossero le province soggette a maggior rischio. Nel Padovano e Trevigiano si sono osservati dei pattern spaziali disformi e caratterizzati da una probabilità di cattura ridotta, mentre le province di Rovigo e Belluno sono risultate soggette ad una probabilità di cattura estremamente ridotta.

Allo scopo di ridurre il numero di trappole mantenendo al contempo un'efficienza della rete di monitoraggio sono state eseguite simulazioni riducendo progressivamente i data-set. In base alle simulazioni è stata progettata una rete di campionamento più regolare, impostando una griglia di raccolta dati, tramite l'applicazione di un reticolo regolare con una maglia di 5 km, all'interno della quale sono state posizionate 2 trappole, nelle zone ad basso rischio di infestazione o 4 trappole, nelle zone ad alto rischio di infestazione. Sono state installate complessivamente poco più di 900 trappole i cui dati sono stati elaborati per analizzare l'evoluzione della distribuzione del fitofago.

Le province di Vicenza e Verona sono quelle in cui la probabilità di cattura è aumentata in modo più evidente, sia in termini percentuali, sia come superficie interessata all'espandersi del fitofago. Nelle province di Treviso e di Padova il pattern di distribuzione è risultato ancora disarticolato, e si è rilevata una nuova chiazza nel territorio a nord-ovest del Trevigiano. Nella zona a sud del Padovano si è osservata una riduzione delle superfici che nel 2006 avevano una bassa probabilità di cattura. In termini percentuali, in queste due province non si sono rilevati incrementi delle probabilità di cattura. In provincia di Venezia le due chiazze osservate nel 2006 si sono estese fin quasi a congiungersi e la probabilità di cattura è aumentata nei due foci individuati l'anno precedente. A ridotta probabilità di cattura sono rimaste le province di Belluno e Rovigo, anche se in questo anno sono state individuate 2 chiazze in estensione in quest'ultima provincia.

Dalla mappa sviluppata sui dati ottenuti nel 2008 si evince che *D. virgifera virgifera* si è insediata praticamente in tutto il Veneto. La probabilità di cattura nelle province di Vicenza e Verona è risultata essere del 100% in quasi tutto il territorio monitorato. In controtendenza rispetto ai risultati degli anni precedenti, nelle province di Padova e Treviso la probabilità di cattura è aumentata considerevolmente, anche nelle aree dove si era registrata una diminuzione. Questo trend si è osservato anche nella provincia di Rovigo dove le chiazze individuate nel 2007 si sono espanse. Nella provincia di Venezia, le aree di espansione individuate nel 2007 si sono estese in maniera ridotta, ma si è intensificata considerevolmente la probabilità di cattura.

Sarebbe interessante verificare se il tasso di espansione di *Diabrotica* sia legato alla percentuale di monouccisione del mais. In questo caso potrebbe essere possibile modellizzare l'andamento del rischio di infestazione, o l'entità delle popolazioni stesse, con un modello matematico, che potrebbe essere anche interfacciato a un approccio spaziale.

L'utilizzo della geostatistica ha permesso di rendere evidente la dinamica di diffusione di *Diabrotica* sul territorio della regione Veneto. La riduzione del numero di stazioni di campionamento, contemporaneamente alla razionalizzazione della griglia di trappole, ha permesso un calo dei costi garantendo al contempo un'ottima qualità del monitoraggio.

L'indagine svolta ha dimostrato l'utilità della geostatistica applicata al monitoraggio di un insetto come la *Diabrotica* su scala regionale (Veneto), rendendo chiara la dinamica di

diffusione del fitofago sul territorio coltivato a mais. La riduzione del numero di stazioni di campionamento, contemporaneamente alla razionalizzazione della griglia, ha permesso un calo dei costi del monitoraggio garantendo un'ottima qualità del monitoraggio.

Uno dei possibili sviluppi di questa ricerca potrebbe essere l'integrazione di modelli di simulazione, allo scopo di riuscire a creare mappe predittive che tengano conto dei vari fattori (es. clima, rotazioni, monosuccessioni) che incidono sullo sviluppo e sulle dinamiche spazio-temporali di un insetto di importanza economica come la Diabrotica.

Bibliografia

Alexander, N. D., Moyeed, R. A., Hyun, P. J., Dimber, Z. B., Bockarie, M. J., Stander, J., Grenfell, B. T., Kazura, J. W. & Alpers, M. P. (2003). Spatial variation of *Anopheles*-transmitted *Wuchereria bancrofti* and *Plasmodium falciparum* infection densities in Papua New Guinea. *Filaria Journal* **2**, 1-4.

Bača, F. (1993). New member of the harmful entomofauna of Yugoslavia *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *IWGO News Letter* **13** (1-2), 21-22.

Barčić-Igrc, J., Bobrinčić, R., Maceljki, M. (2000). New development of WCR in Croatia. *IWGO Newsletter* **21** (1-2), 14-15.

Basso, B., Sartori, L. & M., B. (2005). *Agricoltura di Precisione*. Verona: Edizioni L'Informatore Agrario Spa.

Bertossa, M., Derron, J., Colombi, L., Brunetti, R. (2001). Update of monitoring data of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte in Switzerland in 2001. *XXI IWGO Conference, VIII Diabrotica subgroup Meeting proceedings book*, 169-173

Beckler, A. A., French, B. W. e Chandler, L.D. (2004). Characterization of western corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) population dynamics in relation to landscape attributes. *Agricultural and Forest Entomology* **6**, 129-139.

Bianchi, F. J. J. A. & van der Werf, W. (2004). Model evaluation of the function of prey in non-crop habitats for biological control by ladybeetles in agricultural landscapes. *Ecological Modelling* **171**, 177–193.

Bi, S., Zou, Y., Geng, J., Wang, G., Chen, G. & Meng, Q. (2000). Geostatistical analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Propylaca japonica*. *The journal of applied ecology* **11**, 421-424.

Blackshaw, R. P., Vernon, R. S. (2006). Spatiotemporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology* **43** (4), 680-689.

Blom, P. E., Fleischer, S. J. & Smilowitz, Z. (2002). Spatial and Temporal Dynamics of Colorado Potato Beetle (*Coleoptera: Chrysomelidae*) in Fields with Perimeter and Spatially Targeted Insecticides. *Environmental Entomology* **31** (1), 149-159.

Brenner, R.J. (1997). Spatial analysis in precision targeting for integrated pest management: concepts and processes. *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emission Reductions*. 50-1-50-2.

Burgio G, Ferrari R, Ragolini G, Petacchi R, Pozzati M et al. (2005). Spatial analysis of *Agriotes sordidus* and *Agriotes litigiosus* (*Coleoptera Elateridae*) through geostatistical analysis and GIS: first results from a survey carried out in Emilia Romagna. *Informatore Fitopatologico* **55**, 45-50.

Burrough, P.A. & Swindell, J.(1997). Optimal mapping of site-specific multivariate soil properties. *Ciba Foundation symposium* **210**, 208-219; discussion 219-220.

Byrne, D.N., Rathman, R.J., Orum, T.V., Palumbo, J.C. (1996). Localized migration and dispersal by the sweet potato whitefly. *Oecologia* **105** (33), 320-328.

Boriani, M. e Gervasini E. (2000). Western corn rootworm has arrived in Lombardia. *L'Informatore Agrario*

Cannon, R. J. C., Matthews, L., Cheek, S., Baker, R. H. A., MacLeod, A., Bartlett, P. W. (2005). Surveying and monitoring western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in England and Wales. *Proceedings of a BCPC Symposium Berlin, June 2005*.

Cate, P. C. (2002). The conformation of WCR (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) in Austria: occurrence, expansion and future prospects. *IWGO Newsletter* **22** (2), 18-19.

Carbajo, A. E., Curto, S. I. & Schweigmann, N. J. (2006). Spatial distribution pattern of oviposition in the mosquito *Aedes aegypti* in relation to urbanization in Buenos Aires: southern fringe bionomics of an introduced vector. *Medical and veterinary entomology* **20**, 209-218.

Chiang, H. C. (1973). Bionomics of the Northern and Western Corn Rootworms. *Annual Review of Entomology* **18**, 47-72.

Cressie, N. (1991). *Statistics for Spatial Data*. New York: Wiley.

Curto, G; Marani, A; Salotti, C; Vitali, C., (1999). Indagine sugli elateridi in coltura di pomodoro da industria in Emilia-Romagna. *Informatore Fitopatologico* **49** (3), 59-64.

Dalthorp, D., Nyrop, J. & Villani, M. G. (2000). Spatial ecology of the Japanese beetle, *Popillia japonica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **96**, 119-129.

Ellsbury, M. M., Woodson, W. D., Clay, S. A., Malo, D., Schumacher, J., Clay, D. E. & Carlson, C. G. (1998). Geostatistical characterization of the spatial distribution of adult corn rootworm (*Coleoptera: Chrysomelidae*) emergence. *Environmental Entomology* **27**, 910-917.

Estrada-Pena, A. (1998). Geostatistics and remote sensing as predictive tools of tick distribution: a cokriging system to estimate *Ixodes scapularis* (*Acari: Ixodidae*) habitat suitability in the United States and Canada from advanced very high resolution radiometer satellite imagery. *Journal of medical entomology* **35**, 989-995.

Estrada-Pena, A. (1999)a. Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for *Boophilus microplus* (*Acari: Ixodidae*) in South America. National Oceanographic and Atmosphere Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer. *Veterinary parasitology* **81**, 73-82.

Estrada-Pena, A. (1999)b. Geostatistics as predictive tools to estimate *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the western Palearctic from AVHRR satellite imagery. *Experimental & Applied Acarology* **23**, 337–349.

EPPO (1998). Report at IWGO/EPPO meeting on *Diabrotica virgifera*, Rogaska Slatina, SI, 1998-11-27/28 98/198. [Http://www.eppo.org](http://www.eppo.org)

EPPO (2003). The situation of *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae) in Europe was reviewed during the 7th Meeting of the EPPO ad hoc Panel on *D. virgifera* held jointly with the 9th International IWGO Workshop on *D. virgifera* in Belgrade, 2002-11-03/05. EPPO Reporting Service (2003/001).

Farias, P. R. S., Roberto, S. R., Lopes, J. R. S., Perecin, D. (2004) Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. *Neotropical Entomology* **33** (1).

Ferguson, A. W., Williams, I. H., Klukowski, Z., Walczak, B. & Perry, J. N. (1999). Spatial population dynamics of a pest and its parasitoid in an oilseed rape crop. *Aspects of Applied Biology* **53**, 143-148.

Ferguson, A. W., Klukowski, Z., Walczak, B., Perry, J. N., Muggleston, M. A., Clark, S. J. & Williams, I. H. (2000). The spatio-temporal distribution of adult *Ceutorhynchus assimilis* in a crop of winter oilseed rape in relation to the distribution of their larvae and that of the parasitoid *Trichomalus perfectus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **95**, 161-171.

Fleischer, S. J., Blom, P. E. & Weisz, R. (1999). Sampling in Precision IPM: When the Objective Is a Map. *Phytopathology* **89**, 1112-1118.

Furlan, L. (1989). Analisi delle possibilita` di riduzione dell'impiego di geosidisinfestanti nella coltura del mais nel Veneto. *L'Informatore Agrario* **17**, 107–115.

Furlan, L. (1990)a. Analisi delle possibilita di riduzione dell'impiego dei geosidisinfestanti nella bietola da zucchero. *Informatore Agrario* **46** (5), 73-80.

Furlan, L. (1990)b. Geosidisinfestazione del mais: spesso inutile o controproducente. *Informatore Agrario* **46** (6), 47-48.

Furlan, L. (1997). *Diabrotica virgifera virgifera* a serious threat for maize cultivation in Italy. *Informatore-Fitopatologico* **47** (7/8), 7-10

Furlan, L. (2004). The biology of *Agriotes sordidus* Illiger (Col., Elateridae). *Journal of Applied Entomology* **128** (9-10), 696 - 706.

Furlan, L. e Burgio, G. (1999). Spatial distribuion and sampling of *Agriotes ustulatus*, Schaller , *A. brevis* Cd *A. Sordidus* Illiger (Col. Elateridae) in northern Italy. *Bollettino dell'Istituto di Entomologia "Guido Grandi" della Università Degli Studi di Bologna* **53**, 29-38.

Furlan, L., Di Bernardo, A., Boriani, M. (2002). Proteggere il seme di mais solo quando serve. *L'Informatore Agrario* **8**, 131-140.

Furlan, L., Di Bernardo, A., Vettorazzo, M., Boriani, M., Gervasini, E., Michelatti, G., Caielli, G., Ortez, A., Frausin, C., Bariselli, M. (2001). The presence of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte in Italy in 2001: distribution, population levels and what has to be done. *IWGO Newsletter* **22**, 12–13.

Furlan, L., Curto, G., Ferrari, R., Boriani, L., Bourlot, G., Turchi, A. (2000). Le specie di elateridi dannose alle colture agrarie nella Pianura Padana [Italia]. *Informatore Fitopatologico* **50** (5), 53-59.

Furlan, L., Garofalo, N., Tóth, M. (2004). Biologia comparata di *Agriotes sordidus* Illiger nel nord e centro-sud d'Italia. *Informatore Fitopatologico* **10**, 49–54.

Furlan, L., Tóth, M., Yatsinin, V., Ujvary, I. (2001). The project to implement IPM strategies against *Agriotes* species in Europe: what has been done and what is still to be done. In: Proceedings of XXI IWGO Conference, Legnaro Italia, 27 Ottobre–3 Novembre 2001, Legnaro (PD): Veneto Agricoltura, 253–262

Furlan, L., Vettorazzo, M., Frausin, C. (1999). *Diabrotica virgifera virgifera*, a problem not to be exploited. *Informatore-Agrario* **55** (24), 75-79

Furlan, L., Vettorazzo, M., Ortez, A., Frausin, C. (1998). Western corn rootworm has already arrived in Italy. *Informatore Fitopatologico* **12**, 43–44.

Ge, S.-K., Carruthers, R. I., Ma, Z.-F., Zhang, G.-X., Li, D.-M. (2005). Spatial heterogeneity and population risk analysis of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in China. *Insect Science* **12** 255-262.

Gilbert, M., Gregoire, J.-C., Freise, J. F., Heitland, W. (2004). Long-distance dispersal and human population density allow the prediction of invasive patterns in the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*. *Journal of Animal Ecology* **73**, 459-468.

Gilbert, M., Svatos, A., Lehmann, M., Bacher, S. (2003). Spatial patterns and infestation processes in the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: a tale of two cities. *The Netherlands Entomological Society Entomologia Experimentalis et Applicata* **107**, 25–37.

Gray, M. E. (1995). Areawide pest management for corn rootworms: fantasy or realistic expectations? In *Ill Agric Pesticides Conf, Ill Coop Ext Serv*, pp. 101-106. Urbana-Champaign.

Gribko, L. S., Liebhold, A. M., Hohn, M. E. (1995). Model to predict Gypsy Moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) defoliation using kriging and logistic regression. *Environmental Entomology* **24** (3), 529-537.

Hohn, M. E., Liebhold, A. M., Gribko, L. S. (1993). Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*). *Environmental entomology* **22**, 1066-1075.

- Holland, J. M., Perry, J. N. & Winder, L. (1999).** The within-field spatial and temporal distribution of arthropods in winter wheat. *Bulletin of Entomological Research* **89**, 499-513.
- Holland, J. M., Winder, L., Perry, J. N. (2000).** The impact of dimethoate on the spatial distribution of beneficial arthropods in winter wheat. *Annals of Applied Biology* **136**, 93-105.
- Hrcic, S. (1999).** First report of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte (Coleoptera, Chrysomelidae) in Montenegro [Yugoslavia]. *Biljni lekar* **27** (1), 26-28.
- Isaaks, E. H. e Srivastava, R. M. (1989).** *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- Ivanova, I. (2000).** Monitoring of *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte in Bulgaria in 2000. *IWGO Newsletter, 2000*.
- Journel, A. G. e Huijbregts, C. J. (1978).** *Mining geostatistics*. New York: Academic Press.
- Korie, S., Perry, J. N., Mugglestone, M. A., Clark, S. J., Thomas, C. F. G., Mohamad Roff, M. N. (2000).** Spatio-Temporal Associations in Beetle and Virus Count Data. *Journal of Agricultural, Biological & Environmental Statistics* **5**, 214-239
- Kruijer, W. (2004).** A spatial analysis of Desert Locust counts using model-based geostatistics. *Manuscript*.
- Liebhold, A. M. (1994).** Gypsy moth egg mass sampling for decision-making: a user's guide. *United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service*
- Liebhold, A. M. e Barret, H. R. (1992).** Proceedings: Spatial analysis and forest pest management. *Proceedings: Spatial analysis and forest pest management; 1992 April 27-30; Mountain Lakes, VA*.
- Liebhold, A. M. e Gurevitch J. (2002).** Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. *Ecography* **25** (5), 553-557.
- Liebhold, A. M., Luzader, E., Reardon, R., Bullard, A., Roberts, A., Ravlin, W., DeLost, S., Spears, B. (1996).** Use of a geographic information system to evaluate regional treatment effects in a gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) management program. *Journal of economic entomology* **89**, 1192-1203.
- Liebhold, A. M., Luzader, E., Reardon, R., Roberts, A., Ravlin, F. W., Sharov, A. A., Zhou, G. (1998).** Forecasting gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) defoliation with a geographical information system. *Journal of economic entomology* **91**, 464-472.
- Liebhold, A. M., Rossi, R. E., Kemp W. P. (1993).** Geostatistics and Geographic Information Systems in Applied Insect Ecology. *Annual Reviews in Entomology* **38**, 303-327.
- Matheron, G. (1965).** *Les Variables Régionalisées et leur estimation*. Paris: Masson et Cie.

Miller, N., Estoup, A., Toepfer, S., Bourguet D., Lapchin, L., Derridj, S., Kim K.S., Reynaud, P., Furlan, L., Guillemaud, T. (2005). Multiple Transatlantic Introductions of the Western Corn Rootworm. *Science* **310**, 992.

MINISTERO DEL LAVORO, DELLA SALUTE E DELLE POLITICHE SOCIALI (2008). Sospensione cautelativa dell'autorizzazione di impiego per la concia di sementi, dei prodotti fitosanitari contenenti le sostanze attive clothianidin, thiamethoxam, imidacloprid e fipronil, ai sensi dell'articolo 13, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 23 aprile 2001, n. 290. *Gazzetta Ufficiale* 221 del 20/09/08

Moeser, J. e Vidal, S. (2004). Do alternative host plants enhance the invasion of the maize pest *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae, Galerucinae) in Europe? *Environmental Entomology* **33**, 1169-1177.

Morin, R. S., Liebhold, A. M., Luzader, E. R., Lister, A. J., Gottschalk, K. W., Twardus, D. B. (2005). Mapping host-species abundance of three major exotic forest pests. *Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station*, 1-15.

Mulla, D. J. (1997). Geostatistics, remote sensing and precision farming. *Ciba Foundation symposium* **210**, 100-115; discussion 115-109, 134-140.

Nansen, C., Meikle, W. G., Korie, S. (2002). Spatial Analysis of *Prostephanus truncatus* (Bostrichidae: Coleoptera) Flight Activity Near Maize Stores and in Different Forest Types in southern Benin, West Africa. *Annals of the Entomological Society of America* **95**, 66-74.

NPPO of Germany (2007). Incursion of *Diabrotica virgifera virgifera* in Germany, 2007-09

Orum, T. V., Nadeem, A., Stowell, L. J., Nelson, M. R. (2001). Comparative Within Field Dispersal Patterns of Aphid and Whitefly Transmitted Viruses. *OnLine Journal of Biological Sciences* **1**, 9-12.

Park, Y. L. e Obrycki, J. J. (2004). Spatio-temporal distribution of corn leaf Aphids (Homoptera: Aphididae) and lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) in Iowa cornfields. *Biological Control* **31**, 210-217.

Park, Y. L. & Tollefson, J. J. (2005)a. Characterization of the spatial dispersion of corn root injury by corn rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of economic entomology* **98** (2), 378-383.

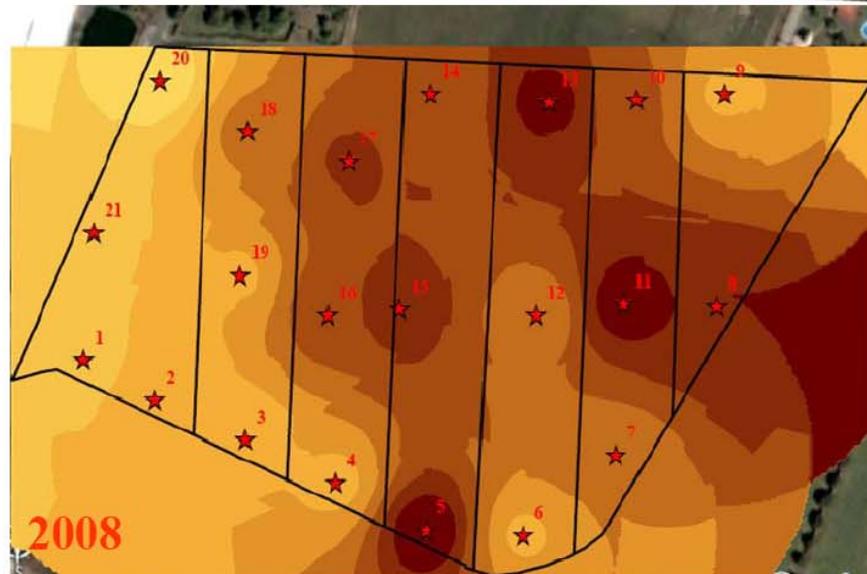
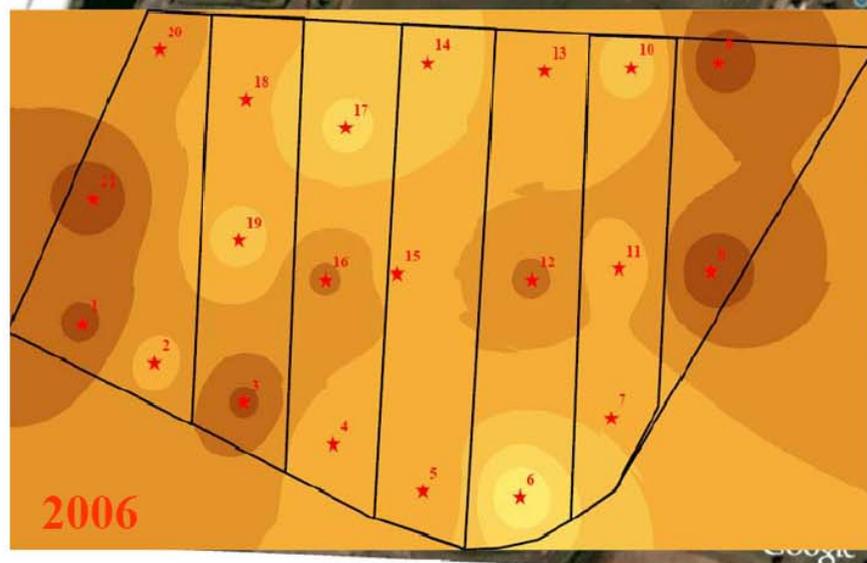
Park, Y. L. e Tollefson, J. J. (2005)b. Spatial prediction of corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adult emergence in Iowa cornfields. *Journal of economic entomology* **98**, 121-128.

Parker, W. E. e Howard, J. J. (2001). The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the U.K. *Agricultural and Forest Entomology* **3**, 85-98.

