

Capítulo 19. Cultivo del arroz en Italia y Europa

Francesco Vidotto, Silvia Fogliatto

Producción de arroz en Europa en el contexto internacional

En la Unión Europea (UE), el arroz se cultiva exclusivamente con fines comerciales. Su importancia está bastante limitada, en términos de superficie cultivada y producción total, en comparación con otros cultivos. La incidencia del arroz de la UE es aún menor a nivel internacional. En 2014 sólo representó alrededor del 0,4 % del área arroceras mundial y 0,64 % de la producción total, mientras que los mayores productores se concentran principalmente en Asia, China, India e Indonesia, todos los cuales representan alrededor del 50 % tanto del área como de la producción de todo el mundo (FAO, 2018).

Áreas arroceras en Europa y sistemas de producción

El arroz se cultiva en la UE en aproximadamente 446.000 ha, con un rendimiento promedio cercano a las 6,8 t ha⁻¹. Las principales zonas arroceras europeas son el valle del Po en Italia, la Camarga (sur de Francia), varias áreas en España (delta del Ebro, área alrededor de Valencia, Sevilla, Badajoz y Zaragoza), el valle del Tejo y la región del Mondego en Portugal, y los alrededores de Thessaloniki en Grecia (Ferrero, 2007). Alrededor del 50 % del área total se encuentra en el valle del Po. Se puede estimar que cerca del 70 % del área arroceras se cultiva con variedades *japonica*, mientras que el 30% restante con variedades *japonica* similares a *indica* (Kraehmer et al., 2017). Éstos tienen granos alargados, pero genéticamente pertenecen al grupo *japonica*.

El arroz se cultiva principalmente como monocultivo, comúnmente en suelos de textura fina y mal drenados, con rasgos muy variables, como el pH (4,5 a 8,5), contenido promedio de materia orgánica de 2 % (0,5 % a 10 %) y contenido de sal que pueden ser bastante importantes en las zonas costeras (por ejemplo, Camarga en Francia, delta del Ebro en España, y delta del Po en Italia).

A menudo se produce en áreas donde las condiciones ecológicas no permiten otros cultivos. Por ejemplo, en Valencia (España) el cultivo de arroz está situado en suelos pantanosos de una laguna costera. En otras tierras de origen autóctono más cercanas a los Alpes (conocidas en Italia como 'Baragge'), que solían ser boscosas o sin perturbaciones, ahora se siembran con arroz, ya que estos suelos son compactos, con bajo contenido de materia orgánica y baja fertilidad. El área del arroz en Europa tiene un clima templado-continental que sólo permite una temporada de crecimiento por año.

A pesar de la gran variabilidad de las condiciones ambientales en que se cultiva el arroz en la UE, todo el arroz europeo se cultiva exclusivamente bajo riego (Garrity et al., 1986; Ferrero y Vidotto, 2010).

Si bien la inundación de malezas tiene un efecto significativo en la presión que ejercen, disminuyendo su presencia, este sistema se adopta, principalmente, con el objetivo de reducir las fluctuaciones de temperatura. El agua proviene de ríos, lagos y manantiales, mientras que sólo en algunos casos las aguas se extraen de los acuíferos.

Los campos de arroz se organizan generalmente en sistemas de 4 a 7 campos adyacentes, en los que el agua fluye desde la parte superior a la cuenca inferior, lo que se denomina 'sistema de flujo continuo'.

El cultivo se establece principalmente a través de siembra directa en seco. Históricamente, el trasplante se introdujo en Italia desde España, a principios de la década de 1910, y duró hasta la década de 1950 cuando se introdujeron los primeros herbicidas (Ferrero y Vidotto, 2010).

En la actualidad, alrededor del 70 % del área de arroz se gestiona adoptando inundaciones permanentes. En este caso, el arroz se siembra (como semilla remojada) en campos inundados. Al poco tiempo, los campos se secan durante algunos días para promover la formación de raíces y el establecimiento de plántulas. Después de eso, se mantienen continuamente inundados hasta, aproximadamente, 1 mes antes de la cosecha, con la excepción de los períodos cortos en los que se realizan tratamientos con herbicidas y fertilizantes de cobertura. El 30 % restante del área de arroz corresponde a siembra directa (en seco), donde los campos se inundan a partir de la etapa de macolla en adelante.

Cultivo del arroz en Italia

En 2017, la superficie total arrocera en Italia cubría un poco más de 229.000 ha, con un rendimiento promedio de 6,8 t ha⁻¹. El número de variedades cultivadas es bastante significativo, ya que en 2015 se sembraron 140 variedades, aunque sólo 7 ocupaban más de 10.000 ha cada una (Cuadro 1).

La siembra directa en campos secos se adopta en aproximadamente 38 % del área total de arroz, porcentaje que ha estado aumentando en los últimos años, lo que se relaciona con el aumento del cultivo de variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) (ENR, 2015b).

Cuadro 1. Superficie total, rendimiento promedio, número de variedades y área con variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) en Italia.

Superficie total (ha)	Rendimiento promedio (t ha ⁻¹)	Variedades (N°)	Área con variedades tolerantes a IMI
229.546 (2017)	6,8 (2016)	140 (7 > 10.000 ha cada una) (2015)	38 % (2017)

Fuente: ENR, 2015a; 2016.

En los últimos 30 años el número de predios se ha reducido en más de 50 % (Cuadro 2). En contraste, el tamaño promedio aumentó de 21 a 54 ha, valor bastante alto en comparación con el tamaño promedio de las granjas italianas, un poco inferiores a las 8 ha (ISTAT, 2018).

Cuadro 2. Evolución del número de agricultores arroceros y tamaño promedio de granjas arroceras en Italia desde 1980 a 2015.

	1980	2011	2015
Agricultores arroceros	8.800	4.300	4.200
Área promedio de granja (ha)	21	52	54
Área/trabajador (proporción)	-	-	45 a 60 ha/trabajador

Fuente: ISTAT, 2018.

El arroz en Italia es altamente mecanizado y cada trabajador puede administrar 45 a 60 ha y más. El alto número de variedades se debe a muchas razones. Una de ellas responde al hecho de que el mercado tradicionalmente requiere variedades pertenecientes a diferentes grupos comerciales de la UE, cada uno de los cuales tiene características de grano diferentes. Si consideramos la to-

alidad de la producción cosechada, los grupos varietales más importantes son las variedades de grano redondo y medio más largo A (Cuadro 3). Cada granja, por lo general cultiva al menos 2 a 3 variedades pertenecientes a diferentes grupos, para aumentar la resiliencia económica frente a las fluctuaciones del mercado.

