

MASSIMO BLANDINO*, AMEDEO REYNERI*, MICHELANGELO PASCALE**,
MIRIAM HAIDUKOWSKI**, MARIA CORBELLINI***, LUCA PLIZZARI***,
GIULIANO MAZZIERI****, DIEGO SCUDELLARI*****

Percorsi produttivi per la prevenzione della contaminazione da deossinivalenolo nel frumento tenero

INTRODUZIONE

La presenza del deossinivalenolo (DON) nella granella dei cereali vernini, così come quella di altri tricoteceni, è connessa con lo sviluppo sulla spiga di diverse specie fungine patogene della coltura, agenti di una patologia nota come fusariosi della spiga (FHB – *Fusarium* Head Blight). I più importanti agenti della malattia su frumento nel Nord e Centro Italia, sono il *Fusarium graminearum* e il *F. culmorum* (Bottalico, 1998; Lops et al., 1998; Birzele et al., 2002; Ioos et al., 2004). Andamenti climatici piovosi o comunque caldumidi nel corso delle fasi fenologiche comprese tra la spigatura e la maturazione lattea, favoriscono l'insorgenza e la diffusione della malattia (Balmas et al., 2000; Moretti et al., 2002). In generale si ritiene che il frumento sia più sensibile alla patologia e alla contaminazione da DON rispetto a orzo e segale (Prickett et al., 2000), inoltre si è osservato che in generale le cultivar di frumento duro sono più suscettibili alla contaminazione da DON delle cultivar di frumento tenero (Pascale et al., 2002; Logrieco et al., 2003). Come è già stato sottolineato in diversi lavori, la qualità sanitaria dei cereali si determina principalmente a partire dal campo, in quanto è riconosciuto il ruolo fondamentale delle condizioni ambientali e dell'agrotecnica per lo sviluppo della malattia (Campagna et al., 2005; Reyneri e Blandino, 2006; Gourdain, 2008). La corretta gestione della problematica della fusariosi della spiga deve quindi essere inserita in un programma di lotta integrata che consideri sia la preven-

* Dip. Agroselwiter, Università degli Studi di Torino

** Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari, Bari

*** CRA-SCV, S. Angelo Lodigiano (Lo)

**** Azienda Sperimentale ASSAM, Jesi (An)

***** CRPV - Filiera Grandi Colture e Sementi, Imola (Bo)

zione agronomica, sia la difesa fitosanitaria della coltura (Pancaldi et al., 2005; Koch et al., 2006; Maiorano et al., 2008). Per il frumento, le ricerche fino ad ora condotte in ambienti diversi da quello italiano hanno evidenziato che la contaminazione da DON è risultata influenzata principalmente dall'effetto varietale, dalle lavorazioni del terreno, dalla rotazione colturale e dall'applicazione di fungicidi (Bai e Shaker, 1994; Edwards, 2004). Con la recente applicazione in Unione Europea dei limiti per il contenuto in micotossine prodotte da funghi del genere *Fusarium* nei prodotti destinati all'alimentazione umana (Reg. 1881/2006/CE) si rende necessario valutare con maggiore attenzione l'efficacia dei metodi di lotta diretti e indiretti alla fusariosi della spiga nel frumento tenero in diversi areali di produzione. I risultati ottenuti in precedenti sperimentazioni evidenziano una riduzione risolutiva della contaminazione da DON, può essere conseguita solo se sono applicate le diverse pratiche agronomiche in modo corretto e combinato secondo definiti percorsi colturali (Pirgozliev et al., 2003).

Questo contributo analizza l'effetto delle principali strategie di prevenzione e controllo, intese sia come singole tecniche agronomiche, sia come percorsi produttivi di produzione integrata, sulla contaminazione da DON nel frumento tenero, coltivato nel Nord e nel Centro Italia. La scelta di confrontare percorsi produttivi, intesi come un insieme combinato e razionale di tecniche agronomiche di coltivazione, trae origine dalla necessità di valutare in modo più compiuto i vantaggi e i limiti concreti offerti dalla prevenzione in campo, per fornire una traccia più vicina alle realtà operative delle aziende cerealicole.

MATERIALI E METODI

Per valutare l'influenza ambientale e gli strumenti agronomici disponibili per il controllo della fusariosi della spiga su frumento tenero, nelle campagne agrarie 2005-2006, 2006-2007 e 2007-2008, sono stati predisposti 4 campi sperimentali nelle località di Imola (Bo), Jesi (An), San Angelo Lodigiano (Lo) e Riva presso Chieri (To).

In ogni località, secondo un protocollo comune, sono stati confrontati i seguenti fattori in assenza di inoculo artificiale:

- 2 gestioni dei residui colturali della precessione a cereale (interramento mediante aratura o presenza in superficie a seguito della semina diretta/minima lavorazione);
- 2 cultivar con differente suscettibilità alla fusariosi della spiga (sensibile e mediamente resistente);

- 3 trattamenti fungicidi con prodotti a diversa modalità di azione:
 - T1: testimone non trattato;
 - T2: trattamento con miscela fusaricida ad ampio spettro (p.a. procloraz, Sportak® EW, Basf + epossiconazolo, Opus®, Basf);
 - T3: trattamento con fungicida triazolico (p.a. metconazolo, Caramba Star®, Basf).