- Peltonen, M., Liebhold, A. M., Bjornstad, O. N. e Williams, D. W. (2002).** Spatial Synchrony in Forest Insect Outbreaks: Roles of Regional Stochasticity and Dispersal. *Ecology* **83**, 3120-3129.
- Perry, J. N. (1998).** Measures of spatial pattern and spatial association for counts of insects. *Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation* (eds J Baumgartner, P Brandmayr & BFJ Manly) Balkema, Rotterdam *Proceedings of the Ecology and Population Dynamics Section of the 20th Int Cong Ent, Florence, Italy, 25-31 August 1996*, 21-33.
- Pierce, F. J. e Sadler, E. J. (1997).** *The state of site-specific management for agriculture.* American Society of Agronomy. Madison, Wis.: Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Relethford, J. H. (2008).** Geostatistics and spatial analysis in biological anthropology. *American journal of physical anthropology* **136**, 1-10.
- Reynaud, P. (2002).** First occurrence of *Diabrotica virgifera virgifera* in France. *IWGO Newsletter*, 2002.
- Rossi R. E., Mulla D.J., Journel A. G., Franz E. H. (1992).** Geostatistical Tools for Modeling and Interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs* **62** (2), 277-314.
- Ruzicka, T. (2003).** Monitoring and first records of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte in Chech Republic. *IWGO Newsletter* **24** (1-2), 27.
- Sadlyak, A., M., Sikura, A. J., Yakovets, P., I., (2001).** Appearance of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte on a boundary of Ukraine. *XXI IWGO Conference, VIII Diabrotica subgroup Meeting proceedings book*, 175-177.
- Sahajdak A., Bereś K.P., Konefal, T. (2006).** *Diabrotica virgifera* Le Conte, a new threat to maize crops in Poland and measures taken against the pest. *Journal Plant Protection Res.* **46**, 157-161.
- Schell, S. P. (1994).** Spatial analysis of ecological factors related to grasshopper (*Orthoptera: Acrididae*) population dynamics in Wyoming. *Thesis Submitted to the Department of Plant, Soil and Insect Sciences and The Graduate School of the University of Wyoming in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in ENTOMOLOGY Laramie, Wyoming.*
- Sciarretta, A., Trematerra, P., Baumgärtner, J. (2001).** Geostatistical Analysis of *Cydia funebrana* (*Lepidoptera: Tortricidae*) Pheromone Trap Catches at Two Spatial Scales. *American Entomologist* **47**, 147-185.
- Sharov, A. A. e Liebhold, A. M. (1998).** Model of Slowing the Spread of Gypsy Moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) with a Barrier Zone. *Ecological Applications* **8**, 1170-1179.

- Sharov, A. A., Liebhold, A. M., Roberts, E. A. (1996).** Spatial variation among counts of gypsy moths (*Lepidoptera: Lymantriidae*) in pheromone-baited traps at expanding population fronts. *Environmental entomology* **25**, 1312-1320.
- Siviček, P. (2000).** Report on survey Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) in the Slovak Republic in 2000. *IWGO Newsletter* **21** (1-2), 37.
- Tobler, W. 2004.** On the First Law of Geography: A Reply. *Annals of the Association of American Geographers* **94** (2), 304-310.
- Toepfer, S., Ellsbury, M. M., Eschen, R., Kuhlmann, U. (2007).** Spatial clustering of *Diabrotica virgifera virgifera* and *Agriotes ustulatus* in small-scale maize fields without topographic relief drift. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **124**, 61-75.
- Trematerra, P., Paula, M. C. Z., Sciarretta, A., Lazzari, S. M. N. (2004).** Spatio-temporal analysis of insect pests infesting a paddy rice storage facility. *Neotropical Entomology* **33**, 469-479.
- Trematerra, P. e Sciarretta, A. (2004).** Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research* **40**, 363–377.
- Urek, G. e Modic, Š. (2004).** Occurrence of the western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) in Slovenia. *Acta agriculturae slovenica* **83** (1), 5.
- Vonica, I. (1996).** Monitoring for *Diabrotica virgifera* in Romania. *IWGO-Newsletter, 1996*
- Webster, R. & Oliver, M. A. (1990).** *Statistical Methods in Soil and Land Resources Survey*. Oxford: Oxford University Press.
- Winder, L., Alexander, C. J., Holland, J. M., Woolley, C., Perry, J. N. (2001).** Modelling the dynamic spatio-temporal response of predators to transient prey patches in the field. *Ecology Letters* **4**, 568-576.
- Winder, L., Perry, J. N., Holland, J. M. (1999).** The spatial and temporal distribution of the grain aphid *Sitobion avenae* in winter wheat. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **93**, 275-288.
- Woldewahid, G., van der Werf, W., van Huis, A., Stein, A. (2004).** Spatial distribution of populations of solitary adult desert locust (*Schistocerca gregaria* Forsk.) on the coastal plain of Sudan. *Agricultural and Forest Entomology* **6**, 181-191.
- Zhang, R., Zhou, Q., Chen, C. & Wang, S. (2003).** Application of ordinary Kriging method in entomologic ecology. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology / Zhongguo sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban* **14**, 90-92.
- Zhou, G. & Liebhold, A. M. (1995).** Forecasting Gypsy Moth Defoliation With a Geographical Information System. *Insect Science* **2**, 83-94.

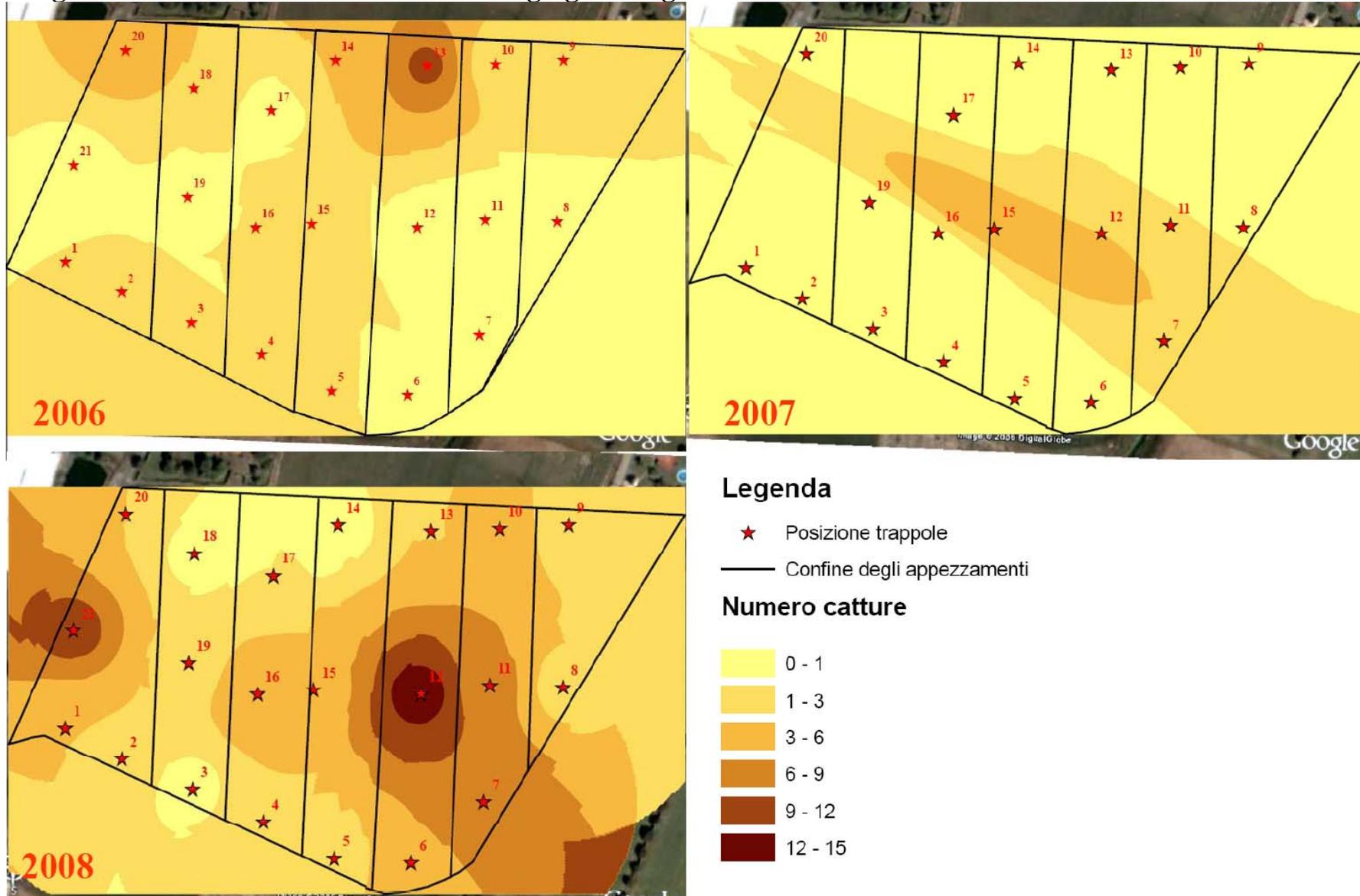
Allegato 1: Catture di *A. brevis* nel mese di maggio di ogni anno.



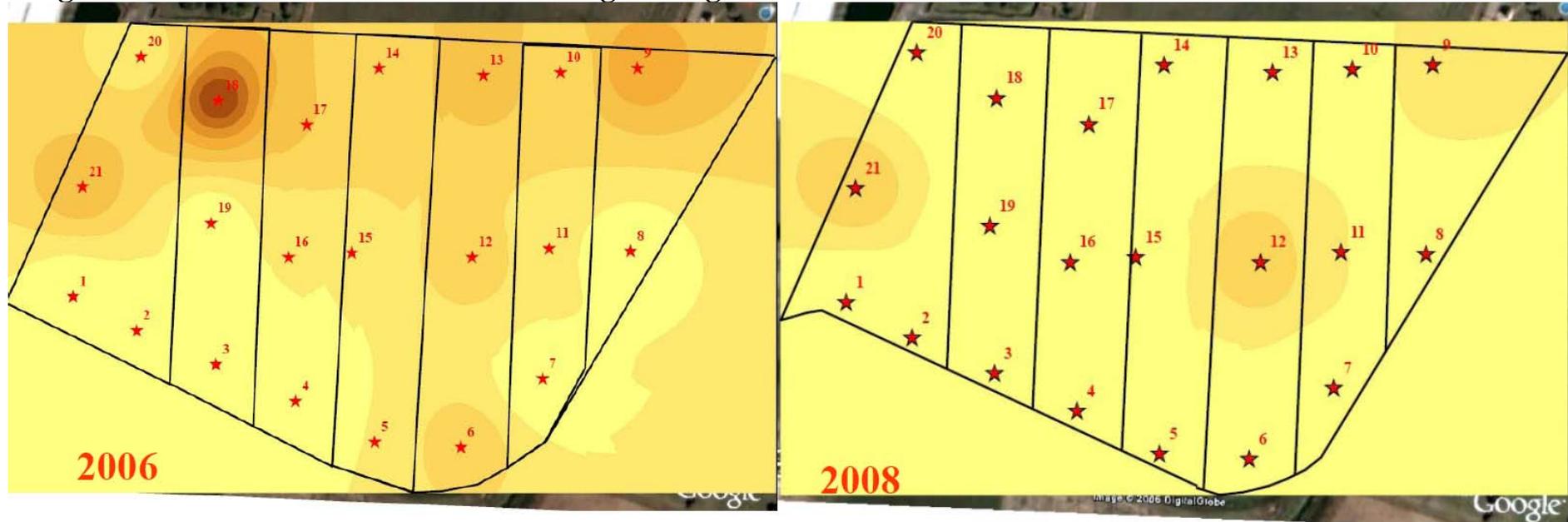
Legenda



Allegato 2: Catture di *A. brevis* nel mese di giugno di ogni anno.



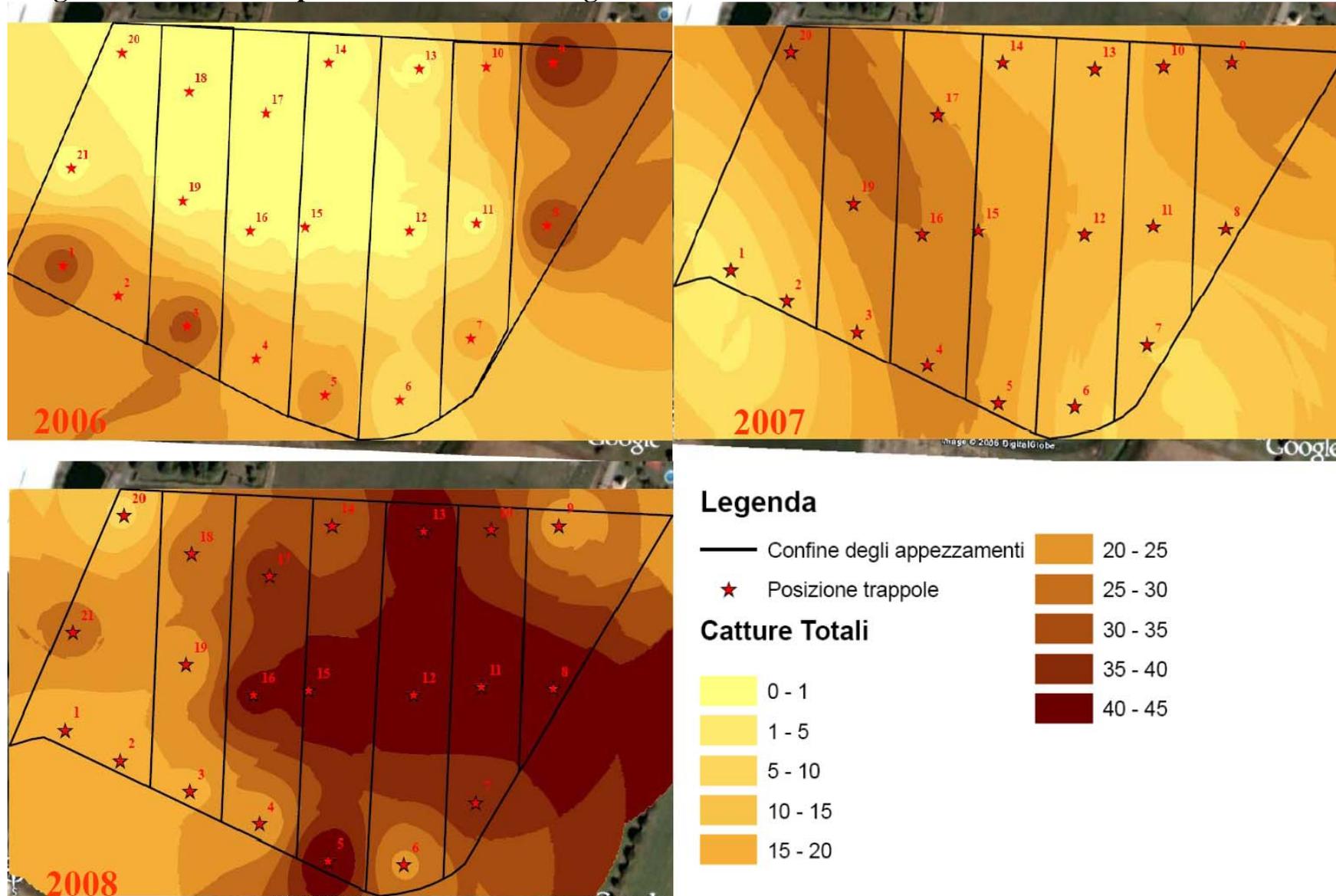
Allegato 3: Catture di *A. brevis* nel mese di luglio di ogni anno.



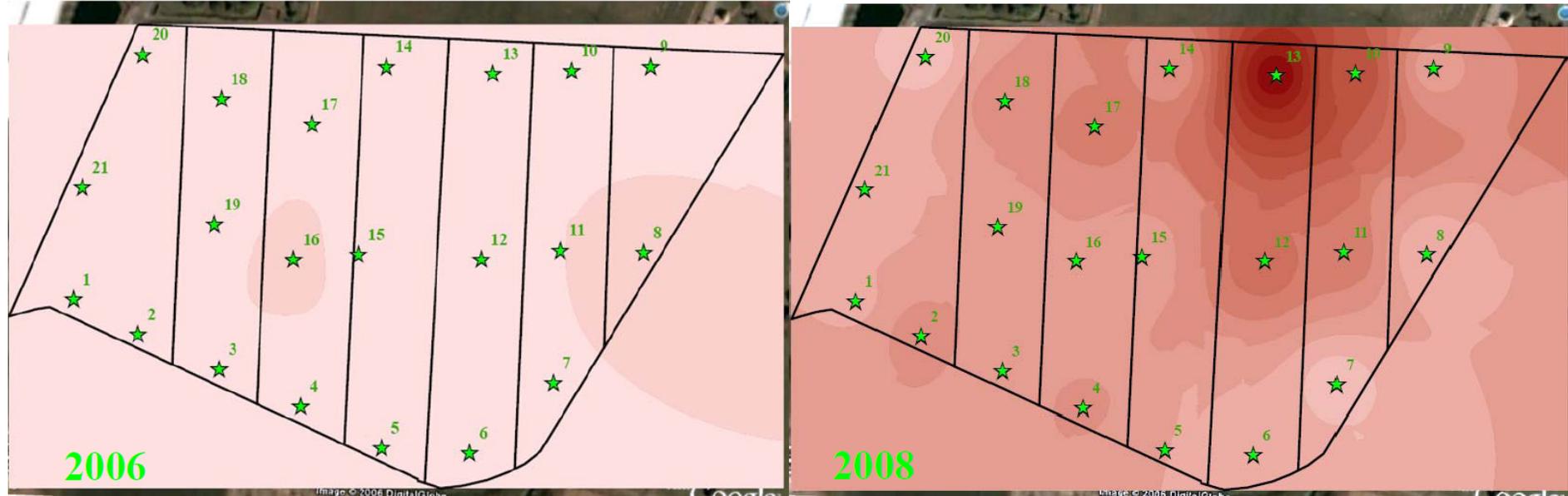
Legenda



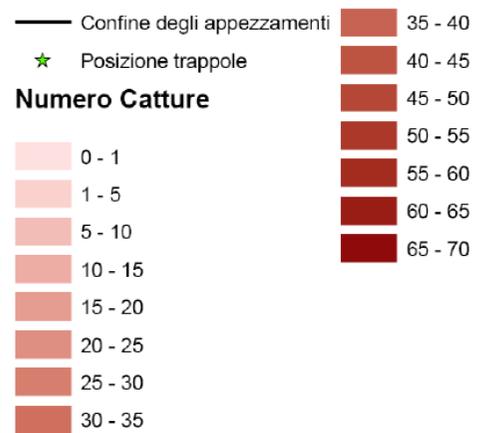
Allegato 4: Catture complessive di *A. brevis* di ogni anno.



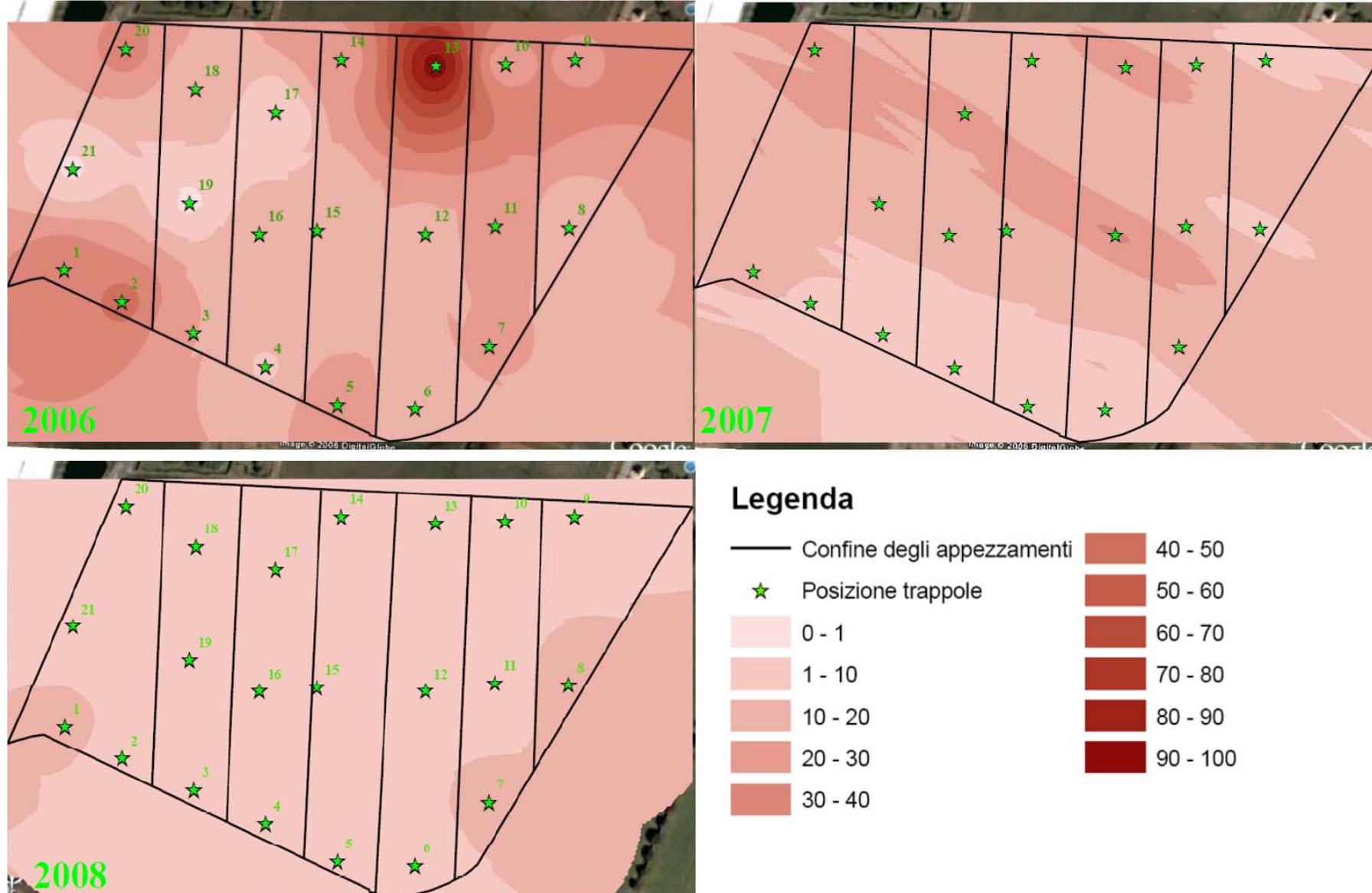
Allegato 5: Catture di *A. sordidus* nel mese di maggio di ogni anno.



