

Clima e pratiche agronomiche: il loro ruolo nello sviluppo di micotossine e aflatossine

Francesco Ferrero

francesco.ferrero@unito.it

Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari

Università degli Studi di Torino

27 febbraio 2026

Rischi alimentari reali e percepiti dalla popolazione



Le micotossine

- Metaboliti secondari prodotti da funghi **in condizioni di stress**
- Presenti in molti alimenti quali concentrati, foraggi verdi, fieni e insilati

*A 3-yr (2009 to 2011) survey on the worldwide occurrence of mycotoxins revealed that **81%** of 7,049 livestock feed samples collected from the Americas, Europe, and Asia were positive for at least one mycotoxin (Rodrigues and Naehrer, 2012)*

*Another recent 4-yr mycotoxin survey in Poland revealed that up to **95%** of feedstuffs contained at least one mycotoxin (Kosicki et al., 2016)*



Funghi e principali micotossine prodotte

Nel mondo >400 micotossine identificate

Genere	Micotossine	Condizioni per produrre micotossine	Origine
<i>Aspergillus</i>	Aflatossine (B ₁ , B ₂ , G ₁ , G ₂), Ocratossina	Caldo secco	Campo e stoccaggio
<i>Fusarium</i>	Tricoteceni (T-2, HT-2), Deoxinivalenolo (DON), Fumonisine , Zearalenone (ZEA), Eniantine, Beauvericina	Freddo umido (ZEA e DON) Caldo secco (Fumonisine)	Campo
<i>Penicillium</i>	Roquefortina, Acido micofenolico, patulina, Ocratossina	Elevata umidità	Campo e stoccaggio
<i>Monascus</i>	Monacolina	Elevata temperatura	Campo e stoccaggio
<i>Alternaria</i>	Tossine varie del genere <i>Alternaria</i>	Temperature e umidità medie	Campo e stoccaggio

Effetto delle aflatossine sui ruminanti

Quando gli animali sono alimentati con diete contaminate da micotossine possono verificarsi effetti tossici, come riduzione dell'assunzione di alimenti e della produzione di latte, problemi riproduttivi, immunosoppressione e morte

Mycotoxin	Summary of effects
Aflatoxins	Reduced milk production in dairy cows. Decreased milk quality and safety due to carry-over of toxin from contaminated feed. Decreased feed efficiency and rate of gain in beef cows. Compromised immune and ruminal functions. Liver malfunctions.
T-2	Immunosuppression in cattle because of reduced antibody production, neutrophil function, and lymphocyte blastogenesis. Bovine infertility and abortion in late gestation. Extent of transfer into milk of ruminants is negligible.
Deoxynivalenol	Gastrointestinal problems and reduced performance probably due to feed refusal. No evidence of carry-over into milk of ruminants.
Zearalenone	Infertility, reduced milk production, and hyperestrogenism in cattle. Extent of transfer into milk of ruminants is negligible.
Fumonisin	Reduced performance probably due to feed refusal. Mild liver disease. Carry-over of the toxin into milk of ruminants is negligible.
Ochratoxins	No significant toxicity to cattle when fed alone in naturally occurring doses. Carry-over of the toxin into milk is minimal.
Roquefortine	Feed refusal, reproductive disorders, and paralytic effects. No evidence of transfer into milk of ruminants.
Mycophenolic acid	Research data on the effects in cattle are lacking. No evidence of transfer into milk of ruminants.

(Ogunade et al., 2018)



Effetto delle aflatossine sui ruminanti

Quando gli animali sono alimentati con diete contaminate da micotossine possono verificarsi effetti tossici, come riduzione dell'assunzione di alimenti e della produzione di latte, problemi riproduttivi, immunosoppressione e morte

