

## DIMETIL DISOLFURO: UN NUOVO FUMIGANTE PER LA GESTIONE DELLE AVVERSITÀ TELLURICHE

A. SANTORI<sup>1</sup>, N. JULIEN<sup>2</sup>, A. ARBIZZANI<sup>1</sup>, R. DE VRIES<sup>3</sup>, A. MYRTA<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Certis Europe B.V., Via Josèmaria Escrivà de Balaguer 6, 21047 Saronno (VA)  
<sup>2</sup>ARKEMA, 420 rue d'Estienne d'Orves, 92705 Colombes Cedex, Francia  
<sup>3</sup>Certis Europe B.V., Boulevard de la Woluwe, 60 - 1200 Brussels, Belgio  
[santori@certiseurope.com](mailto:santori@certiseurope.com)

### RIASSUNTO

Il contenimento dei livelli di infestazione dei parassiti tellurici è una prerogativa indispensabile nelle colture intensive per garantire standard produttivi e qualitativi elevati. Il dimetil disolfuro (DMDS) rappresenta una novità importante nel panorama europeo dei fumiganti che soffre da tempo l'assenza di soluzioni innovative. Il DMDS è un componente del ciclo biogenico dello zolfo, la cui presenza è largamente riscontrata in natura (matrici organiche, piante ed alimenti). La molecola si caratterizza per una specifica modalità d'azione a carico della respirazione mitocondriale degli organismi *target*, bloccando l'attività della citocromo *c* ossidasi. Questa peculiarità lo diversifica da tutti gli altri fumiganti del suolo attualmente in commercio. Le prove sperimentali condotte hanno evidenziato una spiccata capacità di controllo dei nematodi fitoparassiti e dei più importanti patogeni fungini tellurici. Il DMDS è stato brevettato come fumigante del suolo dalla società francese Arkema e Certis Europe ne è partner esclusivo per lo sviluppo, la registrazione e la distribuzione in ambito dell'Unione Europea. Il processo registrativo del DMDS è iniziato nel 2012 e riguarderà due formulazioni della sostanza attiva: Paladin EC<sup>®</sup>/Accolade<sup>®</sup> EC 94,1% (P/P), per applicazioni in coltura protetta mediante impianti di irrigazione a goccia, e Paladin<sup>®</sup>/Accolade<sup>®</sup> 99.1% (P/P) per applicazioni in pieno campo mediante sistema di lame-iniettori.

**Parole chiave:** disinfezione del suolo, patogeni fungini, nematodi fitoparassiti

### SUMMARY

#### DIMETHYL DISULFIDE: A NEW FUMIGANT FOR SUSTAINABLE SOIL PEST MANAGEMENT

Soil hygiene is a key pillar for successful crop production, particularly in high-value and intensive crops, to ensure high production and quality standards. Dimethyl disulfide (DMDS) represents an important new product in the European fumigant market, which has been suffering for a long time from the absence of innovative solutions. DMDS is a major component of the biogenic sulphur cycle and occurs naturally in plants, animals, environmental matrices, organic matter and in several foods. DMDS molecule has an innovative mode of action, different from other fumigants present on the market. This fumigant acts on mitochondrial respiration by blocking the cytochrome *c* oxidase. This feature makes it different from the other available fumigants. The experimental trials have demonstrated high control against all plant parasitic nematodes and against the major soil plant pathogens. DMDS used as soil fumigant has been patented by Arkema, and Certis Europe is the exclusive partner for the development, registration and distribution of DMDS formulations across the EU. The registration process started in 2012 and will cover two formulations: Paladin<sup>®</sup> EC/Accolade<sup>®</sup> EC 94.1 % (w/w), for drip application in protected crops and Paladin<sup>®</sup>/Accolade<sup>®</sup> 99.1 % (w/w) for shank application in field crop.