I trattamenti fungicidi sopraelencati sono stati confrontati con ulteriori 2 trattamenti (T4, T5) volti ad approfondire l'effetto delle miscele dei trattamenti fusaricidi con prodotti che proteggano la funzionalità e la vitalità della foglia bandiera quali i concimi fogliari o prodotti fungicidi strobilurini:

- T4: trattamento con procloraz + epossiconazolo + Fertileader® Vital-954 (concime fogliare, Timac Agro Italia);
- T5: trattamento con procloraz + azoxystrobin (Amistar®, Syngenta Crop protection).

Sono state confrontate ogni anno le varietà Serio, molto sensibile, e Bologna, mediamente resistente, secondo la classificazione proposta da Mayerle et al. (2007).

LOCALITÀ E PROVINCIA	IMOLA (BO)	JESI (AN)	RIVA PRESSO CHIERI (TO)	S. ANGELO LODIGIANO (LO)
Tessitura terreno	Argilloso	Franco-argilloso	Franco-limoso	Sabbioso
Stagione colturale	2005-2006			
Precessione colturale	Sorgo da granella	Frumento tenero	Mais da granella	Mais da granella
Data di semina	22-dicem-05(1)	17-gennaio-05 ¹	28-ottobre-05	15-novembre-05
Data trattamento fungicida	18-maggio-06	22-maggio-08	18-maggio-06	16-maggio-06
Data di raccolta	12-luglio-06	11-luglio-06	10-luglio-06	12-luglio-06
Stagione colturale	2006-2007			
Precessione colturale	Sorgo da granella	Frumento duro	Mais da granella	Mais da granella
Data di semina	18-ottobre-06	28-novembre-06	27-ottobre-06	16-novembre-06
Data trattamento fungicida	26-aprile-07	30-aprile-07	6-maggio-07	7-maggio-07
Data di raccolta	21-giugno-07	22-giugno-07	28-giugno-07	16-luglio-07
Stagione colturale	2007-2008			
Precessione colturale	Mais da granella	Frumento duro	Mais da granella	Mais da granella
Data di semina	22-ottobre-07	14-dicembre-07	2-novembre-07	15-novembre-07
Data trattamento fungicida	7-maggio-08	5-maggio-08	16-maggio-08	9-maggio-08
Data di raccolta	7-luglio-08	1-luglio-08	15-luglio-08	2-luglio-08
¹ Semina ritardata a causa delle abbondanti precipitazioni autunnali.				

Tab. 1 *Principali informazioni relative ai campi sperimentali*

Il trattamento è stato effettuato in ogni anno e località tra la spigatura e inizio fioritura (Zadoks Growth Stage GS 59-61, Zadoks et al., 1974). Tutte le altre principali informazioni relative alle prove sperimentali per ciascun anno di sperimentazione sono riassunte in tabella 1.

Le parcelle elementari hanno presentato una superficie di 10-15 m², secondo uno schema sperimentale split plot, con la modalità di gestione dei residui quale fattore principale e la varietà e i trattamenti fungicidi come sottofattori, con 3 ripetizioni. Per identificare le specie di *Fusarium* responsabili della malattia, dalle parcelle testimone di ciascuna varietà sono state raccolte 10 spighe allo stadio di maturazione latteo-cerosa (GS 78-80) con sintomi di fusariosi. L'isolamento e il riconoscimento delle singole specie di *Fusarium* sono stati eseguiti secondo le metodologie riportate da Nelson et al. (1983). Per tutti i trattamenti a confronto si è proceduto a rilevare alla maturazione cerosa l'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, utilizzando la scala di Parry et al. (1995) e, alla raccolta, la produzione, il peso ettolitrico e il peso dei mille semi. I campioni di granella di ogni parcella sono stati analizzati per il contenuto in DON mediante analisi con metodica immunoenzimatica (test ELISA) e confrontati con analisi sul coacervo della singola ripetizione con metodica HPLC con le modalità riportate da Pascale et al. nel capitolo "Confronto tra metodi ELISA e HPLC per la determinazione del deossinivalenolo (DON) in frumento tenero e duro".

RISULTATI

La sperimentazione è stata condotta in annate con differente andamento meteorologico tra l'inizio della spigatura e la raccolta, con una forte influenza sul livello di infezione delle specie responsabili della FHB e del contenuto in DON della granella alla raccolta. Nella primavera del 2006 in tutti gli ambienti, le scarse precipitazioni osservate in concomitanza della fioritura della coltura e l'andamento climatico di giugno, caratterizzato da temperature spesso superiori alla media, hanno determinato una contenuta incidenza delle infezioni. Nello stesso periodo del 2007, alcune piogge durante la fioritura hanno favorito una maggior infezione delle specie responsabili della FHB, con più elevati valori di incidenza e severità dell'attacco su spiga, in particolare per i testimoni non trattati. Nel maggio-giugno del 2008 l'elevata e continua piovosità per tutto il periodo di maturazione, a partire dalla fioritura, ha determinato un forte sviluppo della FHB e alte concentrazioni di DON nelle cariossidi alla raccolta. Le analisi micologiche sulle cariossidi delle parcelle testimone hanno isolato *F. graminearum* con una maggiore frequenza in tutte le località. L'infe-

zione di questa specie fungina è risultata in media del 13% delle cariossidi nelle annate 2005-2006 e 2006-2007 e del 38% nel 2007-2008. Al contrario, altre specie, quali *F. culmorum* e *F. poae* sono stati ritrovate solo in tracce.