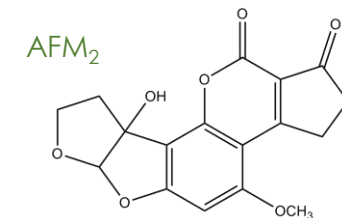
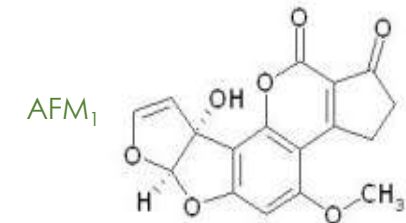
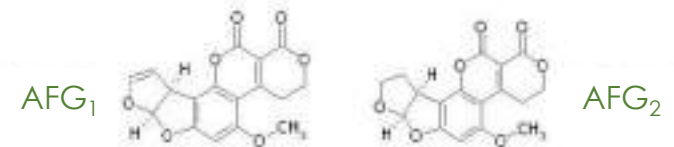
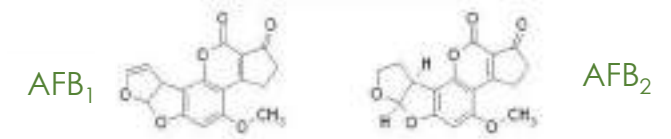
Mycotoxin	Summary of effects
Aflatoxins	Reduced milk production in dairy cows. Decreased milk quality and safety due to carry-over of toxin from contaminated feed. Decreased feed efficiency and rate of gain in beef cows. Compromised immune and ruminal functions. Liver malfunctions.
T-2	Immunosuppression in cattle because of reduced antibody production, neutrophil function, and lymphocyte blastogenesis. Bovine infertility and abortion in late gestation. Extent of transfer into milk of ruminants negligible.
Deoxynivalenol	Gastrointestinal problems and reduced performance probably due to feed refusal. No evidence of carry-over into milk of ruminants.
Zearalenone	
Fumonisin	
Ochratoxins	
Roquefortine	Carry-over of the toxin into milk is minimal. Feed refusal, reproductive disorders, and paralytic effects. No evidence of transfer into milk of ruminants.
Mycophenolic acid	Research data on the effects in cattle are lacking. No evidence of transfer into milk of ruminants.

Rischio di **carry-over**, cioè di TRASFERIMENTO delle aflatossine ingerite dall'animale nei PRODOTTI DESTINATI ALL'ALIMENTAZIONE UMANA (latte e carne)



Le Aflatossine

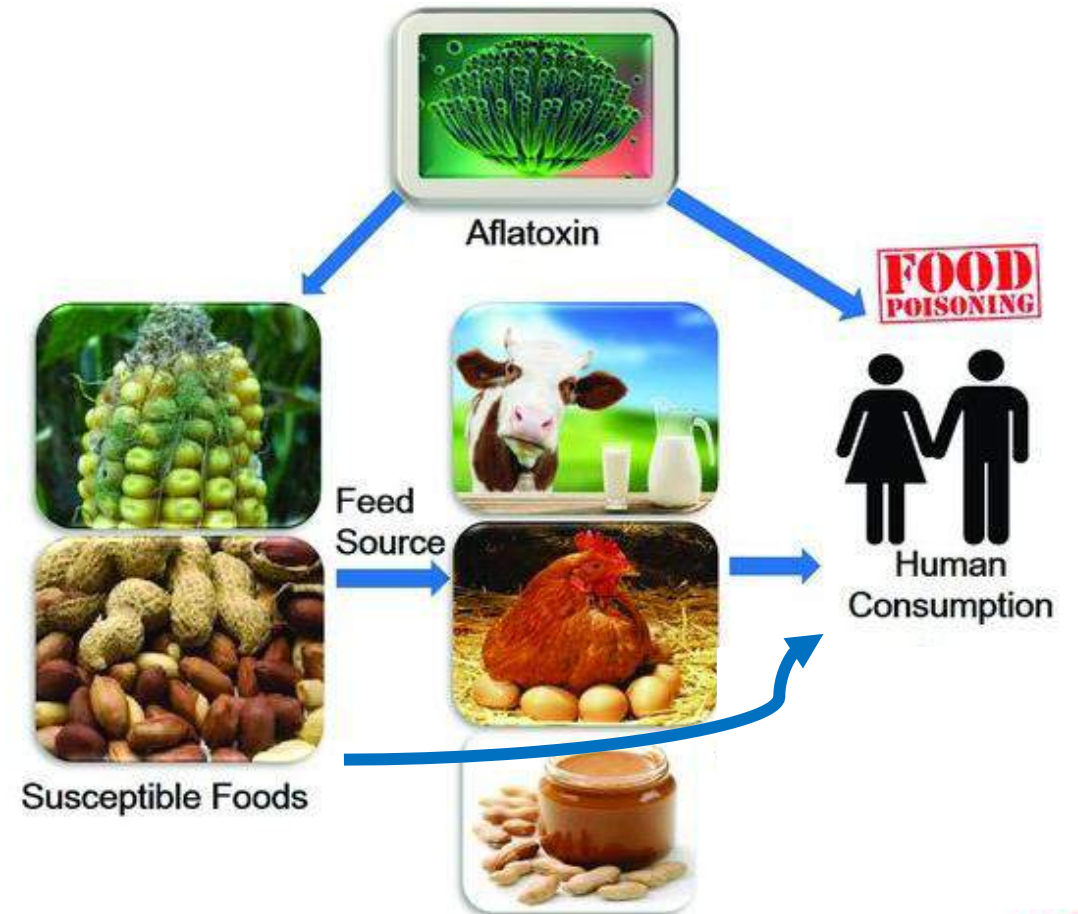
- Le aflatossine sono micotossine prodotte prevalentemente da *Aspergillus flavus* (*Aspergillus* section *Flavi*) e *A. parasiticus*
 - in campo, in condizioni di caldo e stress idrico
 - in magazzino (non completa essiccazione o accumuli di umidità dovuti a condensa)
- Le specie di *Aspergillus* produttrici di aflatossine si adattano bene alle condizioni climatiche calde e secche (Cotty and Jaime-Garcia, 2007)
- Le aflatossine sono un gruppo di 4 molecole prodotte dal fungo: **AFB1, AFB2, AFG1, AFG2**
- 2 prodotti del metabolismo animale, **AFM1 e AFM2**, rilasciate nel latte (*carry-over*)



