



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

**IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI
NEI CONFRONTI DEGLI INSETTI DANNOSI
ALLE DERRATE ALIMENTARI**

TIPO TESI: compilativa

Studente:
SIMONE DI TEODORO

Relatore:
PROF.SSA PAOLA RIOLO

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	3
2. CAMBIAMENTO CLIMATICO	4
2.1 Definizioni e cause.....	4
2.2 Effetti	6
2.3 Previsioni future.....	9
3. INSETTI DANNOSI ALLE DERRATE ALIMENTARI	11
3.1 Entomologia delle derrate alimentari.....	11
3.2 Principali insetti dannosi alle derrate alimentari e danni	14
3.3 Monitoraggio e controllo parametri climatici di alcune specie di insetti dannosi alle derrate alimentari	15
4. CAMBIAMENTO CLIMATICO E INSETTI DANNOSI ALLE DERRATE ALIMENTARI	18
4.1 <i>Sitophilus granarius</i> L. (Coleoptera, Curculionidae).....	20
4.2 <i>Sitophilus oryzae</i> L. (Coleoptera, Curculionidae).....	24
4.3 <i>Acanthoscelides obtectus</i> Say (Coleoptera, Bruchidae)	27
4.4 <i>Zabrotes subfasciatus</i> Boheman (Coleoptera, Bruchidae)	30
4.5 <i>Sitotroga cerealella</i> Olivier (Lepidoptera, Gelechiidae).....	31
5. CONCLUSIONI.....	34
6. BIBLIOGRAFIA.....	35
7. SITOGRAFIA.....	38

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni uno degli argomenti maggiormente trattati e discussi in ambito economico, sociale e politico, sui siti generalisti e su quelli specializzati è di certo il cambiamento climatico. Oggi ci troviamo di fronte a eventi climatici estremi che comportano frequenti e devastanti eventi dannosi, come inondazioni, siccità, dissesto idrologico, diffusione di malattie e crisi dei sistemi agricoli ed economici, influenzando in modo significativo sul comportamento e sul tasso di sviluppo di piante, animali e insetti. Una delle conseguenze peggiori del cambiamento climatico è il riscaldamento globale, dovuto all'accumulo incessante di gas serra che contribuiscono sempre di più ad aumentare la temperatura terrestre. Le registrazioni di temperatura eseguite negli ultimi cinque anni ci confermano che sono stati i più caldi della storia, e che il decennio 2010-2019 è stato il più caldo da quando vengono effettuate registrazioni attendibili e regolari della temperatura. L'anno 2019, inoltre, è stato il secondo anno più caldo, con un aumento della temperatura di circa 1,1°C in confronto all'era preindustriale. Tutti questi fenomeni descritti non possono far altro che confermare la forte crisi climatica che sta colpendo l'intero sistema globale, creando disagi sotto ogni punto di vista giorno dopo giorno in ogni angolo del pianeta. L'aumento delle temperature, inoltre, colpisce significativamente gli insetti delle derrate alimentari, responsabili delle principali infestazioni dei luoghi di lavorazione, conservazione e produzione dei prodotti alimentari. Questi insetti non si limitano a vivere come ospiti, ma utilizzano come fonte diretta di alimentazione le derrate alimentari, comportando fenomeni di riduzione delle rese e di decadimento della qualità igienico sanitaria, nutrizionale e sensoriale dei prodotti finiti. Il presente elaborato, dunque, è volto ad analizzare le dinamiche dei cambiamenti climatici nei confronti degli insetti dannosi alle derrate alimentari, analizzando nello specifico come cambia il comportamento e il tasso di sviluppo degli insetti in condizioni climatiche in continua variazione.

2. CAMBIAMENTO CLIMATICO

2.1 Definizioni e cause

Da numerosi anni siamo spettatori di un aumento precipitoso delle anomalie stagionali riguardanti le condizioni climatiche, con temperature sempre più elevate, stagioni secche e precipitazioni estreme. I dati climatici che descrivono la possibilità di stagioni insolitamente calde o fredde stanno diventando sempre più ricorrenti, in concomitanza con il rapido riscaldamento globale. Prima di esporre specificatamente le cause dovute a queste anomalie, è doveroso dare una definizione al concetto di clima e al concetto di cambiamento climatico. Il clima è definito dall'OMM (Organizzazione Meteorologica Mondiale) come “la sintesi delle condizioni del tempo atmosferico in una determinata area, caratterizzate dalle statistiche di un lungo periodo delle variabili di stato dell'atmosfera in quell'area”. Il clima è un elemento che determina le caratteristiche di sistemi gestiti e naturali, come idrologia e risorse idriche, ecosistemi marini e d'acqua dolce, ecosistemi terrestri, silvicoltura e agricoltura. Il clima cambia in ogni parte del pianeta, in primo luogo perché il sole non riesce a riscaldare tutte le zone del globo nella stessa maniera: le fasce vicino all'equatore ricevono i raggi solari in modo perpendicolare e vengono quindi riscaldate maggiormente. Allontanandosi dall'equatore i raggi solari giungono sulla superficie terrestre più inclinati, riscaldando in maniera minore. Per questo motivo la terra è stata suddivisa in tre zone climatiche (Figura 1): una zona Tropicale calda, a cavallo dell'Equatore, due zone Polari molto fredde e due zone temperate più miti, con temperature intermedie, ma che spesso variano notevolmente in base alle stagioni (Malhi *et al.*, 2021).

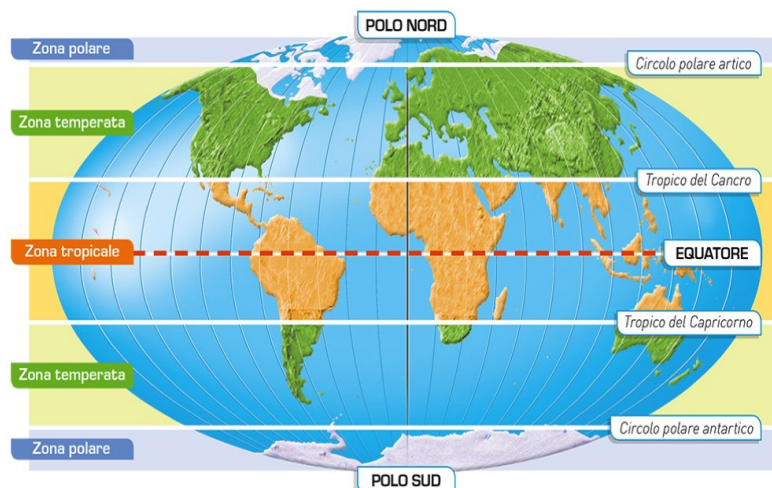


Figura 1 – L’atmosfera: le zone climatiche (Fonte: meteoinmolise)

Le zone temperate, grazie alle loro condizioni climatiche, sono le più popolate e maggiormente sottoposte all’intervento dell’uomo. Oltre alla distanza dall’Equatore, il clima può essere modificato da altri fattori, tra cui: altitudine, vicinanza dal mare, vegetazione, presenza di catene montuose e correnti marine. Il cambiamento climatico, invece, è definito come: “variazioni significative dei valori medi degli elementi meteorologici, come precipitazioni e temperatura, per i quali le medie sono state calcolate su un lungo periodo” (Malhi *et al.*, 2021).

Le cause del cambiamento climatico sono soprattutto attribuibili a fenomeni naturali e all’attività umana, che esercita un’influenza crescente sul clima e sulla temperatura terrestre attraverso l’uso di combustibili fossili, la deforestazione e l’allevamento di bestiame. Il fattore principale del riscaldamento globale è l’aumento delle concentrazioni di gas serra nell’atmosfera, tra cui anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), e protossido di azoto (N₂O). L’aumento delle emissioni è dovuto:

- alla combustione di carbone, petrolio e gas, responsabili della produzione di CO₂ e ossido di azoto;
- alla deforestazione, in quanto gli alberi aiutano a regolare il clima assorbendo CO₂ dall’atmosfera. Con la deforestazione questo viene a mancare e la CO₂ immagazzinata negli alberi viene rilasciata nell’atmosfera, alimentando l’effetto serra;
- allo sviluppo dell’allevamento del bestiame, dal momento in cui bovini e ovini producono grandi quantità di CH₄ durante il processo di digestione;
- all’utilizzo di fertilizzanti azotati, che producono emissioni di ossido di azoto.

Prima del 1750, le emissioni da combustibili fossili di CO₂ erano trascurabili, ma sono aumentate con l'industrializzazione. Dal 1751 nel mondo sono state emesse circa 1,5 trilioni di tonnellate di CO₂ (Malhi *et al.*, 2021).

Tra i maggiori emettitori di gas a effetto serra troviamo l'Unione Europea che si trova al terzo posto dopo Cina e Stati Uniti e seguita da India, Russia e Giappone. All'interno dell'Unione Europea, i primi cinque emettitori nel 2019 sono stati Germania, Francia, Italia, Polonia e Spagna. Il settore energetico è stato responsabile del 77,01% delle emissioni di gas a effetto serra, seguito dall'agricoltura 10,55%, dall'industria 9,10% e dal settore dei rifiuti 3,32% (Guillot, 2021).