Cuadro 3. Clasificación de granos de arroz adoptada en la Unión Europea, basada en la longitud de los granos y en la relación largo/ancho y volumen cosechado en Italia. Temporada 2015-2016.

Tipo de grano	Largo (mm)	Largo/ancho	Cosecha 2015/16 (t)
Redondo (<i>japonica</i>)	< 5,2	< 2	405.000
Medio (<i>japonica</i>)	5,2-6,0	< 3	830.300
Largo A (<i>japonica</i>)	> 6,0	2-3	
Largo B (<i>indica-like</i>)	> 6,0	> 3	252.000

Variedades tolerantes a IMI

Las variedades tolerantes a IMI se comercializaron, por primera vez en la UE, en 2006 en Italia, identificada como la variedad 'CL161' y con el nombre comercial 'Liberò' (libre), correspondiente a una mutación en el codón 653 del gen *ALS* (sustitución de serina con asparagina). Después de su introducción, las variedades tolerantes a IMI ganaron gran interés entre los agricultores, principalmente porque proporcionaron una herramienta eficiente para controlar selectivamente el arroz rojo en post-emergencia (Scarabel et al., 2012). En particular, esta tecnología incluye el uso de variedades tolerantes a IMI, junto con la aplicación de una formulación comercial que contiene imazamox, específicamente registrada para este tipo de uso. 'Liberò', variedad tolerante a IMI, tenía algunas características desfavorables, ya que el ciclo de cultivo era muy largo en comparación con otras variedades, aunque inicialmente se adoptó en campos altamente infestados con arroz rojo. Luego se desarrollaron otras variedades tolerantes a IMI, con rasgos agronómicos más favorables. En aproximadamente 7 años, el área cultivada con estas variedades aumentó hasta aproximadamente un 37 % del área de arroz italiano (ENR, 2017).

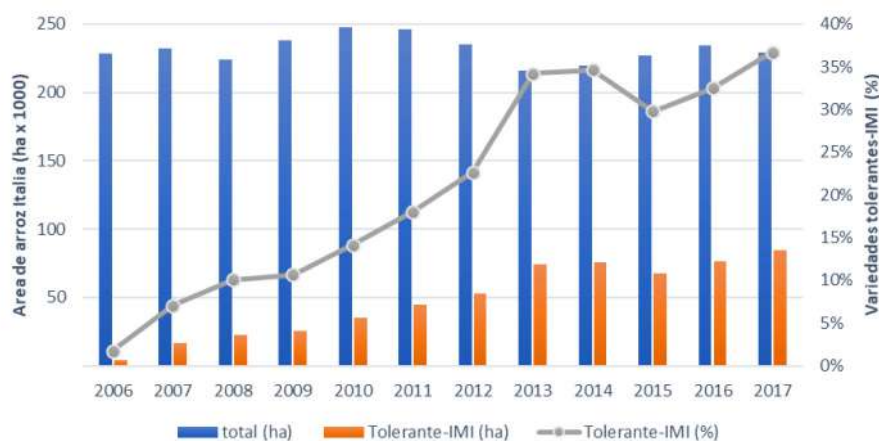


Figura 1. Superficie total del área de arroz en Italia, variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI) y proporción convencional/IMI, desde su introducción en 2006 al 2017 (a partir de datos disponibles en <https://www.enterisi.it/>).

Las variedades tolerantes a IMI disponibles en Italia pertenecen a todos los grupos de variedades cultivadas actualmente (Cuadro 3). Sin embargo, entre los diferentes grupos varietales, la proporción de variedades tolerantes a IMI es particularmente alta para los grupos Largo B y redondo con 77 % y 43 %, respectivamente. La importancia de estas variedades es, en contraste, bastante baja en el caso de las variedades con tipos de grano Largo A (para hacer risotto) y Medio, con 12 y 7 %, respectivamente (Figura 2).

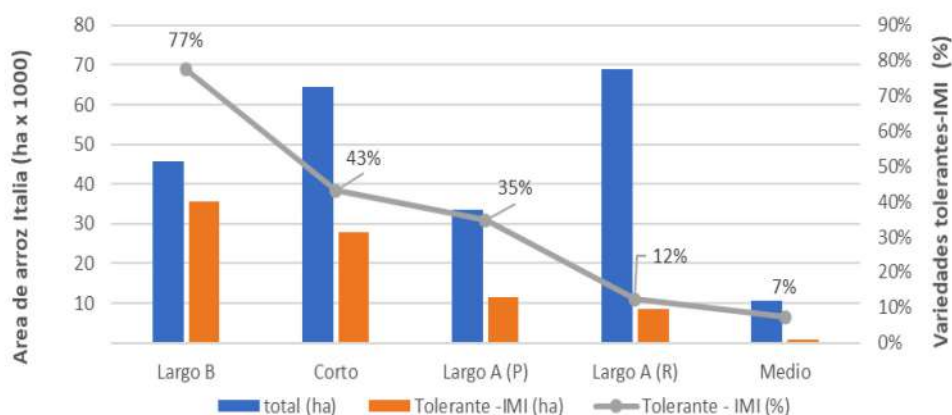


Figura 2. Superficie del área arrocera de Italia y variedades tolerantes a imidazolinonas (IMI), agrupadas por tipo de grano, porcentaje de IMI. Largo A (P) y Largo A (R) se refieren a las variedades comercializadas principalmente para ‘parbolizado’ o para hacer ‘risotto’, respectivamente.

En el resto de Europa la adopción de estas variedades es generalmente menor. Se estima que las variedades tolerantes a IMI se cultivan en torno al 13 % del área total de arroz (14.000 ha de 109.300 ha) en España, 10% (3.000 ha de 30.000 ha) en Grecia y 25 % (7.200 ha de 28.600 ha) en Portugal (L. Quaglini, comunicación personal).

El uso combinado de variedades tolerantes y herbicidas IMI, está patentado por BASF bajo la marca registrada ‘Clearfield Technology’. En Italia se solicita a los agricultores que quieran adoptar esta tecnología que acepten y sigan estrictamente las pautas de administración emitidas por BASF, que incluyen los siguientes requisitos: (1) las variedades Clearfield deben rotarse con arroz convencional al menos cada 2 años de cultivo consecutivo; (2) el imazamox debe aplicarse dos veces, cada vez a 35 g i.a. ha⁻¹, con un intervalo de 2 a 3 semanas entre los tratamientos; y (3) la eficacia del tratamiento con herbicida debe controlarse cuidadosamente y los ‘brotes’ de arroz rojo deben eliminarse por completo.