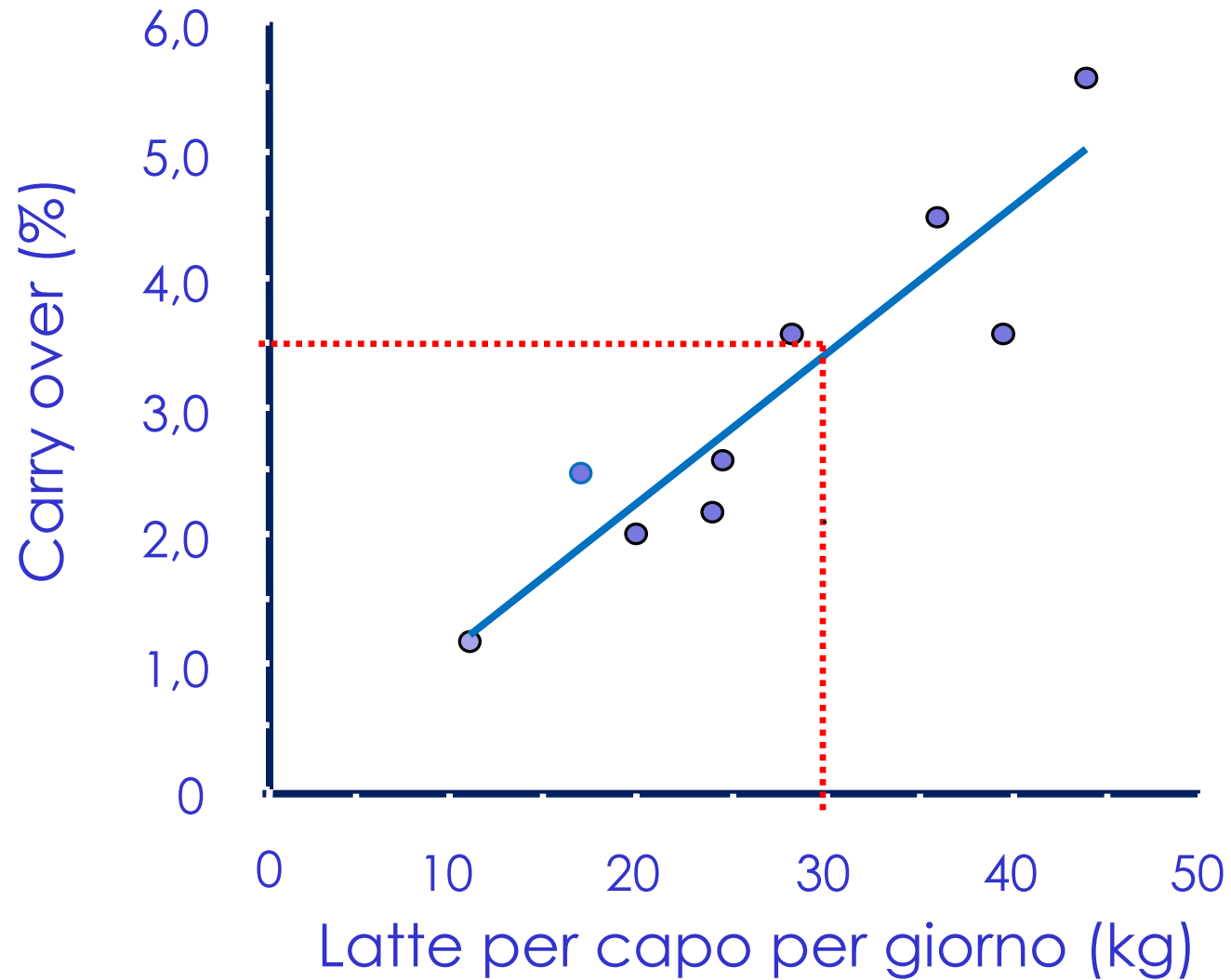
Rischio di ingestione di aflatossine per l'uomo

