

Biotecnologia vegetale: Potenziale effetto sul miglioramento della lotta ai parassiti nell'agricoltura europea

**Uno studio sul mais
Giugno 2003**

**Leonard Gianessi
Suatha Sankula
Nathan Reigner**



The National Center for Food and Agricultural Policy
1616 P Street, NW Suite 100
Washington, DC 20036

Il rapporto completo è disponibile sul sito: www.ncfap.org

Storia del mais e del suo impiego in Europa

Il mais è la forma addomesticata di un'erba selvatica che ha origine in Messico. Dalla sua prima esplorazione nel 1493, Colombo portò alcuni semi di mais in Spagna e, in seguito, la pianta si diffuse in tutta l'Europa, dove viene coltivata soprattutto come foraggio. La coltivazione di mais insilato e mais dolce avviene solo su scala modesta.

Il mais da foraggio è una coltura importante per l'economia dell'UE, con 4,5 milioni di ettari di sementi per un valore di 5,3 miliardi di Euro all'anno. Quattro paesi (Francia, Italia, Spagna e Germania) producono l'88% del mais da foraggio dell'UE. Il 72% delle colture europee di mais è utilizzato come mangime per gli animali (bovini, suini, pollame), mentre il rimanente è destinato al consumo umano (olio, amido, farina). Negli ultimi anni la superficie coltivata e la resa sono aumentate enormemente nei quattro paesi. L'aumento della superficie si è verificato quando gli agricoltori hanno abbandonato la rotazione tradizionale con i cereali. Quella del mais è diventata così l'unica coltura estesa realizzata in monosuccessione anno dopo anno sugli stessi terreni. In Francia, il 50% del mais viene coltivato in monosuccessione. La resa europea è aumentata come conseguenza di un maggiore impiego d'irrigazione, fertilizzanti, pesticidi e nuovi ibridi e questo aumento fa sì che oggi l'UE sia praticamente autosufficiente per questo prodotto, di cui importa quantità minime da altri paesi produttori nel mondo. Tuttavia, ogni anno il Portogallo e la Spagna importano quasi 3 milioni di tonnellate di mais da paesi terzi, ai sensi di un accordo commerciale preferenziale.

La Tabella 1 riassume le statistiche di produzione di mais da foraggio dei principali paesi europei e degli Stati Uniti per il 2001.

Circa l'1% della superficie coltivata a granturco in Germania è biologica [4].

Circa 1.000 ettari (0,2%) della superficie coltivata a mais in Spagna sono biologici.

Storia della piralide come parassita in Europa

Tra i parassiti che provocano danni al mais, due specie di piralide sono particolarmente importanti in Europa: la piralide del mais europea (European corn borer, ECB) e la piralide del mais mediterranea (Mediterranean corn borer, MCB). La MCB è nota anche come piralide rosata. L'ECB è diffusa soprattutto in Francia, Germania, Italia e Spagna, mentre la MCB costituisce il secondo problema parassitario più grave nelle regioni mediterranee di Francia, Italia e Spagna meridionale. L'ECB, come indica il nome, è nata in Europa. I primi dati sui danni da ECB al mais in Europa risalgono alla fine del 1800. Oltre al mais, altre piante che ospitano l'ECB in Europa sono luppolo, canapa, miglio e una specie di erba infestante (artemisia). Com'è noto, all'inizio del 1900 l'ECB infestava la maggior parte delle aree produttrici di mais, ma provocava danni limitati grazie all'ampio controllo naturale realizzato attraverso parassiti, predatori e altri fattori ambientali [18]. Le infestazioni da ECB erano inizialmente limitate ai paesi mediterranei con clima più favorevole. Gli insetti si spostarono poi verso nord e alla fine si adattarono anche a regioni meno favorevoli, come la Germania [19].

L'ECB fu incidentalmente introdotta negli Stati Uniti dall'Europa all'inizio del 1900, probabilmente a causa della sua presenza sulle scope importate prodotte con foglie di mais. Data l'assenza dei parassiti e dei predatori che ne controllavano la proliferazione in Europa, l'ECB si diffuse rapidamente negli Stati Uniti provocando ampie riduzioni della resa del mais. Negli anni Venti e Trenta, l'USDA realizzò il più ampio tentativo della storia di controllare un parassita con mezzi biologici, importando i predatori e i parassiti dell'ECB dall'Europa. Tuttavia, nessuna delle specie importate si affermò negli Stati Uniti, dove le perdite dovute alla piralide rimasero ingenti. L'USDA diffuse rapporti annuali per il periodo dal 1942 al 1974, contenenti le stime delle perdite annue sulla produzione di mais dovute ai danni della piralide [33]. Le perdite annue variavano da un minimo di 33 milioni di bushel (838.000 tonnellate nel 1952) a più di 300 milioni di bushel (7,6 milioni di tonnellate nel 1949 e nel 1971).

Negli ultimi decenni i danni provocati al mais dall'ECB in Europa sono aumentati, probabilmente a causa delle variazioni ambientali, della notevole espansione delle superfici adibite alla monocoltura di mais, dell'introduzione di ibridi più suscettibili e del maggiore impiego di pesticidi, che tendono a ridurre le popolazioni di predatori/parassiti [17] [22].