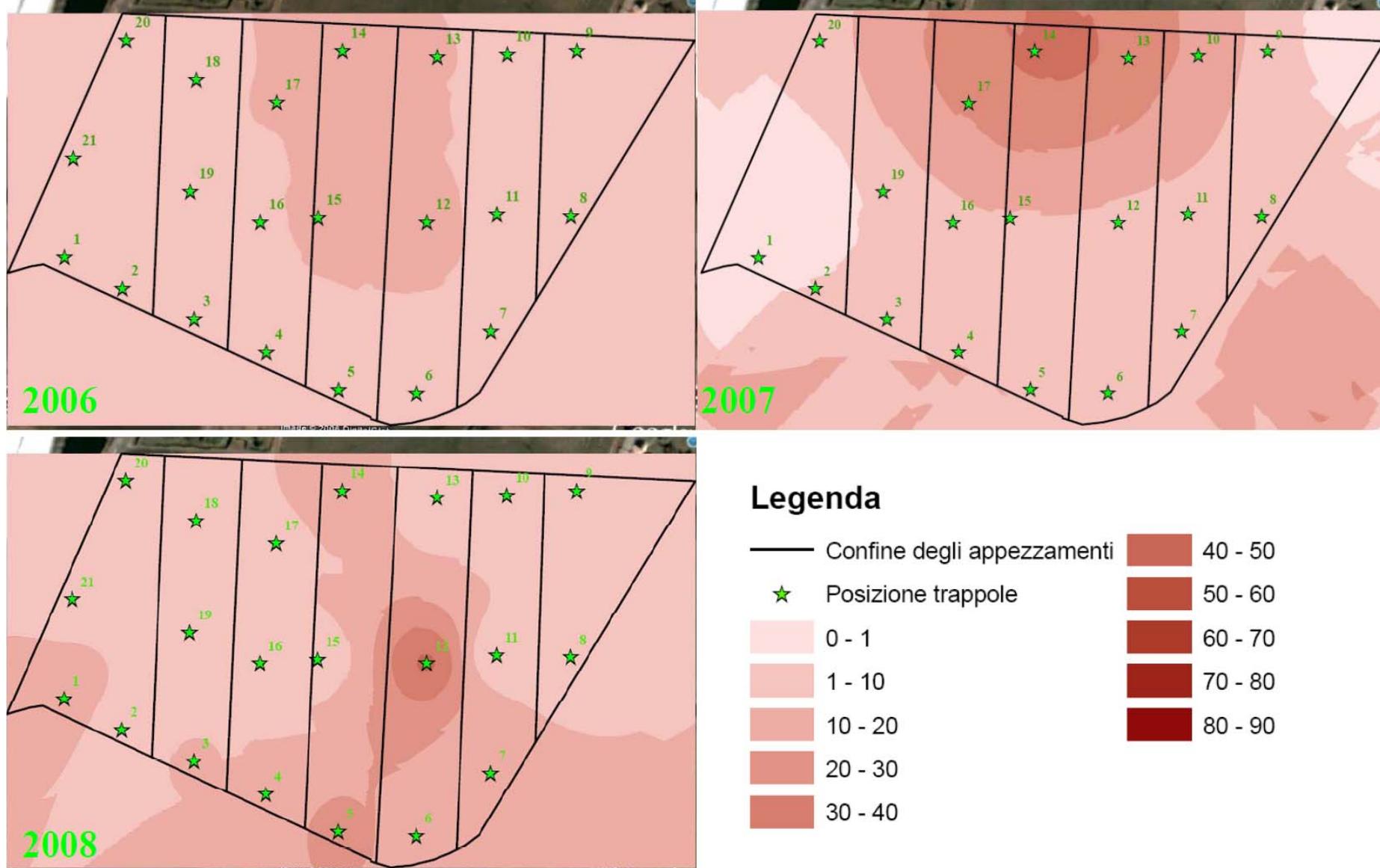
Legenda



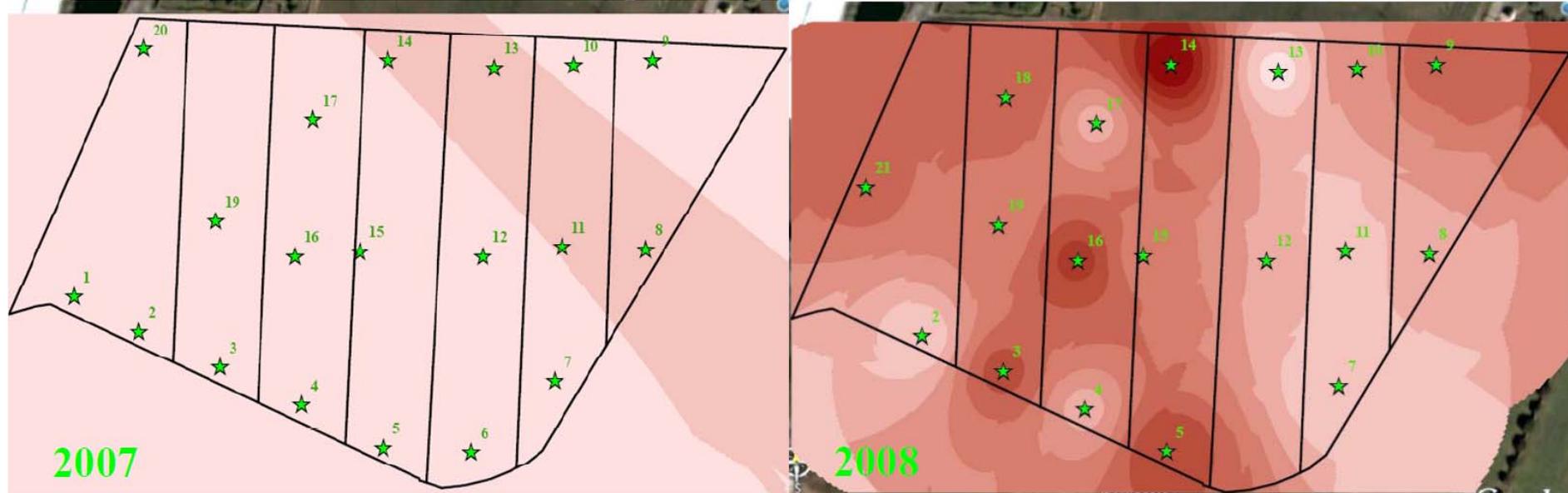
Allegato 6: Catture di *A. sordidus* nel mese di giugno di ogni anno.



Allegato 7: Catture di *A. sordidus* nel mese di luglio di ogni anno.



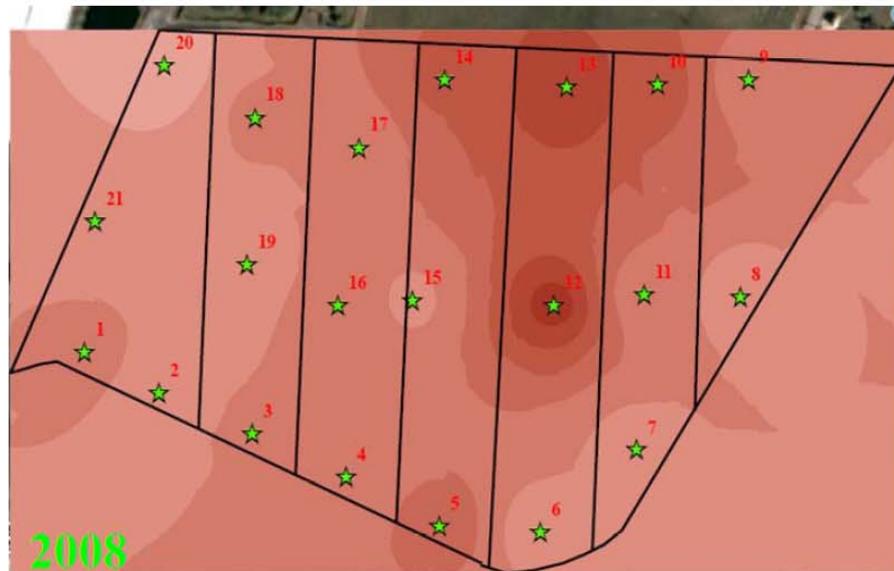
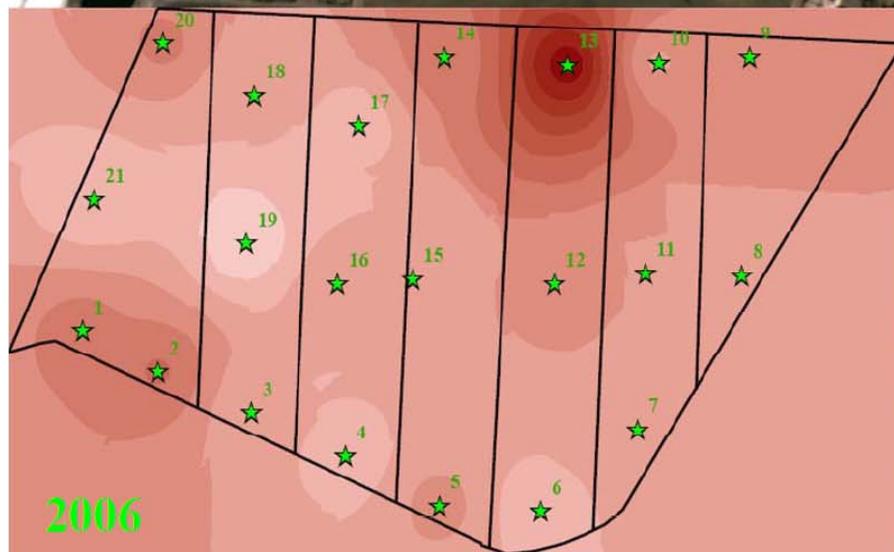
Allegato 8: Catture di *A. sordidus* nel mese di agosto di ogni anno.



Legenda



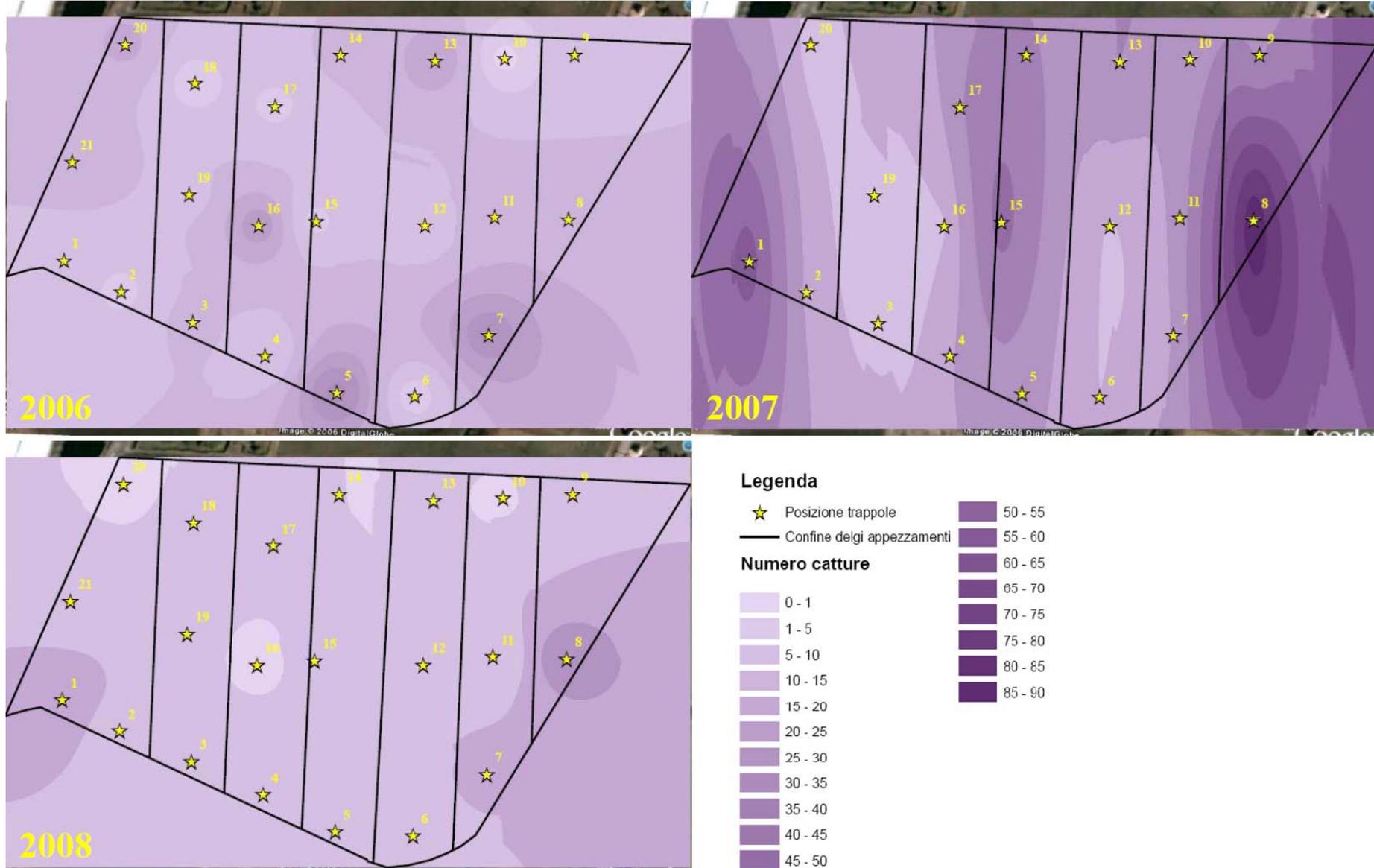
Allegato 9: Catture complessive di *A. sordidus* di ogni anno.



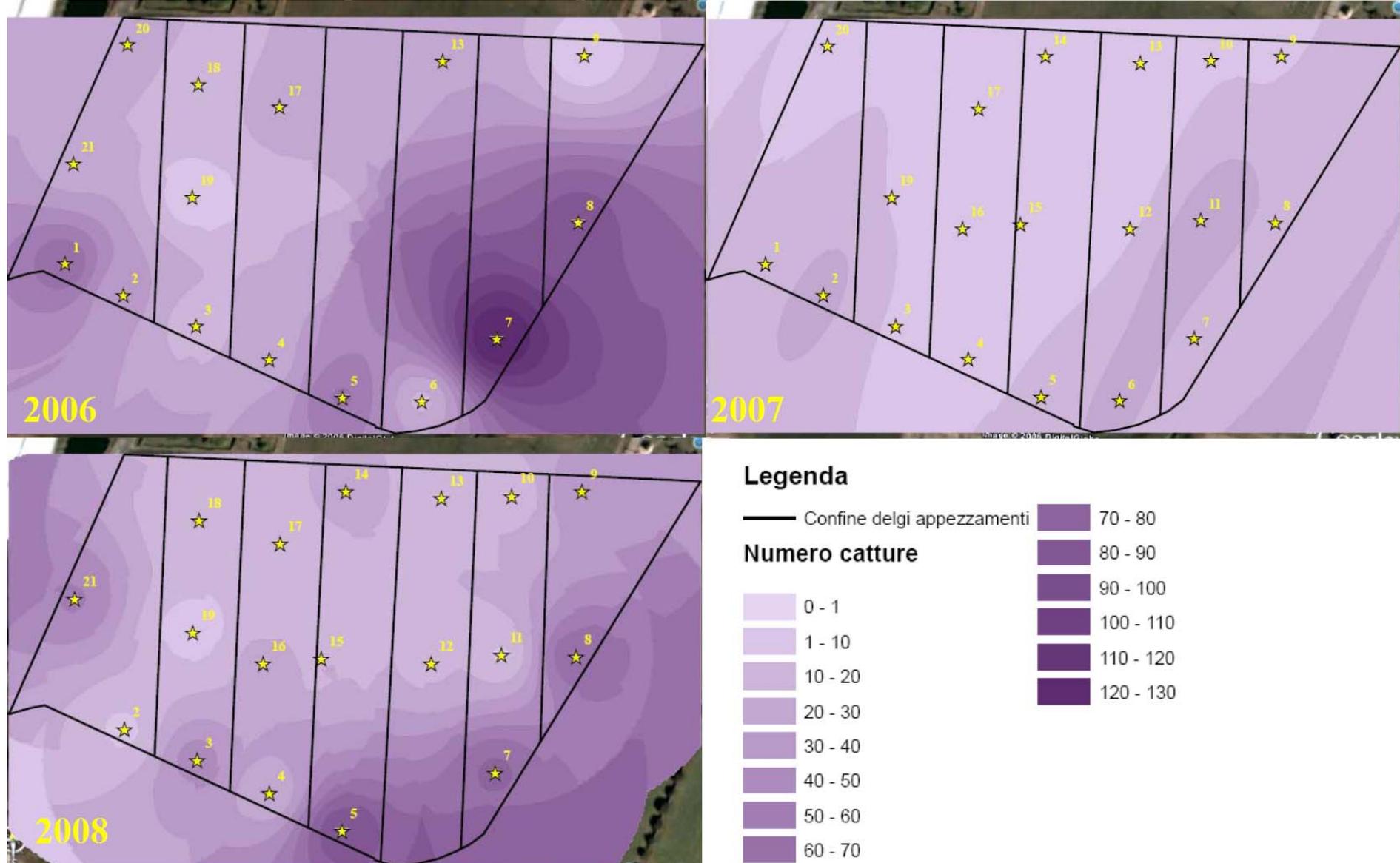
Legenda



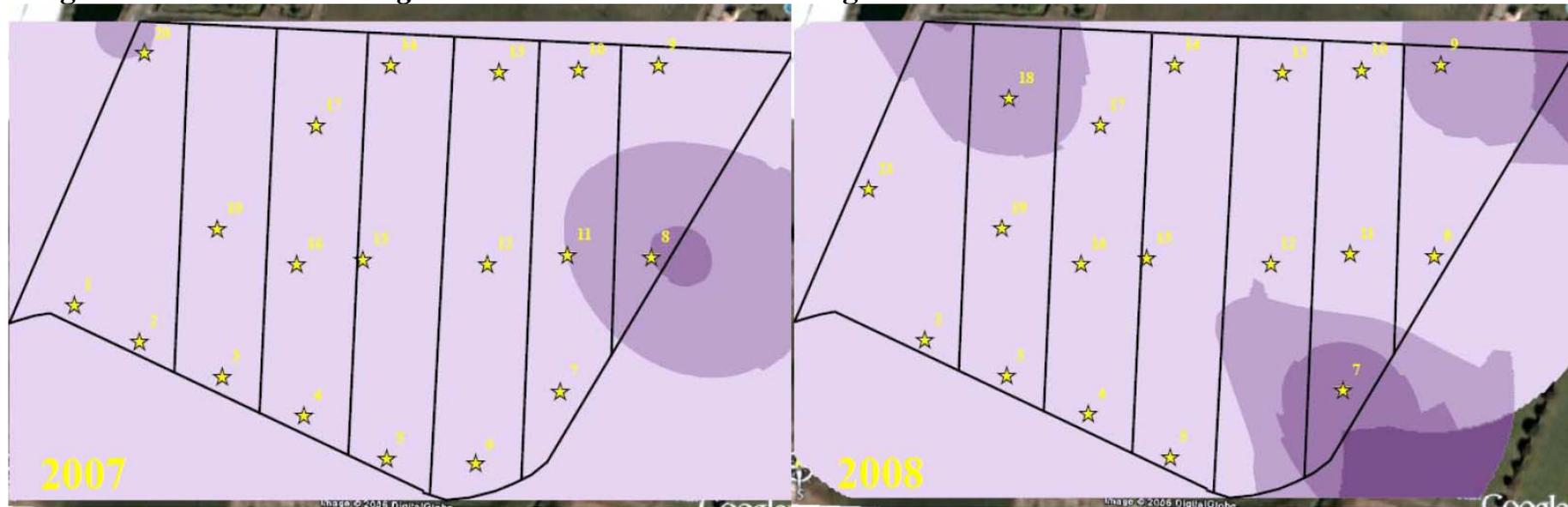
Allegato 10: Catture di *A. litigiosus* nel mese di luglio di ogni anno.



Allegato 11: Catture di *A. litigiosus* nel mese di agosto di ogni anno.



Allegato 12: Catture di *A. litigiosus* nel mese di settembre di ogni anno.

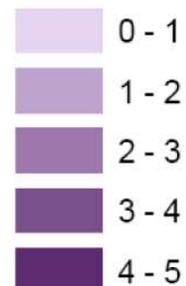


Legenda

— Confine degli appezzamenti

★ Posizione trappole

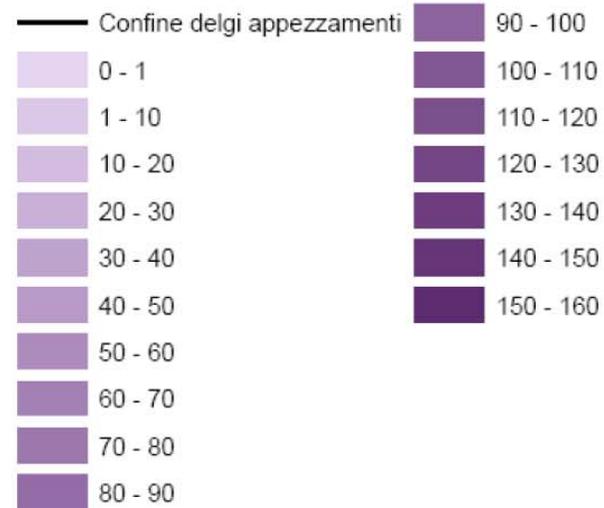
Numero catture



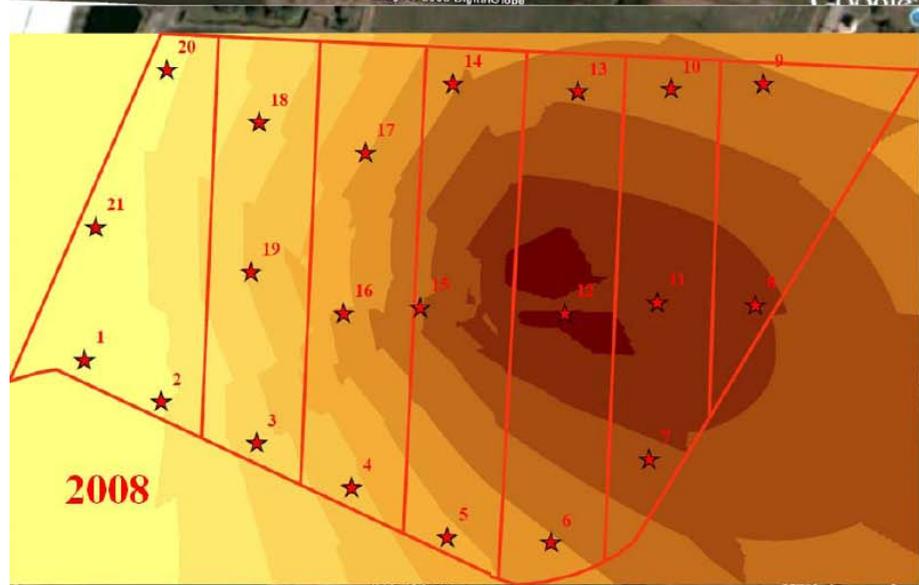
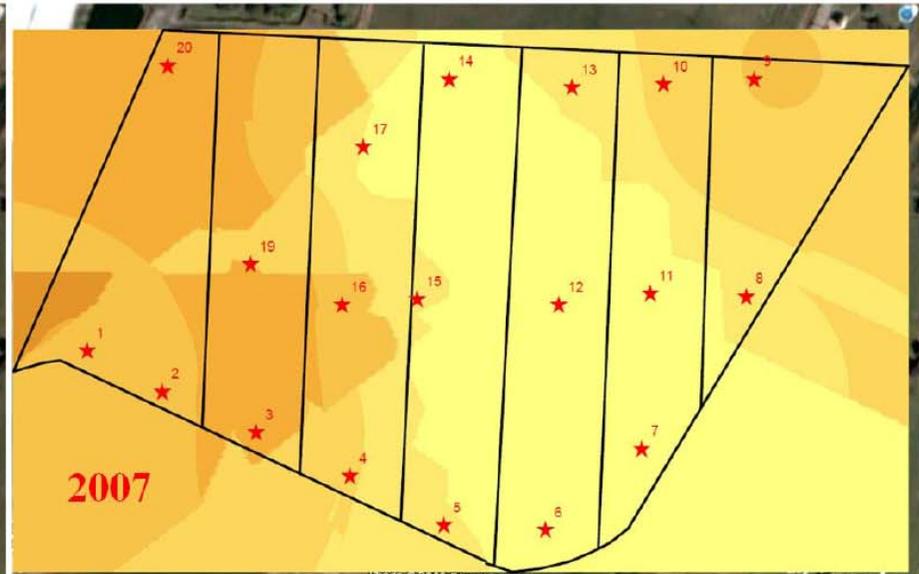
Allegato 13: Catture complessive di *A. litigiosus* di ogni anno.



