

## **IL SITO GIRE® MIGLIORA L'OFFERTA DI INFORMAZIONE: APPLICAZIONE WEB INTERATTIVA PER LA MAPPATURA DELLE INFESTANTI RESISTENTI AGLI ERBICIDI**

S. PANOZZO<sup>1</sup>, M. COLAUZZI<sup>2</sup>, L. SCARABEL<sup>1</sup>, A. COLLAVO<sup>1</sup>, V. ROSAN<sup>1</sup>,  
M. SATTIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istituto di Biologia Agro-Ambientale e Forestale (IBAF) – Consiglio Nazionale delle  
Ricerche (CNR), Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

<sup>2</sup> Free-lance webmaster, Via Adua 5, 35141 Padova  
silvia.panozzo@ibaf.cnr.it

### **RIASSUNTO**

Il Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi (GIRE®) ha come obiettivi principali favorire la comunicazione fra ricercatori pubblici, enti privati e persone coinvolte dal problema della resistenza agli erbicidi al fine di monitorare il fenomeno sul territorio nazionale, diffondere strategie di gestione condivise per contrastare la resistenza e gestire la banca dati sui casi di resistenza. Uno dei mezzi di comunicazione maggiormente utilizzati è il sito web ([www.resistenzaerbicidi.it](http://www.resistenzaerbicidi.it)). Data la complessità del sistema italiano e la continua e veloce evoluzione della resistenza, il GIRE ha deciso di creare un sistema di visualizzazione dinamico e flessibile delle mappe di resistenza generate nel sito. Il nuovo sistema interattivo si basa sull'utilizzo di strumenti *open source* e, essendo automatizzato, permette un facile e frequente aggiornamento delle mappe ogni qualvolta nuovi casi di resistenza vengano aggiunti al database. I due sistemi di ricerca, "statico" e "dinamico", guidano l'utente a visualizzare e a creare tutte le mappe che desidera in base a diversi criteri: tipo di resistenza, specie infestante, regione coinvolta e sistema colturale. Il sistema "dinamico" permette di evidenziare anche i casi di resistenza multipla. Le mappe, pubblicamente accessibili, forniscono aggiornamenti frequenti a tutti gli interessati per una gestione efficiente della resistenza agli erbicidi.

**Parole chiave:** resistenza agli erbicidi, mappe, *software open source*

### **SUMMARY**

THE GIRE® WEBSITE INCREASES INFORMATION AVAILABLE:

INTERACTIVE WEB APPLICATION FOR MAPPING HERBICIDE RESISTANT WEEDS

The main goals of the Italian herbicide resistance working group (GIRE®) are to improve cooperation and communication between public researchers, industry and involved stakeholders in order to monitor the evolution of herbicide resistance all over the country, to build and efficiently communicate resistance management strategies and to manage the database of herbicide resistance cases. One of the most used and most successful communication tool is the website ([www.resistenzaerbicidi.it](http://www.resistenzaerbicidi.it)). Due to the complexity of the Italian system and the continuous and fast evolution of herbicide resistance, GIRE decided to create a dynamic and flexible system to visualize resistance maps available in the website. The new interactive web-based application is based on open source software tools and, being automatic, allows easy and frequent updating of the maps when new resistant cases are added to the database. The two systems, "static" and "dynamic", allow users to build any kind of map they wish by choosing several features: type of resistance, weed species, region involved and cropping system. The "dynamic" system allows to highlight also multiple resistant biotypes. The maps, which are publicly accessible, provide frequent updates to all stakeholders for an efficient management of herbicide resistance.