Principales malezas en arroz

La información histórica sobre las malezas en el arroz en Italia se remonta a la década de 1800, cuando Giovanni Biroli (Biroli, 1807) informó como uno de los mayores problemas de malezas a *Cyperus longus* y *Scirpus mucronatus* y los hualcachos, particularmente *Echinochloa crus-galli* (Vidotto y Ferrero, 2013). A principios de la década de 1900, Jacometti (1912) enumeró más de 100 especies. Esta cifra se mantuvo constante hasta mediados de la década de 1950, cuando comenzó la difusión de nuevas técnicas de cultivo de arroz. En particular, el cambio del trasplante a la siembra directa y el abandono del control manual de las malezas e introducción de variedades de arroz de baja altura, provocaron el empeoramiento de las infestaciones de malezas. El primer uso generalizado de herbicidas estaba dirigido a controlar las ciperáceas y las especies de *Alismataceae*. Esto resultó en un mayor dominio de *Echinochloa* y otras gramíneas.

Hoy en día, el ecosistema del campo de arroz italiano es notablemente complejo e incluye especies que compiten con el arroz en los cuadros y también las presentes en otras áreas, como diques, zanjas, canales y caminos. Estas malezas pueden ser acuáticas o adaptadas a los ambientes acuáticos y secos, y se caracterizan por rasgos morfo-fisiológicos específicos. Las plantas C4 se encuentran principalmente en suelos no inundados, mientras que las especies C3 están frecuentemente presentes en suelos sumergidos. Todas estas plantas han desarrollado la capacidad de adaptarse a un entorno que está inundado durante aproximadamente la mitad del año y seca para el descanso (Ferrero y Vidotto, 2007). Las malezas sobreviven al período seco mediante propágulos de semillas (plantas anuales) o estructuras vegetativas como tubérculos (*Bolboschoenus maritimus* [L.] Pallay) y rizomas (*Tipha* spp.). La disponibilidad de agua y la alta temperatura durante el período de cultivo del arroz también ha permitido la proliferación de especies tropicales (*Paspalum distichum* L., *Cyperus communis*).

Basados en las prácticas adoptadas para su control, las principales especies de malezas de los campos de arroz europeos se pueden agrupar de la siguiente manera (Ferrero et al., 2002): 1) *Echinochloa* spp.; 2) especies de *Heteranthera*; 3) especies de *Alisma* y *Cyperaceae* (juncias); 4) varios biotipos de arroz maleza; 5) malezas de los campos sembrados en seco; y 6) otras malezas de menor importancia que normalmente no están sujetas a intervenciones específicas.

A nivel de la UE, las malezas de arroz más importantes son básicamente las mismas que se describen para Italia, con algunas pequeñas diferencias y variabilidades entre diferentes regiones dentro de un mismo país. En general, *Cyperus* spp., *Echinochloa* spp., *Heteranthera* spp. y *Oryza sativa* (arroz rojo) son los grupos que representan una amenaza en los principales países productores de arroz de la UE (Cuadro 4) (Kraehmer et al., 2016; 2017).

Cuadro 4. Importancia estimada de frecuencia de los géneros de maleza en campos de arroz de algunos países europeos.

Genus	Francia	Grecia	Italia	Portugal	España
<i>Alisma</i>	xx	xx	xxx	xx	xx
<i>Bidens</i>	xx	-	xx	x	-
<i>Bolboschoenus</i>	xxx	-	xxx	-	xxx
<i>Butomus</i>	x	x	x	-	-
<i>Cyperus</i>	xxx	xxx	xx	xxx	xxx
<i>Digitaria</i>	x	x	xx	x	-
<i>Echinochloa</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
<i>Heteranthera</i>	xxx	xx	xxx	xxx	xxx
<i>Leersia</i>	xxx	xxx	xx	xxx	xx
<i>Leptochloa</i>	xx	xxx	x	xxx	xxx
<i>Lindernia</i>	xx	-	xx	-	xx
<i>Oryza</i>	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
<i>Panicum</i>	-	x	xx	x	-
<i>Paspalum</i>	xx	xx	x	xx	x
<i>Polygonum</i>	xxx	x	xx	xx	x
<i>Schoenoplectus</i>	xxx	-	xxx	xxx	xxx
<i>Setaria</i>	x	-	xxx	-	x
<i>Typha</i>	xxx	xx	x	xx	xx

Fuente: Kraehmer et al., 2017. x: Importancia menor, xx: importancia intermedia, xxx: mayor importancia. Puede ser variable dentro de cada país.

Especies de *Echinochloa*

El género más frecuente e importante es *Echinochloa*, hualcachos, representado por cuatro especies: *E. crus-galli* (L.) P. Beauv., *E. erecta* (Polacci) Pignatti, *E. phyllopogon* (Stapf) Stapf ex Kossenko, y *E. colona* (L.) Link. En particular, *E. crus-galli* está presente en todos los campos de arroz italiano. Se estima que *E. erecta* se disemina en aproximadamente 60 % de los campos; *E. phyllopogon* ahora se distribuye en aproximadamente 50 % de los campos y su frecuencia ha estado aumentando en los últimos años; *E. colona* es menos frecuente e infesta alrededor del 20 % de los campos. El género completo, y *E. crus-galli* en particular, se caracteriza por una alta variabilidad de morfología, patrón de crecimiento, macollamiento, germinación y sensibilidad a los herbicidas (Vidotto et al., 2007b; 2015). Por lo tanto, la atribución de un determinado individuo a una especie puede ser difícil y los resultados a menudo son inciertos.

Uno de los principales problemas en el manejo de los hualcachos es la propagación de poblaciones resistentes a herbicidas. Existen poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS (Panozzo et al., 2013) y otras que muestran una resistencia múltiple a los inhibidores de la ALS y la enzima acetil coenzima A carboxilasa (ACC-asa); en *E. erecta* existen poblaciones resistentes al propanil y al quinclorac.