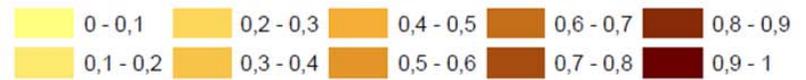
Legenda



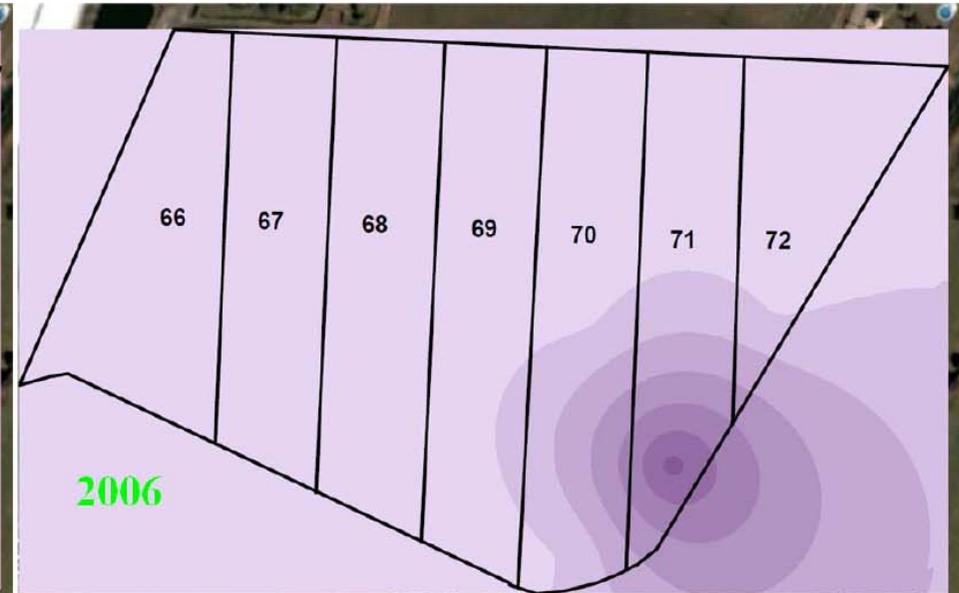
Allegato 14: Probabilità *A. brevis* di superare la soglia di 30 catture/anno.



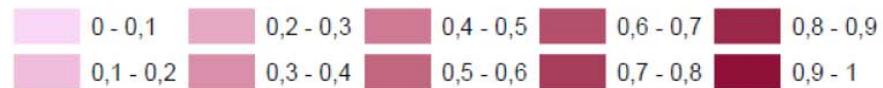
Probabilità di oltrepassare 30 catture *A. brevis*/anno



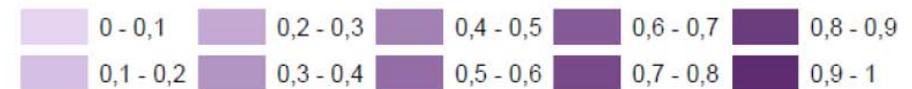
Allegato 15: Probabilità *A. sordidus* di superare la soglia di 100 catture/anno e di *A. litigosus* di superare 150 catture/anno.



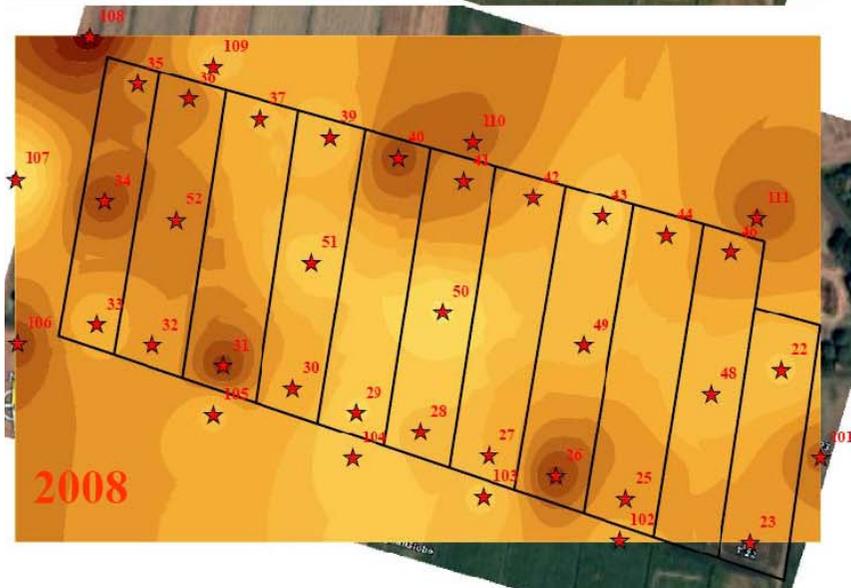
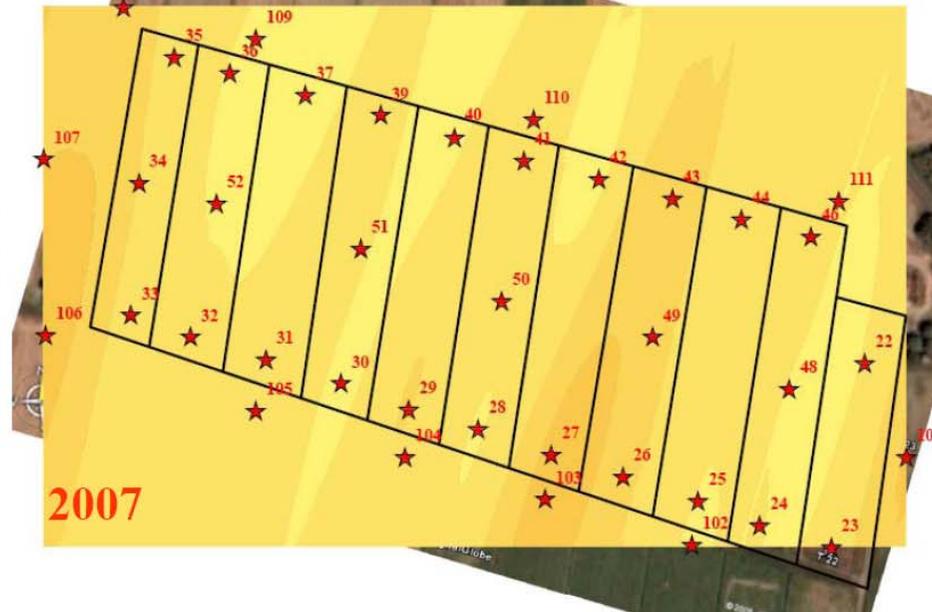
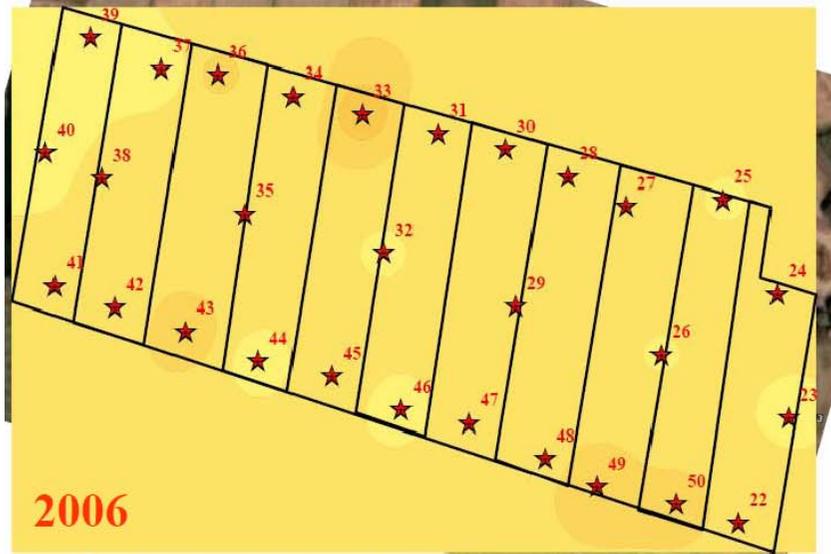
Probabilità di oltrepassare 100 catture *A. sordidus*



Probabilità di oltrepassare le 150 Catture/anno



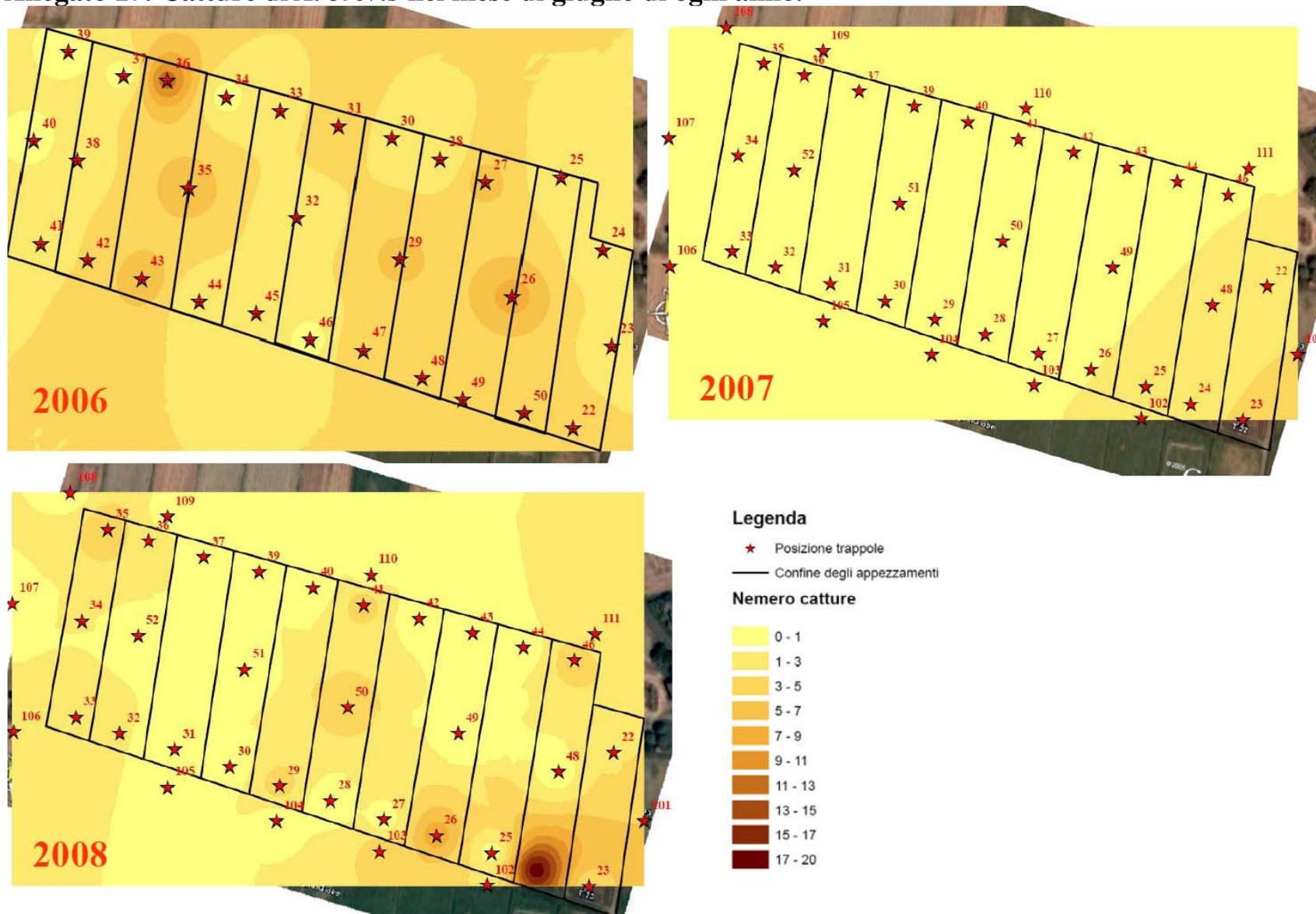
Allegato 16: Catture di *A. brevis* nel mese di maggio di ogni anno.



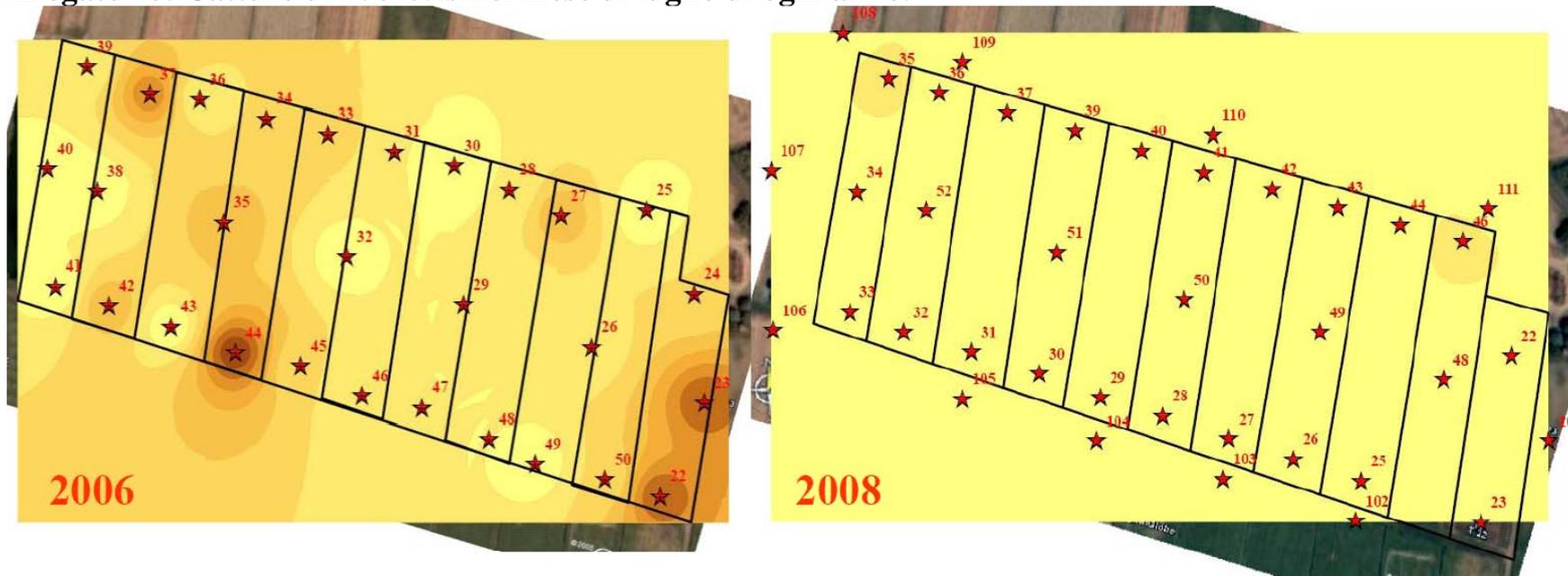
Legenda

- ★ Posizione trappole
- Confine degli appezzamenti
- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50
- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 110
- 110 - 120
- 120 - 130

Allegato 17: Catture di *A. brevis* nel mese di giugno di ogni anno.



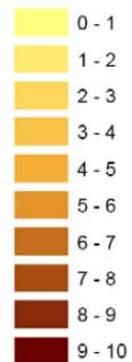
Allegato 18: Catture di *A. brevis* nel mese di luglio di ogni anno.



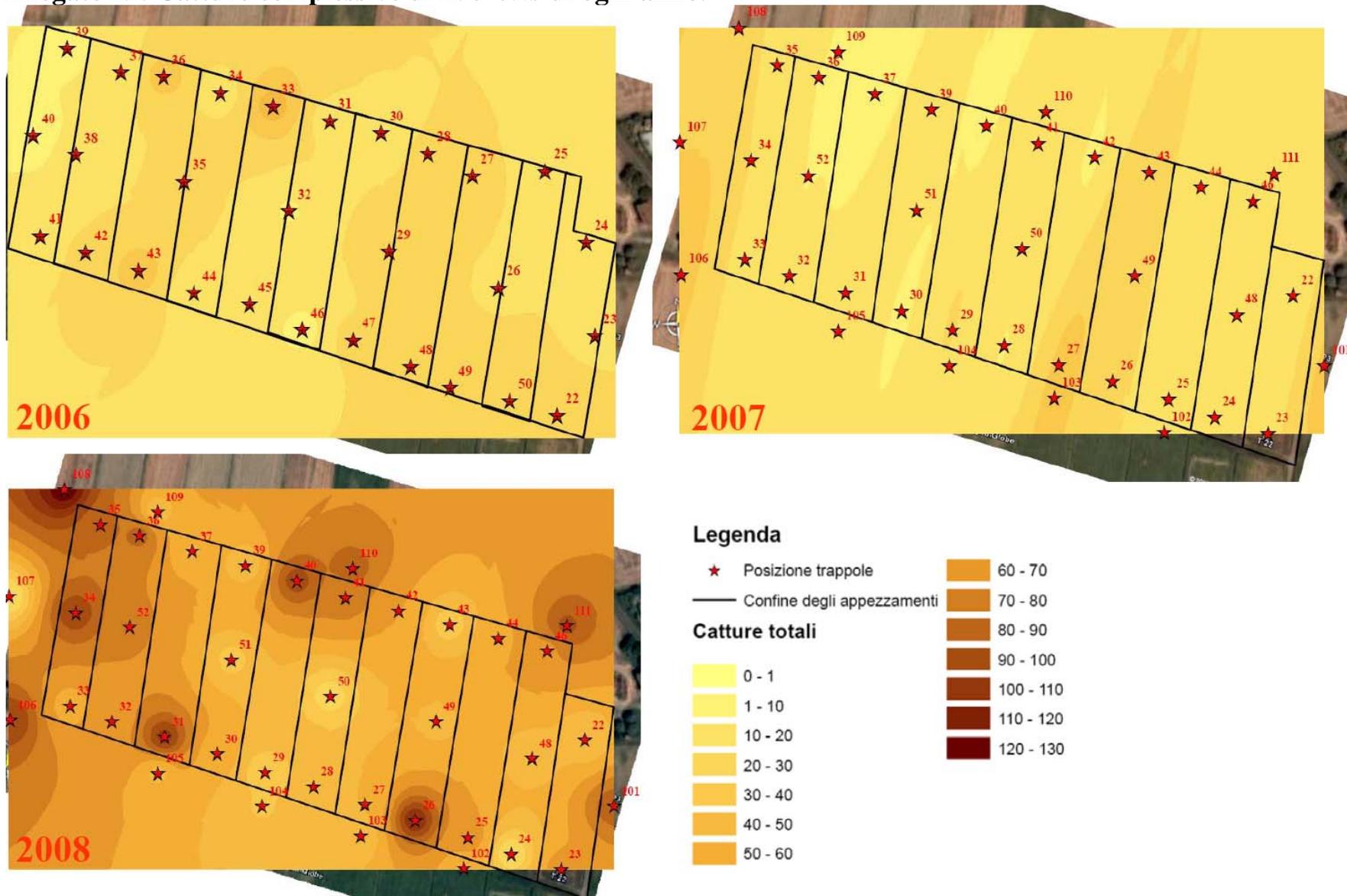
Legenda

- ★ Posizione trappole
- Confine degli appezzamenti

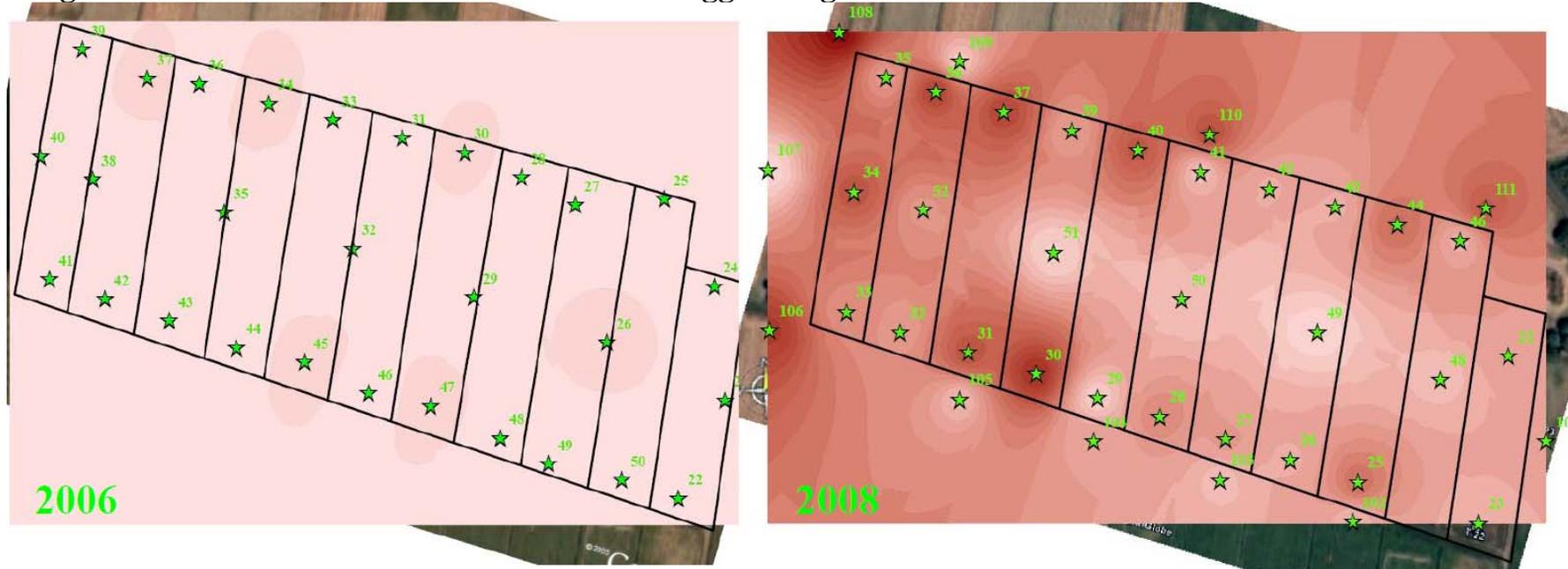
Numero catture



Allegato 19: Catture complessive di *A. brevis* di ogni anno.



Allegato 20: Catture di *A. sordidus* nel mese di maggio di ogni anno.