**Keywords:** herbicide resistance, maps, open source software

## INTRODUZIONE

Il GIRE® (Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi) è formato da rappresentanti della ricerca pubblica, del mondo accademico, dell'assistenza tecnica e delle società agrochimiche aventi principi attivi interessati direttamente o potenzialmente dalla resistenza agli erbicidi in Italia. La missione del GIRE, in accordo con quella dell'HRAC (Herbicide Resistance Action Committee, <http://www.hracglobal.com/>) e del gruppo di lavoro dell'EWRS (European Weed Research Society) sulla resistenza agli erbicidi ([http://www.ehrs.org/herbicide\\_resistance.asp](http://www.ehrs.org/herbicide_resistance.asp)), è di facilitare un'efficace gestione della resistenza favorendo la cooperazione e la comunicazione tra organismi pubblici, le industrie e gli operatori del settore. Quindi, i principali scopi sono: promuovere un uso responsabile degli erbicidi, promuovere e contribuire ad una migliore comprensione delle cause e delle conseguenze della resistenza, promuovere le strategie di gestione della resistenza basate sulla gestione integrata delle malerbe attraverso la pubblicazione di linee-guida pratiche, supportare e partecipare a ricerche, conferenze e seminari che contribuiscano a migliorare le conoscenze sulla resistenza agli erbicidi, stimolare la collaborazione tra ricercatori pubblici e privati e, non ultimo, gestire la banca dati sui casi di resistenza in Italia.

### Evoluzione delle mappe di resistenza

In Italia, i primi casi di resistenza furono identificati tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80 e riguardavano tre specie infestanti del mais (*Solanum nigrum*, *Amaranthus* spp. e *Chenopodium album*) resistenti all'atrazina (Porceddu *et al.*, 1997; Sattin e Zanin, 2006). Da quel momento è nata la necessità di inserire in una mappa i casi di resistenza identificati e inizialmente le mappe sono state disegnate a mano (Cantele *et al.*, 1985). Questo tipo di resistenza ha avuto un basso impatto a livello pratico sia a causa della ridotta fitness delle piante resistenti sia perché esistevano diversi prodotti alternativi per il loro controllo. Nel 1986 l'uso dell'atrazina è stato limitato, e successivamente proibito, e l'assenza della pressione di selezione ha permesso di ristabilire l'equilibrio a favore del biotipo suscettibile. Per biotipo resistente si intende un gruppo di individui che condividono molte caratteristiche fisiologiche, tra le quali la capacità di sopravvivere ad uno o più erbicidi, appartenenti ad un particolare gruppo, utilizzati ad una dose che normalmente li controllerebbe. Per cui, per ogni specie ci possono essere più biotipi resistenti in relazione al tipo ed al numero di gruppi di erbicidi coinvolti, cioè in relazione allo spettro di resistenza. Naturalmente, per ciascun biotipo ci possono essere più popolazioni; ad esempio, nel mondo ne esistono centinaia aventi le stesse caratteristiche di resistenza alle triazine simmetriche come ad es. l'atrazina (Sattin e Zanin, 2006).

Fino alla metà degli anni '90 nessun nuovo caso di resistenza fu registrato in Italia. Dopo l'introduzione degli erbicidi con sito d'azione specifico (come ad esempio le solfoniluree inibitrici dell'acetolattato sintasi (ALS) ed i graminicidi inibitori dell'acetil coenzima-A carbossilasi (ACCasi)), i primi casi di resistenza agli erbicidi inibitori dell'ALS sono stati trovati in infestanti del riso, *Alisma plantago-aquatica* (1994) e *Schoenoplectus mucronatus* (1995) (Sattin *et al.*, 1998), e del frumento tenero, *Papaver rhoeas* (1998) (Scarabel *et al.*, 2004; Sattin *et al.*, 2006). I casi di resistenza agli inibitori dell'ACCasi, invece, hanno interessato principalmente *Lolium* spp. e *Avena sterilis* in coltivazioni di frumento (Campagna *et al.*, 2006) e, più recentemente, giavone in riso e mais (Panozzo *et al.*, 2013). Negli anni '90 le mappe di resistenza agli ALS sono state riportate in carte geografiche estratte dall'enciclopedia Encarta®.

Visto l'aumento dei casi di resistenza e la varietà di infestanti e sistemi colturali coinvolti, a partire dai primi anni 2000 le mappe si costruivano utilizzando il *software open source*

ArcExplorer 2<sup>®</sup>. Esso permetteva di costruire una mappa specifica per ogni biotipo e di evidenziare il comune dove era stato trovato almeno un caso di resistenza (Sattin *et al.*, 2004; Sattin, 2005). Ad oggi, in Italia sono stati identificati 29 biotipi resistenti che coinvolgono 21 specie infestanti (15 delle quali sono monocotiledoni) in 16 regioni italiane. Sono coinvolti la maggior parte dei sistemi colturali (frumento, mais, riso, soia e colture perenni) e si stima che attualmente più di 200.000 ha siano infestati da popolazioni resistenti. Dalla nascita del GIRE (1997) la situazione è stata costantemente monitorata e mediamente sono stati trovati 1,2 nuovi biotipi resistenti all'anno.