Il DON è stato riscontrato nell'82% dei campioni raccolti nel 2006, con un valore mediano dei campioni positivi pari a 103 $\mu\text{g kg}^{-1}$, e con il 9% dei campioni positivi che hanno superato il limite di 1250 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Reg. Reg. 1881/2006/CE). Nel 2007 il numero di campioni positivi è stato del 77%, con livelli medi di contaminazione più contenuti; inoltre nessun campione ha superato il limite di legge previsto dal Reg. 1881/2006/CE. Al contrario nel 2008 il 91% dei campioni è risultato contaminato da DON (valore mediano dei campioni positivi di 8161 $\mu\text{g kg}^{-1}$), con oltre il 65% dei campioni che hanno presentato valori di contaminazione al di sopra del limite previsto dal regolamento comunitario. Dal confronto tra le località si conferma in ogni anno di sperimentazione come i livelli di contaminazione di questa micotossina aumentino spostandosi dal Centro al Nord Italia.

In tabella 2 è riportato l'effetto della gestione dei residui colturali (interrato e presenti in superficie) sui sintomi della FHB, sulla produzione di granella e sul contenuto in DON. Si evidenzia come la presenza dei residui colturali in

STAGIONE COLTURALE	GESTIONE DEI RESIDUI COLTURALI ^a	INCIDENZA FUSARIOSI ^b (%)	SEVERITÀ FUSARIOSI ^c (%)	PRODUZIONE GRANELLA ^d (t ha ⁻¹)	DON ^e ($\mu\text{g kg}^{-1}$)
2005-2006	Interramento	18,7 b	1,6 b	8,2 a	157 b
	Presenti in superficie	21,9 a	2,0 a	7,3 b	602 a
	<i>P (F)</i>	0,036	0,034	<0.001	<0.001
2006-2007	Interramento	43,4 b	3,6 b	6,8 a	65 b
	Presenti in superficie	49,3 a	4,9 a	6,4 b	193 a
	<i>P (F)</i>	<0.001	0,003	<0.001	<0.001
2007-2008	Interramento	50,0 b	4,6 b	7,0 a	3581 b
	Presenti in superficie	58,9 a	9,8 a	5,3 b	12740 a
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

^a Gestione dei residui: interramento mediante aratura; presenti in superficie a seguito di semina su sodo.
^b L'incidenza della fusariosi è stata calcolata come percentuale di spighe presentanti sintomi.
^c La severità della fusariosi è stata calcolata come percentuale di cariossidi per spiga presentanti sintomi.
^d Produzione di granella al 12% di umidità.
^e Analisi effettuate con metodica ELISA, limite di rilevazione di 18 $\mu\text{g kg}^{-1}$.
Valori nella stessa colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti. Il livello di significatività è riportato in tabella. I dati riportati sono dati medi di 4 località e di 3 ripetizioni per ciascuna località e degli altri fattori agronomici previsti dalla sperimentazione (varietà, trattamento fungicida).

Tab. 2 Effetto della gestione dei residui colturali sull'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, sulla produzione di granella e sul contenuto in DON, sperimentazione condotta in 4 località nel periodo 2005-2008

superficie quale conseguenza dell'adozione della semina diretta abbia determinato valori di incidenza e severità della fusariosi significativamente più alti in tutte le annate di sperimentazione rispetto all'aratura. In media nelle sperimentazioni condotte nel 2005-2006 e 2006-2007, l'aratura ha ridotto del 13% l'incidenza e del 15% la severità della fusariosi della spiga rispetto alla semina su sodo. Nel 2007-08 le differenze osservate sono state più consistenti e rispettivamente del 15% e 53% rispettivamente per incidenza e severità della FHB.

In tutte le annate si è osservato un deciso vantaggio produttivo a seguito dell'aratura rispetto alla semina diretta, che è risultato compreso tra il 9% delle annate con una contenuta pressione della FHB e il 24% osservato nella campagna con maggiore sviluppo della malattia. L'interramento dei residui colturali con l'aratura ha significativamente ridotto la contaminazione da DON (-70%) rispetto alla semina su sodo in tutte le annate.

In tutte le annate la varietà Serio, classificata come sensibile, ha confermato una maggiore suscettibilità alla FHB, con un aumento medio dell'incidenza e della severità della malattia rispettivamente del 32% e 55% rispetto Bologna, classificata come mediamente resistente (tab. 3). Anche nella campagna 2007-2008, a dispetto del diverso livello di suscettibilità alla patologia, non si sono

STAGIONE COLTURALE	CULTIVAR ^a	INCIDENZA FUSARIOSI ^b (%)	SEVERITÀ FUSARIOSI ^c (%)	PRODUZIONE GRANELLA ^d (t ha ⁻¹)	DON ^e (µg kg ⁻¹)
2005-2006	S	28,5 a	2,9 a	7,6 a	694 a
	MR	12,1 b	0,6 b	7,8 a	65 b
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	0,099	<0.001
2006-2007	S	52,0 a	5,3 a	6,4 a	202 a
	MR	40,7 b	3,2 b	6,8 a	57 b
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	0,084	<0.001
2007-2008	S	59,2 a	9,4 a	6,1 a	9767 a
	MR	49,7 b	5,0 b	6,2 a	6554 b
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	0,375	<0.001

^a S: sensibile, Serio; MR: mediamente resistente, Bologna.