L'accoppiamento tra gli individui adulti avviene nella tarda della primavera. Ogni femmina depone sulle foglie del mais da 15 a 20 masse di 500-600 uova fecondate. Le uova si schiudono e le larve si nutrono della pianta del mais. Dopo essersi alimentate per un breve periodo nelle volute delle foglie in via di sviluppo, le larve penetrano nei fusti, scavando gallerie in cui completano il loro sviluppo. Le gallerie prodotte dalla piralide interferiscono con il passaggio delle sostanze nutritive e dell'acqua all'interno della pianta e riducono la resistenza del fusto, predisponendolo in tal modo alla rottura. L'azione della piralide frena la crescita della pianta, provoca malformazioni delle spighe, riduce la dimensione dei semi e causa cali di resa dovuti alla rottura dei fusti [9][14][19]. Alcune ricerche hanno dimostrato che la resa del mais in Europa si riduce del 6% per ciascuna larva di ECB per pianta [8]. Come nel caso dell'ECB, il mais infestato da MCB è caratterizzato dalla presenza di gallerie nel fusto.

Le infezioni secondarie da funghi e batteri sono altri rischi associati all'azione della piralide. Le larve di piralide trasportano spore di agenti patogeni del genere *Fusarium*, aumentando in tal modo l'incidenza del marciume di fusto, spighe e radici. Inoltre, i fori praticati nei semi di mais dalle larve di piralide costituiscono le vie preferenziali di penetrazione dei funghi. Sono state osservate strette associazioni tra la suscettibilità degli ibridi di mais alle larve di ECB e la comparsa di marciume sul fusto. La specie *Fusarium* che infetta il mais produce tossine, dette fumonisine, nel tessuto della pianta. In generale esiste una stretta correlazione tra il danno provocato dall'ECB e la concentrazione di micotossine nei semi di mais [31]. Le micotossine sono cancerogene e possono provocare malattie mortali nel bestiame e nell'uomo. Alcuni studi hanno rilevato la presenza naturale delle fumonisine nel mais da foraggio proveniente da Francia, Germania e Spagna e in alcuni campioni di mangimi e alimenti a base di mais prelevati in Italia e Spagna [26][23][25]. Tra questi, mangime per polli, bovini e suini e prodotti alimentari destinati alla vendita al dettaglio, come la farina di mais per la preparazione della polenta [23]. I campioni di alimenti a base di mais per il consumo umano prelevati nei punti vendita al dettaglio hanno mostrato concentrazioni positive di fumonisina nel semolino e nella polenta importati in Germania dall'Italia. Dagli studi è emerso che la presenza delle fumonisine nel mais è notevolmente maggiore nei paesi mediterranei rispetto all'Europa Centrale o agli Stati Uniti [24].

Il danno che l'ECB è in grado di provocare è maggiore nelle regioni mediterranee di Francia, Italia e Spagna meridionale, dove si producono 2-3 generazioni di larve ogni estate grazie al clima temperato, mentre in Francia settentrionale e in Germania si produce una sola generazione di larve. Anche la MCB produce 2-3 generazioni di larve nelle regioni Mediterranee. Alcune ricerche condotte in Francia indicano che i cali di resa dovuti alla piralide possono arrivare al 15%, mentre in Spagna è stato calcolato che possono raggiungere il 30% [15][20].

Circa il 25% della superficie coltivata a mais in Spagna è soggetto a una forte incidenza della piralide mentre il 40% è soggetto a un'incidenza media [40]. In Germania, circa il 25% della superficie coltivata a mais è infestato dall'ECB [42]. In Francia, circa il 40% della superficie coltivata a mais ha una media di una o più ECB per pianta [42]. In Italia, la piralide infesta quasi tutte le superfici coltivate a mais ogni anno, con cali della resa dal 7 al 15% [41]. Secondo le stime, il 5-7% della potenziale produzione di mais in Europa va perso ogni anno a causa della piralide, a seconda dell'intensità dell'infestazione [36][16].

Tuttavia finora, nei paesi dell'Europa nord-occidentale e della Scandinavia, la piralide non ha infestato le colture di mais da utilizzare come foraggio.

Strategie convenzionali per il controllo della piralide

Il controllo della piralide (sia ECB sia MCB) è estremamente difficile. Le larve possono essere controllate efficacemente solo quando si alimentano all'interno delle volute delle foglie del mais. Una volta che penetrano nel fusto, non possono essere combattute con le tecniche consuete, che prevedono la diffusione di parassiti (vespe) e l'impiego d'insetticidi chimici [14].

Trattamento chimico

Alle condizioni presenti in Europa, gli insetticidi chimici controllano circa il 75% della piralide [42]. Dal 1995 al 1997 è stata effettuata in Francia una valutazione dell'efficacia di un trattamento con insetticidi contro la seconda generazione della MCB, con risultati variabili: rispettivamente 71%, 80% e 41% [10]. Questa efficacia decrescente è dovuta alla difficoltà di adattare i tempi di somministrazione al breve periodo prima

che le larve penetrino nei fusti del mais. Una volta che le larve si trovano all'interno della pianta, l'applicazione di prodotti chimici diventa superflua. L'altezza delle piante di mais al momento del trattamento richiede in genere l'uso di speciali trattori in grado di passare attraverso un campo di piante adulte di altezza elevata, di cui molti agricoltori non dispongono [14][41]. L'applicazione a spruzzo dagli aerei non sempre è possibile, perché i campi coltivati a mais in Europa sono piccoli e sparsi, spesso in prossimità di edifici e centri abitati [41]. Gli insetticidi chimici vengono raramente impiegati per il controllo della piralide nelle aree di conservazione idrica della Valle del Reno in Germania, a causa delle leggi che ne limitano l'uso. Molti agricoltori non si rendono conto dell'entità del danno in termini di resa provocato dalla piralide; in molti casi non hanno il tempo per ispezionare i campi e somministrare gli insetticidi nel momento ottimale per controllarla [40].

Dopo il 2003 in Germania non saranno più disponibili insetticidi registrati per il controllo della piralide [4].