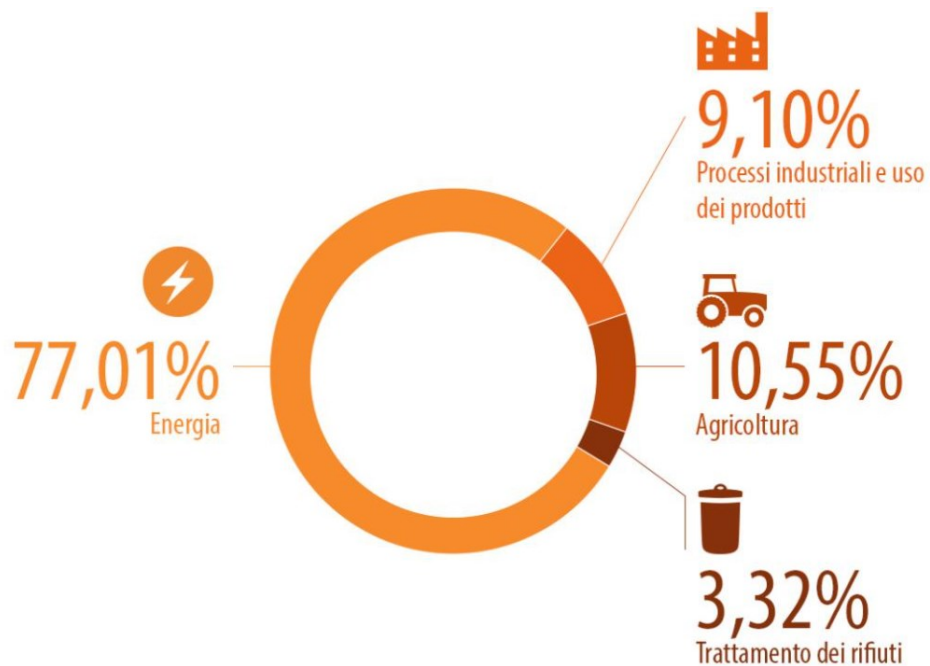


Figura 2 - Emissioni di gas serra nell'Unione Europea nel 2019 divise per settore (Guillot, 2021)

2.2 Effetti

I principali effetti dovuti al cambiamento climatico sono:

- il riscaldamento globale;
- l'aumento della concentrazione di CO₂ e altri gas a effetto serra;
- le ondate di calore;
- le inondazioni;
- le tempeste intense;
- la siccità;
- lo scioglimento dei ghiacciai;

- gli eventi metereologici estremi.

L'estate è probabilmente la stagione in cui il cambiamento climatico avrà il suo maggiore impatto sull'umanità. Il riscaldamento globale fa sì che il calore primaverile arrivi prima e che le temperature più basse di inizio autunno siano ritardate. Così il riscaldamento globale non solo aumenta il calore, ma protrae anche le condizioni estive, rubando sia dalla primavera che dall'autunno. Questa situazione minaccia la sicurezza alimentare e nutrizionale in tutto il mondo. Tempeste, inondazioni e incendi, inoltre, si stanno intensificando, provocando un maggiore inquinamento dell'aria, che provoca danni alla salute delle persone, case, mezzi di sussistenza e soprattutto all'agricoltura. La sicurezza alimentare è definita come una situazione in cui tutte le persone hanno accesso fisico, sociale ed economico a cibo sufficiente, sicuro e nutriente. Nel corso della storia, la crescita della popolazione è stata accompagnata da molti cambiamenti nella vita quotidiana, nella cultura, nella tecnologia, nella scienza, nell'economia e nella produzione agricola (Skendžić *et al.*, 2021).

L'aumento di enormi quantità di gas serra, oltre quelli già presenti naturalmente nell'atmosfera, è responsabile del riscaldamento globale che provoca in diverse aree del Pianeta impatti negativi sugli ecosistemi e sulla nostra società. L'OMM sostiene che gli ultimi 7 anni sono stati i più caldi da quando ci sono rivelazioni scientifiche della temperatura; il livello degli oceani ha cominciato ad alzarsi rapidamente a partire dal 2013: 2,1 mm all'anno fra il 1993 e il 2002, a 4,4 mm all'anno fra il 2013 e il 2021. Il tasso di acidità dei mari aumenta sempre di più, a causa della forte presenza della CO₂, e gli eventi meteorologici estremi sono la nuova normalità. Come già evidenziato, la causa principale del riscaldamento globale è l'aumento delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera, tra cui CO₂, CH₄ e N₂O. Questi gas agiscono come serre, catturano il calore del sole impedendogli di tornare nello spazio, provocando così un enorme aumento della temperatura terrestre (Myers *et al.*, 2017).

In particolare, la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è aumentata a 411,43 ppm nel 2019 da 315,98 ppm nel 1959 (Figura 3) (Malhi *et al.*, 2021).

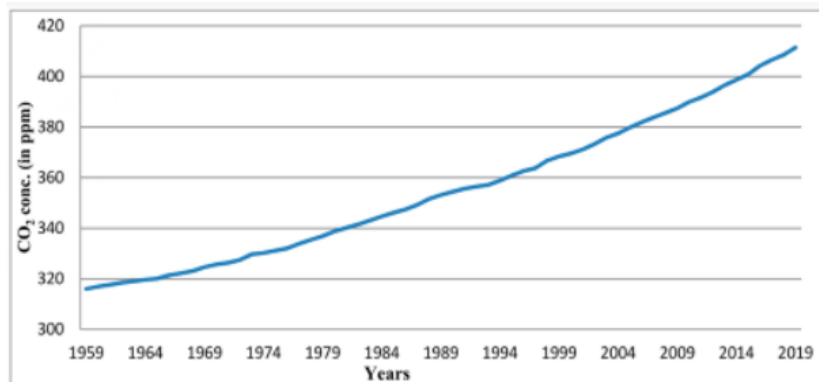


Figura 3 - Aumento della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) dal 1959 al 2019 (Malhi *et al.*, 2021).

Il riscaldamento globale indotto dall'uomo è attualmente in aumento a un ritmo di 0,2°C per decennio. Le temperature globali nell'ultimo decennio, 2006-2015, sono state di 1,0°C (1,8°F) più calde della media del ventesimo secolo (Myers *et al.*, 2017).

Uno dei settori maggiormente sensibili al cambiamento climatico è l'agricoltura, in cui i parametri meteorologici in continua variazione, come la temperatura e le precipitazioni, influenzano in modo significativo i sistemi produttivi. La produzione agricola ha anche subito molti grandi cambiamenti – rivoluzioni agricole – che hanno influenzato lo sviluppo della civiltà, della tecnologia e del progresso umano generale (Skendžić *et al.*, 2021).

L'incremento della popolazione mondiale negli ultimi cento anni, in particolare, è responsabile di molti effetti negativi che influiscono sulla sicurezza dell'approvvigionamento alimentare. Ciò comporta la mancata garanzia di disponibilità di cibo per la popolazione mondiale negli anni a venire (Malhi *et al.*, 2021).

La variazione della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, oltre a influenzare i sistemi colturali, si ripercuote sul profilo nutrizionale dei prodotti agricoli. Concentrazioni di CO₂ di 550 ppm possono portare a diminuzioni del 3-11% delle concentrazioni di zinco e ferro nei cereali e nei legumi; mentre in condizioni più estreme con concentrazioni di CO₂ pari a 690 ppm si possono avere riduzioni del 5-10% della concentrazione di fosforo, potassio, calcio, zolfo, magnesio, ferro, zinco, rame e manganese in una vasta gamma di colture. Di conseguenza le assunzioni di queste sostanze nutritive con l'alimentazione verranno a mancare e si andrà incontro a fenomeni di carenza di zinco, ferro e proteine (Myers *et al.*, 2017).

I cambiamenti nelle precipitazioni potrebbero essere più importanti rispetto ai cambiamenti di temperatura, perché la siccità rappresenta un fattore limitante per i sistemi agricoli. Si stima che l'80% della produzione agricola globale sia in stretta connessione con gli apporti idrici forniti dalle precipitazioni atmosferiche. Ipotesi di scenario prevedono, entro la metà del secolo, una tendenza significativa alla desertificazione per le parti meridionali del Nord

America, in alcune parti dell'America Latina, in Australia e nell'Europa meridionale. Nei Paesi mediterranei per via della scarsità d'acqua che diminuisce le rese, permarranno le colture come olivo, vite e agrumi, fortemente influenzate da fenomeni metereologici estremi che possono successivamente compromettere le rese. La forte riduzione delle risorse idriche a livello del suolo può compromettere le funzioni biologiche delle piante facendo sì che esse diventino più suscettibili agli attacchi di patogeni e di insetti dannosi (Skendžić *et al.*, 2021).

2.3 Previsioni future

In uno scenario moderato di emissioni di CO₂, le concentrazioni continuerebbero il loro aumento da una base preindustriale di 280 ppm, oltre gli attuali livelli di 440 ppm, e fino a valori di 540 ppm entro il 2100, con un ulteriore riscaldamento del suolo di 1,9-4,0°C (3,4-7,2°F). In uno scenario a emissioni più elevate, le concentrazioni di CO₂ raggiungerebbero 940 ppm entro il 2100 e comporterebbero un riscaldamento del suolo di 4,0-6,8°C (7,2-12,2°F) (Myers *et al.*, 2017).

Alcuni studi, inoltre, prevedono che le ondate di calore siano più frequenti e durino più a lungo, mentre le anomalie delle precipitazioni, che cambieranno e non saranno più uniformi, avranno un effetto negativo nei confronti dell'agricoltura dei Paesi in via di sviluppo (Malhi *et al.*, 2021).

La disponibilità delle risorse idriche agricole sarà influenzata in molti modi, tra cui:

- il cambiamento dei modelli di precipitazione;
- la scomparsa dei ghiacciai;
- il precoce scioglimento stagionale delle nevi;
- l'intrusione di acqua salata nelle acque sotterranee.

Le previsioni dei modelli climatici indicano in linea generale che attualmente ci sono meno precipitazioni nelle regioni aride e semi-aride, e più precipitazioni verso le latitudini polari. Gli eventi piovosi potrebbero diventare più intensi e potrebbero aumentare deflussi e inondazioni. Si prevede, inoltre, che l'emissione di gas serra di origine non agricola aumenterà fino al 2055, se i consumi alimentari ed energetici saranno mantenuti costanti ai livelli del 1995. D'altra parte, con un attento consumo degli alimenti ad alto valore nutrizionale (carne e latte) e con una migliore gestione dei sistemi agricoli sarà possibile ridurre l'emissione di gas serra. Per soddisfare le esigenze alimentari e nutrizionali della popolazione negli anni a venire, ci dovrà essere un aumento della produzione agricola mondiale del 60% dal 2005/2007 al 2050, comprendente un aumento del 77% nei Paesi in via di sviluppo e del 24% nei Paesi sviluppati. Entro il 2100, inoltre, è previsto un aumento della siccità dal 15,4 al 44,0% nella

maggior parte delle regioni del mondo, che potrebbe comportare una diminuzione delle rese delle principali colture di oltre il 50% entro il 2050 e di quasi il 90% entro il 2100. Di conseguenza la diminuzione delle rese comporterà un aumento dei prezzi dei prodotti alimentari e ripercussioni negative su tutto il comparto agro-alimentare (Malhi *et al.*, 2021). Nel breve e medio periodo, le condizioni metereologiche globali e regionali potrebbero diventare più variabili di quelle attuali, con conseguente aumento di fenomeni metereologici estremi e della variabilità climatica a breve termine, comportando enormi perdite produttive per le coltivazioni. L'incisività di questi impatti negativi dipenderà soprattutto dalle forze contrastanti, come ad esempio investimenti nell'irrigazione e miglioramento delle strutture di stoccaggio (Schmidhuber e Tubiello, 2007).