Especies *Heteranthera*

Estas malezas monocotiledóneas son plantas exóticas que se reportaron por primera vez en Italia en 1962 (Pirola, 1968). Actualmente, las principales especies que se encuentran en los campos de arroz europeos son *H. reniformis* Ruiz & Pav., *H. rotundifolia* (Kunth) Griseb., y *H. limosa* (Sw.) Willd. La primera especie es la más frecuente y, en algunos casos, si no se maneja adecuadamente las infestaciones pueden llegar a ser muy abundantes, lo que proporciona una cobertura del suelo de hasta 100 % en campos completos (Ferrero, 1996).

Especies *Alisma* y *Cyperaceae*

Las principales especies incluidas en este grupo son *Alisma plantago-aquatica* L., *A. lanceolatum* With., *Cyperus difformis* L., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla y *Schoenoplectus mucronatus* (L.) Palla ex A. Kern.

Las especies de *Alisma* se encuentran con frecuencia en los campos arroceros italianos y están atrayendo la atención, en particular desde que se informaron casos de resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS.

Cyperus difformis es un ciperácea anual que puede germinar más tarde en la temporada (alrededor de mayo) que la mayoría de las otras malezas del arroz. A pesar de su escasa capacidad competitiva, también puede ser un problema debido a la presencia de casos de resistencia a los inhibidores de la ALS.

Bolboschoenus maritimus (syn. *Scirpus maritimus*) es una planta perenne que se propaga principalmente a través de rizomas y tubérculos. *Schoenoplectus mucronatus* es una planta perenne con rizomas cortos que en los campos de arroz se comporta como una especie anual y se reproduce por semillas. En los arrozales europeos es una de las malezas más comunes; sin embargo, no prospera en suelos muy salinos y rara vez crecen en campos con una larga historia de cultivo continuo de arroz (Marnotte et al., 2006). Algunas poblaciones de *S. mucronatus* han desarrollado resistencia a los herbicidas inhibidores de la ALS en Italia.

Arroz rojo

En Italia hay varias poblaciones que pueden diferenciarse sobre una base morfológica. En un estudio realizado en el área principal de cultivo de arroz, se identificaron unas 150 poblaciones

visualmente distinguibles, pero es posible que las variantes morfológicas puedan ser aún más (Fogliatto et al., 2012).

El arroz rojo es un competidor fuerte y su presencia continua en el campo está asegurada por el quiebre de la dormancia de sus semillas (Vidotto y Ferrero, 2009; Andres et al., 2015). Además, parte de las semillas se cosechan junto con el arroz, reducen su calidad, crean la necesidad de realizar un procesamiento adicional y los productores obtienen un precio más bajo por el producto.

Se puede estimar que más del 80 % de los arrozales italianos, están infestados con arroz rojo. A pesar de la gran adopción de variedades tolerantes a IMI, el arroz rojo todavía se considera una de las malezas graves del cultivo. En los últimos años se han encontrado varias poblaciones resistentes al imazamox, lo que se ha relacionado con la introducción de variedades tolerantes a IMI (Scarabel et al., 2012), porque nunca antes se encontró resistencia a la imidazolinona en las poblaciones de arroz rojo italianas (Andres et al., 2013; 2014). Este fenómeno no parece haber empeorado, ya que hasta ahora los agricultores no lo han percibido como una amenaza real.

Las poblaciones de arroz rojo diseminadas en Italia se pueden dividir en grupos en función de las características de la arista. La mayoría tiene arista (56 %), seguido por aquellas sin arista (27 %), con las variantes de aristas pajizas, negras y puntiagudas (17 %, con arista muy corta y oscura).

La ausencia de arista se asocia con algunas otras diferencias morfológicas: las poblaciones con aristas tienen semillas más largas y la emisión de panícula es más temprana, las puntiagudas tienen semillas más livianas y las plantas son más pequeñas, las poblaciones con aristas tienen el menor número de semillas por panícula (Fogliatto et al., 2012). El origen del arroz rojo italiano no está completamente claro, pero parece que existe una relación genética significativa con las variedades antiguas. Usando marcadores microsatélites de la distancia genética entre germoplasmas, se encontró que varias poblaciones de arroz rojo se agrupan con algunas variedades antiguas (Ranghino, Ostiglia, Bertone y Carnaroli) y con una sola variedad moderna (Flipper) (Grimm et al., 2013).

Malezas de siembra en seco

Como en este caso el cultivo de arroz se divide en dos fases, la primera en condiciones secas y la segunda en condiciones inundadas, generalmente se pueden encontrar dos comunidades de malezas diferentes, relacionadas con el ambiente seco o inundado. Las principales malezas en el suelo seco son *Echinochloa* spp., *Panicum dichotomiflorum* Michx., *Bidens* spp., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Polygonum* spp., *Chenopodium album* L., y *Amaranthus retroflexus* L. Otro grupo de malezas se desarrolla después de la inundación del cultivo que comienza cuando éste está en la etapa de macolla e incluye las mismas especies acuáticas o semiacuáticas mencionadas anteriormente. En estas condiciones culturales se requieren programas específicos de control de malezas para ambos grupos de malezas.

Programas de manejo de malezas

De acuerdo con el sistema de cultivo adoptado (siembra pre-germinada en campos inundados o siembra en seco), las especies de malezas presentes en el campo (y en particular la presencia/ausencia de arroz rojo), y las variedades (convencionales o tolerantes a IMI), se pueden adoptar varios programas de manejo de malezas.

El primer caso corresponde a cuando el arroz se siembra en los campos inundados que es la condición más común. En el caso de que no haya arroz rojo, generalmente se requiere de uno a tres tratamientos con herbicidas. El primero está dirigido principalmente a controlar *Heterantera* y parcialmente *Echinochloa* y se realiza pocos días antes de la siembra, usando oxadiazon.

Luego, en post-emergencia, se realizan uno o dos tratamientos para controlar *Echinochloa*, *Ciparaceae* y *Alismataceae* mediante el uso de inhibidores de la ALS, solos o en mezcla con cyhalofop o propanilo. Si no hay *Heteranthera*, entonces sólo se requieren tratamientos post-emergentes.

El segundo caso corresponde a cuando también hay arroz rojo. Si se usan variedades convencionales (no tolerantes a IMI), el arroz rojo puede controlarse con flufenacet aplicado antes de la siembra del arroz (unos 30 d antes de la siembra), o adoptando la técnica de semillero. En esta condición, el campo se irriga una vez para promover la germinación de las malezas y luego las plántulas se destruyen utilizando glifosato, cicloxidim o propaquizafop (Fogliatto et al., 2013). En la post emergencia del cultivo, un método para limitar la entrada del banco de semillas es usar una barra de cuerda embebida con glifosato que toque sólo las partes apicales de las plantas de arroz rojo, como las plantas de *Echinochloa* que generalmente son más altas que el arroz. Usando un enfoque similar, las barras de cuerda se pueden sustituir por barras de corte (Foto 1).