In Europa gli insetticidi sono pertanto generalmente impiegati solo in una piccola parte della superficie infestata dalla piralide. In Italia, viene trattato solo il 5% (55.000 ettari) della superficie [41], in Spagna, il 6-20% (circa 78.000 ettari, 15%) [40]. I trattamenti con insetticidi contro la piralide in Francia e in Germania riguardano rispettivamente circa 275.000 (14%) e 40.000 (10%) ettari [5]. In totale, 448.000 ettari vengono dunque trattati con prodotti chimici per il controllo della piralide, pari a circa l'11% della superficie totale in questi quattro paesi.

In Spagna, l'insetticida più comunemente usato contro la piralide è l'organofosfato clorpirifos (67.500 ettari), seguito dai piretroidi sintetici (11.000 ettari). L'impiego medio per ettaro trattato in Spagna è di 0,58 kg d'ingrediente attivo (IA) per ettaro [40]. In Francia, Germania e Italia non si usano organofosfati, mentre i piretroidi sono impiegati in una quantità media di 0,02 kg per ettaro [48].

La Tabella 2 contiene alcune stime del costo e della quantità degli insetticidi impiegati in Europa per il controllo della piralide. Secondo queste stime, 448.000 ettari vengono trattati con 52.600 chilogrammi d'ingrediente attivo, a un costo di 13 milioni di Euro all'anno. La Tabella 2 contiene inoltre alcune stime del costo della diffusione del *trichogramma* per il controllo biologico della piralide, pari in totale a 2 milioni di Euro all'anno.

Trattamento biologico

Uno dei parassiti dell'ECB identificato in Europa negli anni Venti dai ricercatori dell'USDA è una minuscola vespa, il *trichogramma*. Per riprodursi, le femmine di *trichogramma* devono depositare le proprie uova nelle uova di un ospite specifico; in genere dimostrano preferenza per i lepidotteri, come le piralidi (ECB e MCB), e per i bruchi delle mele. La femmina di *trichogramma*, entrando in contatto con un uovo di piralide, vi depone una o più uova. Le sue larve, alla schiusa delle uova, si nutrono del contenuto delle uova di piralide uccidendolo [28].

L'impiego commerciale del *trichogramma* è iniziato in Germania nel 1980, seguita dalla Francia nel 1986. La disponibilità in commercio del *trichogramma* per gli agricoltori è il risultato di una collaborazione tra varie società private ed enti governativi. Il metodo di applicazione prevede la dispersione delle uova di *trichogramma* contenute in capsule, che vengono sparse nei campi a mano. Tale dispersione ha inizio quando il primo esemplare di piralide viene intrappolata nei dispositivi antiluce. In genere, la dispersione viene ripetuta a distanza di due settimane per ciascuna generazione di piralide. Ogni dispersione richiede circa 20 minuti per ettaro. Ogni capsula contiene circa 500 uova di tiroglifide della farina, che sono state contaminate con le uova di *trichogramma*. Le capsule vengono distribuite in quantità di 200 per ettaro, con una resa di circa 100.000 vespe per ettaro per ogni distribuzione. I parassiti emergono dalle capsule. Femmine e maschi si accoppiano e le femmine gravide perlustrano le piante di mais in cerca di uova di piralide, dove depositare le proprie uova. Da una ricerca condotta in Germania è emerso che l'impiego di parassiti in quantità di 150.000-200.000 uova per ettaro determina una riduzione delle larve di ECB dal 61 al 93% [27]. Da uno studio a lungo termine condotto in Italia appare invece come la massima incidenza dell'infestazione da *trichogramma* fosse solo pari al 33% alle condizioni presenti nel paese. Un limite importante all'impiego del *trichogramma* è la ridotta efficacia in condizioni di forte pioggia, sole e temperature elevate [30]. Oltre a ridurre l'efficacia dell'effetto parassitario del *trichogramma*, le temperature elevate provocano la sterilità dei maschi e una riduzione nel numero di parassiti che emergono dalle capsule.

La presenza della MCB complica la situazione, in quanto il *trichogramma* è specie-specifico. Per combattere sia l'ECB sia la MCB è pertanto necessario impiegare due specie di *trichogramma* [28]. Un altro limite all'efficacia del *trichogramma* è il tempo. Se la somministrazione non avviene al momento giusto o se i parassiti non emergono puntualmente, ovvero se le uova di ECB si schiudono prima che i parassiti abbiano depositato le proprie, l'effetto sull'ECB risulta ridotto.

Il *trichogramma* viene distribuito su circa 50.000 ettari (2,6%) della superficie coltivata a mais in Francia e da 7.000 a 10.000 ettari in Germania [11][27]. In Germania, circa metà delle distribuzioni di *trichogramma* avvengono su superfici coltivate a grano da semina, mentre il rimanente riguarda le superfici coltivate a granturco [5]. In alcune parti della Germania, gli agricoltori che utilizzano il *trichogramma* ricevono un sussidio di circa 60 euro per ettaro [4].

Il mais Bt come nuovo metodo per la lotta alla piralide

Attraverso l'ingegneria genetica, i geni che codificano le proteine insetticide isolate dal batterio del terreno *Bacillus thuringiensis* (Bt) sono state inserite nel corredo genetico delle piante di mais [37]. Le piante di mais modificate per contenere geni di Bt esprimono proteine cristalline (proteine Cry). Quando le larve di piralide si nutrono delle piante di mais Bt, gli enzimi digestivi degli insetti attivano la forma tossica della proteina. Le proteine Cry si legano al rivestimento intestinale degli insetti e ne distruggono le cellule. Entro due ore dal primo morso le piralidi smettono di nutrirsi e nel giro di due-tre giorni muoiono. Le ricerche hanno inoltre dimostrato che le varietà di mais Bt contengono quantità di micotossine notevolmente inferiori rispetto alle varietà convenzionali. Uno studio condotto in Francia e in Spagna ha rilevato che la biomassa fungina che si forma sul seme di mais Bt è da 4 a 18 volte più piccola rispetto a quella che si forma sul mais non Bt [31]. Studi condotti sul mais Bt in Italia hanno evidenziato una riduzione del 90% del contenuto di fumonisinina (da 20 ppm a 2 ppm) [32].