^b L'incidenza della fusariosi è stata calcolata come percentuale di spighe presentanti sintomi.

^c La severità della fusariosi è stata calcolata come percentuale di cariossidi per spiga presentanti sintomi.

^d Produzione di granella al 12% di umidità.

^e Analisi effettuate con metodica ELISA, limite di rilevazione di 18 µg kg⁻¹.

Valori nella stessa colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti. Il livello di significatività è riportato in tabella. I dati riportati sono dati medi di 4 località e di 3 ripetizioni per ciascuna località e degli altri fattori agronomici previsti dalla sperimentazione (gestione dei residui, trattamento fungicida).

Tab. 3 *Effetto della scelta varietale sull'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, sulla produzione di granella e sul contenuto in DON, sperimentazione condotta in 4 località nel periodo 2005-2008*

osservate differenze significative per il livello produttivo tra le cultivar in prova. La scelta di una varietà mediamente resistente ha ridotto il contenuto in DON nella granella alla raccolta in media dell'81% nelle annate caratterizzate da andamenti meteorologici, tra spigatura e maturazione cerosa, poco favorevoli allo sviluppo dell'inoculo fungino responsabile della malattia (campagne agrarie 2005-2006 e 2006-2007). Al contrario con una più forte presenza di inoculo fungino, per il manifestarsi di condizioni meteorologiche favorevoli, quali quelle riscontrate nel 2007-2008, l'effetto preventivo dovuto all'adozione di una varietà meno suscettibile è risultato più contenuto (-33%).

Nelle campagne 2005-2006 e 2006-2007, i trattamenti fungicidi hanno

STAGIONE COLTURALE	TRATTAMENTO FUNGICIDA ^a	INCIDENZA FUSARIOSI ^b (%)	SEVERITÀ FUSARIOSI ^c (%)	PRODUZIONE GRANELLA ^d (t ha ⁻¹)	DON ^e (µg kg ⁻¹)
2005-2006	T1	33,2 a	4,0 a	7,3 b	681 a
	T2	17,0 b	1,0 b	7,9 a	274 b
	T3	18,5 b	1,2 b	7,8 a	324 b
	T4	16,9 b	1,0 b	7,9 a	296 b
	T5	16,0 b	1,7 b	7,8 a	323 b
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	0,009	0,001
2006-2007	T1	57,9 a	8,5 a	6,1 b	215 a
	T2	42,9 b	3,0 b	6,7 a	83 b
	T3	45,9 b	3,6 b	6,6 a	108 b
	T4	43,6 b	3,0 b	6,8 a	93 b
	T5	41,5 b	3,2 b	6,7 a	148 b
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	0,002	<0.001
2007-2008	T1	77,6 a	19,4 a	5,0 b	10477 a
	T2	47,5 c	3,6 b	6,4 a	7324 b
	T3	57,6 b	5,0 b	6,3 a	5387 c
	T4	44,7 c	3,6 b	6,6 a	8260 b
	T5	44,8 c	4,3 b	6,3 a	9356 ab
	<i>P (F)</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

^a Trattamento fungicida: T1, testimone non trattato; T2, trattamento con procloraz + epossiconazolo; T3, trattamento metconazolo; T4, trattamento con procloraz + epossiconazolo + concime fogliare; T5, trattamento con procloraz + azoxystrobin.

^b L'incidenza della fusariosi è stata calcolata come percentuale di spighe presentanti sintomi.

^c La severità della fusariosi è stata calcolata come percentuale di cariossidi per spiga presentanti sintomi.

^d Produzione di granella al 12% di umidità.

^e Analisi effettuate con metodica ELISA, limite di rilevazione di 18 µg kg⁻¹.

Valori nella stessa colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti. Il livello di significatività è riportato in tabella. I dati riportati sono dati medi di 4 località e di 3 ripetizioni per ciascuna località e degli altri fattori agronomici previsti dalla sperimentazione (gestione dei residui, varietà).

Tab. 4 *Effetto del trattamento fungicida in spigatura sull'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, sulla produzione di granella e sul contenuto in DON, sperimentazione condotta in 4 località nel periodo 2005-2008*

significativamente ridotto l'incidenza e la severità della FHB rispettivamente del 38% e del 73%, ma senza evidenziare differenze significative nell'ambito delle diverse soluzioni confrontate (tab. 4). In queste annate il trattamento fungicida condotto alla spigatura ha permesso un aumento significativo della produzione del 8% e una riduzione del contenuto in DON del 61% rispetto al testimone non trattato.