Foto 1. Barra de corte producida por un fabricante italiano, trabajando en un campo de arroz para eliminar los órganos reproductores de las malezas más altas que el arroz (en particular, el arroz malezas y *Echinochloa* spp.) Desde <https://www.meneguzzo.eu/>.

En el arroz sembrado en seco, durante la fase inicial del cultivo seco, es importante controlar las malezas típicas de otros cultivos anuales de verano, como *Panicum* o *Echinochloa*. Para este propósito, clomazone, pendimetalina (generalmente en mezcla) con o sin oxadiazon, se aplican en la preemergencia de cultivos. Entonces, puede ser suficiente un tratamiento adicional posterior a la emergencia (principalmente con inhibidores de ALS) realizado inmediatamente antes de comenzar la fase de inundación. A veces se puede requerir un segundo tratamiento posterior a la emergencia.

Con el uso de variedades tolerantes a IMI es posible simplificar el manejo completo de las malezas. En condiciones de siembra seca, se requiere un tratamiento de preemergencia con oxadiazon, clomazone y pendimetalina. Además de este tratamiento, todo el manejo se basa en una doble aplicación de imazamox a 35 g i.a. ha⁻¹. El intervalo entre los tratamientos es de 2 a 3 semanas. El segundo tratamiento está dirigido a controlar las plantas de arroz rojo que podrían haber escapado del primer tratamiento y las que surgieron más tarde.

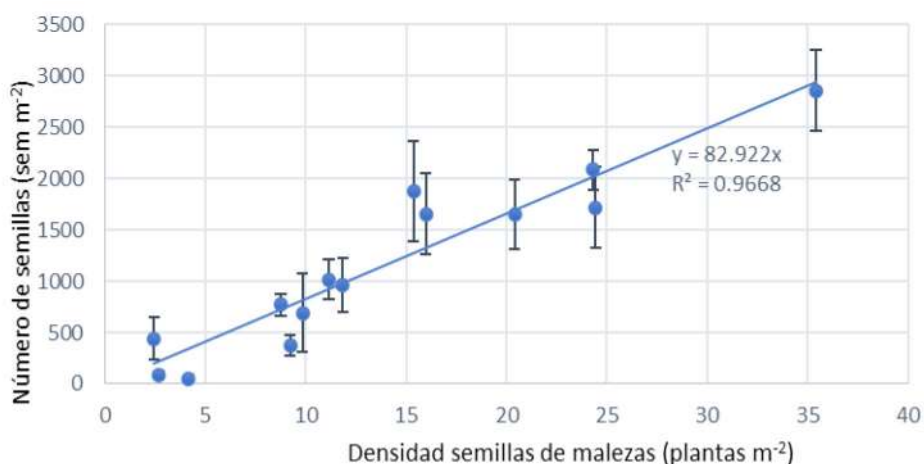
Manejo del banco de semillas de malezas

Aunque todos son conscientes de la importancia del banco de semillas de malezas, su manejo se percibe como una piedra angular en el control de malezas en el arroz, generalmente sólo cuando los programas convencionales de control de malezas son defectuosos, poco efectivos o no pueden aplicarse por alguna razón.

Algunos ejemplos en los que pueden ocurrir una o más de estas condiciones son: manejo de malezas de difícil control (como el arroz rojo), problemas emergentes (como resistencia a herbicidas, reducción en el número de herbicidas disponibles, etc.), manejo de malezas en sistemas específicos de cultivo de arroz, como ejemplo, el arroz orgánico.

Varios estudios han señalado que el control de malezas en general y el manejo del banco de semillas de malezas en particular, necesitan la combinación de varias prácticas, ya que las prácticas de control de malezas individuales tienen un efecto parcial en el banco de semillas (Ferrero et al., 1999; Vidotto et al., 2001).

El problema es que el banco de semillas es difícil de manejar, porque sólo una pequeña proporción de semillas se convierte en plántulas cada año. Por ejemplo, en el arroz rojo sólo alrededor del 5 % de las semillas en la capa de 0 a 20 cm dan origen a plántulas (Vidotto y Ferrero, 2000). Esto puede considerarse un valor pequeño, e incluso puede reducirse mediante el control de las plántulas, pero debe tenerse en cuenta que la lluvia de semillas ('rain seed') puede ser muy alta y anular parcialmente los efectos del control de malezas. En la misma especie, la lluvia de semillas puede corresponder a más de 80 veces la densidad final de las plantas maduras (Figura 3). En otras palabras, no importa cuán precisa sea la gestión de malezas, pocos escapes pueden ser suficientes para mantener el banco de semillas en niveles altos.



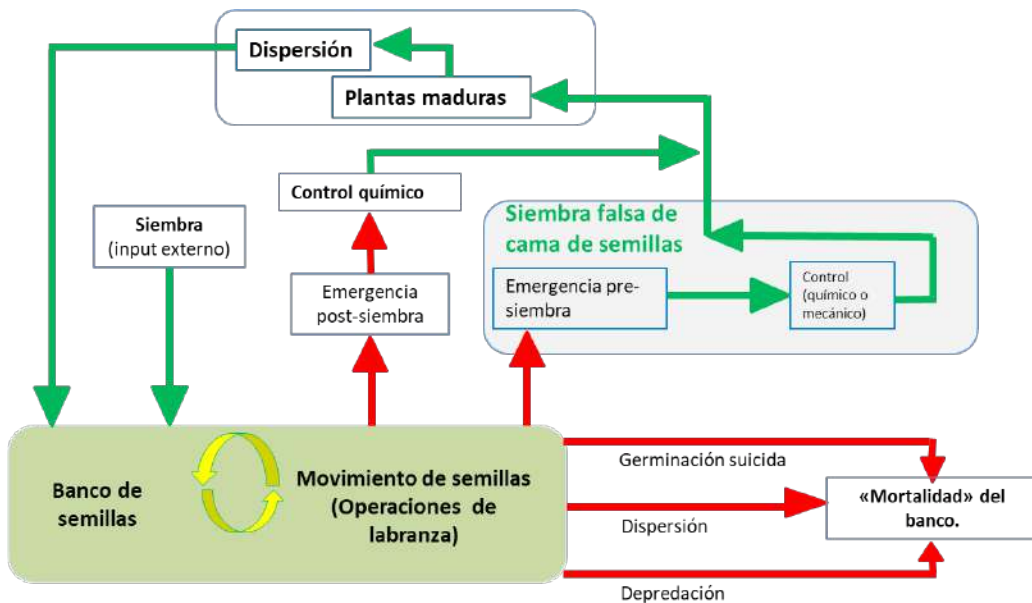
Fuente: Vidotto et al., 2007.