Per facilitare la comunicazione e la diffusione delle informazioni, GIRE nel 2009 ha creato un sito web ([www.resistenzaerbicidi.it](http://www.resistenzaerbicidi.it)) che, ad oggi, contiene circa 200 pagine fra le quali si possono trovare le linee guida generali per la gestione delle infestanti e quelle specifiche per ogni sistema colturale, le schede descrittive delle specie infestanti coinvolte, la letteratura sui casi di resistenza italiani, le novità del settore e del sito e una sezione che contiene le mappe di resistenza. Il sito ha riportato un buon successo fra gli utenti e il numero di contatti giornalieri è in continuo aumento (negli ultimi mesi si è aggirato intorno ai 100 contatti al giorno). Fino a metà del 2013, le mappe riportate nel sito erano costruite utilizzando il *software* ArcExplorer 2 che, oltre a non permettere di disegnare mappe dei casi di resistenza multipla, non era più supportato dalle versioni di Windows successive a XP.

Per questi motivi recentemente il GIRE ha deciso di creare una nuova applicazione web per la creazione e visualizzazione delle mappe di resistenza dinamica e flessibile.

## MATERIALI E METODI

### Test di resistenza

Il campionamento delle popolazioni putativamente resistenti è basato sul *complaint monitoring*, e non su un campionamento di tipo randomizzato, cioè un campione di semi viene raccolto dai tecnici delle aziende agrochimiche, o direttamente dall'agricoltore, quando in campo si osserva un'inspiegabile ridotta efficacia dell'erbicida. Vengono raccolti semi da circa venti piante sopravvissute a uno o più trattamenti erbicidi nella stessa stagione colturale. I campioni vengono spediti all'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF) del CNR presso l'Azienda Agricola Sperimentale L. Toniolo ad Agripolis, Legnaro (PD), Italia (45° 21' N, 11° 58' E) dove vengono eseguiti i test di resistenza su pianta intera. A seconda della specie infestante i semi sono catalogati, puliti e stoccati al buio a temperatura ambiente o a 4 °C fino al loro utilizzo.

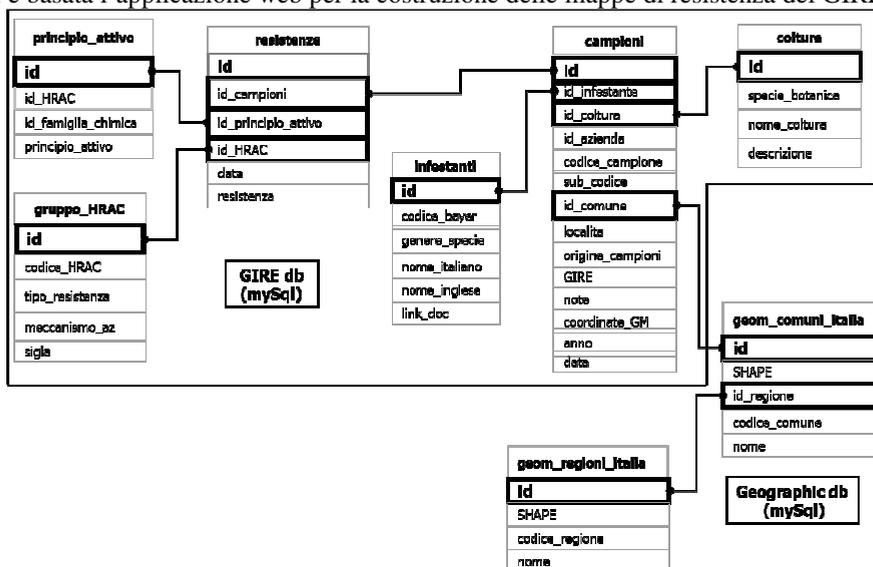
I semi vengono fatti pre-germinare in scatole di plastica su agar allo 0,6% p/v e trapiantati in vaschette (325 x 265 x 95 mm) contenenti un miscuglio standard (60% terra, 15% sabbia, 15% perlite e 10% torba). Il disegno sperimentale utilizzato è completamente randomizzato con 2 repliche di 15-30 piante ciascuna, a seconda della specie. I test di resistenza prevedono l'utilizzo di quattro erbicidi appartenenti a diversi meccanismi d'azione. Vengono testate la dose di campo (1x) e tre volte la dose di campo (3x). Il trattamento viene eseguito quando le piante hanno raggiunto mediamente lo stadio BBCH 13-14 (3-4 foglie vere, circa 10 giorni dopo il trapianto). Per il trattamento viene utilizzata una barra di precisione con tre ugelli idraulici *flat-fan extended range* TeeJet XR11002-VK, con un volume di distribuzione di 300 L/ha, pressione di 215 kPa e velocità di 0,75 m/s. Una popolazione che non è mai stata sottoposta a trattamenti erbicidi, solitamente fornita dall'IBAF-CNR, viene inserita come controllo suscettibile. La sopravvivenza, in relazione al controllo non trattato, è registrata 3 o 4 settimane dopo il trattamento (a seconda dell'erbicida utilizzato).