3. INSETTI DANNOSI ALLE DERRATE ALIMENTARI

3.1 Entomologia delle derrate alimentari

L'entomologia delle derrate alimentari è una branca della parassitologia delle derrate che si occupa dello studio degli insetti che possono provocare danni ai prodotti immagazzinati destinati all'alimentazione umana. Questi prodotti possono ricevere attacchi dagli insetti in quasi tutte le fasi successive alla post-raccolta, fino alla loro conservazione in dispensa domestica. Le derrate possono essere attaccate in:

- depositi temporanei in azienda (silos e cumuli di cereali);
- mezzi di trasporto;
- industrie di prima trasformazione (mulini);
- industrie di seconda trasformazione (pastifici);
- locali di stagionatura dei formaggi e salumi;
- punti vendita e di ristorazione;
- abitazioni e dispense.

Questi ambienti vengono definiti ecosistemi, in cui specie diverse di insetti, caratteristiche di quel determinato ambiente, si sviluppano e condizionano a vicenda, direttamente e indirettamente, a spese della derrata alimentare colpita. In questi ambienti si formano dei biomi, dove diverse specie di animali e microrganismi convivono, condizionandosi a vicenda, nutrendosi di sostanze gradualmente distrutte o nutrendosi gli uni degli altri (compresi predatori e parassitoidi). Considerando l'ecosistema dei cereali immagazzinati limitatamente agli insetti e agli acari si possono sviluppare:

- ospiti primari, vivono a spese di cariossidi integre;
- ospiti secondari, vivono a spese di cariossidi danneggiate da attacchi primari o manipolazioni;
- ospiti terziari, vivono a spese di uccelli o roditori o di escrementi degli insetti infestanti;
- ospiti di muffe che si sviluppano sulle derrate;
- predatori o parassitoidi.

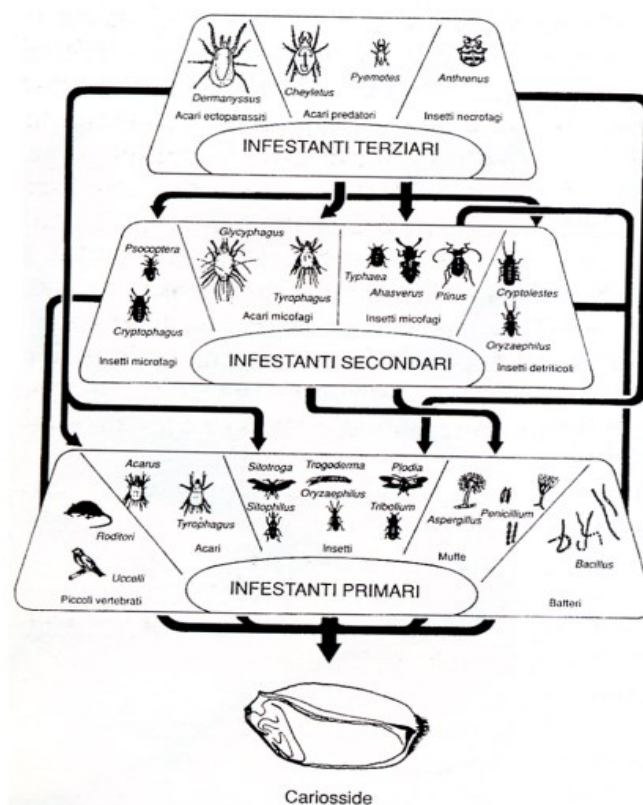


Figura 4 - Rappresentazione dei livelli trofici presenti all'interno dell'ecosistema cereali immagazzinati.

I danni provocati dagli insetti si dividono in “danni diretti” e “danni indiretti”. I danni diretti costituiscono il consumo diretto della derrata alimentare immagazzinata a scopo alimentare da parte di larve e/o adulti della derrata. I danni indiretti sono invece causati dalle attività degli insetti infestanti le derrate e causano: riduzione delle capacità nutritive della derrata (insetti che si nutrono del germe dei cereali); riduzione delle capacità reologiche degli impasti; trasmissione di spore fungine contaminanti oppure responsabili della creazione di condizioni idonee allo sviluppo e produzione di aflatossine; contaminazione con agenti patogeni nocivi; contaminazione con i loro corpi, esuvie e bave sericee. Tra gli effetti più gravi delle contaminazioni indirette c'è la presenza di aflatossine che sono micotossine tossiche prodotte da diversi tipi di funghi principalmente appartenenti ai generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* che si trovano principalmente in zone caratterizzate da clima caldo e umido. Generalmente entrano nei depositi alimentari utilizzando come vettori alcune specie di insetti. La loro presenza può essere nociva per l'uomo e per gli animali che si nutrono delle derrate in quanto possono avere effetti di vario tipo, come il cancro e la mutagenicità, portando disturbi a livello estrogenico, gastrointestinale e renale. Alcune micotossine sono inoltre immunosoppressive e riducono la resistenza alle malattie infettive. Ad esempio, lo sviluppo di

aflatossine da parte di *Aspergillus flavus* è conseguente ad un'umidità ambientale dell'85% e a un'umidità della cariosside superiore al 17% (Figura 5).



Figura 5 - Sviluppo di *Aspergillus flavus* su cariossidi di mais sulla sinistra (Fonte: Cornell University, 2022); *A. flavus* associato con semi di *V. unguiculata* sulla destra. A- B. semi infetti; C. visione al microscopio di *A. flavus*; (Gautan, 2014).

Le derrate più frequentemente interessate dalla contaminazione da aflatossine sono i cereali (mais, sorgo, riso, miglio e frumento), i semi oleaginosi (arachidi, soia, girasole, cotone), le spezie (pepe nero, peperoncino, coriandolo, curcuma e zenzero), i frutti a guscio (mandorle, pistacchi, noci, cacao, cocco) e la frutta secca (fichi, uva sultanina). La sintesi delle aflatossine è favorita da temperature comprese tra i 25 e i 30°C e da un elevato contenuto di zuccheri e lipidi del substrato (Belli *et al.*, 2014).

Tra gli ordini di specie infestanti responsabili di danni ingenti alle derrate troviamo:

- Collembola;
- Thysanura;
- Pscoptera;
- Blattodea;
- Lepidoptera;
- Diptera;
- Coleoptera;
- Hymenoptera.

Tra le derrate maggiormente infestate ci sono i cereali, i prodotti macinati e diversi tipi di alimenti trasformati. Gli insetti che attaccano le derrate sono particolarmente prolifici in quanto si possono avere diverse generazioni in un anno a seconda delle condizioni climatiche e della disponibilità di cibo. Questi insetti hanno habitat alimentari diversificati e possono riprodursi su alimenti contenenti meno del 2% di carboidrati [ad esempio, *Lasioderma*

serricone Fabricius (Coleoptera, Anobiidae) e *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera, Tenebrionidae)], su pesci essiccati con il 20% di sale, su frutti secchi contenuti fino al 60% di zuccheri e su frutta a guscio con il 50/70% di grasso. L'infestazione da insetti nocivi provoca perdite in quantità e qualità degli alimenti, modificazioni e cambiamenti che incidono nella composizione chimica e sul valore nutritivo dei prodotti. Alcuni coleotteri, come *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera, Tenebrionidae), contaminano le farine attraverso le loro secrezioni, che oltre a conferire un odore sgradevole ai prodotti, possono essere causa di tumori al fegato (Rajendran, 2005).

3.2 Principali insetti dannosi alle derrate alimentari e danni

Gli insetti delle derrate sono responsabili di gravi danni sulla qualità finale del prodotto e di gravi perdite economiche dovute alla loro azione. Di solito sono caratterizzati dall'essere altamente polifagi e riescono a mangiare e sopravvivere in gran numero anche in presenza di piccole quantità di cibo. Nonostante l'applicazione di razionali strategie di controllo, gli insetti nocivi grazie ai continui scambi commerciali e ai trasferimenti delle derrate lungo la filiera di produzione riescono a trasferirsi di stabilimento in stabilimento risultando onnipresenti, fino agli scaffali dei supermercati e, quindi, nelle nostre abitazioni. Essi hanno il vantaggio di avere un ciclo biologico molto veloce (anche più generazioni in un anno), un'alta resa (le femmine depongono centinaia di uova) e una spiccata capacità di andare a penetrare ogni tipo di imballaggio. A ciò va aggiunto che le caratteristiche di temperatura e umidità dell'ambiente dell'industria alimentare ne favoriscono l'attività.

Tra i Coleotteri ci sono:

- *Sitophilus granarius* L., calandra o punteruolo del grano (Coleoptera, Dryophthoridae);
- *Sitophilus oryzae* L., calandra o punteruolo del riso (Coleoptera, Dryophthoridae);
- *Sitophilus zeamays* Motschulsky, calandra o punteruolo del mais (Coleoptera, Dryophthoridae);
- *Rhyzopertha dominica* Fabricius, cappuccino dei cereali (Coleoptera, Bostrichidae);
- *Lasioderma serricone* Fabricius, anobio del tabacco (Coleoptera, Anobiidae);
- *Stegobium paniceum* L., anobio del pane (Coleoptera, Anobiidae);
- *Tribolium castaneum* Herbst, tribolio castano della farina (Coleoptera, Tenebrionidae);
- *Tenebrio molitor* L., tenebrio mugnaio (Coleoptera, Tenebrionidae).