Negli Stati Uniti il mais Bt è stato piantato su 14,9 milioni di acri (6,0 ettari, 21%). La Tabella 3 contiene alcune stime dell'effetto aggregato su produzione di mais, valore del mais e impiego di pesticidi risultante dalla coltivazione del mais Bt nel paese. In un anno tipico, l'adozione del mais Bt negli Stati Uniti determina un aumento del valore netto di 125 milioni di dollari e una diminuzione dell'uso di pesticidi di 1,2 milioni di kg.

In Europa, le varietà di mais Bt sono state approvate per la coltivazione prima della moratoria di fatto del 1998, che ha bloccato le nuove approvazioni di colture transgeniche. Qui, nel 1998, il mais Bt è stato piantato su 22.000 ettari, soprattutto in Spagna (20.000 ettari) e in Francia (2.000 ettari) [34]. La coltivazione del mais Bt è stata sospesa in Francia e, fatto salvo un esiguo numero di ettari in Germania a scopo di ricerca (100), la superficie coltivata a mais Bt in Europa è attualmente limitata alla Spagna, con 25.000 ettari (4-5%) all'anno. Queste colture non sono state ulteriormente estese in Spagna, alla luce di un accordo volontario del fornitore di sementi (Syngenta) [40]. Recentemente sono state approvate cinque nuove varietà Bt per la Spagna, che probabilmente aumenteranno del 10% la coltivazione.

In Germania sono state condotte due prove sul campo in varie sedi per due anni consecutivi, per confrontare le prestazioni del mais Bt rispetto al mais non Bt. La resa delle colture Bt superava del 17% quella delle colture non trattate, del 6% quella delle colture trattate con insetticidi e del 14% quella delle colture trattate con *trichogramma* [4][46]. In Germania, otto anni di esperimenti hanno dimostrato la maggiore efficacia del mais Bt (95%) nel controllo della piralide rispetto ai prodotti chimici (75%) o al *trichogramma* (55%) [39]. In Francia, l'AGPM (Associazione Generale dei Produttori di Mais) ha valutato gli effetti del mais Bt sulla MCB, rilevando un'efficacia superiore al 99% sulla prima e la seconda generazione del parassita. La ricerca condotta in Francia sul mais Bt per la lotta all'ECB ha evidenziato un effetto del 100% in 5 delle 8 prove [37]. La ricerca condotta in Italia ha dimostrato notevoli miglioramenti del controllo della piralide con il mais Bt rispetto al mais convenzionale trattato con insetticidi [44]. La ricerca condotta nella Valle del Reno in Germania ha dimostrato che le larve di ECB non provocavano quasi alcuna riduzione della resa nelle colture di mais Bt [35] e la resa del mais Bt superava del 15% quella del mais convenzionale trattato con insetticidi [35].

Uno studio recente ha stimato l'effetto della coltivazione del mais Bt in Spagna [40]. Secondo tali stime, la tecnologia del mais Bt costa 18-19 Euro in più per ettaro rispetto alla semente convenzionale. Questo costo

si riferisce all'acquisto delle sementi attraverso le cooperative. Nelle regioni soggette a forte infestazione da piralide, si ritiene che la resa del mais Bt superi del 10% quella del mais trattato con insetticidi e del 15% quella del mais non trattato. In generale, in base alle prove condotte nel 1997, è stato stimato un aumento generale delle rese del 6% per il mais Bt [47]. Calcolando il risparmio legato all'inutilità di trattare con insetticidi e il valore dell'aumento della resa, secondo le stime il mais Bt ha migliorato la redditività della produzione di mais del 13%. Dallo studio è emerso che, se fosse eliminato il limite volontario alla coltivazione del mais Bt, sarebbe economicamente vantaggioso coltivare mais Bt sul 35% della superficie spagnola dedicata al mais. La Tabella 4 riassume l'effetto aggregato previsto per la Spagna in base allo studio.

Un'analisi dell'impatto economico del mais Bt in Germania indica un aumento di 61 euro per ettaro rispetto all'impiego d'insetticidi e un aumento di 154 euro per ettaro rispetto all'impiego del *trichogramma* [4]. Potenziali variazioni dell'impiego di pesticidi e del reddito degli agricoltori dovute all'adozione del mais Bt in Europa.

La Tabella 5 contiene una stima del potenziale effetto della coltivazione del mais Bt in Europa su superfici gravemente infestate dalla piralide. L'adozione del mais Bt è prevista come segue: Francia (40%), Italia (50%), Spagna (36%) e Germania (25%) [42][40][41], per una superficie totale di 1.599 milioni di ettari. La Tabella 5 contiene inoltre una stima dell'impatto sul volume e sul valore della produzione delle superfici coltivate in ciascun paese secondo l'attuale metodo di trattamento. Attualmente circa 448.000 ettari vengono trattati con insetticidi. Di questi, si prevede un aumento della resa del 10% come conseguenza della coltivazione del mais Bt. 59.000 ettari sono attualmente trattati con il *trichogramma*. Per questi si prevede un aumento della resa del 14% come conseguenza della coltivazione del mais Bt. Attualmente 1.092 milioni di ettari non vengono trattati e si prevede un aumento della produzione e del valore del 15%. La Tabella 5 illustra infine le stime del costo potenziale aggregato del mais Bt rispetto alle sementi convenzionali, pari a 18,5 Euro per ettaro, per un totale di 29,58 milioni di Euro.