Rischio di *carry-over*, cioè di **TRASFERIMENTO** delle aflatossine ingerite dall'animale nei **PRODOTTI DESTINATI ALL'ALIMENTAZIONE UMANA** (latte e carne)

CONSUMO DIRETTO di alimenti contaminati















Carry-over e livello produttivo latte

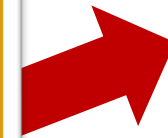


IARC's carcinogen classifications



The International Agency for Research on Cancer (IARC) classifies substances to show whether they are suspected to cause cancer or not. It places substances into one of four categories depending on the strength of evidence for their carcinogenicity.

Group	What does it mean?	What does it include?
GROUP 1	Carcinogenic to humans Sufficient evidence in humans, or strong evidence with a relevant mechanism identified.	    Smoking tobacco, exposure to solar radiation, alcoholic beverages, processed meats.
GROUP 2A	Probably carcinogenic to humans Limited or no evidence in humans. Sufficient evidence in animals.	    Emissions from high temperature frying, steroids, exposures from working in hairdressing, red meat, night shift work.
GROUP 2B	Possibly carcinogenic to humans Limited or no evidence in humans. Limited to insufficient evidence in animals.	    Gasoline & gasoline engine exhaust, welding fumes, pickled vegetables, aloe vera whole leaf extract.



AFB1

Limiti:
Mais, cotone: 20 ppb ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Mangimi finiti: 5 ppb



AFM1

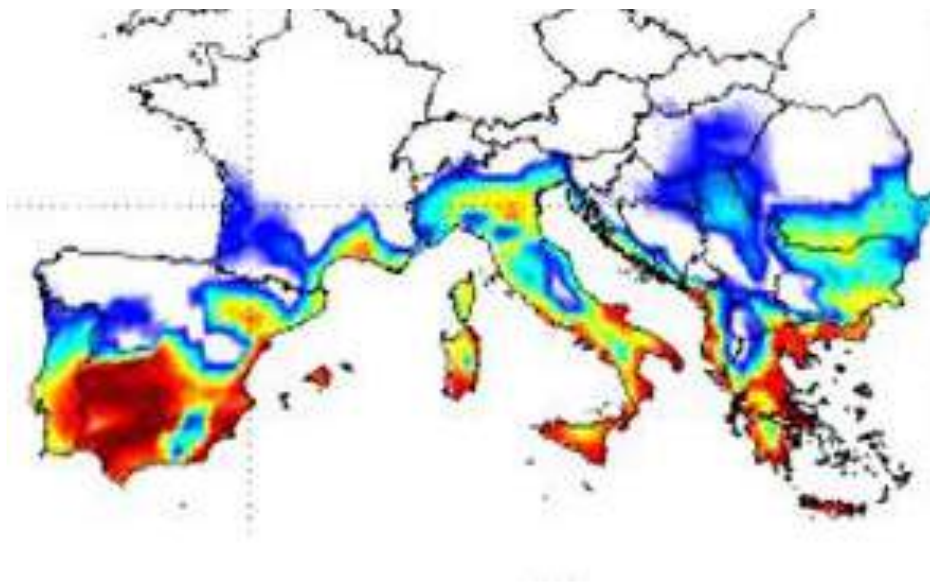
Limiti:
Latte: 50 ppt (ng/kg)