**Keywords:** soil disinfection, phytoparasitic nematodes, fungal pathogens

## INTRODUZIONE

La disinfezione del suolo costituisce un elemento indispensabile per il conseguimento di elevati standard produttivi e qualitativi nelle coltivazioni intensive. Nell'ambito della fumigazione sono state attuate limitazioni d'uso o eliminazioni dal commercio dei fumiganti storici e tale aspetto, in assenza cronica di nuove soluzioni, ha determinato una marcata sofferenza del comparto agricolo nella gestione delle problematiche telluriche. Il dimetil disolfuro (DMDS) è stato brevettato come fumigante del suolo dalla società francese Arkema e rappresenta una novità di assoluto rilievo nel contesto europeo della fumigazione del terreno. Il DMDS è uno dei maggiori componenti del ciclo biogenico dello zolfo e la sua presenza è largamente riscontrata in natura, per effetto di emissioni naturali e derivanti da attività antropiche e per la presenza in piante, animali e alimenti di varia origine (Auger e Charles, 2003; Auger e Arnault, 2005).

Rilevanti quantità di DMDS vengono emesse durante eruzioni vulcaniche o direttamente dalle superfici di oceani, altri specchi d'acqua quali paludi o risaie, per effetto di fenomeni fermentativi naturali. La produzione di questo composto è rilevata durante il processo di degradazione della sostanza organica, riguardante le proteine solforate ed altri componenti della biomassa; la degradazione delle stesse proteine comporta la formazione di DMDS durante il disfacimento di piante appartenenti alla famiglia delle *Alliaceae* e *Brassicaceae* e se ne riporta la naturale presenza, in quantitativi significativi, in diverse piante acquatiche e terrestri (es. 1,7 mg/kg nel porro, 2,5 mg/kg nell'aglio e 0,25 mg/kg nel ravanella). La presenza di DMDS è accertata in organismi procarioti, batteri, funghi inferiori ed alghe, compare in prodotti di origine animale ed umana (latte ed urine) e viene emesso durante il processo di respirazione umana.

Parte di DMDS è dovuta ad attività antropiche, in particolare collegate allo smaltimento dei rifiuti e al compostaggio (degradazione organica e processi fermentativi), alla produzione industriale di prodotti alimentari che comportano la trasformazione della cisteina in composti solforati. Inoltre, alimenti di largo consumo quali caffè, formaggi, cacao, carni arrostate e bevande alcoliche fermentate si caratterizzano per la presenza di DMDS e determinano una naturale esposizione del consumatore nei confronti di questa molecola. In tale contesto si inserisce anche la registrazione europea di DMDS nella lista degli agenti aromatizzanti degli alimenti (JEFCA n°564, FL n°12-026).

Prove residui condotte in Europa, su carota, fragola e pomodoro, evidenziano che l'uso di DMDS come fumigante del terreno, alla dose massima ammessa, non comporta la presenza di residui misurabili della molecola superiori a 0,01 mg/kg. Ulteriori prove residuali, condotte negli Stati Uniti, indicano che l'analogo uso di DMDS su colture appartenenti al genere *Alliaceae* e *Brassicaceae*, nelle quali se ne riscontra una naturale presenza, non incrementa i residui della molecola oltre i livelli naturalmente rilevati. Conseguentemente, negli usi indicati non è attesa nessuna esposizione del consumatore ai residui di DMDS.

Certis Europe è partner esclusivo di Arkema per lo sviluppo, la registrazione e la distribuzione del DMDS in ambito dell'Unione Europea. Il processo registrativo del DMDS è iniziato nel 2012 e riguarderà due formulazioni della sostanza attiva: Paladin EC®/Accolade® EC 94,1% (P/P), per applicazioni in coltura protetta mediante impianto di irrigazione a goccia, e Paladin®/Accolade® 99,1% (P/P) per applicazioni in pieno campo mediante sistema di lame-iniettori. Per entrambe le formulazioni si prevede l'immediata copertura del terreno trattato con film plastico "barriera", in grado di limitare la dispersione del gas nell'ambiente e di incrementare l'efficacia del prodotto, da mantenere sul terreno trattato per un periodo di 2-4 settimane in funzione della temperatura del terreno.