Tra i Lepidotteri:

- *Plodia interpunctella* Hübner, tignola fasciata della farina (Lepidoptera, Pyralidae);
- *Ephestia kuehniella* Zeller, tignola grigia della farina (Lepidoptera, Pyralidae);
- *Ephestia cautella* Walker, tignola della frutta secca (Lepidoptera, Pyralidae);
- *Corcyra cephalonica* Stainton, tignola del riso (Lepidoptera, Pyralidae).

Tra i Ditteri:

- *Phiophila casei* L., mosca del formaggio (Diptera, Piophilidae).

Tra gli Psocotteri:

- *Torgium pulsatorium* L. (Psocoptera, Trogiidae) e *Liposcelis divinatorius* (Psocoptera, Liposcelididae) (www.copyr.it).

3.3 Monitoraggio e controllo parametri climatici di alcune specie di insetti dannosi alle derrate alimentari

Le trappole a sonda (Figura 23) molto utilizzate per il monitoraggio efficace di molte specie di Coleotteri infestanti le masse di cereali (Buchelos e Athanassiou, 1999), sono costituite da pareti forate, fondo chiuso, forma cilindrica e possono essere attivate attraverso l'utilizzo dei feromoni di sintesi o attrattivi alimentari. Queste trappole vengono posizionate sulla parte sommitale della massa e delle trappole posizionate più in profondità all'interno della massa di cereali (CABI, 2022b).

Gli insetti durante le loro operazioni di spostamento vengono intercettati dalle trappole (maggiore concentrazione di ossigeno) e vi cadono dentro, non riuscendo più ad uscire. Nel caso dei Coleotteri, gli insetti catturati emettono dei feromoni di aggregazione che attraggono altri individui della stessa specie. Vengono ispezionate ogni 2-3 settimane nei periodi caldi e ogni mese nei periodi freddi.



Figura 23 - Trappole a sonda (Fonte: www.larecolte.fr)

Inoltre, il controllo degli insetti nocivi all'interno dei magazzini limitando l'utilizzo di prodotti fitosanitari e di presidi medico-chirurgici per mantenere i livelli di infestazione inferiori a quelli che provocano danni o perdite economiche, può avvenire attraverso l'utilizzo di basse temperature o alte temperature. Il trattamento a temperature di 10-21°C comporta il rallentamento del metabolismo degli insetti senza ucciderli, temperature di 2-4°C non permettono il movimento e temperature di -4/-7°C sono responsabile della morte degli insetti. Per questo motivo la refrigerazione è un sistema molto diffuso nel settore cerealicolo dove le derrate sono mantenute a temperature intorno ai 10-12°C per tutto il periodo dello stoccaggio. Le temperature possono essere abbassate attraverso tre metodi:

1. rimescolamento della massa;
2. ventilazione con aria a temperatura ambiente;
3. ventilazione con aria refrigerata.

Il trattamento a temperature medio-alte (35-42°C) comporta un aumento della mortalità e una riduzione della fecondità e fertilità. La maggior parte delle specie non sopravvive:

- più di 24 ore a 40°C;
- 12 ore a 45°C;
- 5 minuti a 50°C;
- 1 minuto a 55°C;
- 30 secondi a 60°C.

Per incrementare il controllo delle derrate alimentari, i ricercatori del Central Science Laboratory (CSL) nel Regno Unito, hanno sviluppato una strategia di gestione integrata dei parassiti (IPM), basata sull'igiene dei magazzini, sulla modulazione della temperatura e sul controllo dell'umidità delle derrate alimentari; con lo scopo di ridurre l'utilizzo di agenti chimici durante lo stoccaggio, garantendo che le derrate siano prive di biocontaminanti nocivi. La strategia prevede:

- pulizia dei magazzini vuoti e sorveglianza attraverso l'utilizzo di trappole;
- trattamento con prodotti approvati per eliminare i parassiti residui nel magazzino vuoto;
- immagazzinamento di cereali con un tenore di umidità pari o inferiore al 14,5% al momento della raccolta, per eliminare acari e muffe e prevenire la produzione di micotossine;
- raffreddamento dei cereali attraverso un flusso d'aria di 10 metri cubi ora per ogni tonnellata di grano ad una temperatura inferiore a 15°C entro due settimane, per impedire l'allevamento di *Oryzaephilus surinamensis* L. Raffreddamento a una

temperatura inferiore ai 10°C entro altri due mesi per impedire l'allevamento di *Sitophilus granarius* L., e a meno di 5°C entro l'inverno per prevenire la riproduzione degli acari e uccidere gli insetti;

- utilizzare il controllo automatico della ventola con un termostato differenziale impostato a 4-6°C per garantire il raggiungimento degli obiettivi di raffreddamento. Utilizzando un orario di avvio notturno per ridurre i costi di consumo elettrico;
- monitorare il numero degli insetti attraverso l'utilizzo di trappole, per verificare l'efficienza della strategia (Cook *et al.*, 2004).

Alcuni fattori del cambiamento climatico potrebbero influenzare questa strategia, ed è quindi ragionevole aspettarsi in caso di aumento della temperatura globale:

- cariossidi più calde alla raccolta possono causare problemi con la condensazione e accelerare l'allevamento di parassiti prima dell'inizio del raffreddamento;
- temperature autunnali/invernali ritardate allungando il tempo necessario per il raffreddamento;
- aumento delle temperature invernali limitando la temperatura più bassa raggiungibile con implicazioni per la sopravvivenza dei parassiti (Cook *et al.*, 2004).

Il controllo delle infestazioni avviene anche attraverso modificazioni dell'aria atmosferica:

- modificazioni dell'aria atmosferica con esposizione di *S. oryzae* a una concentrazione tra il 15% e il 100% di CO₂ a temperatura pari a 25°C e umidità relativa del 60%, comportando un aumento della mortalità dell'insetto.
- temperature pari a 10°C comportano l'inibizione della schiusa e della metamorfosi della specie. L'aumento della popolazione è stato completamente soppresso a 15°C. Mentre con esposizione a temperature di 35-45°C per 24-72 ore si ha un'elevata vulnerabilità di *S. oryzae* (CABI, 2022c).

Le misure preventive, quali igiene dei locali e dei depositi, svolgono un ruolo importante nel limitare le infestazioni di questi fitofagi. Infatti, è molto importante la pulizia e, la rimozione periodica dei residui infestati dai depositi prima di procedere allo stoccaggio di nuove derrate. (Cook *et al.*, 2004).

4. CAMBIAMENTO CLIMATICO E INSETTI DANNOSI ALLE DERRATE ALIMENTARI

Alcuni studi prevedono che il cambiamento climatico altererà le dinamiche e la fisiologia della popolazione di insetti dannosi (Schneider et al., 2020).

Variabili tipiche associate agli scenari di cambiamento globale, sono l'aumento della temperatura e della CO₂ che influenzano la sopravvivenza e/o la fecondità dei parassiti animali. Questi studi hanno suggerito che, sebbene un aumento della temperatura favorisca la sopravvivenza e la fecondità, esiste però una soglia termica in cui le funzioni metaboliche rimangono costanti e che superata la quale l'insetto muore. Ad esempio, quando il tonchio del fagiolo *Acanthoscelides obtectus* Say (*Coleoptera, Chrysomelidae*) si sviluppa ad altitudini più basse, quindi a temperature più elevate, la fecondità aumenta, così come il tasso di schiusura delle uova e la produzione di uova (Schneider et al., 2020). Nel corso di migliaia di anni di evoluzione gli animali hanno imparato in modi diversi ad adattarsi alle differenti condizioni meteorologiche. Per sopravvivere in un determinato ambiente, hanno sviluppato meccanismi speciali, cambiato i loro organi e parti del corpo. Un biologo tedesco, Bergmann, nel 1847, ha osservato che le condizioni di temperatura di un luogo influenzano la forma del corpo e le dimensioni degli animali. Secondo la regola di Bergmann, gli animali che vivono nelle regioni fredde hanno dimensioni corporee maggiori rispetto alle loro specie strettamente imparentate che vivono in aree calde. La teoria è spiegata dal fatto che negli animali la produzione di calore dipende dal volume del corpo e dalla velocità di trasferimento del calore dalla sua superficie. Aumentando di dimensioni, il volume del corpo sale più velocemente della sua area, rispettivamente, il calore viene prodotto più velocemente di quanto è perduto. La regola di Bergmann si applica non solo al cambiamento climatico latitudinale, ma anche al cambiamento climatico di temperatura con l'altitudine.

La stessa regola temperatura-dimensione, curiosamente, stabilisce che la risposta fenotipica plastica (capacità di un individuo di svilupparsi in differenti fenotipi in relazione a differenti condizioni ambientali) all'aumento delle temperature, può produrre insetti più piccoli aumentando il tasso di sviluppo (Schneider et al., 2020).

In alcuni studi (Schneider et al., 2020), la temperatura è stata descritta come un fattore che altera i livelli lipidici e proteici del corpo dell'insetto. Ad esempio, nello scarabeo *Ophraella communa* LeSage (Coleoptera, Chrysomelidae) riserve di lipidi diminuiscono e riserve di glicogeno aumentano quando l'insetto è esposto a temperature elevate. I cambiamenti nei tassi metabolici (ossia la velocità con cui il corpo brucia calorie), che portano ad alterazioni anatomiche e fisiologiche, sono le conseguenze attese più evidenti del riscaldamento globale sullo sviluppo degli insetti. Quindi, all'aumento delle temperature, le dimensioni del corpo degli insetti, e le riserve lipidiche, dovrebbero diminuire a causa di un più alto tasso metabolico e di un più alto contenuto proteico totale prodotto dallo stress idrico e dalla riduzione del tempo di sviluppo. Allo stesso tempo, con l'aumentare delle temperature, si prevede che la fecondità aumenterà e la sopravvivenza dello sviluppo larvale diminuirà. Il cambiamento climatico influenza fortemente anche lo stoccaggio dei cereali, che attraverso uno dei suoi fattori principali ovvero l'aumento della temperatura globale, può portare un aumento dell'umidità atmosferica. Un elevato contenuto di umidità dei cereali (>12%), un'elevata temperatura atmosferica (25-35°C) e un'umidità relativa (>60%) rendono l'ambiente favorevole alla proliferazione dei parassiti (Demissie et al., 2014).