Nel 2007-2008 il trattamento con la miscela procloraz + epossiconazolo (T2) ha evidenziato valori dell'incidenza della fusariosi della spiga significativamente inferiori rispetto a quelli osservati nelle parcelle trattate con metconazolo (T3). In questa annata il trattamento fungicida ha evidenziato un aumento produttivo medio del 22%. Il vantaggio produttivo conseguente al trattamento fungicida è correlato a un aumento del peso ettolitrico e del peso dei mille semi, con una diminuzione delle cariossidi striminzite. L'impiego di un concime fogliare (T4) o di un strobilurina, fungicida in grado di controllare in maniera più efficace le malattie fogliari e dotato di un effetto "rinverdente" sulla coltura (T5), abbinati al trattamento contro i *Fusaria*, non ha evidenziato differenze in termini di contenimento della malattia o di aumento della produzione. Relativamente alla contaminazione da DON il trattamento con metconazolo ha evidenziato valori di contaminazione significativamente inferiori rispetto alla miscela procloraz + epossiconazolo. La riduzione del contenuto in DON osservata per il trattamento T3 rispetto al testimone non trattato (T1) è stata del 45%, mentre il trattamento T2 ha ridotto la concentrazione della tossina del 30%. In un'annata con una maggior pressione della malattia, si conferma l'attività più specificatamente rivolta al *Fusarium graminearum* da parte dei fungicidi a base di metconazolo rispetto ad altri principi attivi, già osservata da Paul et al. (2008). L'azione più selettiva evidenziata da questo principio attivo determina una minor riduzione dei sintomi della malattia, in quanto sono presenti altre specie fungine non tossigene quali *Microdochium nivale* coinvolte nella patologia, ma un più efficace contenimento della contaminazione da DON per effetto dell'attività specifica verso il fungo produttore.

L'aggiunta di un concime fogliare al programma di lotta con fungicida triazolico non ha significativamente aumentato la contaminazione di questa micotossina, mentre l'impiego di strobilurina ha portato a un aumento della contaminazione, con valori in taluni casi anche superiori ai testimoni non trattati, confermando i rischi derivati dall'impiego di questa famiglia di fungicidi in fioritura per un effetto competitivo tra le specie fungine agenti della patologia (Blandino et al., 2006).

Delle 20 possibili combinazioni di trattamenti, in questo contributo ne sono state confrontate 5 che sono l'espressione di altrettanti e significativi percorsi produttivi: percorso produttivo ad alto rischio (AR), rischioso (RI), a

SIGLA	PERCORSO COLTURALE	GESTIONE DEI RESIDUI	VARIETÀ	TRATTAMENTO FUSARICIDA
AR	Alto rischio	Semina diretta	Sensibile	Assente
RI	Rischioso	Semina diretta	Sensibile	Spigatura
MR	A medio rischio	Aratura	Sensibile	Assente
CO	Corretto	Aratura	Mediamente resistente	Assente
AT	Attento	Aratura	Mediamente resistente	Spigatura

Tab. 5 I percorsi produttivi a confronto nelle 4 località della sperimentazione

medio rischio (MR), corretto (CO) e attento (AT). Nel primo sono attuate una serie di pratiche che singolarmente considerate hanno dato luogo ad alte contaminazioni; progressivamente sono state inserite pratiche che invece hanno dimostrato di prevenire l'infezione dei *Fusaria* in fioritura. Infine l'ultimo percorso produttivo (AT) abbina alle scelte agronomiche che meno predispongono la coltura alla contaminazione da DON, la difesa diretta con fungicidi. In tabella 5 sono riportati in dettaglio i percorsi colturali a confronto.

L'effetto dell'applicazione dei percorsi produttivi nei 3 anni di sperimentazione sull'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, sulla produzione di granella e sulla contaminazione da DON è riportato in tabella 6. Muovendosi da un percorso ad alto rischio (AR) verso un percorso attento (AT) si è osservata in ogni anno di sperimentazione una riduzione dei sintomi della FHB, un aumento della produzione di granella e una riduzione del contenuto in DON.

Nelle campagne agrarie 2005-2006 e 2006-2007 si è registrata una prima riduzione significativa della contaminazione di questa micotossina rispetto al percorso AR con l'applicazione di un primo fattore di controllo della patologia (trattamento fungicida nel percorso RI e aratura nel percorso MR). Un'ulteriore riduzione significativa del contenuto in DON nella granella si è osservata con l'aggiunta di un altro fattore di controllo (impiego di varietà mediamente resistente nel percorso CO), mentre, in annate con una bassa incidenza della FHB, l'applicazione di un fusaricida all'interno di un percorso agronomico corretto (AT) ha tendenzialmente abbassato il contenuto in DON, senza però determinare differenze significative rispetto al percorso corretto (CO), che non ha previsto l'intervento di lotta diretta.

Al contrario in condizioni di forte pressione della malattia (2007-2008), l'introduzione di ogni ulteriore elemento di controllo con l'adozione di percorsi produttivi progressivamente più attenti ha evidenziato sempre un'ulteriore riduzione significativa della contaminazione della micotossina.