Figura3. Relación entre densidad de plantas maduras de arroz maleza y 'lluvia de semillas'.

Un sistema que puede ser útil para comprender dónde es posible realizar acciones para administrar el banco de semillas, consiste en modelar el ciclo de vida de las malezas en relación con las prácticas agronómicas. El diagrama de flujo de un modelo hipotético para el arroz de malezas se representa en la Figura 4. El modelo está básicamente construido alrededor de la dinámica del banco de semillas de arroz rojo. El banco de semillas se considera un reservorio y su tamaño está regulado por salidas y entradas. Como resultados se consideran la mortalidad de las semillas y las emergencias que ocurren inmediatamente antes de la siembra de arroz o durante el cultivo de arroz. Otros elementos incluidos en el modelo son los efectos de las medidas de control que influyen en el número de plantas sobrevivientes. El modelo calcula la biomasa de arroz rojo por m² y las semillas producidas que representan el insumo principal del banco de semillas. Otra entrada

está representada por las semillas de arroz rojo que van con la semilla de arroz. Esto es importante porque la legislación actual de la UE permite hasta 0,03 % de los granos de arroz rojo en semillas comerciales de arroz.

Con este modelo es posible, por ejemplo, estimar el efecto de varias combinaciones de prácticas agronómicas y técnicas de control.



Fuente: Vidotto et al., 2001; Ziska et al., 2015.

Figura 4. Ejemplo del modelo de ciclo de vida del arroz rojo.

Con este modelo es posible simular el efecto de diferentes secuencias de cultivo de variedades tolerantes a IMI y convencionales, ya sea en monocultivo o en un sistema de rotación.

En el caso del monocultivo de arroz, asumiendo que no hay resistencia a IMI que se seleccione ni se transfiera al arroz rojo, y a partir de un banco de semillas inicial de 1.100 semillas m⁻² (5 cm superiores del suelo), el modelo predice un agotamiento del banco de semillas, tanto cuando las variedades tolerantes a IMI se cultiven cada 2 años o si se cultivan durante 2 años consecutivos, alternadas con 1 año de variedades convencionales. Con el cultivo de sólo variedades convencionales, si el arroz rojo no se controla, el banco de semillas permanece bastante alto y estable. En los escenarios que incluyen rotación con Clearfield, el agotamiento del banco de semillas se produce siempre más rápido que en los casos anteriores. Los mejores resultados se predijeron en particular para las rotaciones que comienzan con un cultivo diferente del arroz (Figura 5).

Esto es sólo una simulación, no un estudio real, pero está en consonancia con lo que sabemos sobre la efectividad de la rotación de cultivos en el manejo de malezas, en particular en el arroz, donde la interrupción de las condiciones de inundación puede contribuir a reducir la presión para la selección de una flora de malezas altamente especializada.

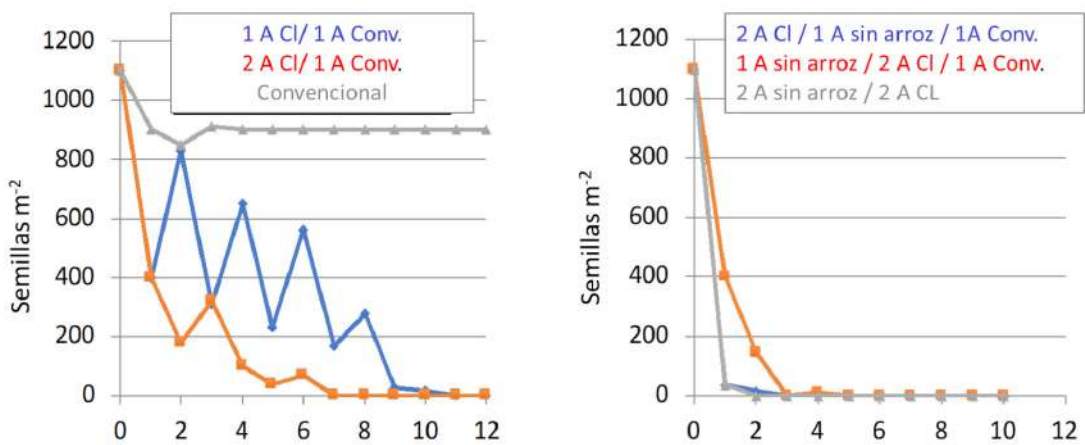


Figura 5. Ejemplos de simulaciones de la dinámica de bancos de semillas de arroz rojo, calculados utilizando el modelo representado en la Figura 4 en monocultivo de arroz y en un sistema de cultivo rotativo. Banco de semillas inicial: 1.100 semillas m^{-2} en los 5 cm superiores del suelo. CL: Arroz Clearfield (variedad tolerante a imidazolinonas [IMI]); Conv.: variedad de arroz convencional (no tolerante a IMI). Las simulaciones suponen que no hay resistencia a IMI que se seleccione ni se transfiera a arroz rojo.

Inundación invernal

En Europa, y particularmente en Italia, la labranza del suelo se realiza principalmente en otoño, cuando el contenido de humedad del suelo suele ser más adecuado. A pesar de que esta labranza mejora la degradación de los residuos del cultivo y la estructura del suelo, la labranza realizada inmediatamente después de la cosecha del cultivo, tiene como consecuencia la incorporación de semillas de malezas en el suelo, incluidas las semillas de arroz rojo a profundidades variables, de modo que baja la liberación de la dormancia y prolonga su longevidad (Delouche et al., 2007).

Las inundaciones de invierno se pueden utilizar para mejorar la descomposición de los residuos y se adoptan en algunas áreas como una práctica alternativa a la quema de la paja de arroz y labranza de otoño (van Groenigen et al., 2003). Esto puede actuar como un semillero para promover la germinación de las semillas de malezas, incluido el arroz rojo.