Una popolazione viene considerata resistente (R) se almeno il 20% delle piante sopravvive alla dose 1x di erbicida e altamente resistente (RR) se almeno il 20% delle piante sopravvive alla dose 1x di erbicida e almeno il 10% delle piante sopravvive alla dose 3x di erbicida, mentre percentuali di sopravvivenza inferiori vengono descritte come SR (fra 5 e 20%) e S (<5%).

### Organizzazione dei dati e costruzione delle mappe di resistenza

I dati di ogni popolazione sono inseriti in un database mySql (GIRE db) formato da sei tabelle (Figura 1). Le tabelle “resistenze” e “campioni” contengono la maggior parte dei dati inseriti dall’utente e includono tutte le informazioni sui campioni (codice identificativo, specie infestante, sistema colturale coinvolto, origine del campione e luogo dove è stato raccolto) e sul grado di resistenza degli stessi (solo le popolazioni con grado di resistenza descritti come R e RR verranno inserite nelle mappe). Non vengono inseriti invece i dati sui livelli di resistenza (Indici di Resistenza, RI) né sui meccanismi di resistenza. Per descrivere un pattern di resistenza di un campione testato con un numero N di erbicidi il suo codice identificativo (id) viene ripetuto N volte nella tabella delle resistenze. Le tabelle “principio\_attivo” e “gruppo\_HRAC” contengono le informazioni che permettono di suddividere per modo di azione gli erbicidi testati e quindi costruire mappe per tipo di resistenza, mentre le tabelle “infestante” e “colture” hanno la stessa funzione per la costruzione di mappe per tipo di infestante e di sistema colturale, rispettivamente. I dati descrittivi di una popolazione e i risultati dei test di resistenza eseguiti sulla popolazione stessa inclusi nel GIRE db identificano un campione come unico; i campioni resistenti sono geo-localizzati attraverso il Geographic db (Figura 1) che contiene le informazioni geometriche (confini fisici) di regioni e comuni italiani ed è collegato al GIRE db attraverso i codici identificativi dei comuni (id\_comune).

Figura 1. Schema della struttura dei due db mySql (GIRE db in alto e Geographic db in basso) su cui è basata l’applicazione web per la costruzione delle mappe di resistenza del GIRE



Le informazioni geometriche generano un *geometrical file* (GML format) che viene caricato e visualizzato usando due *software open source*, OpenLayers e OpenStreetMap. Il primo è una

libreria JavaScript per visualizzare mappe interattive nei *browser* web, mentre il secondo è un progetto collaborativo finalizzato a creare mappe del mondo a contenuto libero. OpenStreetMap è utilizzato in alternativa a GoogleMaps svincolando il GIRE da onerosi costi di utenza. L'intero sistema di generazione delle mappe include una sequenza di passaggi nei quali diversi componenti *software* (tutti *freeware*) interagiscono fra di loro sotto la coordinazione di un *software-code* PHP sviluppato specificatamente attraverso il *framework* per applicazioni web CodeIgniter®.