L'applicazione di un percorso RI, con l'applicazione del trattamento fungi-

STAGIONE COLTURALE	PERCORSO COLTURALE ^a	INCIDENZA FUSARIOSI ^b (%)	SEVERITÀ FUSARIOSI ^c (%)	PRODUZIONE GRANELLA ^d (t ha ⁻¹)	DON ^e (µg kg ⁻¹)
2005-06	AR	51,8 a	7,6 a	6,9 c	1740 a
	RI	26,7 c	2,1 c	7,6 b	875 b
	MR	36,9 b	5,2 b	7,4 b	732 b
	CO	20,4 c	1,5 c	8,3 a	23 c
	AT	10,4 d	0,3 d	8,4 a	18 c
	<i>P (F)</i>	0,006	0,019	0,004	<0.001
2006-07	AR	66,1 a	12,8 a	5,7 c	476 a
	RI	48,7 b	4,3 c	6,3 b	226 b
	MR	63,6 a	7,4 b	5,8 c	176 b
	CO	45,3 c	5,9 bc	6,8 ab	41 c
	AT	32,8 d	2,1 d	7,1 a	15 c
	<i>P (F)</i>	0,018	0,022	0,007	<0.001
2007-08	AR	83,4 a	32,8 a	4,0 c	16847 a
	RI	57,0 c	6,1 c	5,4 b	13258 b
	MR	77,6 a	19,1 b	5,7 b	7201 c
	CO	69,3 b	6,6 c	5,8 b	3772 d
	AT	38,4 d	1,3 d	7,4 a	1917 e
	<i>P (F)</i>	<0.001	0,039	0,024	<0.001

^a Percorsi colturali: vedi tabella 5.
^b L'incidenza della fusariosi è stata calcolata come percentuale di spighe presentanti sintomi.
^c La severità della fusariosi è stata calcolata come percentuale di cariossidi per spiga presentanti sintomi.
^d Produzione di granella al 12% di umidità.
^e Analisi effettuate con metodica ELISA, limite di rilevazione di 18 µg kg⁻¹.
Valori nella stessa colonna seguiti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti. Il livello di significatività è riportato in tabella. I dati riportati sono dati medi di 4 località e di 3 ripetizioni per ciascuna località.

Tab. 6 *Effetto dell'applicazione dei percorsi colturali sull'incidenza e la severità della fusariosi della spiga, sulla produzione di granella e sul contenuto in DON, sperimentazione condotta in 4 località nel periodo 2005-2008*

cida in assenza di prevenzione agronomica, ha evidenziato una riduzione dei sintomi della fusariosi della spiga simile a quella evidenziata dal percorso CO, caratterizzato dalla semina di una varietà mediamente resistente con interrimento dei residui. In media entrambi i percorsi colturali hanno ridotto l'incidenza e la severità della FHB rispetto al percorso AR rispettivamente del 36% e del 73%. Al contrario la prevenzione agronomica attuata con il percorso CO ha ridotto del 89% la presenza di DON nella granella rispetto al percorso AR, a fronte di una riduzione media del 41% ottenuta con il solo controllo mediante trattamento fungicida (RI).

L'applicazione del trattamento fungicida in un percorso in cui è già prevista la prevenzione agronomica dello sviluppo della FHB (percorso AT), ha ulteriormente ridotto i sintomi della patologia tutti gli anni di sperimentazione,

sebbene significativi vantaggi produttivi (+ 21%) e limitazioni alla contaminazione da DON (-49%) rispetto al percorso CO, si siano osservati solo nell'annata con condizioni meteorologiche favorevoli allo sviluppo dei *Fusaria*.

CONCLUSIONI

I dati raccolti hanno evidenziato come il rischio di elevati attacchi della fusariosi della spiga nei cereali vernini e conseguenti contaminazioni da DON possa essere molto elevato in Centro e Nord Italia. In particolare, in presenza di condizioni meteorologiche favorevoli allo sviluppo della malattia, le contaminazioni di questa micotossina nel frumento tenero negli areali di coltivazione più settentrionali hanno raggiunto valori anche molto superiori ai limiti comunitari. Alla luce anche delle alte contaminazioni osservate nella campagna 2008 nel Nord Italia, i dati ottenuti da questa sperimentazione confermano l'importanza dell'agrotecnica nel ridurre le contaminazioni da DON nei cereali vernini. Tra le scelte agronomiche volte al contenimento della FHB e, conseguentemente, della concentrazione di DON, l'interramento dei residui colturali, l'adozione di varietà più resistenti e l'impiego di fungicidi tra la spigatura e l'inizio della fioritura hanno dimostrato una sicura efficacia, seppur variabile in relazione alle condizioni ambientali e colturali. L'importanza relativa delle diverse scelte agronomiche sulla prevenzione della FHB e sulla contaminazione da DON riportata è risultata essere differente in annate con decorso asciutto tra la spigatura e la maturazione cerosa, dove prevale l'effetto dovuto alla suscettibilità varietale, seguito dalla presenza dei residui colturali, ma soprattutto dalla loro interazione, rispetto ad annate con andamenti climatici che predispongano un maggior sviluppo della malattia, dove risulta molto importante la presenza dei residui.

La ricerca evidenzia che, innanzitutto, i livelli di contaminazione di DON per il frumento tenero e duro possono essere rispettati attraverso una corretta gestione colturale, che eviti le combinazioni di agrotecniche che conducono a un significativo aumento del rischio, senza peraltro richiedere una sostanziale modificazione delle tecniche correnti. Per i cereali vernini la tecnica agronomica in grado di influenzare il processo infettivo si attua principalmente con la gestione dei residui colturali, principale fonte di inoculo degli agenti della malattia, e la scelta varietale, con l'impiego di cultivar con limitata suscettibilità alla fusariosi della spiga. La rotazione agronomica, che eviti il ristoppio del cereale, ma soprattutto la successione mais (o sorgo)-frumento, possono determinare un ulteriore contenimento del contenuto in DON, in particolare nelle annate e negli ambienti più soggetti all'insorgenza della fusariosi della spiga.