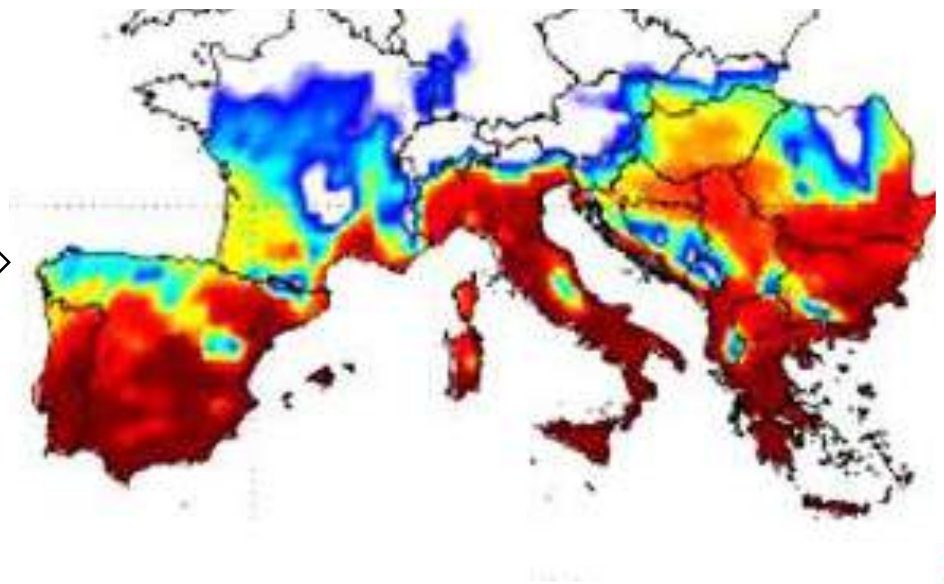
SCIENTIFIC REPORTS

OPEN Aflatoxin B₁ contamination in maize in Europe increases due to climate change

In Italia problematica maggiore nel Nord-Est ed in tutta la pianura Padana nelle annate calde e siccitose



+ 2 °C



(Battilani et al., 2016)



UNIVERSITÀ
DI TORINO

Alimenti maggiormente a rischio per la filiera zootecnica



MAIS e derivati

(Granella, Farina, Glutine, Semola, Pastone)