Las inundaciones de invierno comienzan inmediatamente después de la cosecha de arroz, sin la labranza de otoño, y terminan antes de que ocurra la labranza del semillero en la primavera. En un estudio de 3 años realizado en Italia, se observó que las inundaciones de invierno causaron casi un 100 % de agotamiento del banco de semillas superficial de malezas (la lluvia de semillas se produjo en el verano anterior). Las razones de por qué sucedió esto no estaban claras, pero se puede suponer que las inundaciones invernales aumentaron la depredación, aceleraron los procesos de descomposición y favorecieron la germinación suicida de algunas especies y del arroz rojo en particular (Fogliatto et al., 2010).

La mayoría de las poblaciones de arroz convencional italiano tienen semillas latentes y no pueden germinar en otoño, inmediatamente después de que son producidas por la planta madre. Sin embargo, si las semillas se mantienen en condiciones de inundación, la latencia se libera rápidamente, especialmente en poblaciones sin aristas. Después de 15 d de inundación, 50 % de las semillas puede germinar y originar las plántulas que serán eliminadas por las bajas temperaturas en invierno (Fogliatto et al., 2011).

Casos especiales en sistemas europeos de cultivo de arroz: arroz orgánico

Hoy en día, en Italia el arroz se cultiva orgánicamente en aproximadamente 5 % de toda el área y con un interés creciente entre los agricultores, porque el precio del arroz orgánico es 2 a 3 veces el precio del arroz convencional.

El principal problema en el cultivo de arroz orgánico es el manejo de malezas, por lo que en los últimos años se han iniciado muchas actividades de investigación para encontrar soluciones alternativas.

Un posible sistema para favorecer el manejo no químico de las malezas es el trasplante mecánico que ya se utiliza en gran medida en otras partes del mundo. El trasplante permite una siembra tardía, que a su vez permite que crezca un cultivo de cobertura antes del trasplante, o realizar una o dos siembras falsas antes del trasplante.

Como las plantas trasplantadas se disponen en hileras separadas a 30 cm, es posible ejecutar un control mecánico de malezas entre ellas (Foto 2). Éste sigue siendo un aspecto crítico, así como todo el proceso de suministro de la planta que necesita que todos los actores involucrados (vivero, trasplantadora, agricultor) estén sincronizados.

Los primeros resultados son alentadores. Teniendo en cuenta que el rendimiento promedio de arroz en la producción orgánica se estima en alrededor de un tercio a la mitad del rendimiento obtenido en una producción convencional, el trasplante puede permitir obtener rendimientos más altos si todas las prácticas de cultivo, en especial el control mecánico de malezas, se realizan a tiempo y de buena forma. La técnica parece ser más adecuada para ciertos grupos de variedades, y en particular para el arroz híbrido (Vidotto et al., 2018). Estas variedades requieren una densidad de siembra muy baja que a veces es difícil de obtener con la sembradora tradicional que utiliza esparcidores de fertilizantes. El trasplante permite espaciar las plantas de manera uniforme en el campo y les permite producir abundantes macollas.



Foto 2. Trasplante mecánico de arroz orgánico en el noroeste de Italia (izquierda) y control mecánico de malezas entre hileras (derecha).

Otra técnica que varios agricultores están probando es el acolchado de plástico con películas biodegradables (Foto 3). Es una forma de siembra directa en seco y, por lo tanto, no se requiere un vivero. En la actualidad, las películas adaptadas son derivadas de almidones, celulosa, aceites vegetales y sus combinaciones (Mater-Bi de Novamont) o de una base fósil (Ecoflex y Ecovio de BASF).

Sin embargo, un aspecto crítico que aún debe resolverse es el control de malezas entre las tiras de película, lo que se puede hacer mecánicamente o con compuestos autorizados en la agricultura

orgánica. Una ventaja de la técnica es la reducción de los requisitos de riego, especialmente si se integra el riego por goteo, superficial o subsuperficial (Ferrero et al., 2018).



Foto 3. Acolchado plástico con películas biodegradables. En este campo, el riego se realiza mediante riego por goteo subsuperficial.

Un tercer enfoque que se está usando en Italia, es el acolchado verde. En este caso, un cultivo de cobertura se siembra en otoño, por ejemplo, centeno, triticale o mezclas. El cultivo de cobertura crece en otoño y en primavera. Alrededor de mediados de mayo, el arroz se distribuye directamente sobre el cultivo de cobertura, inmediatamente después de que finaliza la cobertura con un rolo faca, o un rodillo triturador de rastrojos. Concluida la labor mecánica, el campo se inunda y el cultivo de cobertura comienza a podrirse y el crecimiento de las malezas se inhibe, tanto por la acción física, como por la química.



Foto 4. Campo de arroz en el que se cultiva, desde el otoño hasta la primavera, una mezcla de ballica italiana (*Lolium multiflorum* Lam.) y arveja (*Vicia villosa* Roth), y luego se termina con un picador inmediatamente después de la siembra de arroz. Foto de fines de mayo, después de un drenaje para promover el enraizamiento del arroz.

La eficacia de esta técnica es variable y sólo puede tener éxito si el cultivo de cobertura está bien establecido y produce una biomasa adecuada. Algunas especies, como la arveja, se pueden congelar en parte debido a las bajas temperaturas durante el invierno, lo que proporciona una cobertura insuficiente del suelo en primavera y una baja cantidad de biomasa. El crecimiento de las plántulas de arroz puede verse afectado por la biomasa en putrefacción. Para evitar esto, los agricultores suelen secar los campos durante unos días para promover el enraizamiento (Foto 4).