In questo lavoro saranno esposti dati relativi alle caratteristiche chimico-fisiche, tossicologiche, eco-tossicologiche e biologiche di DMDS e all'attività biologica della molecola rilevata in alcune prove sperimentali su coltura protetta di pomodoro, nei confronti

di infezioni di *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*, e di pomodoro e melone, per il controllo di infestazioni naturali del nematode galligeno *Meloidogyne incognita*.

### Caratteristiche chimiche e fisiche

Nome comune (CA)	Dimetil disolfuro (sinonimo DMDS)
Numero di codice della s.a.	CAS: 624-92-0
Nome chimico (IUPAC)	Methyldisulfanylmethane, (Methyldithio)methane
Formula empirica	$C_2H_6S_2$
Formula di struttura	$H_3C-S-S-CH_3$
Peso molecolare	94,199
Aspetto	liquido giallo
Odore	aglio
Pressione di vapore	38,6 hPa (25°C)
Punto di ebollizione	109,2°C (1013 hPa)
Punto di fusione	-84,7°C
Densità	1,062 g/mL (20°C)
Flash point	15°C (1013 hPa)
Solubilità in acqua (20°C)	2700 mg/L (20°C)
Coefficiente di ripartizione n-ottanolo/acqua	$\log K_{ow} = 1,91$ (20 °C)

### Caratteristiche tossicologiche

Tossicità acuta orale	Ratto	DL <sub>50</sub> : 385 mg/kg
Tossicità acuta dermale	Ratto	DL <sub>50</sub> : > 5.000mg/kg
Tossicità acuta inalazione	Ratto	LC <sub>50</sub> : > 5,05 mg/l aria (4 ore)
Irritazione oculare	Coniglio	Irritante
Irritazione dermale	Coniglio	Leggermente irritante
Sensibilizzazione dermale		Leggermente sensibilizzante
Tossicità subcronica		NOAEC: 5 ppm (effetto locale); 20 ppm (effetti sistemici)
Tossicità cronica/teratogenicità		Non rilevante
Mutagenicità		Non genotossico <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>
Neurotossicità		Nessun effetto neurotossico rilevato fino al limite di 20 ppm
Effetti sullo sviluppo		Nessun effetto sulla riproduzione e sullo sviluppo rilevato fino al limite di 20 ppm

### Caratteristiche eco tossicologiche

Uccelli	Quaglia ( <i>Coturnix coturnix</i> )	LC <sub>50</sub> : 478 ppm (inalazione)
	Colino della Virginia ( <i>Colinus virginianus</i> )	DT <sub>50</sub> : 342 mg/kg (orale)
Organismi non target	Ape ( <i>Apis mellifera</i> )	LD <sub>50</sub> : >100 µg/ape
	Lombrichi	LC <sub>50</sub> : 31,8 mg/kg suolo(peso secco)

	Acaro predatore ( <i>Hypoaspis aculeifer</i> )	LC <sub>50</sub> : 207 mg/kg suolo(peso secco)
	Collemboli ( <i>Folsomia candida</i> )	LC <sub>50</sub> : 316 mg/kg suolo(peso secco)
	Coleotteri carabidi ( <i>Poecilus cupreus</i> )	LC <sub>50</sub> : > 1000 mg/kg suolo(peso secco)
Organismi acquatici	Trota iridea ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	LC <sub>50</sub> : 0,97 mg/L
	Pesce zebra ( <i>Danio rerio</i> )	LC <sub>50</sub> : 7,5 mg/L
	Dafnia ( <i>Daphnia magna</i> )	CE <sub>50</sub> : 1,82 mg/L NOEC: 0,01mg/L
	Lenticchia d'acqua ( <i>Lemna gibba</i> )	EC <sub>50</sub> : 31 mg/L
	Cianobatteri ( <i>Anabaena flos-aquae</i> )	NOAEC: 1,9 mg/L