La Tabella 6 riassume gli effetti dell'adozione del mais Bt per paesi secondo i totali parziali ottenuti in base al trattamento attuale in ciascun paese, come illustrato nella Tabella 5.

La Tabella 7 riassume i potenziali effetti del mais Bt in Europa, ipotizzandone l'adozione su 1.599 milioni di ettari (41% della superficie coltivata a mais). L'adozione del mais Bt dovrebbe aumentare i costi di produzione di 14,4 milioni di Euro. Aumentando la produzione di 1,9 miliardi di chilogrammi all'anno, si prevede un aumento del valore di 263 milioni di Euro, pari a un aumento netto del reddito degli agricoltori di 248 milioni di Euro. L'impiego degli insetticidi dovrebbe diminuire di 52.600 chilogrammi.

Il miglioramento della redditività della produzione del mais reso possibile dal mais Bt potrebbe assumere un ruolo particolarmente importante nella compensazione dei possibili effetti negativi sui margini delle colture di mais, che dovrebbero risultare dalle Proposte di Revisione a Medio Termine della Commissione Europea per riformare l'attuale politica agricola.

Tabella 1a: Produzione di granturco (mais)			
	Produzione (miliardi di kg/anno)	Ettari (000)	Valore (miliardi di €/anno)
Francia	16,3	1914	2,0
Italia	10,4	1109	1,6
Spagna	4,9	504	0,7
Germania	3,5	397	0,4
Totale	35,1	3924	4,7
UE-15	40,1	4527	5,3
Stati Uniti	331,2	30300	19,2

Tabella 1b: Produzione di granturco (mais)			
	Produzione (miliardi di lb/anno)	Acri (000)	Valore (miliardi di \$/anno)
Francia	36,2	4,8	2,0
Italia	23,2	2,8	1,6
Spagna	10,9	1,3	0,7
Germania	7,7	1,0	0,4
Totale	78,0	9,9	4,7
UE-15	89,1	11,	5,3
Stati Uniti	736,0	75,7	19,2

Fonte: [1][2][3]

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

Tabella 2a: Granturco: Trattamenti contro la piralide							
	Insetticidi					Trichogramma	
				Costo			
	Ettari trattati (000)	Kg IA/Ha	Kg totali IA (000)	€/Ha	Totale (€000)	Ettari trattati (000)	Costo totale (€000)
Francia	275	0,02	5,5	30	8250	50	1900
Italia	55	0,02	1,1	30	1650	0	0
Spagna	78	0,58	45,2	21	1638	0	0
Germania	40	0,02	0,8	38	1520	5	190
Totale	448		52,6		13058	55	2090

Tabella 2b: Granturco: Trattamenti contro la piralide							
	Insetticidi					Trichogramma	
				Costo			
	Acri trattati (000)	Lb IA/Ha	Lb totali IA (000)	\$/A	Totale (\$000)	Acri trattati (000)	Costo totale (\$000)
Francia	688	0,02	12,1	75	8250	125	1900
Italia	138	0,02	2,4	75	1650	0	0
Spagna	195	0,52	99,4	53	1638	0	0
Germania	100	0,02	1,8	95	1520	13	190
Totale	1121		115,7		13058	138	2090

Dati sul *trichogramma* tratti da [11][27][5]; costo stimato delle distribuzioni di *trichogramma* €38/Ha [39]

Dati sulle superfici trattate con insetticidi [27][41][40][5]; costo e quantità degli insetticidi tratti da [40][43][39][42]

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

Tabella 3a: Effetto dell'adozione del mais Bt negli Stati Uniti (anno tipico)	
Ettari	6,0 milioni (21%)
Produzione	
Volume	+1,6 miliardi kg/anno
Valore	+€126 milioni/anno
Costi	+€1 milione/anno
Valore netto	+€125 milioni/anno
Pesticidi impiegati	-1,2 milioni kg/anno

Tabella 3b: Effetto dell'adozione del mais Bt negli Stati Uniti (anno tipico)	
Acri	14,9 milioni (21%)
Produzione	
Volume	+3,5 miliardi lb/anno
Valore	+€126 milioni/anno
Costi	+€1 milione/anno
Valore netto	+€125 milioni/anno
Pesticidi impiegati	-2,6 milioni lb/anno

Fonte: [6]

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

Tabella 4a: Potenziale effetto aggregato della coltivazione di mais Bt in Spagna	
% di ettari coltivati	36% (173.000 Ha)
Effetto medio sulla resa	+5-7%
Volume di produzione	+88.000-124.000 tonnellate
Valore di produzione	+€11-15 milioni
Impiego d'insetticidi	
Ettari trattati	da -59.000 a 98.000 Ha
Volume	da -35.000 a -56.400 kg

Tabella 4b: Potenziale effetto aggregato della coltivazione di mais Bt in Spagna	
% di acri coltivati	36% (432.500 A)
Effetto medio sulla resa	+5-7%
Volume di produzione	+194-273 milioni di lb
Valore di produzione	+\$11-15 milioni
Impiego d'insetticidi	
Acri trattati	da -147.500 a 245.000 A
Volume	da -77.000 a 124.000 lb

Fonte: [40]