Il cereale immagazzinato è un ecosistema artificiale che subisce incessanti interazioni tra diversi fattori abiotici (temperatura, umidità relativa, livelli di CO₂) e biotici (insetti nocivi, funghi, acari e roditori) (Moses et al., 2015).

I cambiamenti climatici possono portare inoltre, a cambiamenti nella distribuzione geografica degli organismi nocivi, cambiamenti nel tasso di sviluppo della popolazione, aumenti del numero di generazioni, allungamento dei periodi di attività e cambiamenti nella sincronizzazione tra il momento della raccolta delle cariossidi in campo e il periodo di attività degli insetti. Le temperature alle quali gli insetti possono sopravvivere all'interno delle masse delle cariossidi dei cereali immagazzinati vanno dagli 8 ai 41°C con una temperatura ottimale di sviluppo compresa tra 25 e 35°C (Figura 6).

	Temperature range (°C)	Optimum temperature (°C)	Rate of increase*	Life cycle period (days)
Insects				
<i>Callosobruchus maculatus</i> (F.)	18–35	30–32	NA	18–33
<i>Corcyra cephalonica</i> (Stainton)	17–35	28–32	10	40–50
<i>Ephestia cautella</i> (Walker)	15–32	28–32	50	27–83
<i>Lasioderma serricornis</i> (F.)	20–37	29–30	20	30–50
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.)	18–38	31–34	50	30–45
<i>Plodia interpunctella</i> (Hubner)	18–33	26–29	30	50–65
<i>Rhizopertha dominica</i> (F.)	18–39	33–34	20	50–65
<i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	17–35	26–30	25	30–40
<i>Sitotroga cerealella</i> (Oliver)	16–35	26–30	50	35–50
<i>Stegobium paniceum</i> (L.)	15–35	25–27	7.5	55–65
<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	20–40	32–35	70	26–48
<i>Trogoderma granarium</i> (Everts)	24–41	33–37	12.5	45–70

NA: not available

*per lunar month

Figura 6 - Parametri di sviluppo e di durata del ciclo biologico di alcune specie di insetti che attaccano le cariossidi dei cereali immagazzinati (Moses et al., 2015)

I cambiamenti climatici possono influire sulle interazioni e favorire o sfavorire lo sviluppo delle specie di insetti dannose alle derrate alimentari. Gottlieb et al., (2018), hanno effettuato uno studio sull'effetto del cambiamento climatico sull'aumento delle popolazioni di alcune specie di insetti dannosi alle derrate alimentari. In questo studio sono state esaminate le possibili interazioni durante il periodo di conservazione e il loro carattere, negativo o positivo, alla luce dei futuri cambiamenti climatici. Lo studio è stato condotto nello Stato di Israele in due siti: sito settentrionale situato nella zona climatica mediterranea in Israele e sito meridionale situato in una zona semi-arida, nel deserto del Negev a sud di Israele. Il risultato di questo studio è stato che i livelli di infestazione, da parte di *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera, Dryophthoridae) e *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera, Silvanidae), sono più alti nel sito meridionale dello Stato di Israele, dato in accordo con il più alto tasso di sviluppo degli insetti che si verifica a temperature più elevate (Gottlieb et al., 2018).

4.1 *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera, Curculionidae)

Sitophilus granarius L., tonchio del grano o calandra del grano, fa parte dell'ordine dei Coleotteri appartenente alla famiglia Curculionidae, genere *Sitophilus*. Altre due specie di questo genere, *S. zeamais* e *S. oryzae*, sono anche comuni parassiti nella conservazione dei cereali. Gli stadi di sviluppo (uovo, larva, pupa e adulto) di *S. granarius* avvengono tutti

all'interno della cariosside del grano e non sono normalmente visibili. Le larve sono bianche, eucefale, apode e cirtosomatiche (Figura 7).



Figura 7 - Larve biancastre e apode di *Sitophilus granarius* (Klejdysz, 2017)

Gli adulti hanno dimensioni che possono variare notevolmente tra 2,5-5,00 mm di lunghezza, normalmente tra 3-4 mm. Tipiche nella famiglia Curculionidae sono le antenne clavate e genicolate e il caratteristico rostro (allungamento del capo) negli adulti. Il colore degli adulti è tipicamente castano-marrone o bruno-rossastro fino ad un nero-lucido. La superficie del rostro nei maschi è caratterizzata da fori che non si presentano in maniera accentuata nelle femmine. Le antenne hanno otto segmenti e spesso assumono una posizione estesa quando l'insetto cammina. Il protorace ha punture distintamente ovali. Gli adulti non hanno ali metatoraciche e quindi non possono volare (Figura 8).



Figura 8 - Adulto di *Sitophilus granarius* (CABI, 2022b)

Generalmente è distribuito in tutte le regioni temperate del mondo, è un frequente parassita delle cariossidi del grano e dell'orzo, e inoltre può attaccare altri cereali come mais, sorgo e riso. Infesta anche semi di girasole, fagioli secchi, ceci, arachidi, ghiande, castagne e prodotti della filiera cerealicola (esempio pasta). Nei Paesi tropicali è raro, essendo limitato alle aree

montane fresche. L'indagine globale della FAO (Food and Agricultural Organization) ha segnalato la sua presenza nel Regno Unito, Francia, Italia, Spagna, Danimarca, Svezia, Polonia, Algeria, Iraq, Canada, Stati Uniti, Cile, Argentina, Swaziland, Sud Africa, Australia, Russia e Thailandia. Secondo alcune segnalazioni è presente anche nello Yemen e in Giappone (Figura 9).

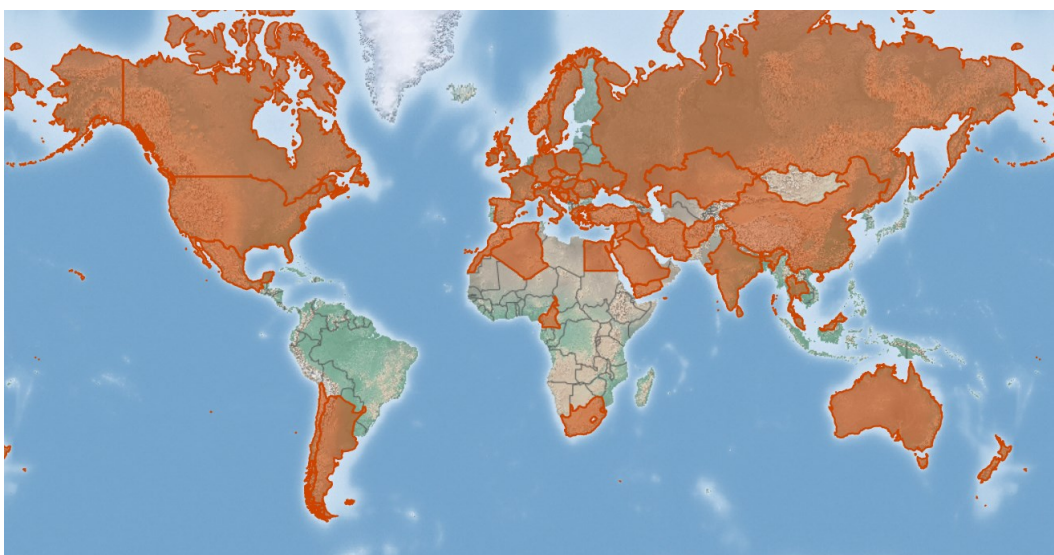


Figura 10 - Mappa della distribuzione di *Sitophilus granarius* nel mondo: in arancione le aree in cui è presente (CABI, 2022b)

La presenza di *S. granarius* è riscontrata non solo nelle regioni temperate del mondo, ma anche in paesi con climi esclusivamente caldi, causando gravi danni alle scorte dei cereali (CABI, 2022b).

La biologia e il comportamento di *S. granarius* sono simili alle specie tropicali *S. oryzae* e *S. zeamais*, tranne per il fatto che non può volare. Gli stadi di sviluppo non sono normalmente visibili in quanto si trovano all'interno delle cariossidi. La femmina scava un piccolo foro di 1,5 mm di diametro nella cariosside e vi deposita all'interno l'uovo, richiudendo il foro con secrezioni cerose. Generalmente viene deposto un solo uovo per ogni cariosside, e le femmine sono in grado di deporre dalle 40 alle 300 uova per tutta la vita. Le uova incubano per circa 4-14 giorni prima della schiusura, a seconda della temperatura e dell'umidità.

Le condizioni adatte allo sviluppo sono tra i 27°C e i 30°C con umidità relativa pari al 75-90%. Tuttavia, può svilupparsi a temperature fino a 11°C, e riesce a riprodursi con successo anche nelle regioni temperate, troppo fredde per altre specie di *Sitophilus*. Essendo incapace di volare, inoltre, non può infestare le colture in campo prima del raccolto (CABI, 2022b).

La larva, che ha un apparato boccale masticatore, si sviluppa cibandosi della cariosside dall'interno, senza intaccarne lo strato esterno (Figura 11). La specie presenta 4 età larvali con un periodo di sviluppo larvale da 3 a 5 settimane.



Figura 11 - Larva di Sitophilus granarius all'interno della cariosside (Klejdysz, 2017)

La pupa si forma sempre all'interno della cariosside (fase pupale: 5-16 giorni), l'adulto invece una volta sfarfallato, con il suo apparato boccale masticatore, apre un foro abbastanza grande con bordi frastagliati e abbandona la cariosside completamente svuotata (Figura 12). Gli adulti possono vivere fino a 8 mesi e hanno un'enorme potenzialità riproduttiva: si stima che due individui riescano a generare fino a 6.000 individui all'anno. Questa specie non essendo in grado di volare, ha la capacità di camminare per lunghe distanze e di infestare altri cereali, preferisce stare all'interno della massa della granaglia, al buio o in alternativa in luoghi poco luminosi.



Figura 12 - Adulto di Sitophilus granarius su cariossidi danneggiate (Klejdysz, 2014)

Tra gli ambienti maggiormente frequentati ci sono magazzini, locali di stoccaggio delle cariossidi di frumento, magazzini delle navi, locali di lavorazione dove stazionano anche piccole quantità di granella ed infine si possono trovare anche all'interno di mulini.