L'intervento di lotta diretta con fungicidi ha determinato una non risolutiva riduzione della contaminazione da DON in presenza di elevati livelli di infezione della spiga, per la presenza di andamenti climatici e di un'agrotecnica predisponente lo sviluppo delle specie fungine responsabili della patologia. L'intervento con fusaricidi alla spigatura non va quindi visto solo come un intervento "curativo" da applicare a un'agrotecnica rischiosa, ma come un ulteriore tassello da inserire in un'agrotecnica corretta. Tale pratica va quindi applicata in via preventiva alla spigatura in tutti quegli areali che sono potenzialmente più soggetti al rischio di infezioni della spiga da *Fusarium*.

Anche alla luce del più alto attacco di fusariosi della spiga registrato nella campagna 2007-2008, è necessario un permanente sforzo da parte di tutti gli operatori della filiera (aziende agricole, centri di raccolta e stoccaggio, industria molitoria, imprese fornitrici dei mezzi tecnici) per monitorare e verificare in ogni areale i migliori metodi di controllo della malattia e aggiornare i mezzi tecnici disponibili, al fine di predisporre e perfezionare i Codici di Buone Pratiche Agricole anche in funzione della destinazione d'uso nelle diverse filiere (infanzia, alimentare per produzioni diverse, zootecnica).

I percorsi colturali basati sull'insieme coordinato delle tecniche agronomiche per la prevenzione della contaminazione da micotossine hanno permesso di ottenere risultati di assoluto rilievo. Peraltro quando la componente climatico-ambientale è estremamente favorevole allo sviluppo delle muffe tossigene, come evidenziato nella campagna 2007-2008 in Nord Italia, la prevenzione agronomica non è da sola in grado di assicurare il raggiungimento degli obiettivi sanitari prefissati. Per questo nuove strade debbono essere esplorate. A titolo di esempio forti attese sono riposte sulle nuove varietà più resistenti a parità di produzione e qualità; di fungicidi più efficaci e possibilmente innovativi cioè con diversi meccanismi di azione rispetto a quelli attuali e, infine, di microrganismi competitori verso quelli tossigeni, o in grado di demolire selettivamente la molecola tossica. Ma nessuna di queste soluzioni, per quanto promettenti, appare da sola in grado di risolvere il problema, anche per la capacità delle specie tossigene di sviluppare resistenze o sfruttare strategie alternative. Per questo, la messa a punto delle tecniche agronomiche mirate alla prevenzione non è conclusa ma dovrà proseguire affinandosi sempre più.

RIASSUNTO

La fusariosi della spiga (FHB - *Fusarium* Head Blight) è una delle principali malattie del frumento; essa è causa di perdite produttive e soprattutto qualitative a seguito della contaminazione da deossinivalenolo (DON). In questo contributo vengono presentati i risul-

tati dell'applicazione di percorsi produttivi per il contenimento della contaminazione da DON nel frumento tenero. Dal 2005 al 2008 sono stati realizzati 4 campi sperimentali per il frumento tenero in Nord e Centro Italia. In ogni località e anno sono stati messi a confronto 2 cultivar a diversa suscettibilità (sensibile vs. mediamente resistente), 2 gestioni dei residui (interramento a seguito dell'aratura vs presenza in superficie a seguito di minima lavorazione o semina su sodo) e 5 trattamenti fungicidi alla spigatura (testimone non trattato, impiego di principi attivi diversi).

Un chiaro vantaggio produttivo è stato evidenziato con l'aratura (+14%) rispetto alla semina su sodo e a seguito del trattamento fungicida (+13%). I sintomi da FHB sono stati ridotti dall'interramento dei residui colturali (-33%), dall'impiego di una varietà mediamente resistente (-55%) e dal trattamento fungicida (-73%). La contaminazione da DON è risultata chiaramente correlata con la severità della FHB. Un percorso agronomico attento (cultivar mediamente resistente, aratura e lotta diretta con fungicidi in spigatura) ha in media ridotto di oltre il 98% il contenuto in DON rispetto a un percorso altamente rischioso (cultivar sensibile, semina su sodo, nessun trattamento fungicida).

ABSTRACT

The new European Union regulations, that defined maximum levels for *Fusarium*-toxins in food, requires the evaluation of the methods of direct and indirect control of the *Fusarium* head blight (FHB) in soft wheat.

During 2005-2008 period, 2 varieties with different susceptibility were compared in 4 sites. In each place these treatments were compared: 2 cultivar (susceptible vs. medium-resistant), 2 soil tillages (ploughing vs. direct sowing), 5 fungicide treatments at heading (untreated control, application of different active substances).

A clear productive advantage (+14%) was evidenced with ploughing compared to direct sowing and an advantage was also evidenced with the use of fungicide compared to control not treated (+13%). FHB symptoms were significantly reduced by ploughing (-33%), by the use of a medium-resistant variety (-55%) and by the fungicide application at heading (-73%). The deoxynivalenol (DON) contamination was clearly correlated with the FHB severity. The careful agricultural practices (resistant variety, ploughing and fungicide treatment at heading) showed a 98% lower DON contamination than the hazardous productive practices (susceptible variety, direct sowing and no treated).