### Caratteristiche biologiche

La molecola è in grado di svolgere un'efficace azione di contenimento di *target* diversi (Arnault *et al.*, 2013; Basallote-Ureba *et al.*, 2010, Coosemans, 2005; Heller *et al.*, 2010, Fritsch, 2005; Garibaldi *et al.*, 2008; Charles *et al.*, 2010), agendo a livello della respirazione mitocondriale; in particolare, il DMDS è in grado di inibire l'attività della citocromo *c* ossidasi, implicata nella catena di trasporto terminale degli elettroni, interrompendo il processo di fosforilazione ossidativa e determinando una caduta immediata di produzione di ATP. Il meccanismo d'azione di DMDS è diverso dagli altri prodotti fumiganti in commercio e, in relazione ad una sola applicazione di prodotto/anno, limita il rischio di riduzione di efficacia a seguito della biodegradazione.

La molecola si caratterizza per una spiccata attività nematocida in grado di garantire il controllo dei nematodi fitoparassiti particolarmente dannosi nella UE (*Meloidogyne* spp., *Heterodera* spp., *Globodera* spp., *Pratylenchus* spp., etc.). La marcata efficacia di DMDS consente un pieno controllo dei nematodi fitoparassiti ai dosaggi di 300-400 kg di sostanza attiva per ha.

Inoltre, il DMDS si è dimostrato in grado di controllare efficacemente anche i più importanti funghi fitopatogeni tellurici, tra i quali quelli appartenenti al genere *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Sclerotinia* spp., *Rhizoctonia* spp., *Verticillium* spp., *Pythium* spp., etc.. Per il controllo dei principali patogeni fungini è opportuno intervenire con un dosaggio di 600 kg/ha di sostanza attiva. Ai dosaggi superiori il DMDS ha manifestato anche un buon controllo di diverse infestanti annuali e perennanti, tra le quali si segnalano *Amaranthus* spp., *Chenopodium album*, *Matricaria* spp., *Portulaca oleracea*, *Poa annua* e *Cyperus* spp.

## MATERIALI E METODI

### Prove di efficacia nei confronti di nematodi galligeni

Si riportano i risultati cumulativi di 4 prove di efficacia, condotte in Sud Italia su pomodoro (2 prove) e melone (2 prove) in coltura protetta, indirizzate al controllo del nematode galligeno *Meloidogyne incognita*.

Tutte le prove sono state condotte su terreni sabbiosi ed allestite adottando lo schema dei blocchi randomizzati con 5 ripetizioni per tesi, in accordo con le Buone Pratiche Sperimentali.

Il DMDS, nella formulazione emulsione concentrata (94,1%), è stato applicato a due differenti dosaggi (300 e 400 kg/ha s.a.) e posto a confronto con un testimone non trattato e lo standard 1,3 dicloropropene (Condorsis EC, 94% s.a.) impiegato alla dose di 140 L/ha (159

kg/ha s.a., il dosaggio impiegato fa riferimento agli usi consentiti in deroga per situazione di emergenza fitosanitaria).

Entrambi i fumiganti sono stati distribuiti nel terreno attraverso apposito impianto di irrigazione a goccia, avendo applicato preventivamente sul terreno il film plastico “barriera” VIF. La copertura del terreno è stata mantenuta per un periodo di 14 giorni, con successivo arieggiamento circa 7 giorni prima del trapianto.

Al termine delle prove è stata rilevata la gravità di attacco radicale del nematode, valutando lo sviluppo di galle radicali secondo la scala Lamberti con valori 0-5 (0: assenza di galle; 5: apparato radicale completamente deformato dallo sviluppo di numerose e voluminose galle) (Lamberti, 1971). Inoltre è stato verificato l’incremento produttivo (%) delle tesi trattate rispetto al testimone non trattato.