Sitophilus granarius è responsabile di elevati danni in climi freddi, latitudini temperate e latitudini tropicali. Gravi infestazioni possono compromettere a livello quantitativo cariossidi di frumento immagazzinato riducendole ad una massa di cariossidi svuotate. I danni diretti, compiuti durante l'attività di alimentazione, da parte di *S. granarius* possono rendere i cereali vulnerabili all'attacco di altri parassiti che non sono in grado di attaccare le cariossidi intatte.

4.2 *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera, Curculionidae)

Sitophilus oryzae L., tonchio minore o calandra del riso, fa parte dell'ordine dei Coleotteri appartenente alla famiglia Dryophthoridae genere *Sitophilus*. Le fasi di sviluppo avvengono all'interno di gallerie scavate nelle cariossidi dei cereali e non sono normalmente visibili. Le uova sono lucide, bianche, e hanno forma che va da ovoidale a pera. Larva bianca, apoda, eucefala e cirtosomatica. Gli adulti sono solitamente di colore rosso-marrone opaco (figura 13). *Sitophilus oryzae* possiede un'estrema somiglianza con *S. zeamais*, infatti il riconoscimento specifico è possibile solo attraverso un esame degli organi genitali. Entrambe le specie hanno il caratteristico rostro e le antenne genicolate e clavate. Le antenne presentano otto segmenti e spesso assumono una posizione estesa quando l'insetto cammina. Entrambe le specie di solito hanno quattro segni ovali bruno-rossastri o arancio-marroni pallidi sulle elitre (CABI, 2022c).



Figura 13 - Adulto di *Sitophilus oryzae* (CABI, 2022c)

Sitophilus oryzae è originario tipicamente di zone calde e tropicali del mondo e può trovarsi anche in zone con clima temperato. La specie è distribuita in varie zone del pianeta in quanto gli individui si diffondono attraverso gli scambi commerciali insediandosi dove l'umidità e la temperatura delle cariossidi dei cereali sono favorevoli al loro sviluppo (CABI, 2022c). Questo insetto è in grado di svilupparsi su una vasta gamma di cereali (riso, frumento e mais ad esempio) e anche su prodotti e sottoprodotti della filiera cerealicola (ad esempio la pasta) ma preferisce le cariossidi di frumento ed, è la specie predominante nelle risaie. Generalmente la fonte principale di nutrizione riguarda, cereali integrali, tra cui grano, riso, orzo, mais, arachidi, manioca, fagioli, miglio e sorgo. Attacchi di questa specie, inoltre, avvengono frequentemente a carico della manioca essiccata e piselli. Alcune popolazioni di *S. oryzae* possono svilupparsi anche sui legumi da granella come: piselli, lenticchie e fagioli. Questa specie, oltre ad attaccare le derrate alimentari, può anche attaccare le piante di cereali in pieno campo. I sintomi della presenza dell'insetto all'interno dei cereali, la morfologia larvale e i danni sono simili a quelli già descritti per *S. granarius* (Figura 14 e 15).



Figura 14 - Adulti di *Sitophilus oryzae* vaganti sulla superficie di cariossidi di riso (Klejdysz, 2014)



Figura 15 - Cariossidi di mais forate dagli adulti di *Sitophilus oryzae* (Fonte: *sgd-group*)

La femmina depone le uova quando la temperatura è compresa tra 15 e 35°C (ottimale a 25°C) con umidità delle cariossidi superiore al 10%. I tassi di ovideposizione sono bassi con temperature inferiori ai 20°C o sopra ai 32°C, e con umidità relativa delle cariossidi inferiore al 12% (Birch, 1944).

I periodi di sviluppo (periodo dall'ovideposizione alla comparsa dell'adulto) variano e possono andare da circa 35 giorni in condizioni ottimali a oltre 110 giorni in condizioni sfavorevoli. Dopo la schiusura dell'uovo la larva inizia a nutrirsi all'interno delle cariossidi, scavando delle gallerie. Lo sviluppo si divide in quattro stadi larvali, a 25°C e 70% di umidità relativa, l'impupamento avviene dopo circa 25 giorni. I periodi di sviluppo si allungano all'abbassarsi delle temperature. Ad esempio, l'impupamento avviene in 98 giorni con una temperatura di 18°C e con il 70% di umidità relativa (Birch, 1944).

L'attacco alle cariossidi dei cereali da parte di questi insetti può provocare perdite di prodotto del 4-5%, che possono arrivare fino al 30-40%. Gli attacchi favoriscono lo sviluppo di funghi, che contribuiscono al deterioramento della qualità del prodotto (esempio aumento degli acidi grassi liberi) fino ad arrivare alla completa distruzione del prodotto. Oltre ai funghi, l'attacco da parte di questa specie di insetto dannoso causa il riscaldamento della massa dei cereali favorendo anche lo sviluppo di parassiti secondari e acari. L'attacco può iniziare direttamente in pieno campo, prima della raccolta, quando l'umidità relativa delle cariossidi raggiunge il 18-20%. Attacchi da parte di questo insetto possono avvenire anche all'interno degli impianti di stoccaggio, o per arrivo di cariossidi infestate o per opera degli adulti che volano negli impianti di stoccaggio, probabilmente attratti dall'odore delle cariossidi immagazzinate (CABI, 2022c).

Aumentando dell'1% l'infestazione media in cariossidi di mais e di miglio è stata osservata rispettivamente una diminuzione del peso dello 0,35% e dello 0,41% (Kamel e Zewar, 1973). Stoccando cariossidi infestate per un periodo di 18 mesi, la perdita del contenuto proteico nelle granaglie danneggiate osservata è variata da 8,76 a 50,85 mg/g (Khare *et al.*, 1974).

Anche per il monitoraggio di questa specie si utilizzano efficacemente le trappole a sonda descritte precedentemente.

Studi hanno osservato l'influenza dei feromoni e degli attrattivi alimentari sulla cattura di *S. oryzae* confermando l'attività di 4S,5R sitophinone e 2S,3R sitophilate (Levinson *et al.*, 1990).

4.3 *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera, Bruchidae)

Acanthoscelides obtectus Say o tonchio del fagiolo, fa parte dell'ordine dei Coleotteri e appartiene alla famiglia Bruchidae. È uno dei più importanti insetti dannosi del fagiolo sia in pieno campo sia nella fase di stoccaggio. Gli adulti depongono le uova su baccelli di semi nel campo, e dopo la schiusa delle uova con la formazione delle larve avviene la penetrazione all'interno dei fagioli non completamente sviluppati. La distinzione tra il maschio e la femmina di questa specie è molto difficile in quanto le loro dimensioni e il loro colore sono gli stessi (Andrei e Cristina, 2018).

Uova lattiginose e di dimensioni pari a 0,6 x 0,25 mm. Larva bianca, oligopoda, apoda e cirtosomatica. Pupa exarata e biancastra. L'adulto presenta una colorazione giallo brunastro con strie longitudinali chiare e scure, ricoperto da una peluria giallo verdastra. Le elitre non coprono tutto l'addome e le antenne sono leggermente clavate; ha forma ovoidale e leggermente convessa, con dimensioni di circa 3-4,5 mm (Figura 16).



Figura 16 - Adulto di *Acanthoscelides obtectus* su fagiolo (CABI, 2022a)

Questo insetto si sviluppa su varie specie di leguminose, in particolare sul fagiolo o, secondariamente su cece, fava, lenticchia, pisello, veccia, vigna e persino su mais e grano saraceno. L'adulto sverna all'interno dei magazzini dopo che il suo sviluppo è avvenuto all'interno dei semi. In estate gli adulti si portano sulle piante di fagiolo, e le femmine depongono le uova, circa 200 in gruppi di 5-20, sui baccelli vicino alle suture o dentro ad un'apertura, scavata con le mandibole, in prossimità dei semi maturi. Le larve neonate penetrano nei fagioli (anche più di 1 per seme) e completano, al loro interno, lo sviluppo in circa tre settimane. Una volta matura, la larva, scava una galleria d'uscita e si impupa all'interno del seme. Gli adulti sfarfallano quando la temperatura esterna sale sopra agli 11-12°C, ma restano inattivi fino a che non si raggiunge una temperatura di 16°C; sopra i 21°C, con tempo asciutto e soleggiato, si spostano anche volando. La specie è polivoltina, e in condizioni ottimali può produrre fino a 6 generazioni l'anno. Tempo di sviluppo totale tra i 30-40 giorni a 30°C e 70% di umidità relativa (Figura 17).



Figura 17 – Stadi di sviluppo e durata delle fasi di sviluppo di *Acanthoscelides obtectus* (CABI, 2022a)

Il danno è causato dalle larve che penetrano all'interno dei semi ed ivi si sviluppano. Dai semi, poi, fuoriescono gli adulti, i quali si aprono la strada praticando un netto foro rotondo (Figura 18). Ogni seme di fagiolo (a seconda della grandezza) può ospitare fino a 8-10 larve di tonchio. I fagioli infestati dai tonchi perdono la capacità germinativa e, ovviamente, anche il loro valore alimentare e commerciale. I danni sono particolarmente ingenti all'interno dei magazzini, dove vi sono le condizioni ottimali per lo sviluppo dell'insetto (dai 22 ai 29°C).



Figura 18 - Semi di fagiolo colpiti da *Acanthoscelides obtectus* (Fonte: www.agraria.org)

Questa specie di origine neotropica, come altre specie Bruchide ha attraversato vari confini geografici ed è diventata cosmopolita nella distribuzione attraverso le migrazioni mediate dall'uomo e l'importazione/esportazione di cereali alimentari, ciò ha reso questa specie di parassiti altamente adattabile (Thakur, 2012).

Oggi, infatti, gode di una diffusione globale, documentata in tutti i Paesi europei, nell'intero continente americano, in Africa, Asia, Australia, e anche in alcune isole come le Hawaii. In figura 19 è possibile visualizzare (in arancione) la distribuzione di questa specie sulla base delle registrazioni rilevate dal Centro internazionale per l'agricoltura e le scienze biologiche (CABI, 2022).