BIBLIOGRAFIA

- BAI G-H., SHANER G. (1994): *Scab of wheat: prospect for control*, «Plant Dis.», 78 (8), pp. 760-766.
- BALMAS V., VITALE S., MARCELLO A., CORAZZA L. (2000): *Fusariosi della spiga*, «L'Informatore Agrario», 35, pp. 27-29.
- BLANDINO M., MINELLI L., REYNERI A. (2006): *Strategies for the chemical control of Fusarium head blight: effect on yield, alleographic parameters and deoxynivalenol contamination in winter wheat grain*, «European Journal of Agronomy», 25, pp. 193-201.

- BIRZELE B., MEIER A., HINDORF H., KRÄMER J., DEHNE H.-W. (2002): *Epidemiology of Fusarium infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany*, «Europ. J. Plant Pathol.», 108, pp. 667-673.
- BOTTALICO A. (1998): *Fusarium disease of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe*, «Journal of Plant Pathology», 80, pp. 85-103.
- CAMPAGNA C., HAIDUKOWSKI M., PANCALDI D., PASCALE M., RAVAGLIA S., SILVESTRI M., VISCONTI A. (2005): *Fonti di rischio e gestione delle micotossine nel frumento*, «L'Informatore Agrario», 1, pp. 39-47.
- EDWARDS S.G. (2004): *Influence of agricultural practices on Fusarium infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins*, «Toxicology Letters», 153, pp. 29-35.
- GOURDAIN E. (2008): *Maitriser le risqué sur les cultures de blés: quels outils pour quelles utilisations?*, in *Mycotoxines des cereals*, ed. Barrier Guillot, Ed Arvalis, Paris, pp. 27-40.
- IOOS R., BELHADJ A., MENEZ M. (2004): *Occurrence and distribution of Microdochium nivale and Fusarium species isolated from barley, durum and soft wheat grains in France from 2000 to 2002*, «Mycopathologia», 158 (3), pp. 351-362.
- KOCH H.J., PRINGAS C., MAERLAENDER B. (2006): *Evaluation of environmental and management effects on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat*, «Europ. J. Agron.», 24, pp. 357-366.
- LOGRIECO A., BOTTALICO A., MULE G., MORETTI A., PERRONE G. (2003): *Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops*, «European Journal of Plant Pathology», 109 (7), pp. 645-667.
- LOPS R., PASCALE M., PANCALDI D., VISCONTI A. (1998): *Infezioni fungine e presenza di deossinivalenolo in cariossidi di frumento prodotte in diverse regioni italiane*, «Informatore Fitopatologico», 4, pp. 60-66.
- MAIORANO A., BLANDINO M., REYNERI A., VANARA F. (2008): *Effects of maize residues on the Fusarium spp. infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain*, «Crop Protection», 27, pp. 182-188.
- MAYERLE M., PANCALDI D., HAIDUKOWSKI M., PASCALE M., RAVAGLIA S. (2007): *Fusariosi e grano tenero: quali sono le varietà più resistenti*, «L'Informatore Agrario», 2007, 32, pp. 45-49.
- MORETTI A., CORAZZA L., BALMAS V., SANTORI A., RITIENI A. (2003): *Funghi tossigeni e micotossine: filiera cerealicola*, «Informatore fitopatologico», 12, pp. 17-22.
- NELSON P.E., TOUSSOUN T.A., MARASAS W.F.O. (1983): *Fusarium species: an illustrated manual for identification*, Pennsylvania State University, University Park.
- PANCALDI D., CAMPAGNA C., HAIDUKOWSKI M., PASCALE M., PERRONE G., VISCONTI A. (2005): *Efficacia di fungicida sulla "fusariosi della spiga" ed effetto sul contenuto di deossinivalenolo nel frumento*, «Informatore fitopatologico», 1, pp. 57-62.
- PARRY D.W., JENKINSON P., MCLEOD L. (1995): *Fusarium ear blight (scab) in small grain cereal*, «Review Plant Pathol.», 44, pp. 207-238.
- PASCALE M., BOTTALICO A., PANCALDI D., PERRONE G., VISCONTI A. (2002): *Occurrence of deoxynivalenol in cereals from experimental field in different Italian regions*, «Petria», 12, pp. 123-129.
- PAUL P.A., LIPPS P.E., HERSHMAN M.P., MCMULLEN P., DRAPER M.A., MADDEN L.V. (2008): *Efficacy of Triazole-Based Fungicides for Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Control*, in *Wheat: A Multivariate Meta-Analysis*, «Phytopathology», 98 (9), pp. 999-1011.

- PIRGOZLIEV S.R., EDWARDS S.G., HARE M.C., JENKINSON P. (2003): *Strategies for the control of Fusarium head blight in cereals*, «European Journal of Plant Pathology», 109, pp. 731-742.
- PRICKETT A.J., MACDONALD S., WILDEY K.B. (2000): *Survey of mycotoxins in stored grain from the 1999 harvest in the UK*, HGCA Project Report 230. Home-Grown Cereals Authority, London.
- REYNERI A., BLANDINO M. (2006): *La fusariosi si previene in campo*, Supplemento a «L'Informatore Agrario», 12, pp. 16-18.
- ZADOKS J.C., CHANG T.T., KONZAK C.F. (1974): *A decimal code for the growth stages of cereals*, «Weed Res.», 14, pp. 415-421.