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

Tabella 5a: Potenziale effetto della coltivazione di mais Bt in Europa					
(1) Superficie totale di adozione					
			Attuale		
	<i>%¹</i>	<i>Ha (000)</i>	<i>Produzione (miliardi di kg)</i>	<i>Valore (milioni di €)</i>	<i>Costo del mais Bt (€000)²</i>
Francia	40	765	6,5	800	14152
Italia	50	554	4,2	800	10249
Spagna	36	181	2,0	252	3348
Germania	25	99	1,4	100	1831
Totale		1599	14,1	1952	29580
(2) Superficie coltivata attualmente trattata con insetticidi					
			Aumento³		
	<i>%¹</i>	<i>Ha (000)</i>	<i>Produzione (milioni di kg)</i>	<i>Valore (milioni di €)</i>	
Francia	36	275	235	28,8	
Italia	10	55	42	8,0	
Spagna	43	78	85	9,1	
Germania	40	40	56	4,0	
Totale		448	418	49,9	
(3) Superficie coltivata attualmente trattata con trichogramma					
			Aumento⁴		
	<i>%¹</i>	<i>Ha (000)</i>	<i>Produzione (milioni di kg)</i>	<i>Valore (milioni di €)</i>	
Francia	7	54	64	7,8	
Germania	5	5	10	0,7	
Totale		59	74	8,5	
(4) Superficie coltivata attualmente non trattata					
			Aumento⁶		
	<i>%⁵</i>	<i>Ha (000)</i>	<i>Produzione (milioni di kg)</i>	<i>Valore (milioni di €)</i>	
Francia	57	436	558	68	
Italia	90	499	565	108	
Spagna	57	103	169	21	
Germania	55	54	115	8	
Totale		1092	1407	205	

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

¹Fonte: [40][41][42][5][11][27]

²Calcolato a €18,50/Ha [40]

³Calcolato al 10%

⁴Calcolato al 14%

⁵Calcolato mediante sottrazione

⁶Calcolato al 15%

Tabella 5b: Potenziale effetto della coltivazione di mais Bt in Europa					
(1) Superficie totale di adozione					
			Attuale		
	<i>%⁷</i>	<i>A (000)</i>	<i>Produzione (miliardi di lb)</i>	<i>Valore (milioni di \$)</i>	<i>Costo del mais Bt (\$000)⁸</i>
Francia	40	1913	14,5	800	14152
Italia	50	1386	9,3	800	10249
Spagna	36	453	4,4	252	3348
Germania	25	248	3,1	100	1831
Totale		4000	31,3	1952	29580
(2) Superficie coltivata attualmente trattata con insetticidi					
			Aumento⁹		
	<i>%⁷</i>	<i>A (000)</i>	<i>Produzione (milioni di lb)</i>	<i>Valore (milioni di \$)</i>	
Francia	36	688	522	28,8	
Italia	10	138	93	8,0	
Spagna	43	195	189	9,1	
Germania	40	100	124	4,0	
Totale		1121	928	49,9	
(3) Superficie coltivata attualmente trattata con trichogramma					
			Aumento¹⁰		
	<i>%⁷</i>	<i>A (000)</i>	<i>Produzione (milioni di lb)</i>	<i>Valore (milioni di \$)</i>	
Francia	7	135	142	7,8	
Germania	5	13	22	0,7	
Totale		148	164	8,5	
(4) Superficie coltivata attualmente non trattata					
			Aumento¹²		
	<i>%¹¹</i>	<i>A (000)</i>	<i>Produzione (milioni di lb)</i>	<i>Valore (milioni di \$)</i>	
Francia	57	1090	1239	68	
Italia	90	1248	1255	108	
Spagna	57	258	376	21	
Germania	55	135	256	8	
Totale		2731	3126	205	

Si presume che Euro e Dollari siano equivalenti

⁷Fonte: [40][41][42][5][11][27]

⁸Calcolato a \$7,40/A

⁹Calcolato al 10%

¹⁰Calcolato al 14%

¹¹Calcolato mediante sottrazione

¹²Calcolato al 15%

Tabella 6a: Potenziale effetto del mais Bt in Europa				
Costi di produzione (€000)				
	<i>Trattamento attuale</i>		<i>Mais BT</i>	<i>Costo netto</i>
	<i>Insetticidi</i>	<i>Trichogramma</i>		
Francia	-8250	-1900	+14152	+4002
Italia	-1650	0	+10249	+8599
Spagna	-1638	0	+3348	+1710
Germania	-1520	-190	+1831	+121
Totale	-13058	-2090	+29580	+14432
Valore di produzione (€000)				
	<i>Trattamento attuale</i>			<i>Totale</i>
	<i>Insetticidi</i>	<i>Trichogramma</i>	<i>Nessuno</i>	
Francia	+28800	+7800	+68000	+104600
Italia	+8000	0	+108000	+116000
Spagna	+9100	0	+21000	+30100
Germania	+4000	+700	+8000	+12700
Totale	+49900	+8500	+205000	+263400
Volume di produzione (milioni di kg)				
	<i>Trattamento attuale</i>			<i>Totale</i>
	<i>Insetticidi</i>	<i>Trichogramma</i>	<i>Nessuno</i>	
Francia	+235	+64	+558	+857
Italia	+42	0	+565	+607
Spagna	+85	0	+169	+254
Germania	+56	+10	+115	+181
Totale	+418	+74	+1407	+1899