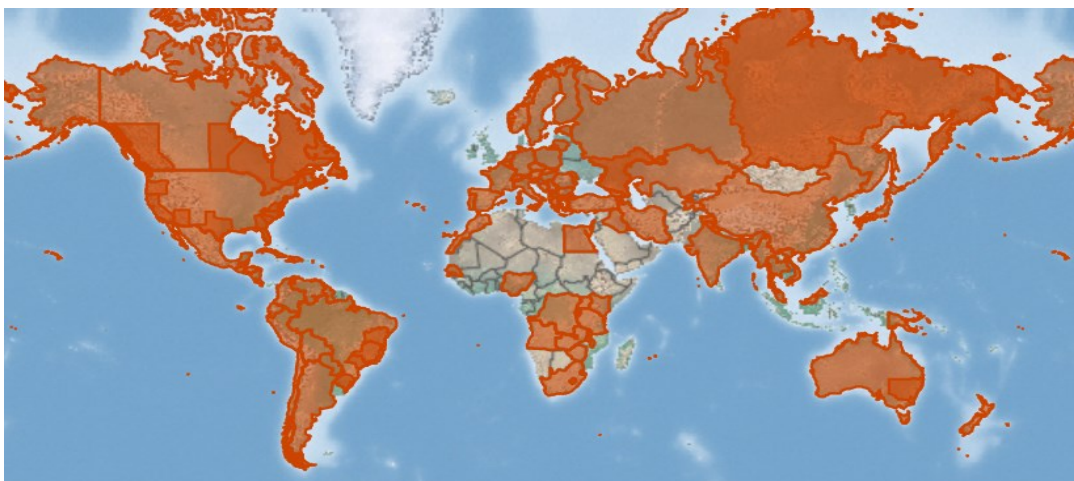


Figura 19 - Mappa di distribuzione di *Acanthoscelides obtectus*: in arancione le aree in cui è presente (CABI, 2022a)

4.4 *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleoptera, Bruchidae)

Zabrotes subfasciatus Boheman o tonchio di fagioli messicano (Figura 20), fa parte dell'ordine dei Coleotteri appartenente alla famiglia Bruchidae, è un parassita diffuso in modo significativo in Stati Uniti, Brasile, Cina, Nord Europa e Sud Africa. Colpisce le colture e i prodotti conservati del fagiolo comune *Phaseolus vulgaris* L. ed è responsabile di notevoli danni agricoli. L'insetto è sessualmente maturo immediatamente dopo l'emergenza, le femmine depongono le uova proprio all'inizio della loro vita e raggiungono il picco di ovideposizione in pochi giorni. Una volta mature le uova vengono poste sulla superficie dei semi di fagiolo e quando si schiuderanno le larve si infileranno all'interno del cotiledone dove stabiliranno una camera larvale per la loro vita giovanile lunga in media 30-50 giorni. Una volta completato lo sviluppo l'insetto adulto emergerà dal seme scavando una via di uscita.



Figura 20 - Adulto di *Zabrotes subfasciatus* (CABI, 2022d)

Nello studio condotto da Shneider *et al.* (2020), è stato valutato l'impatto del cambiamento climatico sullo sviluppo, sulla fisiologia e sulla plasticità fenotipica degli insetti, facendo variare contemporaneamente i due fattori trainanti del cambiamento climatico, temperatura e CO₂, simulando le condizioni climatiche che dovrebbero caratterizzare l'anno 2100. Come modello di studio è stato utilizzato il tonchio del fagiolo messicano *Zabrotes subfasciatus* Boheman (ordine: Coleoptera, famiglia: Bruchidae), ponendo come obiettivi specifici:

- stimare e proiettare la modulazione della fecondità e della sopravvivenza dell'insetto;
- misurare l'impatto delle condizioni climatiche previste per il 2100 sulle dimensioni corporee e sul contenuto totale di proteine e lipidi.

I risultati dello studio hanno dimostrato che, con temperature più elevate e con maggiore concentrazione di CO₂ nell'aria, la fecondità sarà più elevata per le generazioni successive,

mentre la sopravvivenza diminuirà fortemente e significativamente. La dimensione corporea non ha mostrato variazioni significative durante la simulazione sperimentale nonostante una tendenza alla diminuzione nel corso del tempo. Il contenuto proteico nella specie presa in esame, inoltre, è aumentato e al contrario il contenuto lipidico è diminuito (Schneider *et al.*, 2020).

4.5 *Sitotroga cerealella* Olivier (*Lepidoptera*, *Gelechiidae*)

La *Sitotroga cerealella* Olivier o falena di grano (Figura 21), fa parte dell'ordine dei Lepidotteri e appartiene alla famiglia Gelechiidae, si tratta di un importante parassita dei cereali immagazzinati, che causa perdita di peso dei cereali svuotandoli. Il suo impatto è maggiore nei tropici dove attacca il grano sul campo e nello stoccaggio. Generalmente l'infestazione si verifica durante lo stoccaggio, pre-raccolta o post-raccolta, ma inizialmente non lascia sintomi visibili, in quanto la larva si sviluppa all'interno della cariosside. Ci sono circa cinque generazioni all'anno nell'Europa meridionale, mentre nei climi più caldi *S. cerealella* è continuamente covata con un massimo di dodici generazioni all'anno (CABI, 2022e).

Le uova vengono deposte di notte all'esterno dei chicchi di cereali, in fessure, solchi o buchi fatti da altri insetti (Hammad *et al.*, 1967). Dopo la schiusa le larve penetrano nelle cariossidi completando il loro sviluppo all'interno di esse. Il tasso di sviluppo dipende fortemente dalla temperatura e uno studio condotto da Mondragon e Almeida (1988), ha mostrato che a 25°C con il 70±2% di umidità relativa il periodo di sviluppo per lo stadio larvale è di 29,4 giorni. Prima di incrisalidarsi, la larva estende la parte anteriore della sua camera appena sotto la superficie della cariosside, formando una piccola finestra circolare traslucida che rende visibile l'infestazione, appena emerso l'adulto spinge attraverso la finestra, lasciando un piccolo, ma caratteristico foro. Con una temperatura di 30°C e con umidità relativa pari all'80%, l'intero ciclo di vita può richiedere dai 25 ai 28 giorni, mentre a 25°C, il ciclo di vita totale dura 48,6 giorni (Mondragon e Almeida, 1988).



Figura 21 - Adulto di *Sitotroga cerealella* (CABI, 2022e)

Variazioni di temperatura e umidità relativa comportano la variazione dello sviluppo e della sopravvivenza anche della vera tignola del grano *Sitotroga cerealella* Olivier (ordine: Lepidotteri, famiglia: Gelechiidae). Questo è stato dimostrato dagli studi condotti da Demissie *et al.* (2014), effettuati in laboratorio, a quattro livelli di temperatura (26°C, 30°C, 32°C e 35°C) e di umidità relativa (55%, 65%, 70% e 85%). Sono state effettuate osservazioni sul tempo di sviluppo da larva a pupa (Figura 22), sul tempo totale di sviluppo (da uovo a adulto), sulla longevità adulta e sulla percentuale di sopravvivenza.

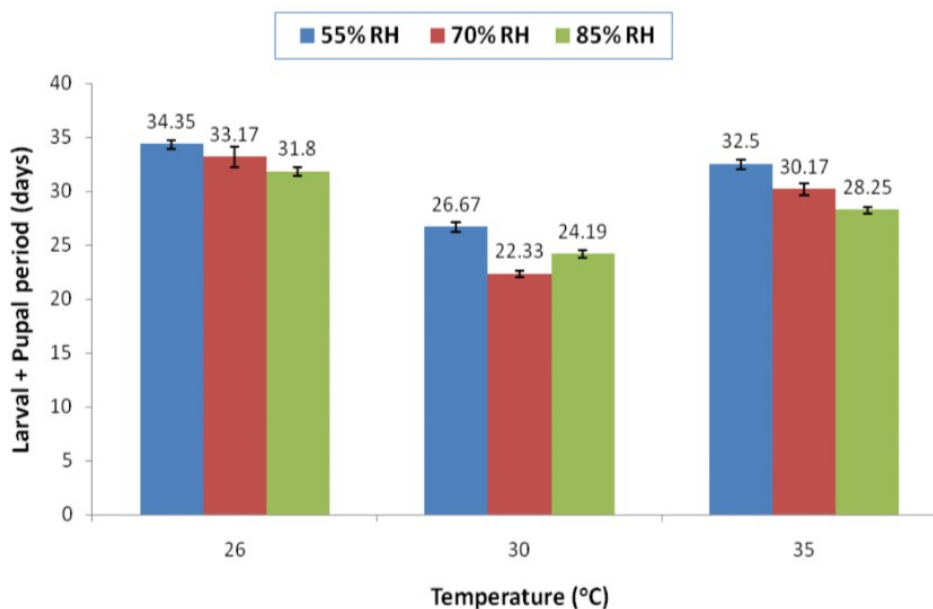


Figura 22 - Effetto dato dalla combinazione temperatura-umidità relativa nei confronti dello sviluppo larvale e pupale (Demissie *et al.*, 2014)

Lo studio effettuato ha dimostrato che le variazioni di temperatura e umidità relativa incidono significativamente sullo sviluppo della larva e della crisalide e sulla sopravvivenza degli adulti. Alle temperature di 30-32°C e 70-85% di umidità relativa sono stati osservati i più brevi tempi di sviluppo larvale e crisalidale e le maggiori percentuali di sopravvivenza degli adulti. La temperatura ha avuto un effetto maggiore sullo sviluppo e sulla sopravvivenza a discapito dell'umidità relativa che ha avuto un effetto minimo e solitamente più pronunciato alle temperature estreme. Ciò indica che l'effetto dell'umidità relativa è più importante quando l'insetto è già stressato a causa delle temperature avverse (Demissie *et al.*, 2014).