## RISULTATI

In un primo momento il sistema permetteva di visualizzare mappe di resistenza che possono essere definite "statiche". Il sistema, semplice ed intuitivo, è tuttora disponibile ([http://5.135.187.175/agri\\_test/index.php/mappe\\_stat/gire/](http://5.135.187.175/agri_test/index.php/mappe_stat/gire/)) per soddisfare richieste semplici sulla base dei sistemi colturali interessati dalla resistenza agli erbicidi in Italia. Attraverso un menù ad "albero" l'utente è guidato a scegliere prima il sistema colturale e poi la specie infestante; in questo modo vengono visualizzati una serie di link alla scheda descrittiva della specie, alle mappe di resistenza dei vari tipi di resistenza coinvolti e ai corrispondenti elenchi dei comuni (Figura 2). Questo tipo di sistema, che verrà chiamato "statico", presenta alcuni limiti il più importante dei quali è che non consente di decidere da quale caratteristica partire per la creazione della mappa (la scelta è obbligata e gerarchica).

Per ovviare a questi limiti, recentemente è stato introdotto un sistema di generazione delle mappe di resistenza molto più dinamico e flessibile che verrà chiamato "dinamico" ([http://5.135.187.175/agri\\_test/index.php/mappe/gire/](http://5.135.187.175/agri_test/index.php/mappe/gire/)) (Figura 3). In questo caso la maschera utente è composta da quattro menù a tendina che permettono di costruire l'interrogazione in modo personalizzato scegliendo il tipo di resistenza, la specie infestante, la regione e il sistema colturale e contemporaneamente di visualizzare la lista dei comuni coinvolti previa l'abilitazione dei popup (Figura 4). Come nel sistema "statico", un comune cambia colore quando almeno un caso di resistenza è stato dimostrato ed è riportato nel GIRE db. Questo significa che la mappa non fornisce indicazioni sull'intensità del fenomeno in una certa area ma solo che un certo comune è interessato dalla resistenza.

Ad esempio, è possibile visualizzare la mappa dei casi di *Lolium* spp. resistente agli inibitori dell'ACCasi in frumento (Figura 3) o semplicemente visualizzare tutti i casi di *Lolium* spp. resistenti ad un qualche erbicida specificando la scelta nel menù a tendina della "Specie infestante" e lasciando "TUTTE/I" negli altri campi (Figura 5). In ogni caso sulla destra della mappa verrà visualizzata la lista di biotipi resistenti di *Lolium* spp., inclusi quelli con resistenza multipla (campioni dove è stata dimostrata la resistenza a erbicidi appartenenti a diversi gruppi HRAC, cioè con modi d'azione diversi), nei diversi sistemi colturali. Va ricordato che quando si sceglie l'opzione spp. la mappa includerà tutte le specie del genere selezionato.

Anche nel caso della resistenza multipla un comune cambia colore quando è stato riportato almeno un caso di resistenza a più erbicidi aventi meccanismo d'azione diversi, e quindi la mappa dà un'informazione qualitativa. E' possibile visualizzare i casi di resistenza multipla anche dal menù a tendina "Tipo di resistenza" dove sono riportati sotto forma di elenco i casi ad oggi conosciuti.

Figura 2. Esempio di mappa costruita col sistema “statico”: sulla sinistra il menù ad albero che permette di scegliere le caratteristiche desiderate (nel riquadro il risultato della selezione), mentre in alto viene visualizzata la descrizione della mappa rispetto alle caratteristiche scelte. I comuni dove è stato riportato almeno un caso di resistenza diventano colorati a seconda del tipo di resistenza selezionato