SEMI di COTONE

ARACHIDI, COCCO, PALMA

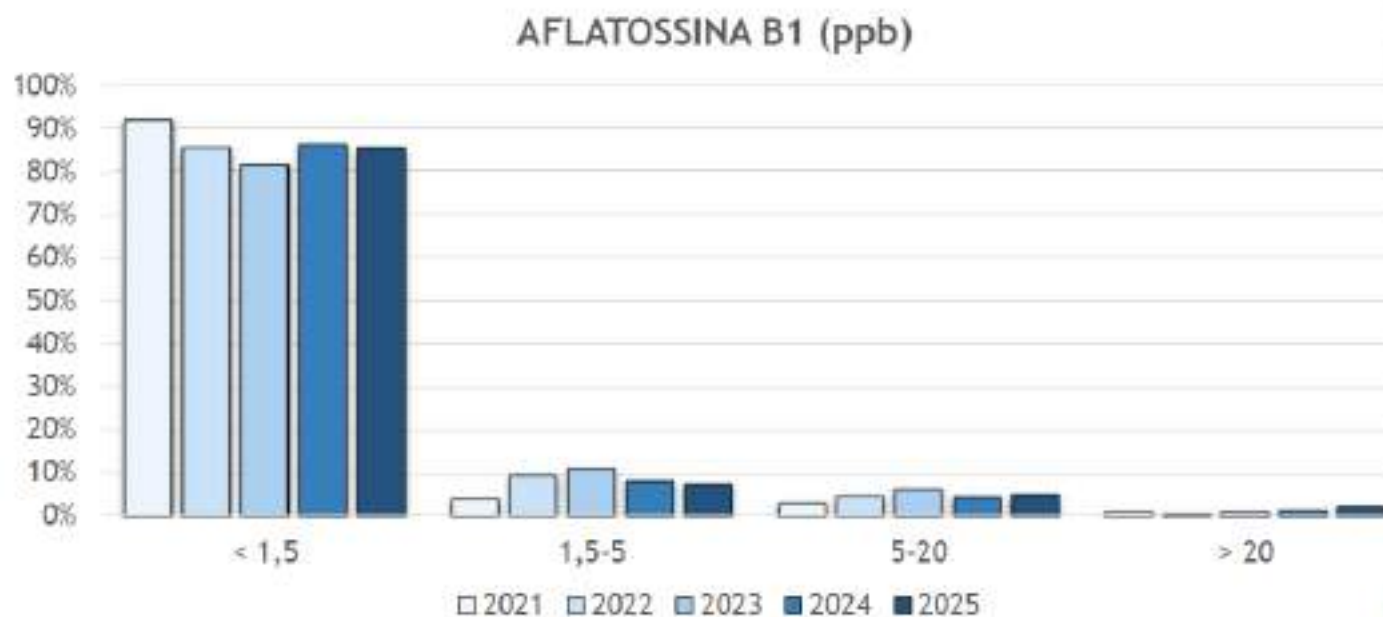
e derivati

**Tutti i formulati che li contengono in vari
percentuale**

Contaminazione di alimenti da AFB1 (da Revello-Chion, 2026)



Aflatossina B1



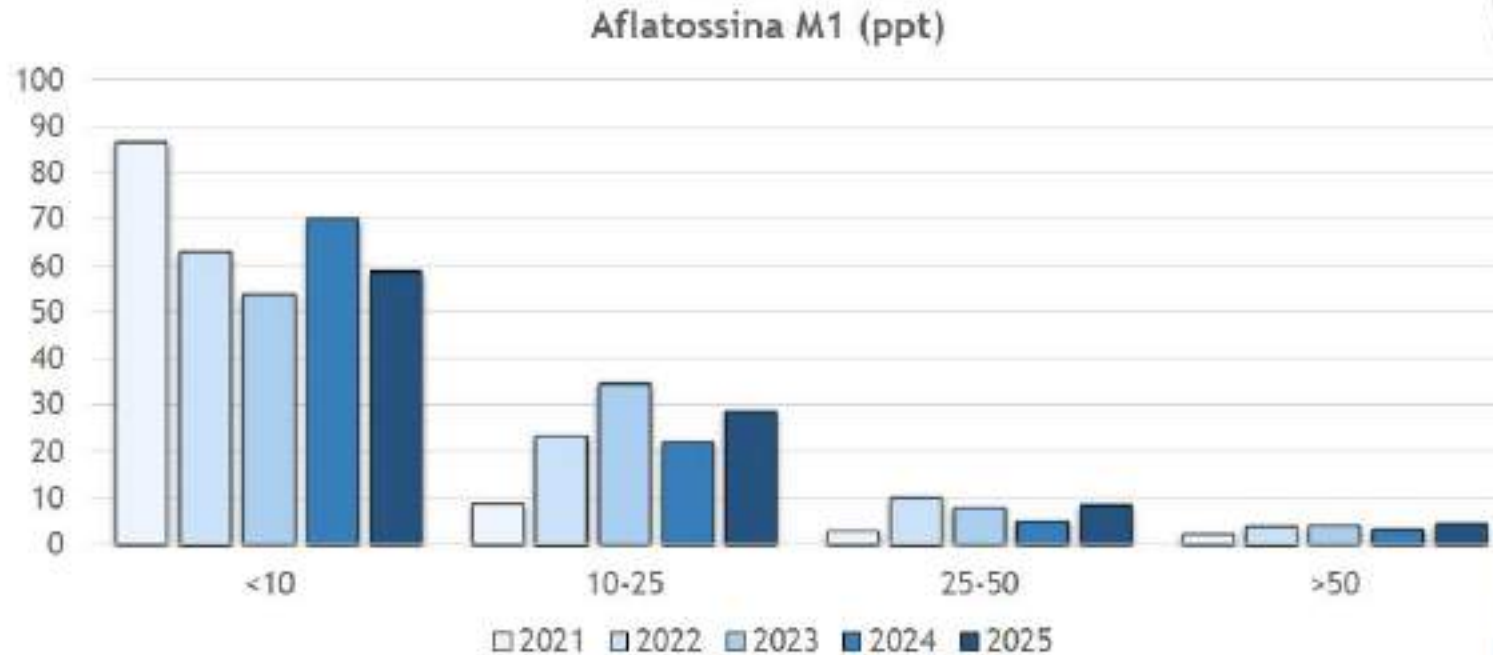
	2021	2022	2023	2024	2025	Totale
Campioni analizzati	277	660	640	626	844	3047



Contaminazione del latte da AFM1 (da Revello-Chion, 2026)