Legenda

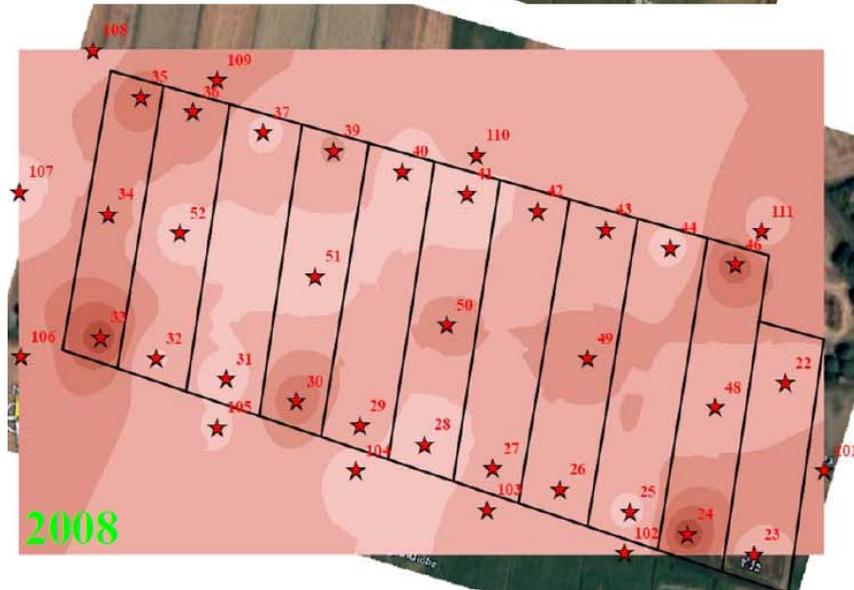
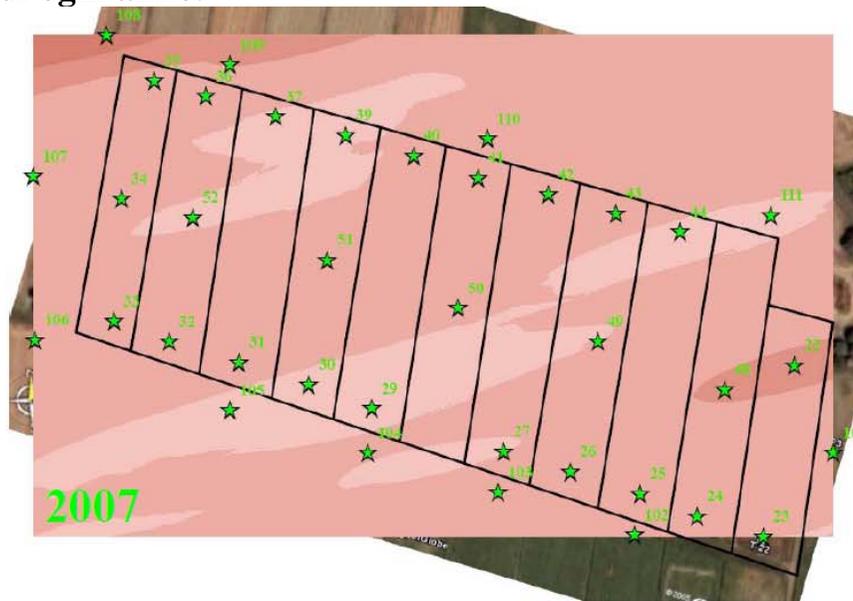
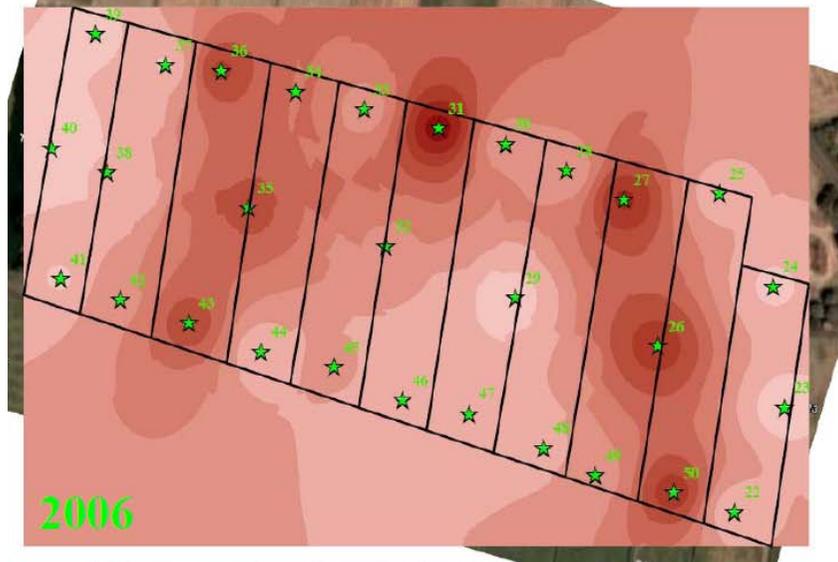
- ☆ Posizione trappole
- Confine degli appezzamenti

Numero catture

- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40
- 40 - 50

- 50 - 60
- 60 - 70
- 70 - 80
- 80 - 90
- 90 - 100
- 100 - 110
- 110 - 120
- 120 - 130
- 130 - 140
- 140 - 150
- 150 - 160
- 160 - 170
- 170 - 180
- 180 - 190

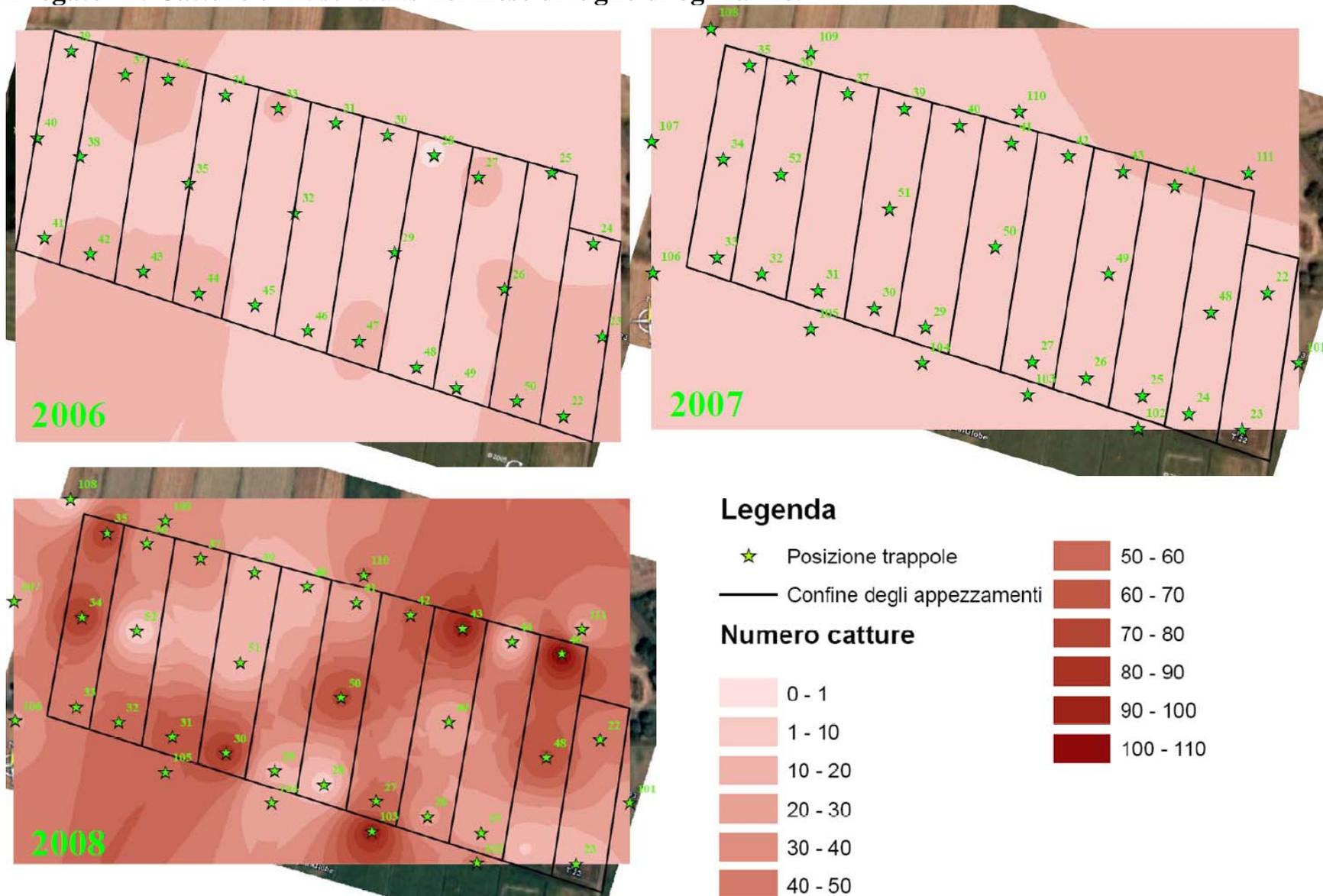
Allegato 21: Catture di *A. sordidus* nel mese di giugno di ogni anno.



Legenda



Allegato 22: Catture di *A. sordidus* nel mese di luglio di ogni anno.



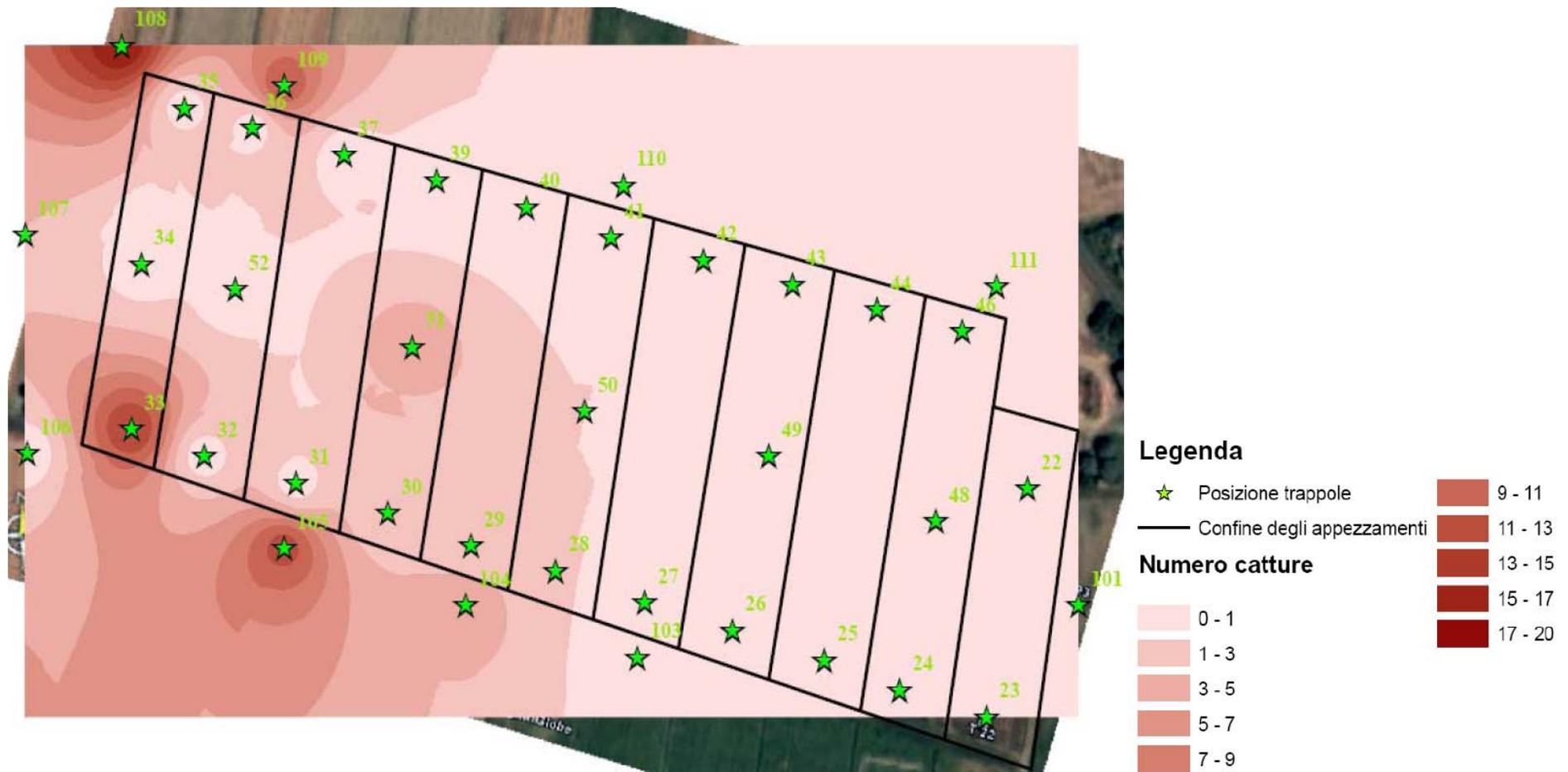
Allegato 23: Catture di *A. sordidus* nel mese di agosto di ogni anno.



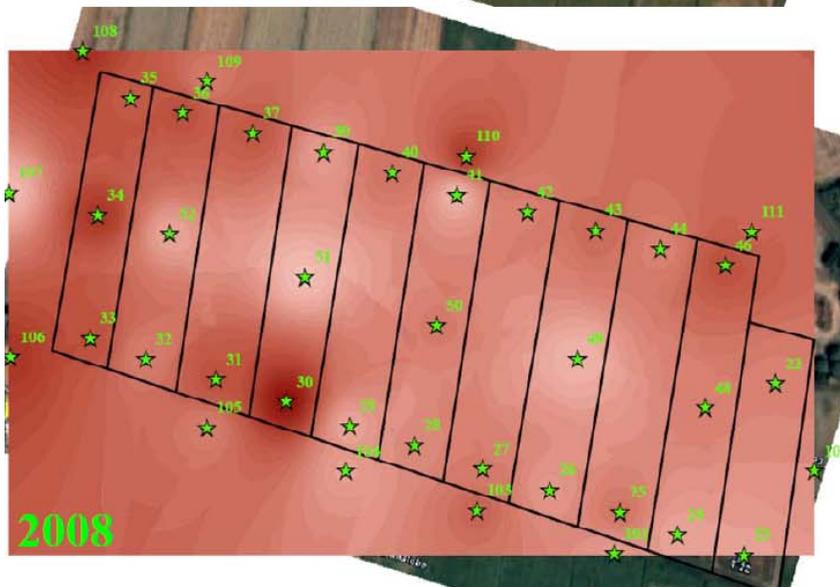
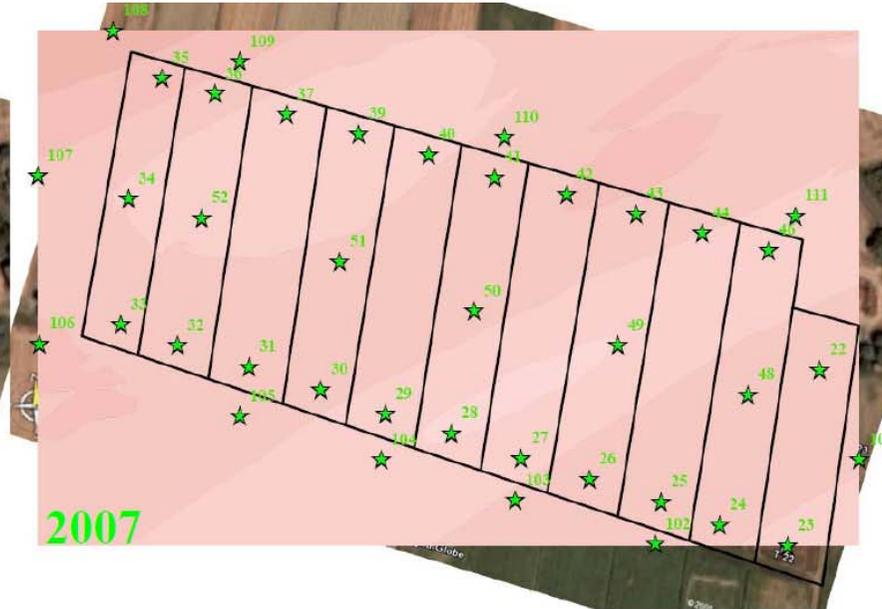
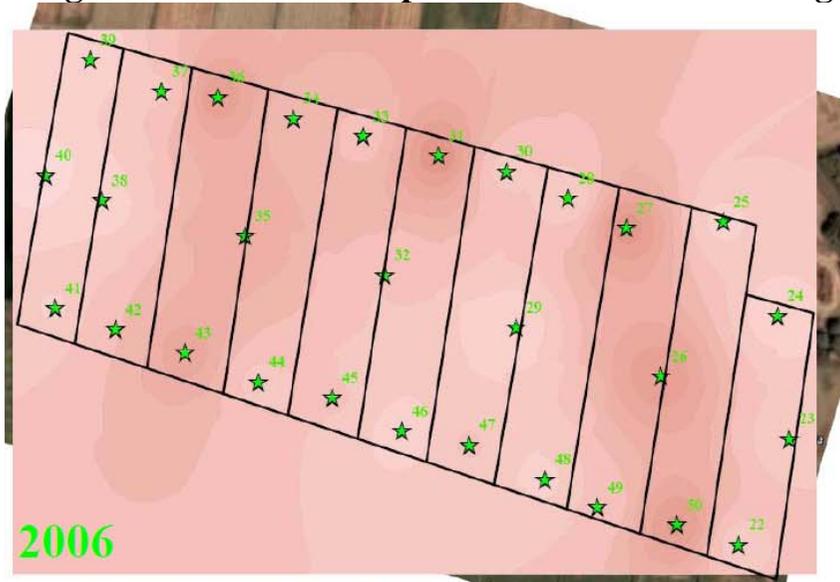
Legenda



Allegato 24: Catture di *A. sordidus* nel mese di settembre del 2008.



Allegato 25: Catture complessive di *A. sordidus* di ogni anno.



Legenda

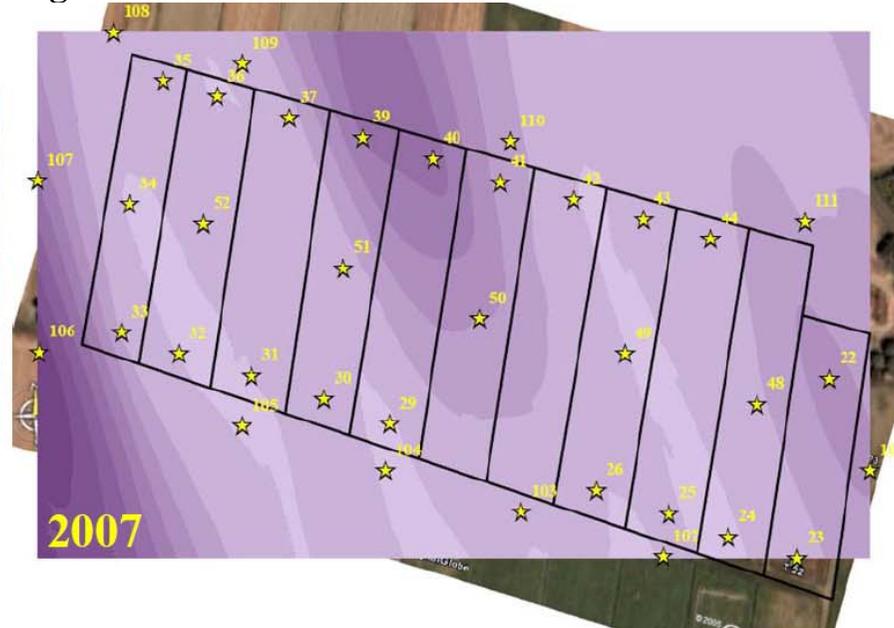
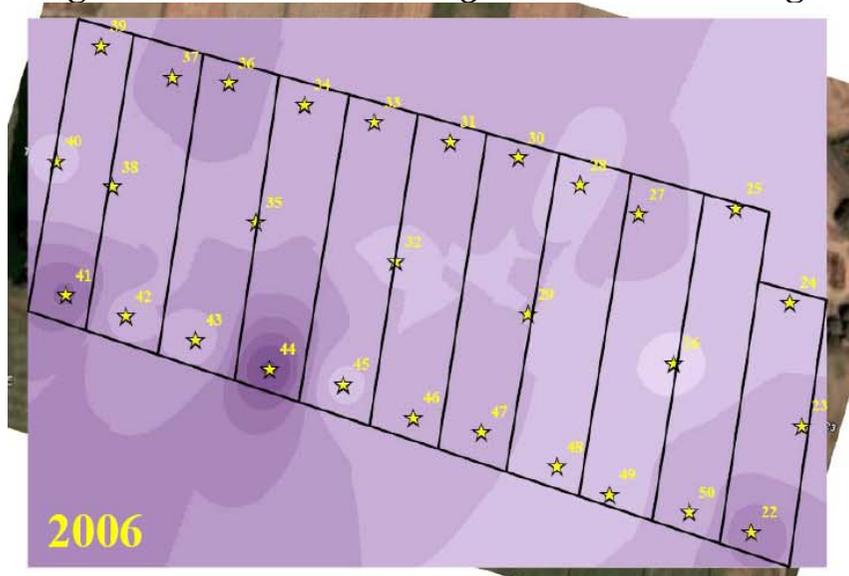
- ☆ Posizione trappole
- Confine degli appezzamenti

Numero catture

- 0 - 1
- 1 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40

40 - 50	130 - 140	220 - 230
50 - 60	140 - 150	230 - 240
60 - 70	150 - 160	240 - 250
70 - 80	160 - 170	250 - 260
80 - 90	170 - 180	260 - 270
90 - 100	180 - 190	270 - 280
100 - 110	190 - 200	280 - 290
110 - 120	200 - 210	
120 - 130	210 - 220	

Allegato 26: Catture di *A. litigiosus* nel mese di luglio di ogni anno.



Legenda

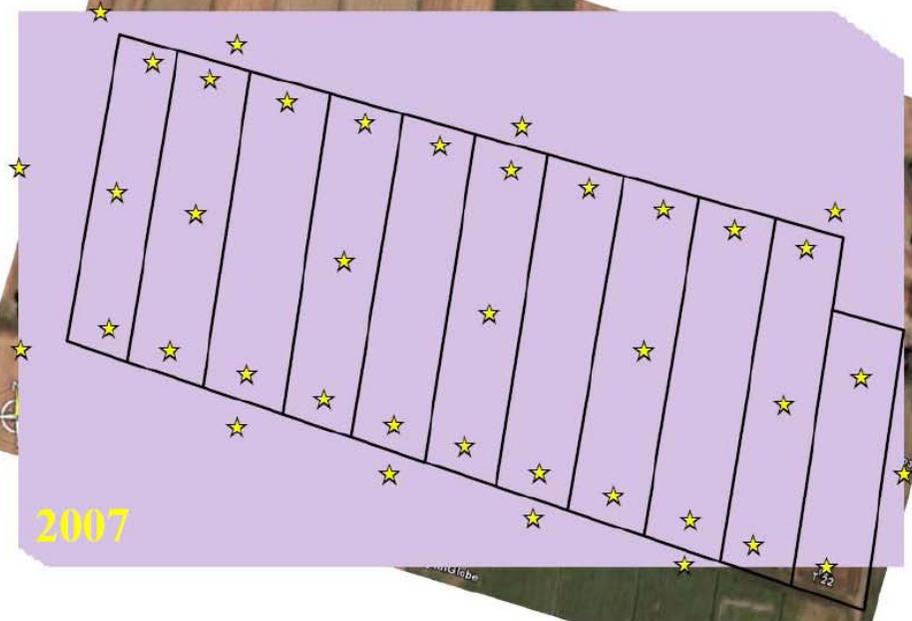
- ★ Posizione trappole
- Confine degli appezzamenti

Numero catture

- 0 - 1
- 1 - 5
- 5 - 10

- | | | | |
|--|---------|--|---------|
| | 10 - 15 | | 40 - 45 |
| | 15 - 20 | | 45 - 50 |
| | 20 - 25 | | 50 - 55 |
| | 25 - 30 | | |
| | 30 - 35 | | |
| | 35 - 40 | | |

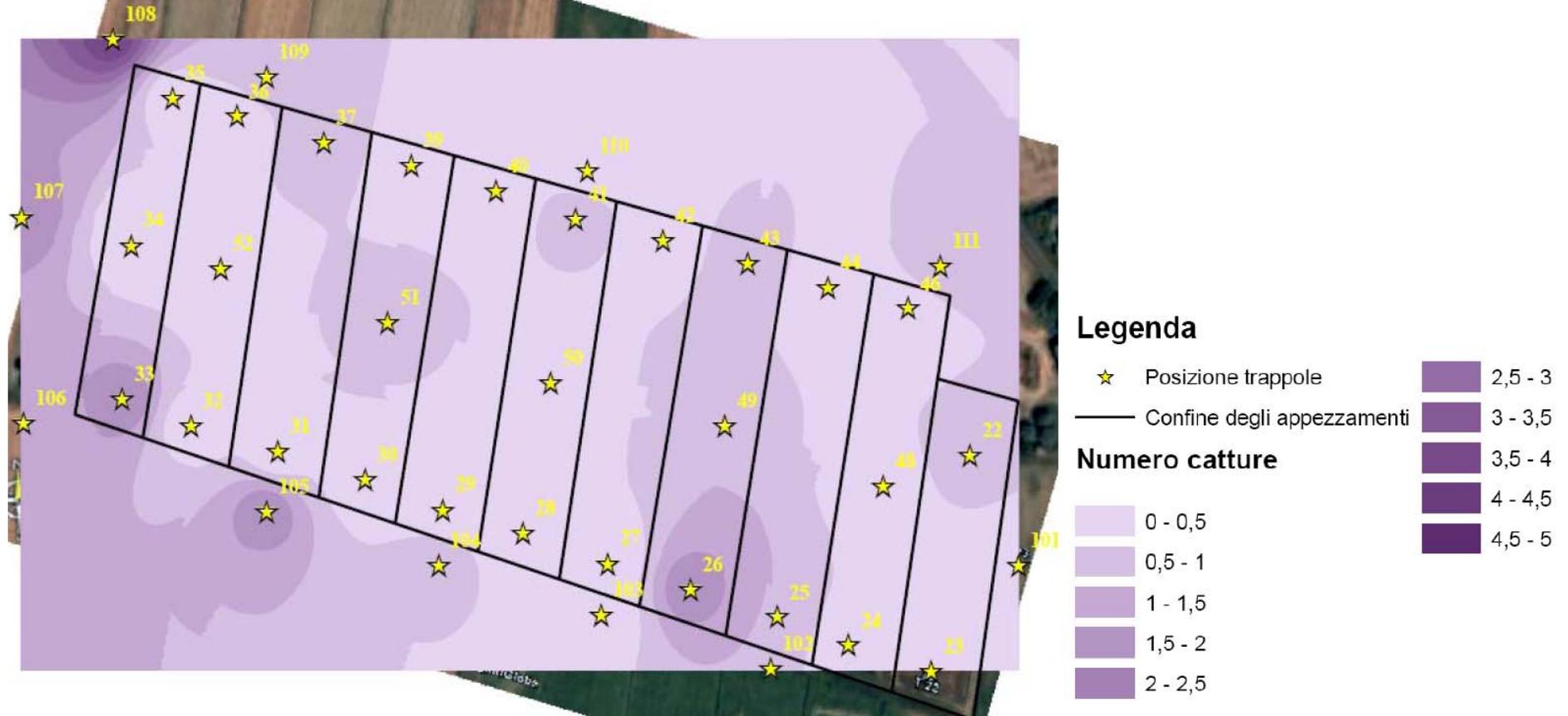
Allegato 27: Catture di *A. litigiosus* nel mese di agosto di ogni anno.