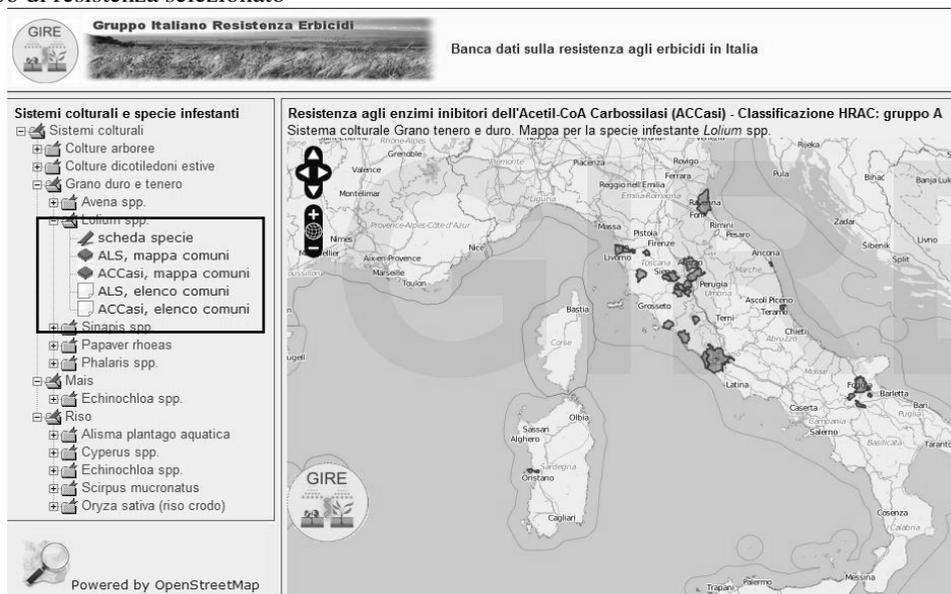


Figura 3. Esempio di mappa costruita col sistema “dinamico”: sulla sinistra i quattro menù a tendina che permettono di scegliere le caratteristiche desiderate (vedi Figura 4), mentre sulla destra viene visualizzato il risultato della ricerca effettuata (tipo di resistenza, specie e colture coinvolte, e una foto della specie infestante che rimanda alla scheda descrittiva della specie stessa). Anche in questo caso i comuni dove è stato riportato almeno un caso di resistenza diventano colorati a seconda del tipo di resistenza selezionato

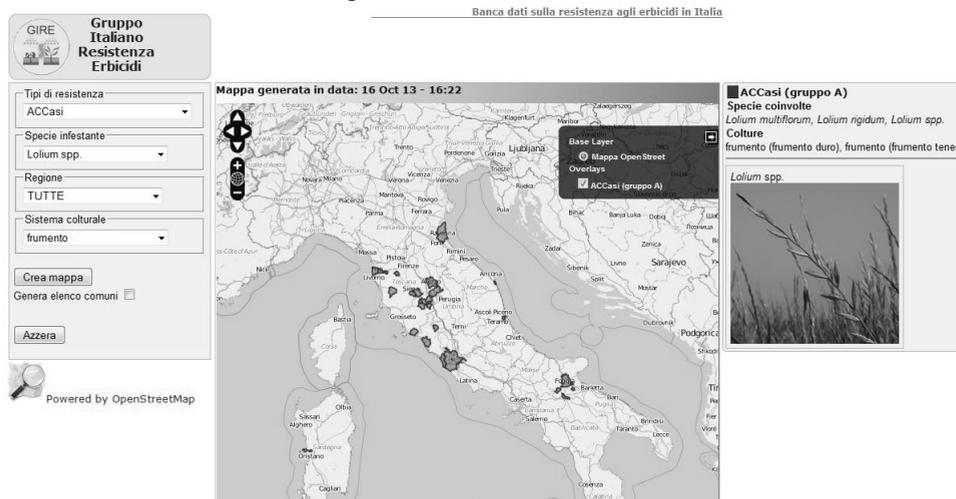




Figura 4. I menù a tendina del sistema “dinamico” che permettono di visualizzare mappe generali per ogni categoria (lasciando la voce “TUTTE” e premendo il pulsante “Crea mappa”) o di restringere il campo fino a visualizzare i campioni di una “Specie infestante” resistenti a un “Tipo di resistenza” in una “Regione” italiana in uno specifico “Sistema colturale”. E’ inoltre possibile visualizzare l’elenco dei comuni coinvolti spuntando l’apposita casella prima di cliccare il pulsante “Crea mappa” e infine azzerare tutti i campi prima di procedere con una nuova ricerca

Figura 5. Esempio di mappa di resistenza di *Lolium spp.*: a destra il risultato della ricerca dove sono riassunti tutti i tipi di resistenza (anche le resistenze multiple) che coinvolgono la specie ognuna rappresentata da un colore diverso. Nel box sulla mappa è possibile spuntare ognuno dei tipi di resistenza in modo da semplificarla e visualizzare solo i tipi di resistenza desiderati volta per volta



## CONCLUSIONI

La nuova applicazione web interattiva per la mappatura delle infestanti resistenti agli erbicidi ideata e introdotta dal GIRE presenta molti vantaggi rispetto al metodo precedente quando le mappe venivano costruite usando il *software* ArcExplorex 2

- Prima i dati erano registrati in file Excel e le mappe di resistenza dovevano essere costruite manualmente e poi trasferite nel sito web; adesso invece i dati sono caricati direttamente in un database online ad accesso riservato dove ogni campione è rappresentato e descritto da una scheda che lo identifica in maniera univoca.