Aflatossina nel latte: distribuzione percentuale



	2021	2022	2023	2024	2025	Totale
Campioni analizzati	1361	2659	3460	2261	2560	12301



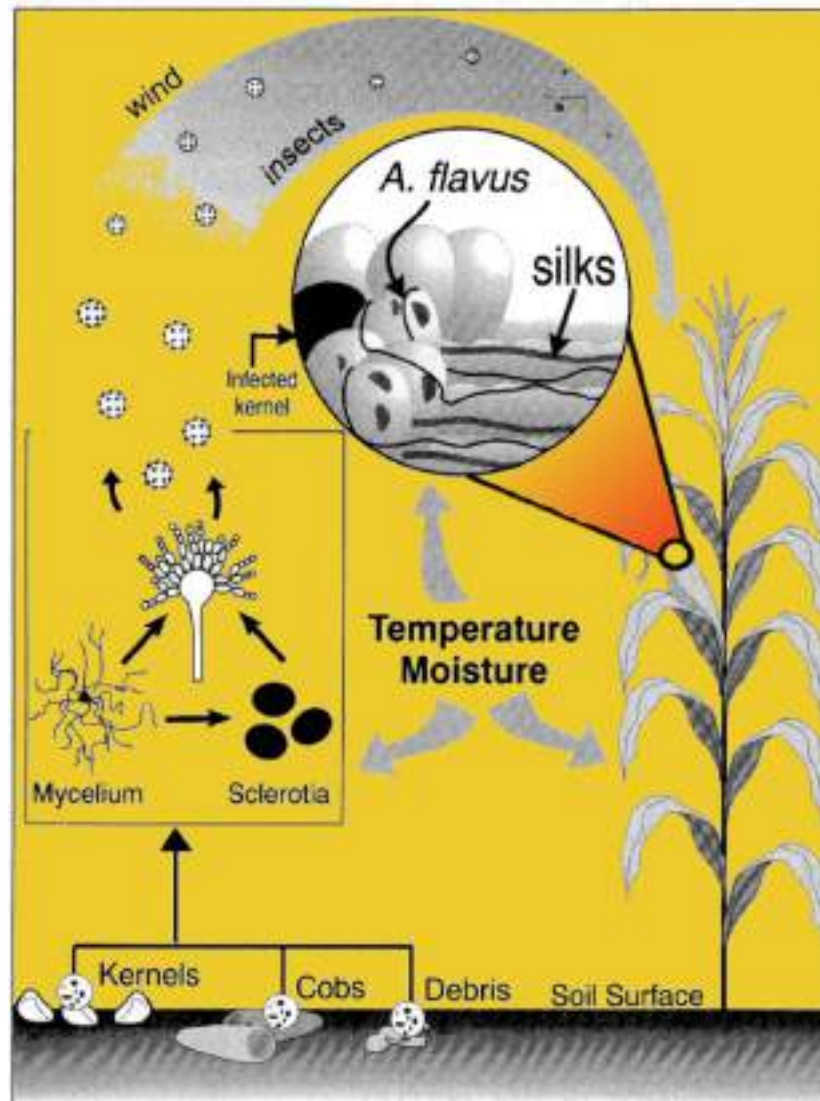
Il MAIS è la coltura maggiormente a rischio

La presenza di aflatossine nel mais è una **problematica che deriva dal CAMPO in condizioni di temperature elevate associate a stress idrico**, che annate calde e siccitose come quelle del 2003, 2012 o 2022 hanno amplificato



UNIVERSITÀ
DI TORINO

La contaminazione da *Aspergillus* su mais

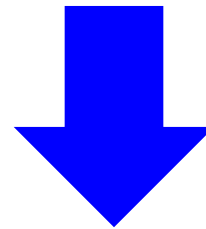


La presenza del fungo **NON** implica necessariamente la presenza di **aflatossine!**

Condizioni per la produzione di aflatossine

La principale causa di aumento delle aflatossine nel mais è legato a elevate temperature (superiori a 30°C) dalla fase di **fioritura** (inizio emissione pennacchio) **al completamento della maturazione** lattea associate a **stress idrico**.