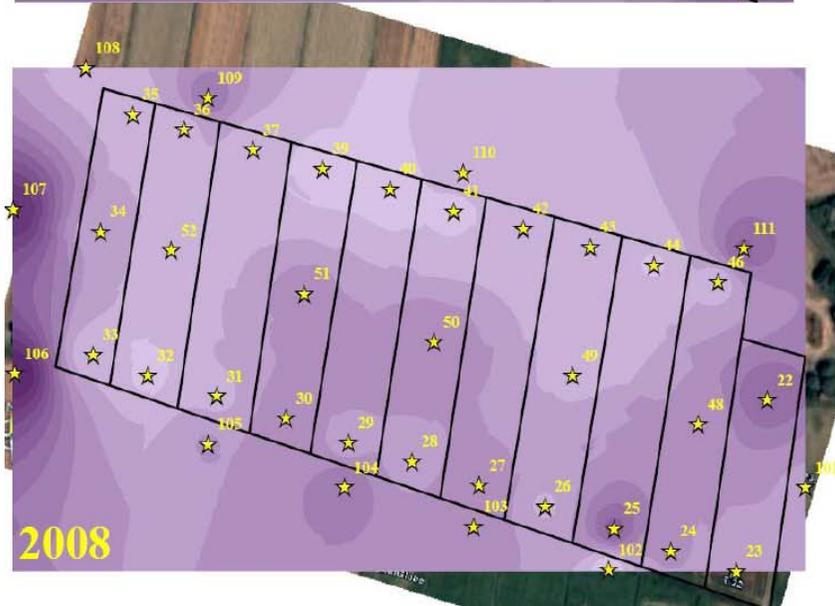
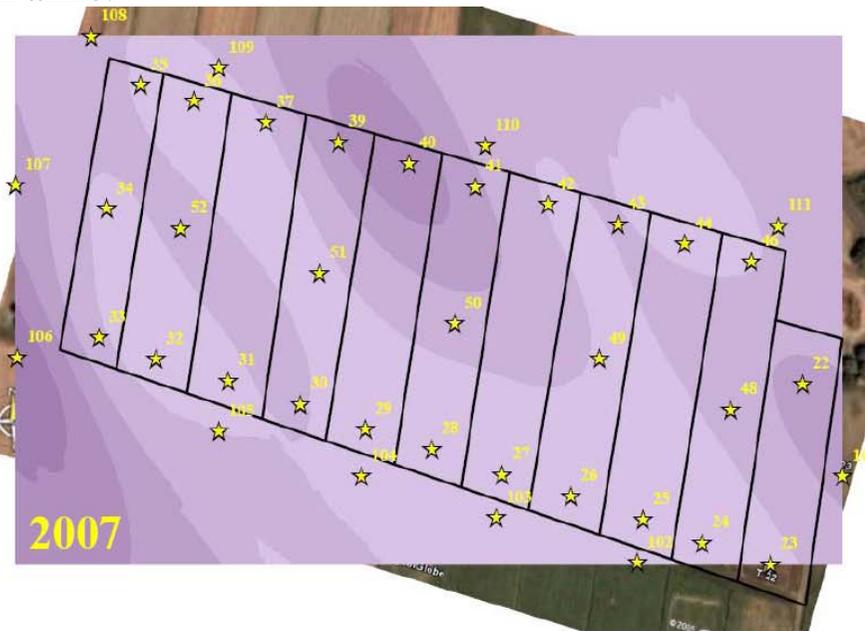
Legenda



Allegato 28: Catture di *A. litigiosus* nel mese di settembre del 2008.



Allegato 29: Catture di annuali di *A. litigiosus* di ogni anno.



Legenda

★ Posizione trappole

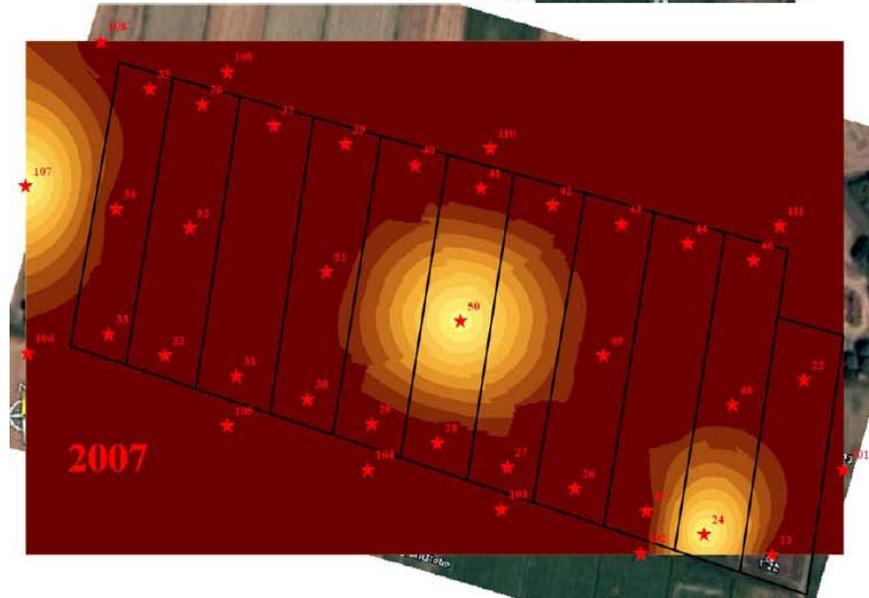
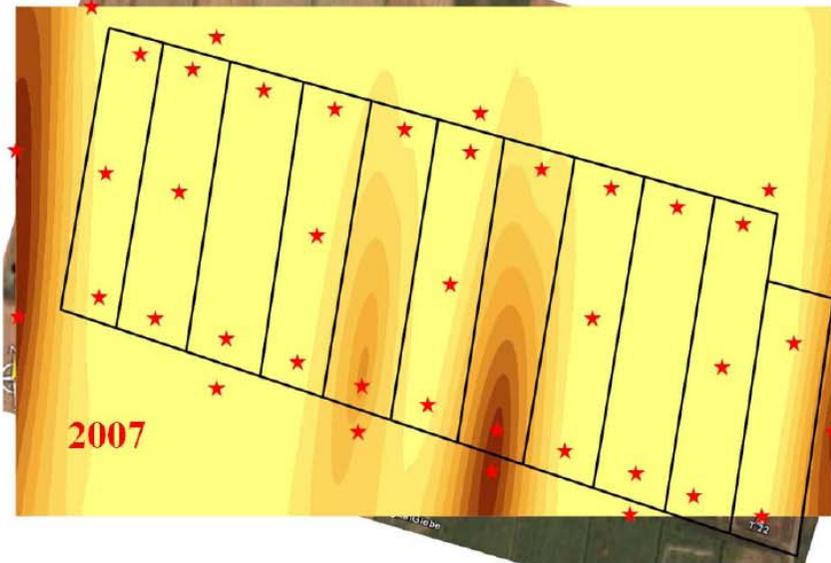
— Confine degli appezzamenti

Catture totali

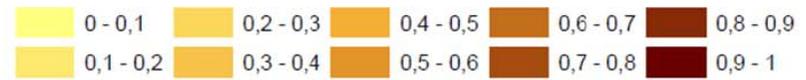
0 - 1
1 - 10
10 - 20

20 - 30	80 - 90
30 - 40	90 - 100
40 - 50	100 - 110
50 - 60	
60 - 70	
70 - 80	

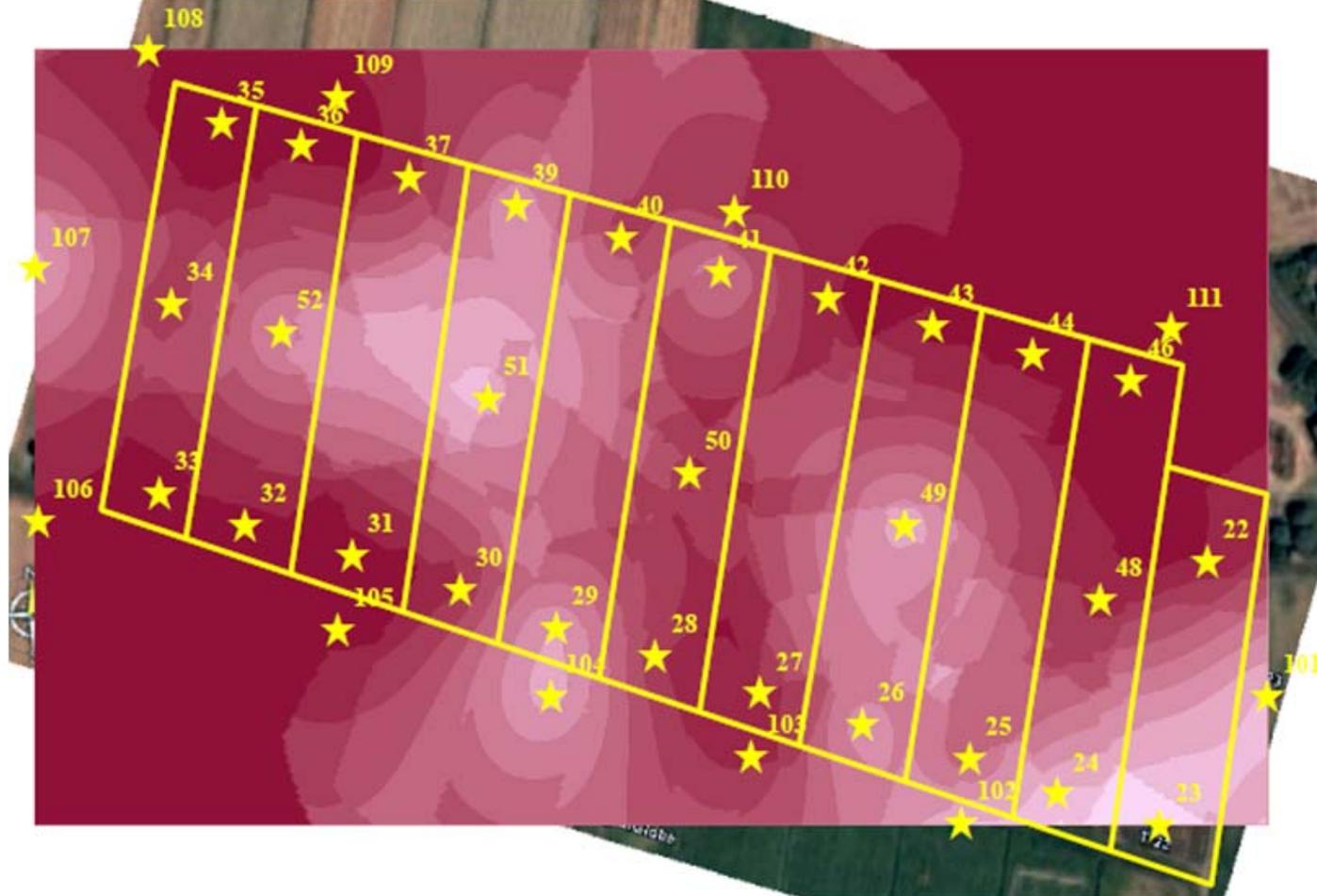
Allegato 30: Probabilità *A. brevis* di superare la soglia di 30 catture/anno.



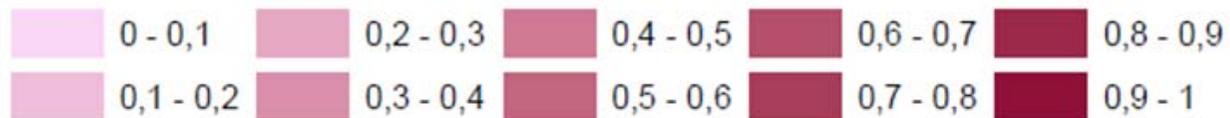
Probabilità di oltrepassare 30 catture *A. brevis*/anno



Allegato 31: Probabilità *A. sordius* di superare la soglia di 100 catture/anno.



Probabilità di oltressare le 100 catture *A. sordius*



Allegato 32: Catture di larve mediante trappole alimentari.

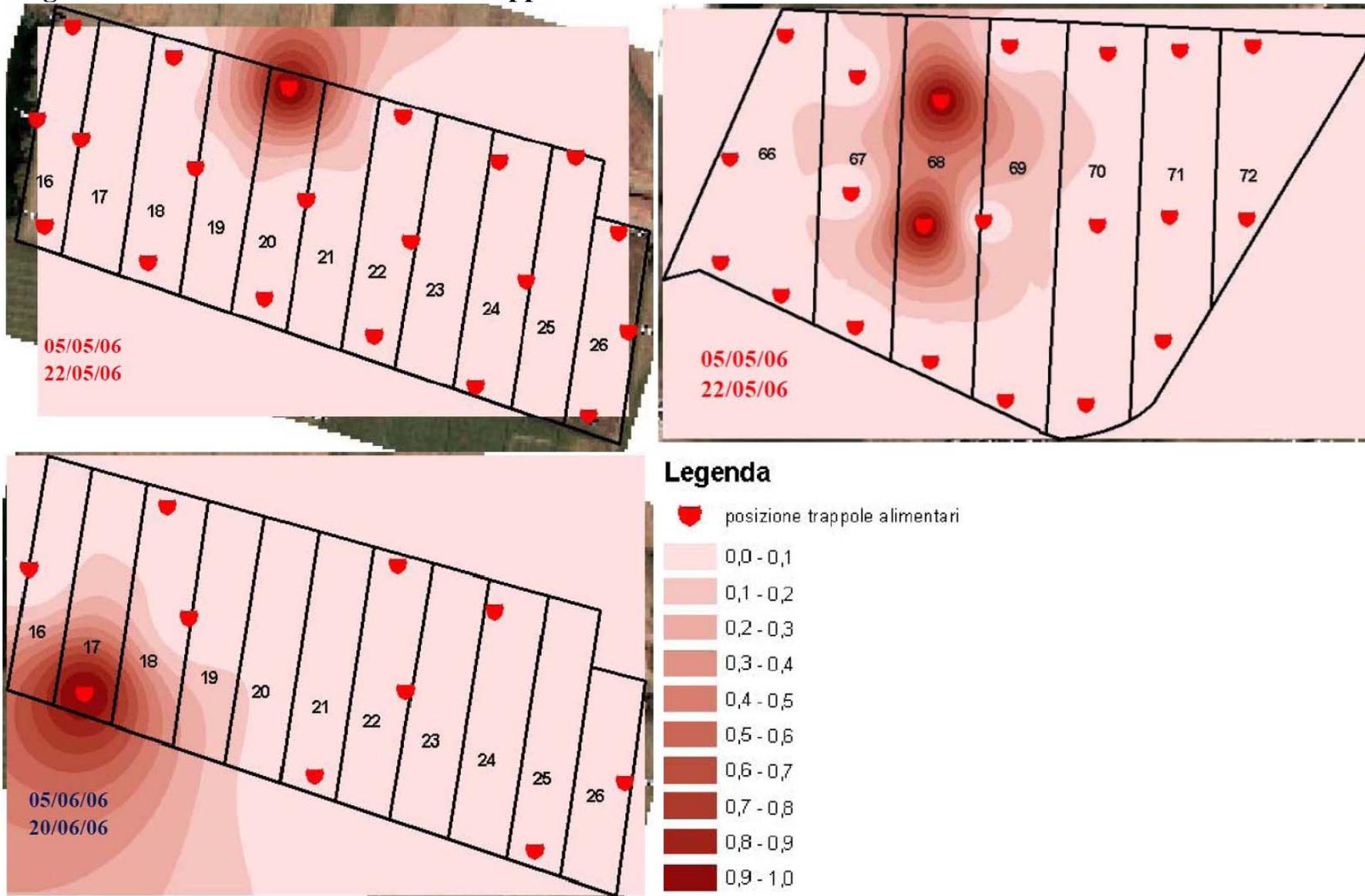


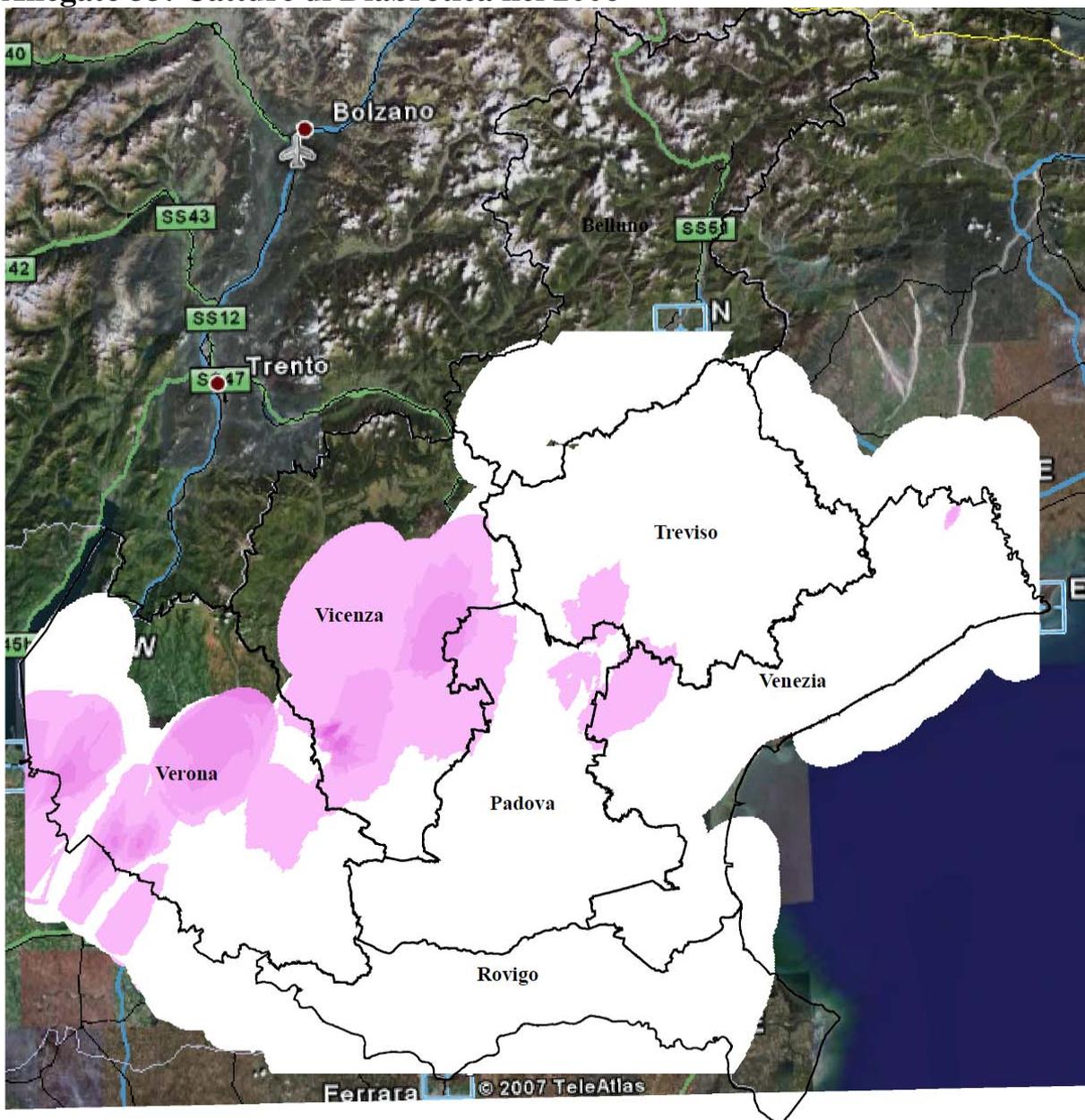
Tabella 1: Dati delle mappe relative al caso studio 1 che sono risultate significative alla cross-validation.