Costi di produzione: vedi Tabelle 2 e 5

Valore e volume di produzione: vedi Tabella 5

Tabella 6b: Potenziale effetto del mais Bt in Europa				
Costi di produzione (\$000)				
	Trattamento attuale		Mais BT	Costo netto
	Insetticidi	Trichogramma		
Francia	-8250	-1900	+14152	+4002
Italia	-1650	0	+10249	+8599
Spagna	-1638	0	+3348	+1710
Germania	-1520	-190	+1831	+121
Totale	-13058	-2090	+29580	+14432
Valore di produzione (\$000)				
	Trattamento attuale			Totale
	Insetticidi	Trichogramma	Nessuno	
Francia	+28800	+7800	+68000	+104600
Italia	+8000	0	+108000	+116000
Spagna	+9100	0	+21000	+30100
Germania	+4000	+700	+8000	+12700
Totale	+49900	+8500	+205000	+263400
Volume di produzione (milioni di lb)				
	Trattamento attuale			Totale
	Insetticidi	Trichogramma	Nessuno	
Francia	+522	+142	+1239	+1903
Italia	+93	0	+1255	+1348
Spagna	+189	0	+376	+565
Germania	+124	+22	+156	+402
Totale	+928	+164	+31267	+4218

Costi di produzione: vedi Tabelle 2 e 5

Valore e volume di produzione: vedi Tabella 5

Tabella 7a: Sommario dei potenziali effetti del mais Bt in Europa							
	<i>Ha di adozione (000)</i>	<i>% Ha di adozione</i>	<i>Produzione (€000)</i>			<i>Aumento di produzione (milioni di kg)</i>	<i>Impiego d'insetticida kg</i>
			<i>Costi</i>	<i>Valore</i>	<i>Netto</i>		
Francia	765	40	+4002	+104600	+100598	+857	-5500
Italia	554	50	+8599	+116000	+107401	+607	-1100
Spagna	181	36	+1710	+30100	+28390	+254	-45200
Germania	99	25	+121	+12700	+12579	+181	-800
Totale	1599	(41)	+14432	+263400	+248968	+1899	-52600

Tabella 7b: Sommario dei potenziali effetti del mais Bt in Europa							
	<i>A di adozione (000)</i>	<i>% A di adozione</i>	<i>Produzione (\$000)</i>			<i>Aumento di produzione (milioni di lb)</i>	<i>Impiego d'insetticida lb</i>
			<i>Costi</i>	<i>Valore</i>	<i>Netto</i>		
Francia	1913	40	+4002	+104600	+100598	+1903	-12100
Italia	1386	50	+8599	+116000	+107401	+1348	-2420
Spagna	453	36	+1710	+30100	+28390	+565	-99440
Germania	248	25	+121	+12700	+12579	+402	-1760
Totale	4000	(41)	+14432	+263400	+248968	-4218	-115720

Bibliografia

1. USDA, Crop Production 2001 Summary, National Agricultural Statistics Service, gennaio 2002.
2. USDA, Crop Values 2001 Summary, National Agricultural Statistics Service, febbraio 2002.
3. UE, Annuario Statistico dell'Agricoltura, Edizione 2002, ISSN 1681-4711.
4. Heitz, Volker, "A Multiyear Comparison of European Corn Borer Control Methods," Amt für Landwirtschafts-, Landschafts- und Bodenkultur Offenburg.
5. Zellner, Michael, Institut Pflanzenschutz, Comunicazione personale, maggio 2003.
6. Gianessi, L.P. et al., Plant Biotechnology: Current and Potential Impact For Improving Pest Management In U.S. Agriculture: An Analysis of 40 Case Studies, National Center for Food and Agricultural Policy, giugno 2002.
7. Butron, A., et al., "Combining Abilities for Maize Stem Antibiosis, Yield Loss, and Yield Under Infestation and Non-infestation with Pink Stem Borer," Crop Science, 39:691-696, 1999.
8. Bohn, M., et al., "Damage and Grain Yield Losses Caused by European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae) in Early Maturing European Maize Hybrids," Journal of Economic Entomology, 92:723-731, 1999.
9. Bohn, M., et al., "QTL Mapping for Resistance Against the European Corn Borer (*Ostrinia Nubilalis* H.) in Early Maturing European Dent Germplasm," Theoretical and Applied Genetics, 101:907-917, 2000.
10. Albajes, R., et al., "Mating Disruption of the Corn Borer Using Sprayable Formulations of Pheromones," Crop Protection, 21:217-225, 2002.
11. Frandon, J. e F. Kabiri, "La lutte biologique contre la pyrale du maïs avec les trichogrammes. Evolution de la technique pour une utilisation à grande échelle," disponibile su www.inra.fr/dpenv/frandc00.htm, 1998.
12. UE, "Opinion of the SCP on Bt-resistance Monitoring," Commissione Europea, Salute e Difesa dei Consumatori, Comitato Scientifico per le Piante, disponibile su http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scp/out35_en.html, marzo 1999.
13. Furlan, L., et al., "*Ostrinia Nubilalis* Population Levels in North-Eastern Italy: Long Period Data and Practical Considerations," Atti del XXI IWGO, 2001.
14. Melchinger, A. E., et al., "Evaluation of Early-maturing European Maize Inbreds for Resistance to the European Corn Borer," Euphytica, 99:115-125, 1998.
15. Anglade, P. e Rautou, S., Current Status of Breeding Corn in France for Resistance to the European Corn Borer (*Ostrinia Nubilalis* Hbn.), EPPO Public, N. 54:45-55, 1970.
16. Labatte, Jean-Marc, et al., "Natural Mortality of European Corn Borer Larvae: Field Study and Modeling," Journal of Economic Entomology, Vol. 90, N. 3, 1997.
17. Eizaguirre, M. e R. Albajes, "Present Situation of Arthropod Pests in the Northeast of Spain," Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica, 24:77-80, 1989.
18. Thompson, W. R. e Parker, H. L., The European Corn Borer and its Controlling Factors in Europe, Bollettino Tecnico USDA N. 59, 1928.