Referencias

- Andres, A., Fogliatto, S., Ferrero, A., et al. 2014. Susceptibility to imazamox in Italian weedy rice populations and Clearfield® rice varieties. *Weed Res.* 54:492-500.
- Andres, A., Fogliatto, S., Ferrero, A., et al. 2015. Growth variability of Italian weedy rice populations grown with or without cultivated rice. *Crop Sci.* 55:394-402.
- Andres, A., Vidotto, F., Fogliatto, S., et al. 2013. Assessment of weedy rice sensitivity to imazamox with a fast dose-response bioassay. p. 243-243. In 16th EWRS Symposium, Samsun, Turkey. European Weed Research Society (EWRS), Doorwerth, The Netherlands
- Biroli, G. 1807. *Del riso: trattato economico-rustico*. Tipografia Giovanni Silvestri, Milan, Italia.
- Delouche, J.C., Burgos, N.R., Gealy, D.R., et al. 2007. *Weedy rices: Origin, biology, ecology and control*. FAO, Rome, Italy.
- ENR. 2015a. *Superfici investite a riso 2015*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2015b. *XLVIII Relazione Annuale Anno 2015*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2016. *Superfici investite a riso 2016*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- ENR. 2017. *Superfici investite a riso 2017*. Ente Nazionale Risi (ENR), Milano, Italia.
- FAO. 2018. *FAOSTAT-Data-Crops*. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Ferrero, A. 1996. Prediction of *Heteranthera reniformis* competition with flooded rice using day-degrees. *Weed Res.* 36:197-201.
- Ferrero, A. 2007. Rice scenario in the European Union. *Cahiers Agric.* 16:272-274.
- Ferrero, A., Milan, M., Fogliatto, S., et al. 2018. Subirrigazione e pacciamatura: possibili applicazioni su riso. *Informatore Agrario* 74:46-9.
- Ferrero, A., Tabacchi, M., Vidotto, F. 2002. Italian rice field weeds and their control. p. 535-544. In *Proceedings 2nd Temperate Rice Conference*. International Rice Research Institute (IRRI), Sacramento, California, USA.
- Ferrero, A., Vidotto, F. 2007. Weeds and weed management in Italian rice fields. p. 55-72. In Ferrero, A., Vidotto, F. (eds.) *Agro-economical traits of rice cultivation in Europe and India*. Edizioni Mercurio, Vercelli, Italy.
- Ferrero, A., Vidotto, F. 2010. History of rice in Europe. p. 341-372. In Sharma, S.D. (ed.) *Rice - Origin, antiquity and history*. Science Publishers-CRC Press, Enfield, New Hampshire, USA.
- Ferrero, A., Vidotto, F., Balsari, P., et al. 1999. Mechanical and chemical control of red rice (*Oryza sativa* L. var. *sylvatica*) in rice (*Oryza sativa* L.) pre-planting. *Crop Prot.* 18:245-251.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Andres, A., et al. 2013. Glyphosate sensitivity in Italian weedy rice. p. 242. In 16th EWRS Symposium, Samsun, Turkey. European Weed Research Society (EWRS), Doorwerth, The Netherlands.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2010. Effects of winter flooding on weedy rice (*Oryza sativa* L.) *Crop Prot.* 29:1232-1240.

- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2011. Germination of weedy rice (*Oryza sativa*) in response to field conditions during winter. *Weed Technol.* 25:252-261.
- Fogliatto, S., Vidotto, F., Ferrero, A. 2012. Morphological characterization of Italian weedy rice (*Oryza sativa*) populations. *Weed Res.* 52:60-69.
- Garrity, D.P., Oldeman, L.R., Morris, R.A., et al. 1986. Rainfed lowland rice ecosystems: characterization and distribution. p. 3-23. In *Progress in rainfed lowland rice*. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines.
- Grimm, A., Fogliatto, S., Nick, P., et al. 2013. Microsatellite markers reveal multiple origins for Italian weedy rice. *Ecol. Evol.* 3:4786-4798.
- ISTAT. 2018. Numero di aziende e superficie agricola. Istituto nazionale di statistica (ISTAT), Roma, Italia.
- Jacometti, G. 1912. Le erbe che infestano le risaie italiane. p. 57-93. Vol. 4. In *Atti del Congresso Riscicolo Internazionale*, Vercelli, Italia.
- Kraehmer, H., Jabran, K., Mennan, H., et al. 2016. Global distribution of rice weeds – A review. *Crop Prot.* 80:73-86.
- Kraehmer, H., Thomas, C., Vidotto, F. 2017. Rice production in Europe. p. 93-116. In Chauhan, B.S., Jabran, K., Mahajan, G. (eds.) *Rice production worldwide*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Marnotte, P., Carrara, A., Dominati, E., et al. 2006. *Plantes des rizières de Camargue*. Éditions Quae Gie, Versailles, France.
- Panozzo, S., Scarabel, L., Tranel, P.J., et al. 2013. Target-site resistance to ALS inhibitors in the polyploid species *Echinochloa crus-galli*. *Pestic. Biochem. Phys.* 105:93-101.
- Pirola, A. 1968. *Heteranthera reniformis* Ruitz Pavon (Pontederiaceae) avventizia delle rizaie pavesi. *Il Riso*: 4:18-21.
- Scarabel, L., Cenghialta, C., Manuello, D., et al. 2012. Monitoring and management of Imidazolinone-resistant red rice (*Oryza sativa* L., var. *sylvatica*) in Clearfield® Italian paddy rice. *Agronomy* 2:371-383.
- van Groenigen, J.W., Burns, E.G., Eadie, J.M., et al. 2003. Effects of foraging waterfowl in winter flooded rice fields on weed stress and residue decomposition. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95:289-296.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2000. Germination behaviour of red rice (*Oryza sativa* L.) seeds in field and laboratory conditions. *Agronomie* 20:375-382.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2009. Interactions between weedy rice and cultivated rice in Italy. *Ital. J. Agron.* 4:127-136.
- Vidotto, F., Ferrero, A. 2013. Weed management in Italian rice fields. p. 139-144. In *XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain.
- Vidotto, F., Ferrero, A., Ducco, G. 2001. A mathematical model to predict the population dynamics of *Oryza sativa* var. *sylvatica*. *Weed Res.* 41:407-420.
- Vidotto, F., Fogliatto, S., Dalla Valle, N., et al. 2015. Efficacy of rice herbicides on *Echinochloa* spp. as affected by repeated use. In *17th European Weed Research Society Symposium (EWRS) 2015*. Association Française de Protection des Plantes, Montpellier, France.
- Vidotto, F., Fogliatto, S., Zafferoni, M., et al. 2018. Il trapianto meccanico, opportunità per il riso bio. *Informatore Agrario* 74:50-52.
- Vidotto, F., Tesio, F., Patracchini, C., et al. 2007a. Effects on weedy rice seeds of rice field overwinter flooding. p. 134-135. In *Proceedings of the Fourth Temperate Rice Conference*. S.I.R.F.I., Novara, Italy.

Vidotto, F., Tesio, F., Tabacchi, M., et al. 2007b. Herbicide sensitivity of *Echinochloa* accessions in Italian rice fields. *Crop Prot.* 26:285-293.

Ziska, L.H., Gealy, D.R., Burgos, N., et al. 2015. Weedy (red) rice: An emerging constraint to global rice production. *Adv. Agron.* 129:181-228.