- Prima l'utente poteva solo consultare mappe pre-impostate dai ricercatori senza poter intervenire nella scelta dei criteri per costruirle; adesso gli utenti interagiscono con il sistema e possono scegliere i criteri di maggiore interesse (tipo di resistenza, specie infestante, regione di interesse e sistema colturale) generando automaticamente la mappa.
- Il vecchio sistema era statico, difficile da aggiornare, con un'elevata possibilità di commettere errori e presto si è dimostrato obsoleto; la nuova applicazione invece è automatica, facile da usare e con un costo sostenibile dato l'impiego di un insieme di *software open source*.

Conoscere con tempestività le aree infestate con popolazioni di malerbe resistenti ad uno o più erbicidi è presupposto fondamentale per poter impostare efficaci strategie di gestione. Le mappe forniscono un ulteriore strumento, costantemente aggiornato, che facilita la fruibilità e arricchisce le informazioni che il GIRE mette a disposizione del pubblico, inclusi i decisori a livello nazionale e regionale, per una gestione efficiente della resistenza agli erbicidi in Italia.

### LAVORI CITATI

- Campagna C., Collavo A., Innocenti M., Sattin M., 2006. Evoluzione e gestione della resistenza ai gramincidi in *Lolium* spp. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 329-336
- Cantele A., Zanin G., Zuin M.C., 1985. Resistenza cloroplastica alle triazine: attuale estensione del fenomeno e prospettive. *L'Informatore Agrario*, 41, 153-168
- Gruppo Italiano Resistenza Erbicidi (GIRE), [www.resistenzaerbicidi.it](http://www.resistenzaerbicidi.it), ultimo accesso 17 febbraio 2014
- Panozzo S., Scarabel L., Tranel P.J., Sattin M., 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 105, 93-101
- Porceddu E., Sattin M., Zanin G., 1997. Herbicide resistance in Italy: evolution and current situation. *Agricoltura Mediterranea*, 127, 97-105
- Sattin M., 2005. Herbicide resistance in Europe: an overview. *Proc. BCPC International Congress – Crop Science & Technology*, 131-138
- Sattin M., Airoidi M., Barotti R., Marchi A., Salomone M.C., Trainini G., Tabacchi M., Malagoni R., Zanin G., 1998. La resistenza agli erbicidi inibitori dell'ALS in risaia. *L'Informatore Agrario*, 16, 37-40
- Sattin M., Gasparetto M.A., Campagna C., 2001. Situation and management of *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* and *Phalaris paradoxa* resistant to ACCase inhibitors in Italy. *Proc. British Crop Protection Conference - Weeds*, 755-562
- Sattin M., Arcangeli G., Cavanna S., Saporiti M., Scarabel L., Tabacchi M., Trainini G., Zanin G., 2004. Gruppo italiano di lavoro sulla resistenza agli erbicidi (GIRE): obiettivi raggiunti e prospettive. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 429-436
- Sattin M., Zanin G., 2006. La resistenza agli erbicidi: un processo evolutivo in ambiente agricolo. *Agronomica*, 5, 20-25
- Sattin M., Campagna C., Dalla Valle N., Fornara L., Guarnone A., Magnani D., Sbriscia C., Scarabel L., Tabacchi M., Tracchi G., Zanin G., 2006. L'evoluzione della resistenza del papavero agli erbicidi. *L'Informatore Agrario*, 21, 71-76
- Scarabel L., Carraro N., Sattin M., Varotto S., 2004. Molecular basis and genetic characterization of evolved resistance to ALS-inhibitors in *Papaver rhoeas*. *Plant Science*, 166, 703-709