Gli stress di natura biotica (malerbe, fitofagi, ecc...) possono contribuire indirettamente ad aumentare in modo molto rilevante le probabilità di incorrere in un'elevata contaminazione

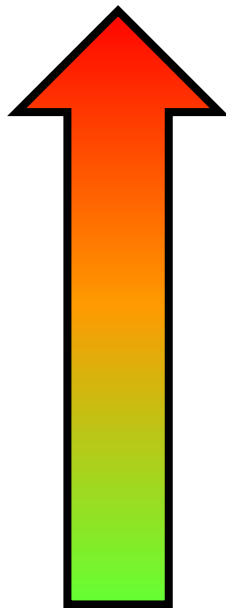


Contenere gli stress alla pianta, in particolare quello idrico, con una gestione dell'irrigazione accurata



Effetto delle pratiche agronomiche sul rischio di contaminazione da AFB1 del mais

Le condizioni climatiche sono il principale fattore che determina lo sviluppo del fungo



1. Irrigazione
2. Scelta dell'ibrido
3. Epoca di semina
4. Biocontrollo (ceppi non tossigeni)
5. Gestione danni alla coltura
6. Competizione malerbe
7. Concimazione
8. Rotazione
9. Interramento residui



Evitare stress della coltura
in fioritura



Gestione dell'irrigazione per il contenimento delle aflatossine

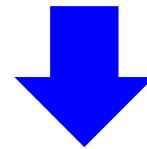
- Irrigare sulla base delle **effettive esigenze idriche della coltura** in rapporto all'andamento evapo-traspirativo e pluviometrico (bilancio idrico)
- Attuare l'irrigazione anche nelle **fasi avanzate del ciclo colturale** se le temperature sono elevate e lo stress pronunciato
- Attenzione alle **irrigazioni «scarse»**, possono aumentare lo stress della coltura: un numero ridotto di interventi irrigui con bassi volumi d'acqua (es: irrigazione a pioggia) sono pericolosi in condizioni di elevata evapotraspirazione (specialmente nella fase di fioritura)



Epoca di semina e scelta dell'ibrido

L'obiettivo generale è quello di evitare quanto possibile lo stress idrico

Scelta verso ibridi che abbiano una **vocazione** all'areale di coltivazione e alle tecniche agronomiche adottate in azienda (disponibilità o meno di acqua per effettuare interventi irrigui)



In condizioni di coltivazione irrigua: ibridi medio-tardivi in quanto lo stress idrico viene limitato con l'irrigazione.

In condizioni di coltivazione non irrigua: ibridi più precoci in grado di sfuggire allo stress idrico e termico estivo

Scelta dell'ibrido in funzione dell'epoca di semina (no ibridi troppo lunghi in seconda epoca!)

Controllo degli insetti

L'attacco delle larve di piralide del mais (*Ostrinia nubilalis*) e di altri minatori **non è causa diretta** di sviluppo di funghi, ma favorisce l'attacco dei funghi in cariossidi danneggiate da erosioni perché più esposte alla penetrazione del micelio.

Le piante soggette ad infestazioni e sotto **stress** possono poi indurre una maggiore sintesi di tossine al fungo

Gli attacchi degli insetti inducono un significativo calo delle rese e quindi un proporzionale aumento della **concentrazione delle aflatossine**.



Foto: Ernesto Tabacco

(Wiatrak et al., 2005; Battilani, 2021)

... e l'insilato di mais?

Rischio possibile MA RIDOTTO

- 1) Minor quantità di granella per unità di peso
- 2) Data di trinciatura anticipata rispetto alla trebbiatura
- 3) Effetto detossificante degli acidi organici di fermentazione
- 4) Controllo deterioramento aerobico (possibile formazione nei cappelli degli insilati)

(Cavallarin et al., 2011; Ferrero et al., 2019)



UNIVERSITÀ
DI TORINO

Alimenti a rischio per la contaminazione di aflatossine

- ✓ **Priorità 1:** farina e farinette di **mais**, granella di mais, nuclei, mangimi finiti, **cotone** e suoi derivati, arachidi
- ✓ **Priorità 2:** pastone di mais e insilato di mais
- ✓ **Priorità 3:** cereali vernini, soia, foraggi verdi, fieni e siloerba



Conclusioni

Lo sviluppo di *Aspergillus* è un problema diffuso nelle annate con **condizioni climatiche** calde e secche

La presenza di aflatossine è legata a **stress idrici** della coltura

La corretta **gestione dell'irrigazione** e di altre tecniche agronomiche può contribuire a ridurre il rischio di contaminazione da aflatossine

Prestare attenzione alla presenza di aflatossine negli alimenti zootecnici a causa del **carry-over** nel latte





Grazie per l'attenzione