5. CONCLUSIONI

Nel presente elaborato è stata effettuata un'analisi sull'impatto dei cambiamenti climatici nei confronti del comportamento e dello sviluppo degli insetti dannosi per le derrate alimentari, e come questi influiscono sulle rese finali dei prodotti immagazzinati. I cambiamenti climatici, causati principalmente dalle attività umane che esercitano un'influenza crescente sul clima e sulla temperatura terrestre, sono responsabili soprattutto del riscaldamento globale dovuto all'aumento delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera. I principali gas sono CO₂, CH₄ e N₂O, che agendo come serre catturano il calore solare impedendogli di tornare nello spazio, provocando un enorme aumento della temperatura terrestre. Nelle analisi effettuate è data particolare attenzione all'aumento della concentrazione di CO₂ fino a valori di 411,43 ppm nel 2019 contro i 315,98 ppm del 1959. L'aumento di questi gas induce un aumento della temperatura pari a 0,2°C per decennio. In uno scenario futuro le concentrazioni di CO₂ continuerebbero il loro aumento oltre gli attuali livelli e fino a valori di 540 ppm entro il 2100, con un ulteriore riscaldamento del suolo.

Dallo studio eseguito si denota come queste condizioni climatiche in continua variazione influenzino in modo particolare la sopravvivenza e la fecondità degli insetti dannosi per le derrate alimentari. I risultati ottenuti dagli studi effettuati, in condizioni di temperatura elevata, su diverse specie di insetti, come *Acanthoscelides obtectus*, *Zabrotes subfasciatus Boheman* e *Sitotroga cerealella*, hanno decretato uno sviluppo maggiore e una sopravvivenza minore di queste specie. Ciò comporta una maggiore presenza e una maggiore incidenza degli insetti all'interno di magazzini dei prodotti alimentari con significative perdite di resa e con significative variazioni nella composizione nutrizionale dei prodotti finiti.

È importante, dunque, provare a convertire la rotta per combattere i cambiamenti climatici e per assicurare un futuro al pianeta e alle persone. Si dovrebbe tentare di raggiungere un'impostazione dell'economia non fondata sul carbonio, in modo tale da resistere ai livelli del cambiamento climatico previsto. È fondamentale, inoltre, il ruolo di ogni persona, che si dovrebbe sentire coinvolta nella lotta ai cambiamenti climatici muovendo i primi passi attraverso il principale aspetto: il risparmio energetico.

6. BIBLIOGRAFIA

- Andrei, C. P., Cristina, P. (2018). Current methods of integrated pest prevention and control in bean culture in the context of climate change. *Romanian Journal for Plant Protection*, 11, 57-63.
- Belli, G., Assante, G., Bianco, P. A., Casati, P., Cortesi, S., Faoro, F., Iriti, M., Saracchi, M., Sardi, P., Vercesi, A. (2012) *Elementi di patologia vegetale*. Seconda edizione. Padova, Piccin Nuova Libreria S. p. A.
- Birch LC, 1944. Two strains of *Calandra oryzae* L. (Coleoptera). *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science*, 22, 271-275.
- Buchelos, C. T., Athanassiou, C. G. (1999). Unbaited probe traps and grain trier: a comparison of the two methods for sampling Coleoptera in stored barley. *Journal of Stored Products Research*, 35(4), 397-404.
- Cook, D. A., Armitage, D. M., Wildey, K. B. (2004). What are the implications of climate change for integrated pest management of stored grain in the UK?. *Compte Rendu de la Réunion*, 27(9), 1-11.
- Demissie, G., Rajamani, S., Ameta, O. P. (2014). Effect of temperature and relative humidity on development and survival of Angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella* (olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) on stored maize. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 15(2), 9-21.
- Ferrari, M., Marcon, E., Menta, A. (2006). *Fitopatologia, entomologia agraria e biologia applicata*. Edagricole scolastico - RCS Libri spa
- Gautam, A. (2014). Detection of Aflatoxin Producing *Aspergillus flavus* in Post-harvest Contaminated *Vigna unguiculata* Seeds. *Suan Sunandha Rajabhat University Journal of Science and Technology*, 1, 1-4.
- Gottlieb, D., Qvinn, E., Nega, M., Rapaport, A., Doron, J., Kostyukovsky, M. (2018). Climate change and its implications on stored food grains. *Julius-Kühn-Archiv*, 463, 85-89.

- Hammad, S. M., Shenouda, M. G. H., El-Deeb, A. L., (1967). Studies on the biology of *Sitotroga cerealella*. *Bulletin Societe Entomologique d'Egypte*, 51, 257-268.
- Kamel, A. H., Zewar, M. M., (1973). Loss in weight in stored corn and millet due to *Sitophilus oryzae* and *Rhizopertha dominica* infestations. *Agricultural Research Review*, 51(1), 29-31.
- Khare, B. P., Chaudhary, R. N., Singh, K. N., Sengar, C. S., (1974). Loss of protein due to insect feeding in maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Entomology*, 36(4), 312-315.
- Levinson, H. Z., Levinson, A., Ren, Z., Mori, K., (1990). Comparative olfactory perception of the aggregation pheromones of *Sitophilus oryzae* (L.), *S. zeamais* (Motsch.) and *S. granarius* (L.), as well as the stereoisomers of these pheromones. *Journal of Applied Entomology*, 110(2), 203-213.
- Malhi, G. S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318.
- Mondragon, I., Almeida, A. D. (1988). Influencia de dos temperaturas en el desarrollo de *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1819) (Lepidoptera: Gelichiidae) en maiz almacenado. *Anais da Sociedade Entomologica do Brazil*, 17, 397-407.
- Moses, J. A., Jayas, D. S., Alagusundaram, K. (2015). Climate change and its implications on stored food grains. *Agricultural Research*, 4(1), 21-30.
- Myers, S. S., Smith, M. R., Guth, S., Golden, C. D., Vaitla, B., Mueller, N. D., Dangour, A.D., Huybers, P., (2017). Climate Change and Global Food Systems: Potential Impacts on Food Security and Undernutrition. *Annual Review of Public Health*, 38:259-77.
- Rajendran, S. (2005). Detection of insect infestation in stored foods. *Advances in food and nutrition research*, 49(4), 163-232.
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., Lemić, D. (2021). The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*, 12(5), 440.
- Schmidhuber, J., Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708.
- Schneider, D., Ramos, A. G., Córdoba-Aguilar, A. (2020). Multigenerational experimental simulation of climate change on an economically important insect pest. *Ecology and Evolution*, 10(23), 12893-12909.

Thakur, D. R. (2012). Taxonomy, distribution and pest status of Indian biotypes of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) -A new record. *Pakistan Journal of Zoology*, 44(1), 189-195.

7. SITOGRAFIA

- CABI, 2022a. *Acanthoscelides obtectus* (bean bruchid). In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc (consultato il 20 settembre 2022).
- CABI, 2022b. *Sitophilus granarius* (grain weevil). In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc (consultato il 20 settembre 2022).
- CABI, 2022c. *Sitophilus oryzae* (lesser grain weevil). In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc (consultato il 20 settembre 2022).
- CABI, 2022d. *Zabrotes subfasciatus* (Mexican bean weevil). In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc (consultato il 20 settembre 2022).
- CABI, 2022e. *Sitotroga cerealella* (grain moth). In: Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. www.cabi.org/isc (consultato il 20 settembre 2022).
- Guida alla difesa integrata delle industrie alimentari. Copyr SpA. www.copyr.it (consultato il 21 settembre 2022).
- Guillot, J. D. (2021). Emissioni di gas serra nell'UE per paese e settore: Infografica. <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/society/20180301STO98928/emissioni-di-gas-serra-per-paese-e-settore-infografica> (consultato il 19 settembre 2022).
- Klejdysz, T. (2014). *Beetles of wheat weevil also known as the grain weevil or granary weevil (Sitophilus granarius) on damaged grain*. In: Alamy Foto Stock. <https://www.alamy.com/stock-photo-beetles-of-wheat-weevil-also-known-as-the-grain-weevil-or-granary-174624097.html?imageid=720D5086-438E-48BF-9C38-0E452F3F7C50&p=597972&pn=1&searchId=482665ea447c81b1ba6a56fad1711af1&searchtype=0> (consultato il 21 settembre 2022).

- Klejdysz, T. (2017). *Larva of wheat weevil also known as the grain weevil or granary weevil (Sitophilus granarius) inside damaged grain*. In: Alamy Foto Stock. <https://www.alamy.com/stock-photo-larva-of-wheat-weevil-also-known-as-the-grain-weevil-or-granary-weevil-174607567.html?imageid=03444243-02DF-4DDF-88BF-807825E20070&p=597972&pn=1&searchId=a631ee19276cab57d4b7d924db437bf0&se archetype=0> (consultato il 21 settembre 2022).
- Klejdysz, T. (2017). *Wheat weevil or granary weevil (Sitophilus granarius) larva removed from wheat grain on black background in three shots*. In: Alamy Foto Stock. <https://www.alamy.com/stock-photo-wheat-weevil-or-granary-weevil-sitophilus-granarius-larva-removed-174621962.html?imageid=7E2883C6-07D9-47A4-8F61-F01600CD36A3&p=597972&pn=1&searchId=482665ea447c81b1ba6a56fad1711af1&se archetype=0> (consultato il 21 settembre 2022).
- L'atmosfera: le zone climatiche – MeteoInMolise. <http://www.meteoinmolise.com/latmosfera-le-zone-climatiche/13810/> (consultato il 19 settembre 2022).
- Nelson Lab: Genetic Dissection of Maize Disease Resistance – Cornell University College of Agriculture and Life Sciences. http://www.plantpath.cornell.edu/labs/nelson_r/A_flavus3.html (consultato il 21 settembre 2022).
- Piège à insectes sur tas de céréales. La Récolte, SAS CEBAGL. www.larecolte.fr (consultato il 21 settembre 2022).
- sGd group. Curculionidi <https://sgd-group.com/wiki/coleotteri/curculionidi/> (consultato il 21 settembre 2022).
- Sitophilus granarius*: l'integrazione del monitoraggio nell'attività di controllo qualità – Copyr S.p.A. <https://www.copyrpo.it/blog/143643386996875/sitophilus-granarius--l-integrazione-del-monitoraggio-nell-attivita%C2%A0-di-controllo-qualita%C2%A0/> (consultato il 21 settembre 2022).