Specie	Appezamento	Periodo di cattura	Interpolatore	Modello del Semi-variogramma	Major range	Minor range	Partial Sill	Nugget	Errore medio di predizione
<i>A. litigiosus</i>	A	Luglio 06	IDW	-	75,51	75,51	-	-	-1,32
<i>A. litigiosus</i>	A	Agosto 06	IDW	-	75,52	75,53	-	-	-0,14
<i>A. litigiosus</i>	A	Totale 2006	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-1,7
<i>A. sordidus</i>	A	Maggio 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	0,21
<i>A. sordidus</i>	A	Giugno 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,74
<i>A. sordidus</i>	A	Luglio 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	0,04
<i>A. sordidus</i>	A	Totale 2006	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,77
<i>A. brevis</i>	B	Maggio 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,49
<i>A. brevis</i>	B	Giugno 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,01
<i>A. brevis</i>	B	Luglio 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,03

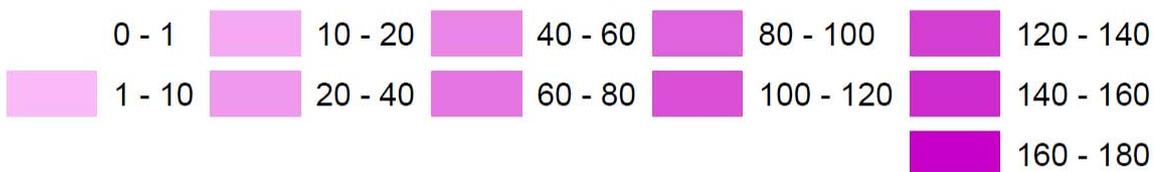
<i>A. brevis</i>	B	Totale 2006	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,66
<i>A. brevis</i>	A	Maggio 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,58
<i>A. brevis</i>	A	Giugno 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,63
<i>A. brevis</i>	A	Luglio 06	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,08
<i>A. brevis</i>	A	Totale 2006	IDW	-	75,52	75,52	-	-	-0,78
<i>A. litigiosus</i>	B	Luglio 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,44
<i>A. litigiosus</i>	B	Agosto 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	-1,45
<i>A. litigiosus</i>	B	Totale 2006	IDW	-	114,28	114,28	-	-	-1,55
<i>A. sordidus</i>	B	Maggio 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,02
<i>A. sordidus</i>	B	Giugno 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	2,26
<i>A. sordidus</i>	B	Luglio 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	0,36
<i>A. sordidus</i>	B	Agosto 06	IDW	-	114,28	114,28	-	-	2,64

<i>A. brevis</i>	A	Maggio 07	O. kriging	Quadratico	245,96	49,67	102,41	24,04	-0,49
<i>A. brevis</i>	A	Giugno 07	O. kriging	Stabile	149,92	32,99	3,30	0,2	-0,02
<i>A. brevis</i>		Luglio 07	IDW	-	73,2	73,2	-	-	0,23
<i>A. brevis</i>	A	Totale 2007	O. kriging	Effetto buco	245,96	143,48	69,69	38,83	-0,01
<i>A. litigiosus</i>	A	Luglio 07	O. kriging	Pentafederico	245,96	69,594	433,65	0	-1,36
<i>A. litigiosus</i>	A	Agosto 07	O. kriging	Quadratico	245,96	86,822	71,47	26,88	-0,01
<i>A. litigiosus</i>	A	Settembre 07	O. kriging	J-Bessel	183,45	183,45	0,33	0	-0,03
<i>A. litigiosus</i>	A	Totale 2007	O. kriging	Quadratico	245,96	245,96	491,84	197,88	-0,46
<i>A. sordidus</i>	A	Giugno 07	O. kriging	Esponenziale	136,1	29,95	89,88	0	0,63
<i>A. sordidus</i>	A	Luglio 07	O. kriging	J-Bessel	201,12	201,12	17,76	3,13	0,21
<i>A. sordidus</i>	A	Agosto	O. kriging	Circolare	245,96	57,319	0,56	0,19	-0,01
<i>A. sordidus</i>	A	Totale 2007	O. kriging	Tetrasferico	245,96	142,39	116,01	34,02	0,58

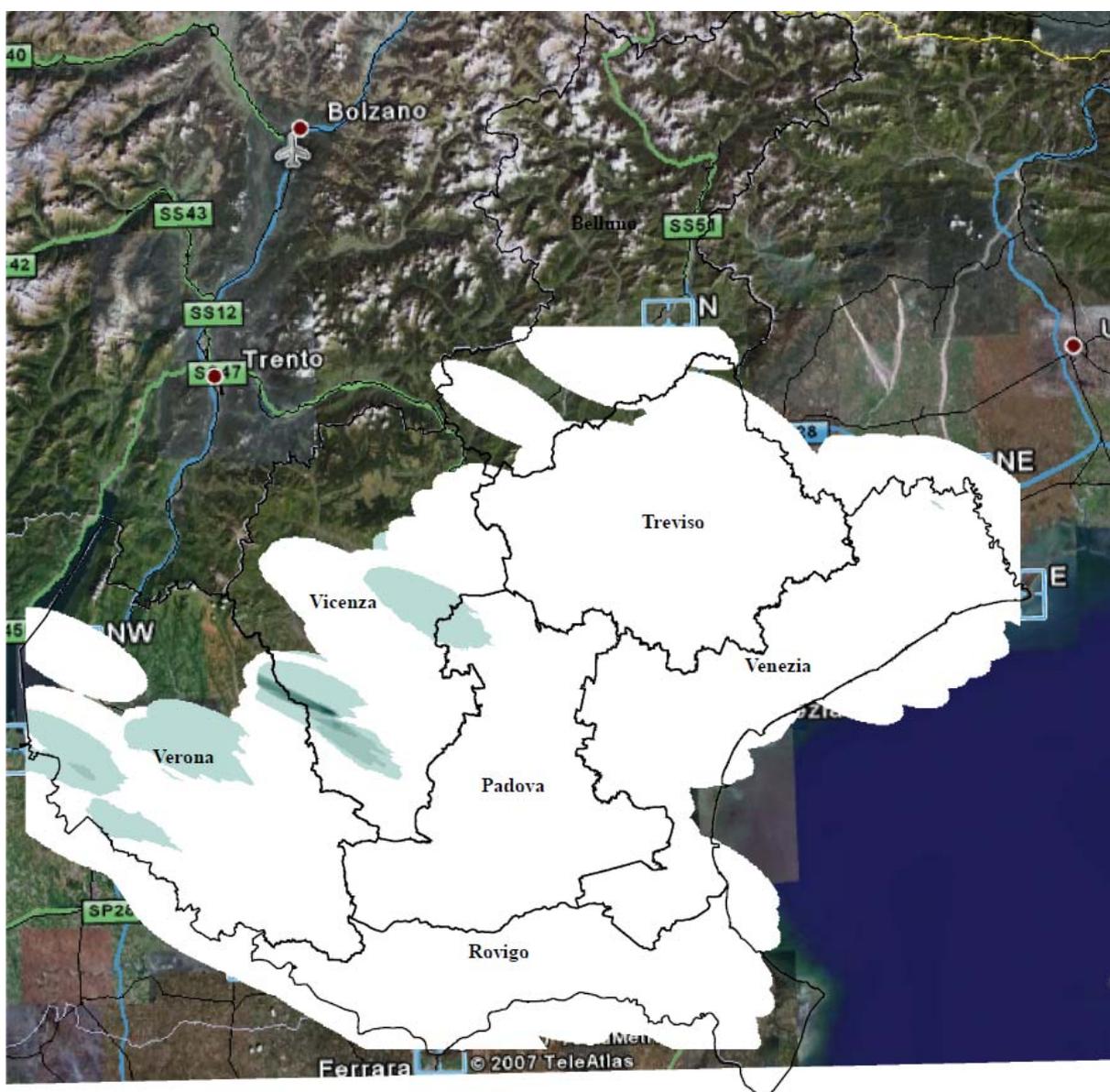
Allegato 33: Catture di Diabrotica nel 2006



Catture totali del 2006



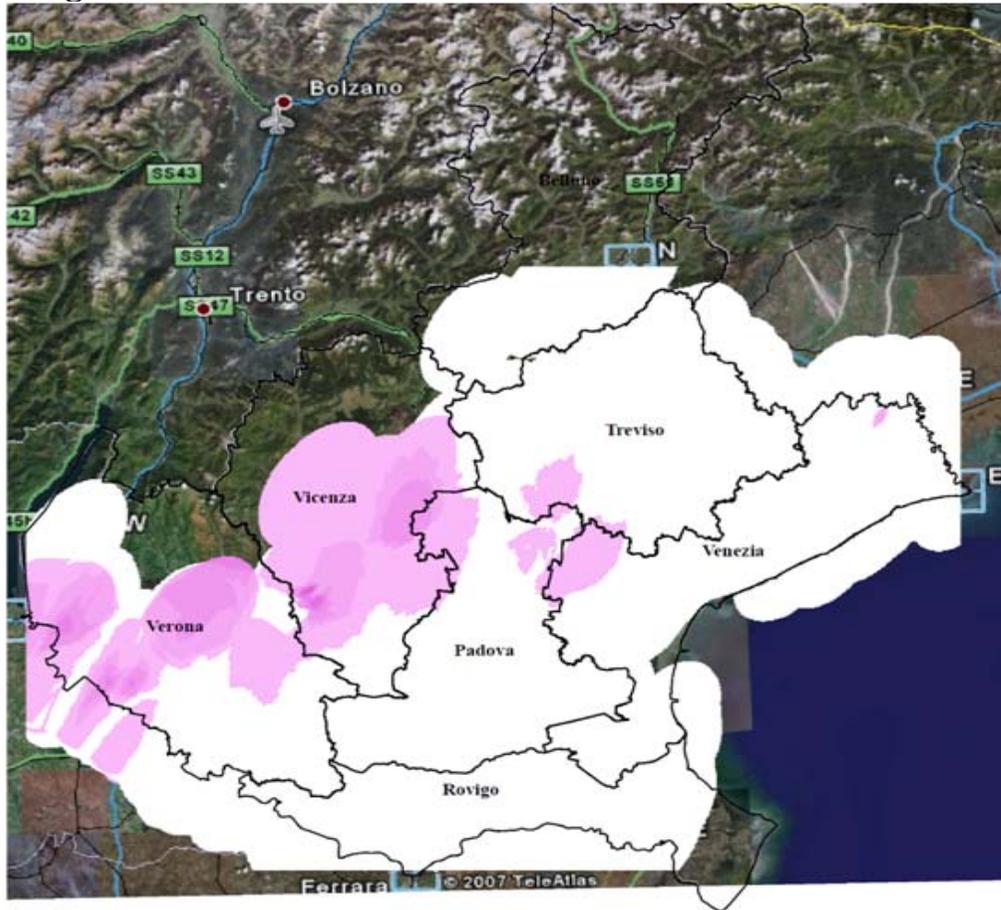
Allegato 34: Picchi di cattura nel 2006.



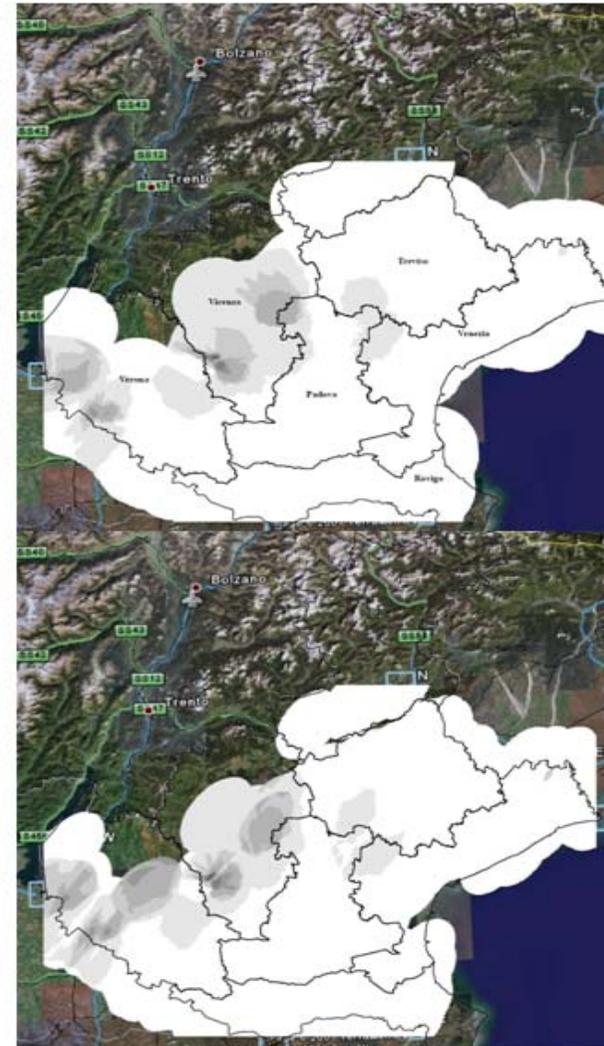
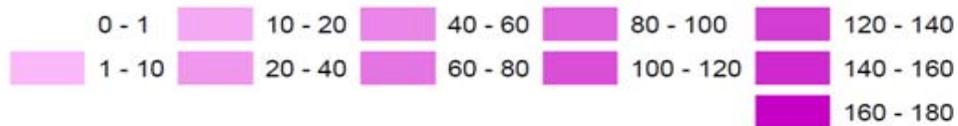
Picchi di cattura del 2006



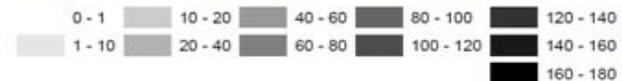
Allegato 35: Simulazioni di riduzione del dataset al 75%.



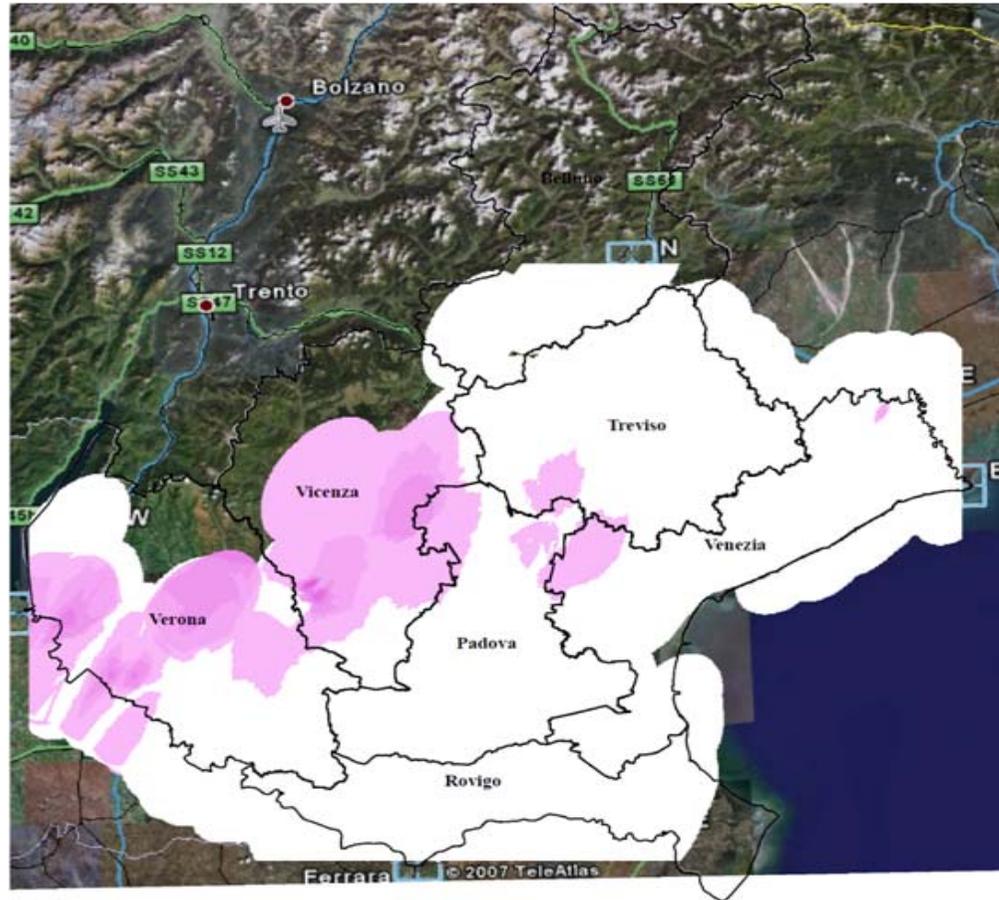
Catture totali del 2006



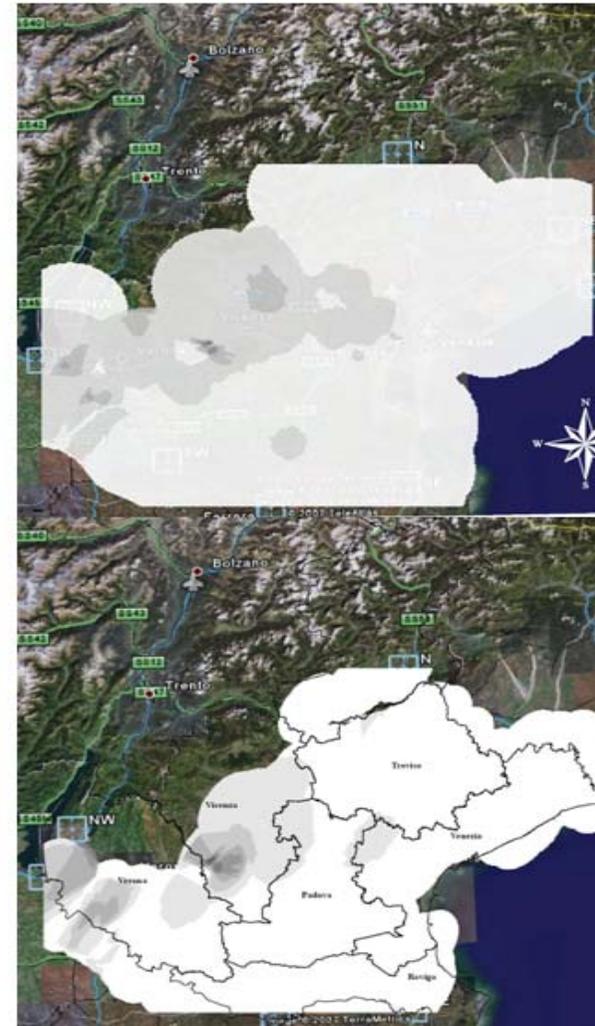
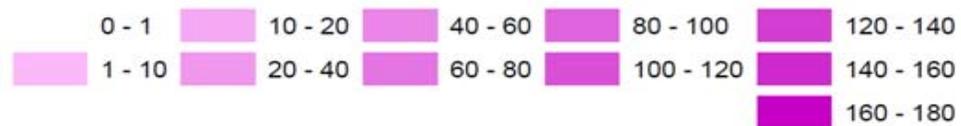
Mapa con 75% dei dati (riduzione automatica)



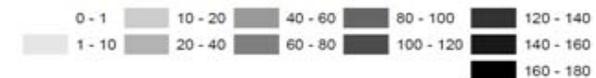
Allegato 36: Simulazioni di riduzione del dataset al 50%.



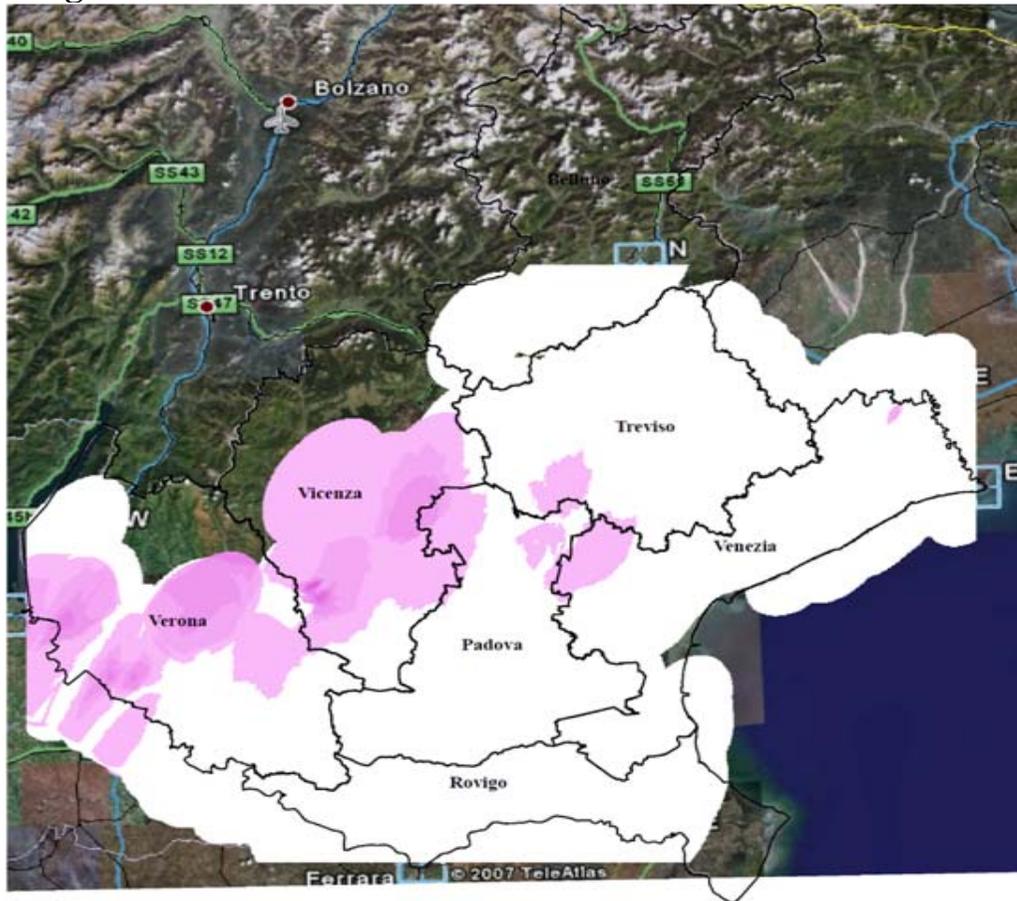
Catture totali del 2006



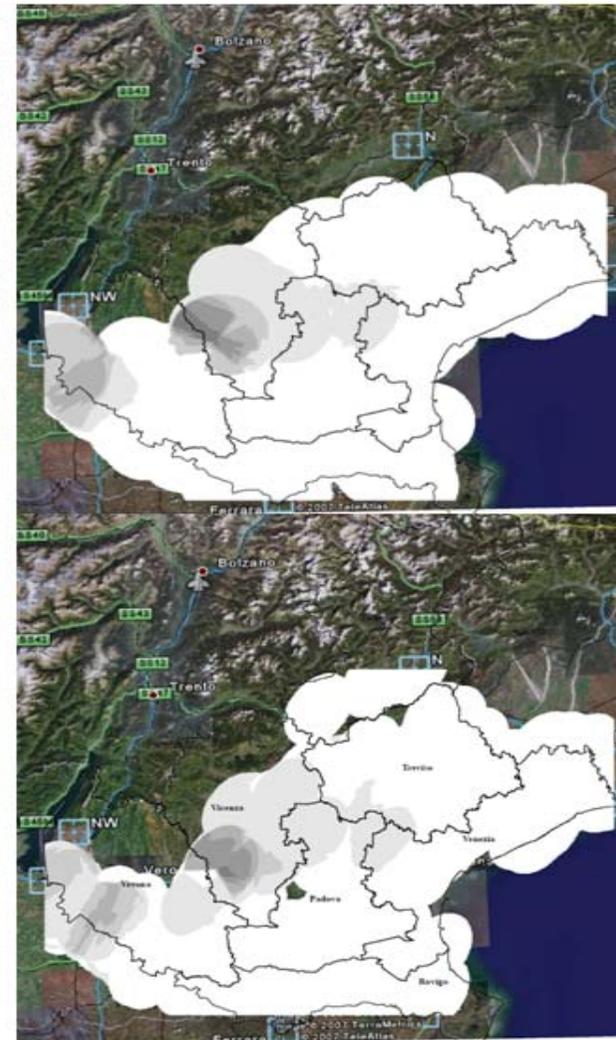
Mappa elaborata con il 50% dei dati



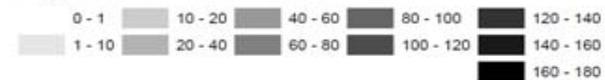
Allegato 37: Simulazioni di riduzione del dataset al 25%.