19. Schulz, B., et al., "Genetic Variation Among European Maize Hybrids for Resistance to the European Corn Borer and Relation to Agronomic traits," Plant Breeding, 116:415-421, 1997.
20. Butron, A., et al., "Resistance of Maize Inbreds to Pink Stem Borer," Crop Science, 39:102-107, 1999.
21. Giupponi, Carlo, The Environmental Impact of Maize Cultivation in the European Union: Practical Options for the Improvement of the Environmental Impact, Italian Case Study, Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università degli Studi di Padova, gennaio 2000.
22. Cordero, A., et al., "Population Dynamics and Lyfe-Cycle of Corn Borers in South Atlantic European Coast," Maydica, 43:5-12, 1998.
23. Visconti, Angelo, e M. Bruno Doko, "Survey of Fumonisin Production by *Fusarium* Isolated from Cereals in Europe," Journal of AOAC International, Vol. 77, N. 2, 1994.
24. Castella, Gemma, et al., "Surveillance of Fumonisins in Maize-Based Feeds and Cereals from Spain," Journal of Agricultural & Food Chemistry, ottobre 1999.
25. Sherphard, Gordon S., et al., "Worldwide Survey of Fumonisin Contamination of Corn and Corn-based Products," Journal of AOAC International, Vol. 79, N. 3, 1996.
26. Tanaka, Toshitsugu, et al., "Worldwide Contamination of Cereals by the *Fusarium* Mycotoxins Nivalenol, Deoxynivalenol, and Zearalenone. Survey of 19 Countries," Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1988.
27. Hassan, S. A., e Zhang, W. Q., "Variability in Quality of *Trichogramma Brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from Commercial Suppliers in Germany," Biological Control, 22:115-121, 2001.
28. Frandon, J., "Innovation Project – Biological Pest Control," disponibile su <http://www.cordis.lu/itt/itt-en/98-1/ip-news.htm>, 1998.
29. Neuffer, G., "The Use of *Trichogramma Evanescens* Westw. in Sweet Corn Fields. A contribution to the Biological Control of the European Corn Borer *Ostrinia Nubilalis* Hbn in Southwest Germany," in Les Trichogrammes, Les Colloques de l'INRA, N. 9, aprile 1982.
30. Chihrane, J. e Lauge, G., "Loss of Parasitization Efficiency of *Trichogramma Brassicae* (Hym: Tricho Grammatidae) Under High Temperature Conditions," Biological Control, 7:95-99,1996.
31. Bakan, B., et al., "Fungal Growth and *Fusarium* Mycotoxin Content in Isogenic Traditional Maize and Genetically Modified Maize Grown in France and Spain," Journal of Agricultural & Food Chemistry, 50:728-731, 2002.
32. Masoero, F., et al., "Nutritive Value, Mycotoxin Contamination and in vitro Rumen Fermentation of Normal and Genetically Modified Corn (CRY1A(B)) Grown in Northern Italy," Maydica, 44:205-209, 1999.
33. USDA, Cooperative Economic Insect Report, APHIS, Vol. 25, N. 32, agosto 1975.
34. Europabio, Europabio's Biotechnology Information Kit: Module 10, Genetically Modified Maize, disponibile su http://www.europabio.org/pages/module_10.asp, 2002.
35. Magg T., et al., "Comparison of Bt Hybrids with Their Non-transgenic Counterparts and Commercial Varieties for Resistance to European Corn Borer and for Agronomic Traits, Plant Breeding, 120:397-403, 2001.
36. Manachini, B., e Lozzia G. C., "First Investigations into the Effects of Bt Corn Crop on Nematofauna," Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, aprile 2002.

37. Labatte, E. M., et al., "Field Evaluation of and Modeling the Impact of Three Control Methods on the Larval Dynamics of *Ostrinia Nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae)," Journal of Economic Entomology, 89:852-862, 1996.
38. Magg T., et al., "Relationship Between European Corn Borer Resistance and Concentration of Mycotoxins Produced by *Fusarium* Spp. in Grains of Transgenic Bt Maize Hybrids, Their Isogenic Counterparts, and Commercial Varieties," Plant Breeding, 121:146-154, 2002.
39. Zellner, M., "Control of European Corn Borer – What Possibilities Are There and What is to be Paid Attention to?," disponibile su http://www.stmlf.bayern.de/lbp/info/ps/maiszuensler_eng.html, 2001.
40. Brookes, G., The Farm Level Impact of Using Bt Maize in Spain, disponibile su http://www.europabio.org/upload/documents/gb_press_release/EuropaBio_btmaizeinspainreport_FI_NAL.pdf, 2002.
41. Manachini, B., Università di Milano, Comunicazione personale, febbraio 2003.
42. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 390, 96-97, 2002.
43. von der Heyde, Jurgen, "Biocontrolling the European Corn Borer in Western Europe," BASF Agricultural News, gennaio 1990.
44. Lozza, G. C., e Rigamonti I. E., "Behaviour of the European Corn Borer, *Ostrinia Nubilalis* Hb., on transgenic Corn," Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura, Vol. 28, N. 1, 51-69, 1996.
45. Bernd Hommel, Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Comunicazione personale, aprile 2003.
46. Degenhardt, Heinz, "Bt-Mais in Deutschland; Erfahrungen mit dem Prazisanbau von 1998 bis 2002," Mais, Vol. 2, 75-77, 2003.
47. Garcia-Olmedo, Francisco, "Transgenic Crops in Spain," in ed. Nicholas Kalaitzandonakes, The Economic and Environmental Impacts of Agbiotech, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002.
48. Naibo, Bernard, AGPM, Comunicazione personale, giugno 2003.