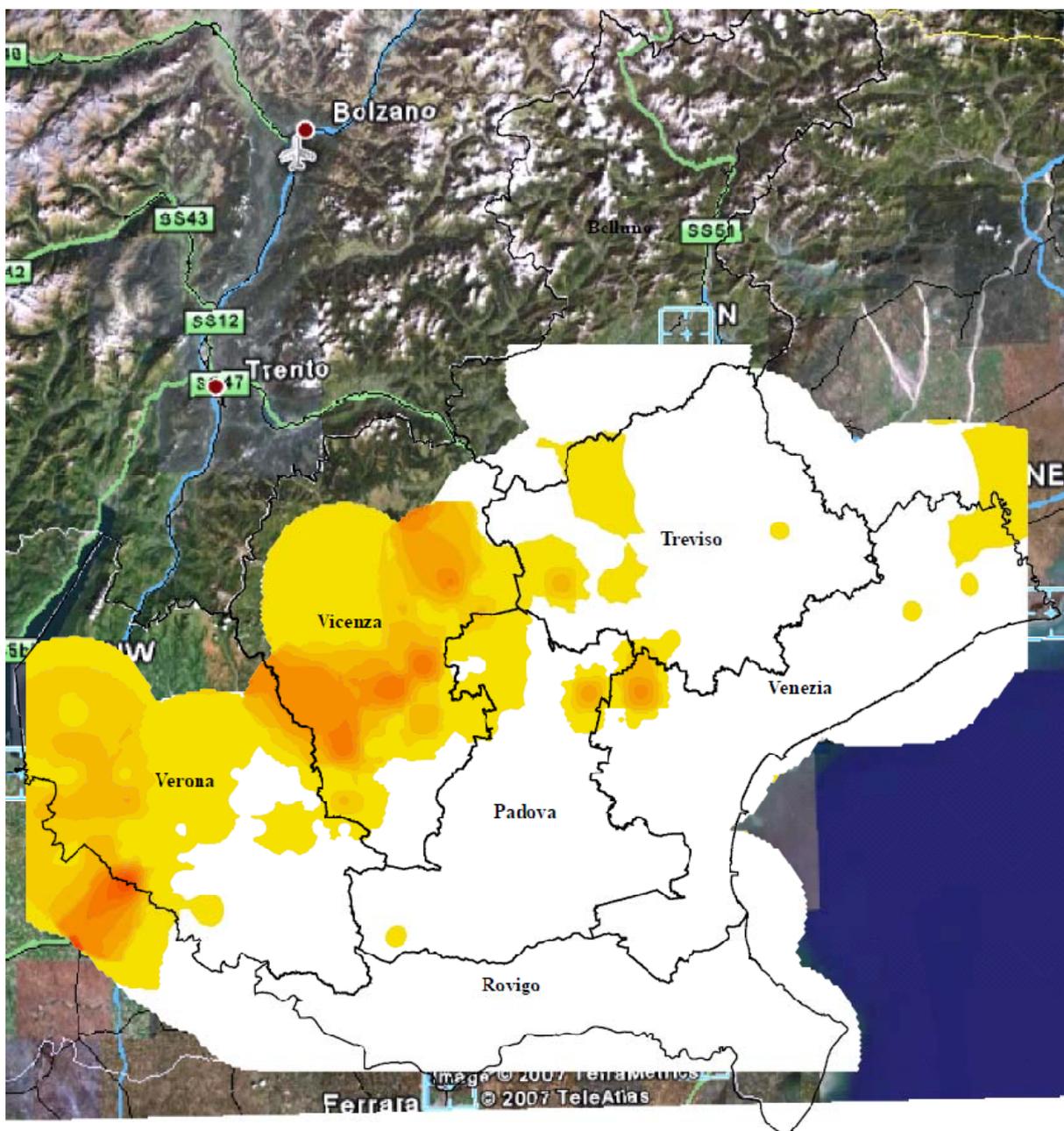
Catture totali del 2006



Mappa elaborata con il 25% dei dati



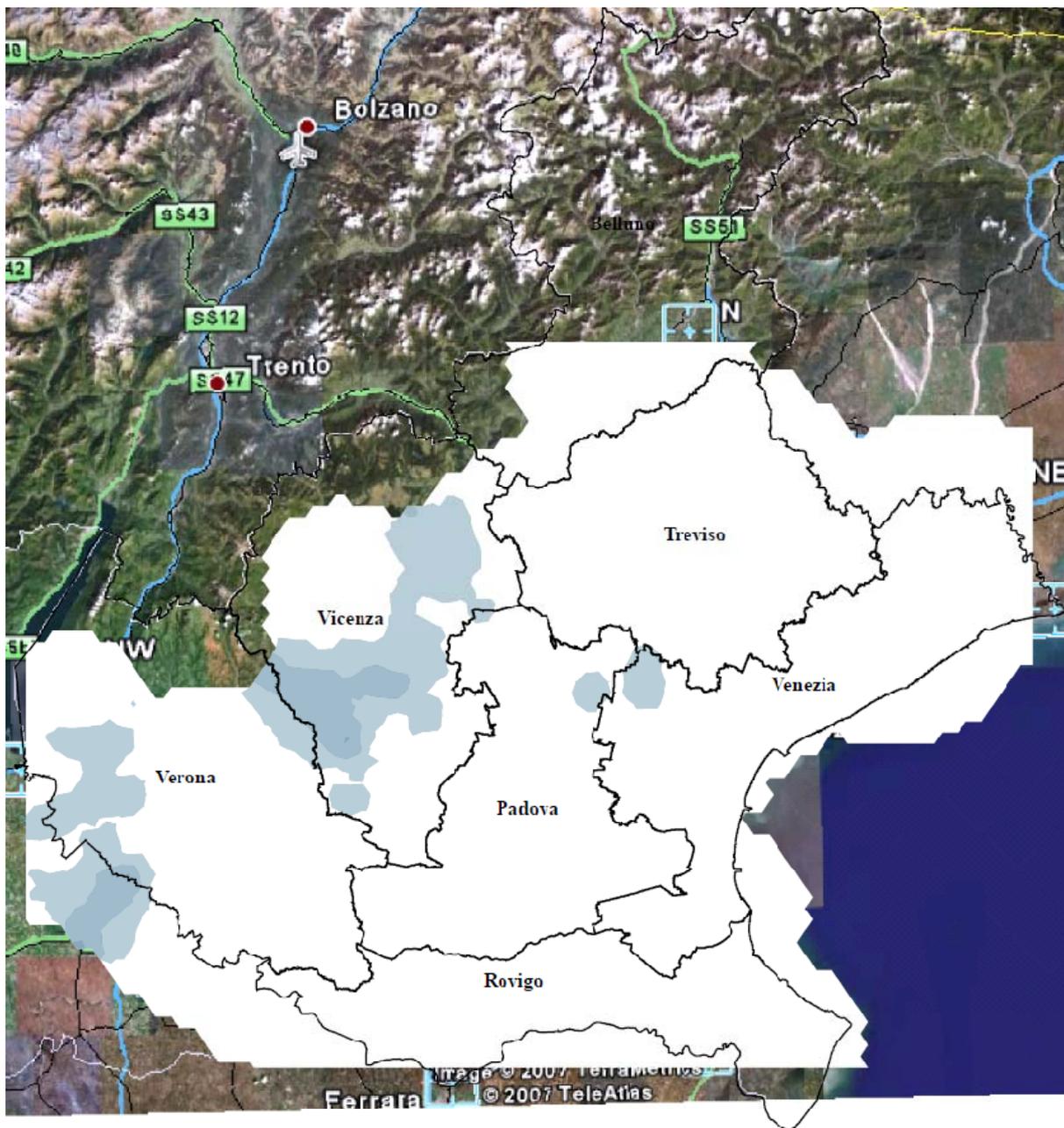
Allegato 39: Catture di Diabrotica nel 2007.



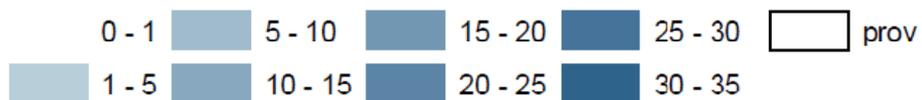
Catture del 2007



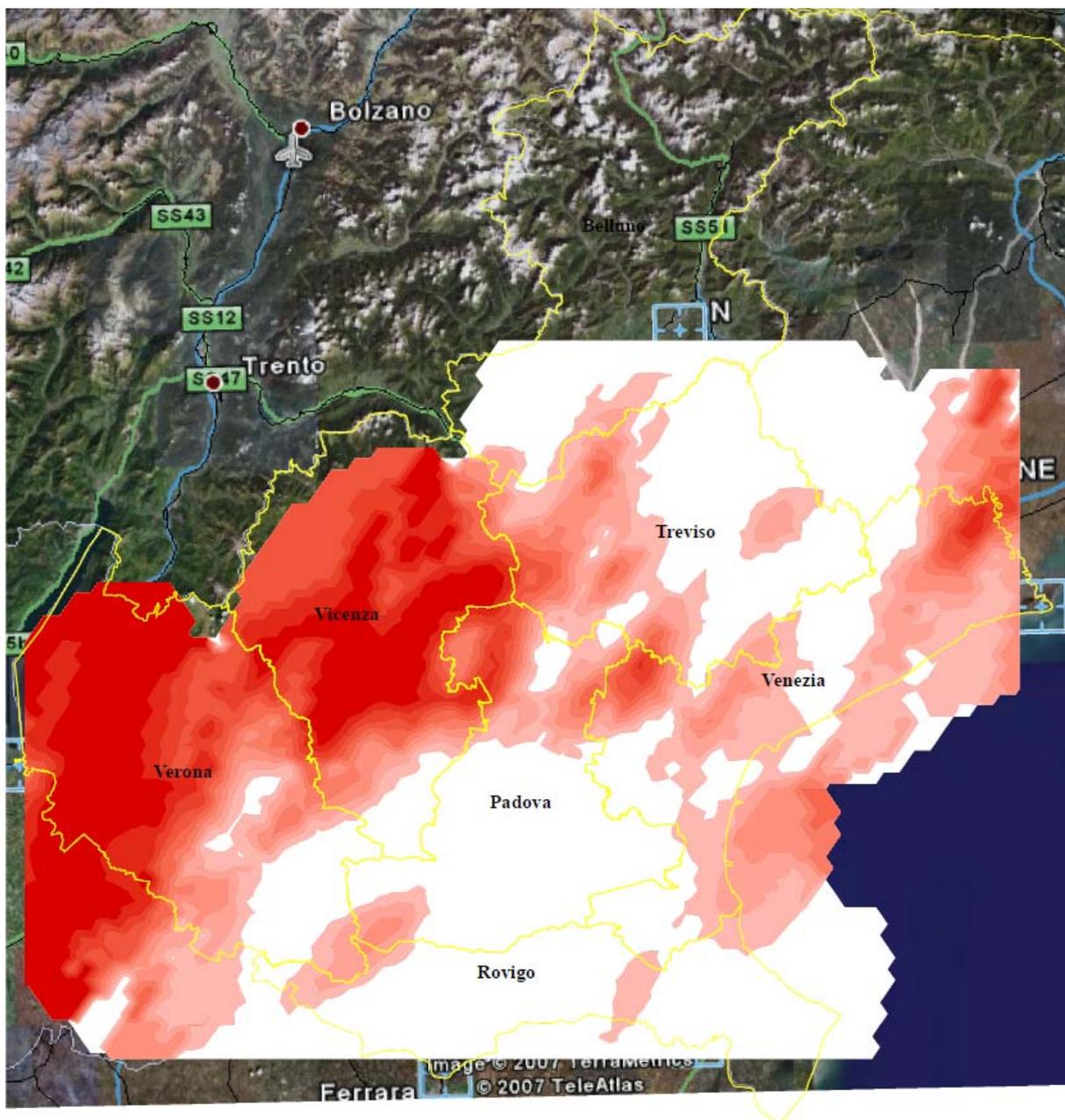
Allegato 40: Picchi di cattura nel 2007.



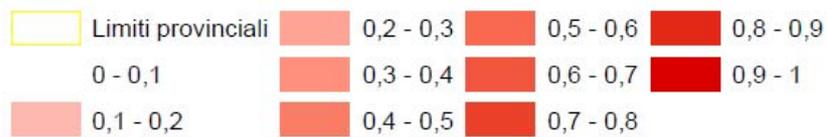
Picchi di cattura del 2007



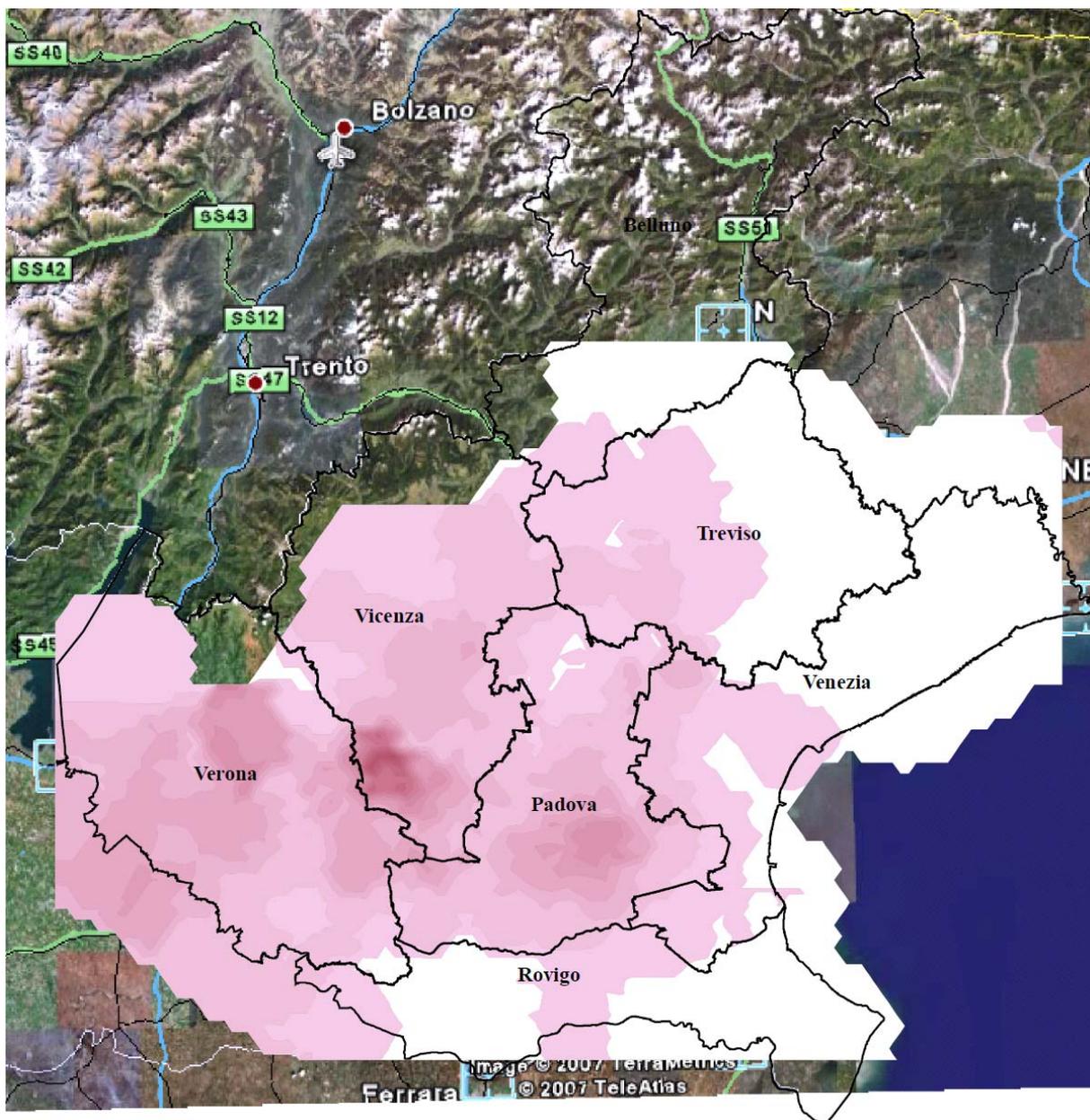
Allegato 41: Probabilità di cattura nel 2007.



Legenda



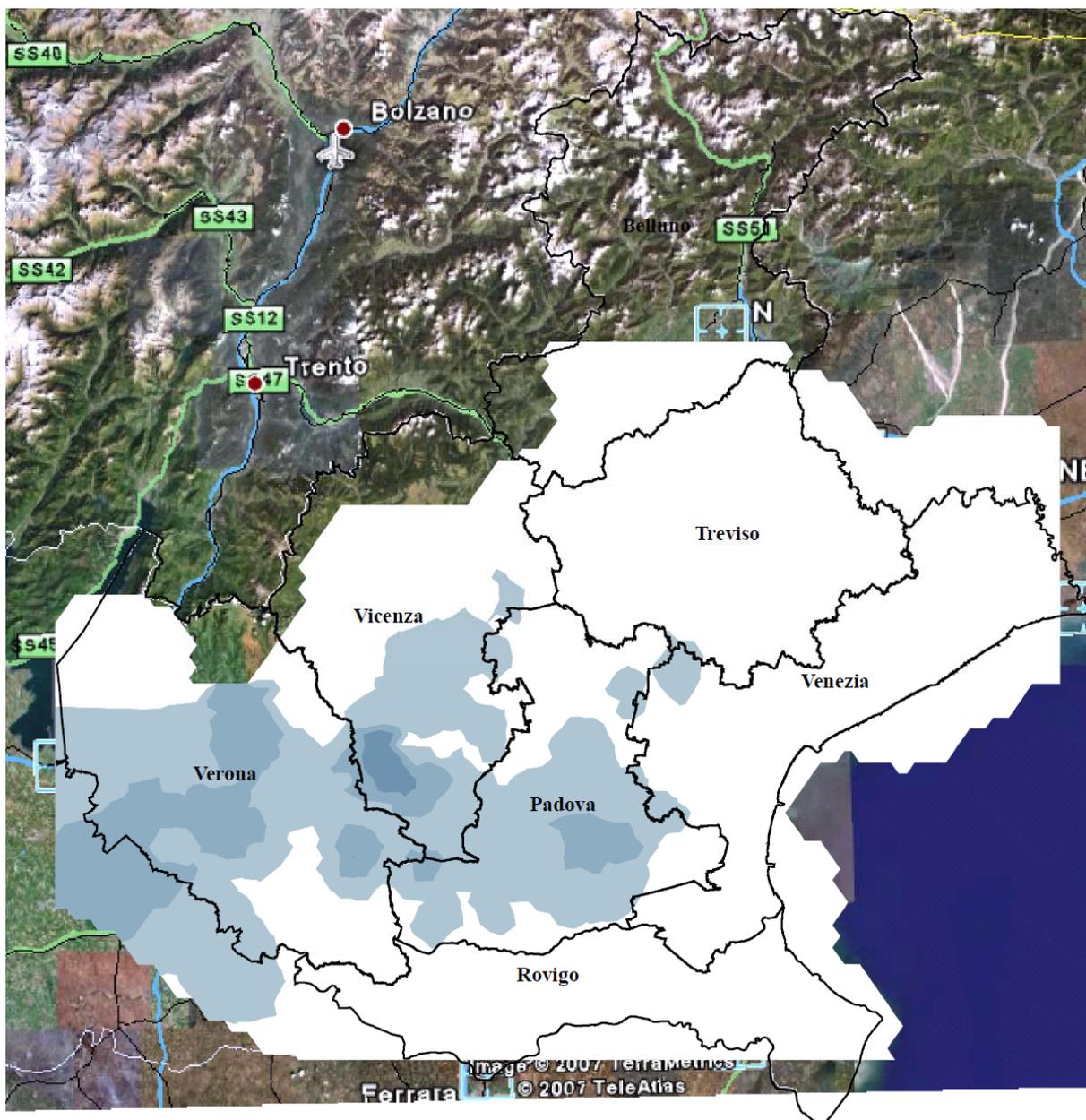
Allegato 42: Catture di Diabrotica nel 2008.



Catture del 2008

0 - 1	100 - 150	300 - 350	500 - 550	700 - 750
1 - 10	150 - 200	350 - 400	550 - 600	750 - 800
10 - 50	200 - 250	400 - 450	600 - 650	800 - 850
50 - 100	250 - 300	450 - 500	650 - 700	850 - 900

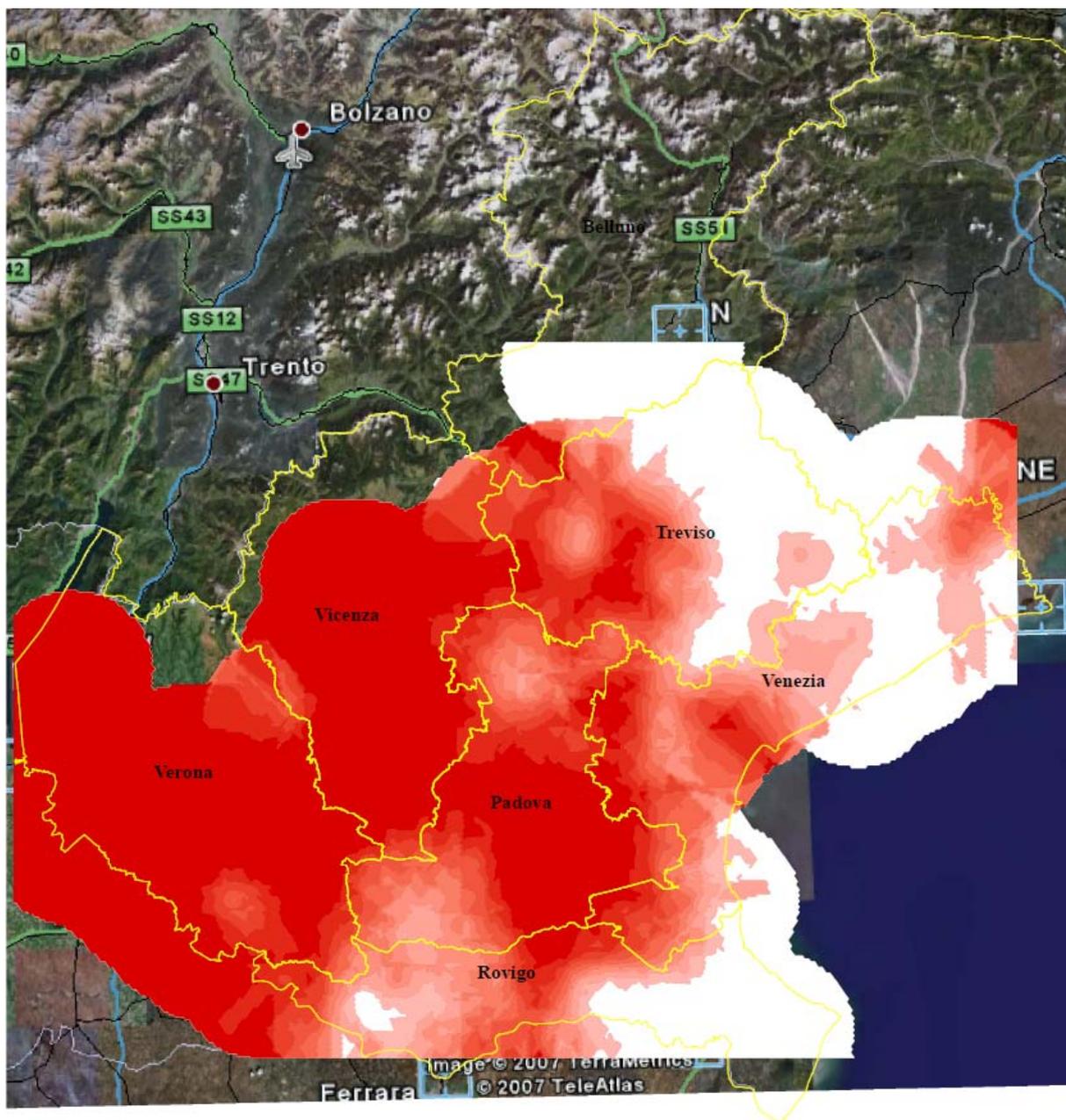
Allegato 43: Picchi di cattura nel 2008.



picchi del 2008



Allegato 44: Probabilità di cattura nel 2008.



Legenda

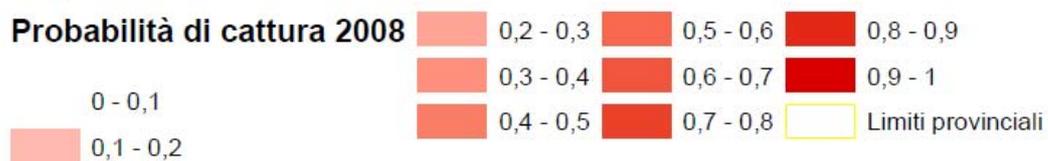


Tabella 2: Dati delle mappe relative al caso studio 2 che sono risultate significative alla cross-validation.

Specie		Dato Analizzato	Interpolatore	Modelo	Major range	Minor range	Partial Sill	Nugget	Errore medio di predizione
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2006	Catture totali per trappola 2006	O. kriging	Esponenziale	131090	78892	259,9	272,06	1,13
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2006	Catture totali per trappola 2006	I. kriging	Esponenziale	179480	84302	0,15	0,08	0,02
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2006	Picchi di catture per trappola 2006	O. kriging	Tetrasferico	107180	40871	10,19	20,63	0,26
<i>D. virgifera virgifera</i>	Riduzione del dataset 2006	75% delle catture totali del 2006	O. kriging	Tetrasferico	65689	65689	265,37	243,68	1,39
<i>D. virgifera virgifera</i>	Riduzione del dataset 2006	50% delle catture totali del 2006	O. kriging	Esponenziale	131070	78904	236,06	242,38	1,13
<i>D. virgifera virgifera</i>	Riduzione del dataset 2006	25% delle catture totali del 2006	O. kriging	Esponenziale	126850	81973	167,1	211,19	0,68
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2007	Catture totali per trappola	O. kriging	Pentasferico	80041	48138	114,52	327,72	0,30
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2007	Catture totali per trappola	I. kriging	Esponenziale	174740	89791	0,16	0,10	0,001
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2008	Catture totali per trappola	O. kriging	Esponenziale	38831	38831	5689,9	4303,1	0,87
<i>D. virgifera virgifera</i>	Dati del 2008	Catture totali per trappola	I. kriging	Gaussiano	162780	162780	162780	0,27	0,13