Tutti i dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza (Anova) e le medie sono state confrontate con il test di Student Newman-Keuls.

### **Prove di efficacia nei confronti di patogeni fungini tellurici**

Per brevità vengono riportati i risultati sintetici di 4 prove di efficacia condotte su pomodoro in coltura protetta, cultivar Cuore di bue, nei confronti di *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici*. Le prove sono state condotte in Piemonte, adottando lo schema dei blocchi randomizzati con 4 ripetizioni per tesi, in accordo con le Buone Pratiche Sperimentali. Le prove sono state impiantate su terreno sabbioso-argilloso con elevato grado di infezione di entrambi i patogeni.

Il DMDS, nella formulazione emulsione concentrata, è stato applicato a differenti dosaggi (400 e 600 kg/ha di s.a.) e posto a confronto con un testimone non trattato e uno standard fumigante di riferimento, costituito dalla miscela estemporanea di 1,3 dicloropropene (94% s.a.) e cloropicrina (94% s.a.) applicati alla dose di 188 kg/ha s.a. ciascuno. Tutti i prodotti fumiganti sono stati applicati al terreno mediante impianto di irrigazione a goccia, immediatamente coperti con film plastico “barriera” di tipo VIF per un periodo di 14-21 giorni con successivo arieggiamento del terreno circa 7 giorni prima del trapianto. Al termine della prova è stata rilevata la percentuale di piante infette o morte in seguito ad attacco di fusariosi.

Tutti i dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza (Anova) e le medie sono state confrontate con il test di Student Newman-Keuls.

## **RISULTATI E DISCUSSIONE**

### **Prove di efficacia nei confronti di nematodi galligeni**

I risultati ottenuti nelle due prove pomodoro (Tabella 1) hanno mostrato un attacco radicale di *M. incognita* relativamente grave nelle tesi testimone, con valori di indice galligeno di 3,5 in base alla scala 0-5.

Tutti i trattamenti hanno ridotto significativamente lo sviluppo delle galle radicali, determinando valori di indice galligeno compresi tra 0,7-0,9. In particolare, il dosaggio più elevato di DMDS (400 kg/ha s.a.) ha determinato il più basso valore di indice galligeno associato al più elevato incremento produttivo rispetto al testimone (+ 147,6%); tale incremento è risultato leggermente superiore a quanto determinato dallo standard 1,3D (+146,6%) e dal dosaggio minore di DMDS (+125,3%).

Le due prove condotte su melone hanno mostrato una gravità di infestazione radicale sostanzialmente simile a quanto verificato nelle prove pomodoro, con indice galligeno di 3,2 in base ad una scala 0-5 (Tabella 2). Inoltre, i dati hanno confermato la capacità di DMDS e dello standard 1,3D di contenere lo sviluppo delle galle radicali; entrambi i dosaggi di DMDS hanno determinato i più bassi valori di indice galligeno significativamente inferiori alla tesi

trattata con lo standard 1,3D (1,4). La gravità di infestazione radicale ha comportato l'azzeramento della produzione commerciale nelle tesi testimone, evidenziando una maggiore sensibilità del melone rispetto al pomodoro verso gli attacchi di nematodi galligeni nella fase di accrescimento dei frutti. L'efficacia dei trattamenti nel contenimento dello sviluppo delle galle radicali si è tradotta in un macroscopico incremento di produzione rispetto al testimone, compreso tra +713% del dosaggio inferiore di DMDS e + 732% del dosaggio superiore.

Tabella 1. Effetto dei trattamenti (indice galligeno) sull'infestazione delle radici di pomodoro causata da *M. incognita* e incremento di produzione rispetto al testimone (%), rilevato al termine della prova

Tesi	Dose (kg/ha s.a.)	Indice galligeno (*)	Incremento di produzione commerciale rispetto al testimone (%)
Testimone	-	3,5 a	
DMDS + VIF	300	0,8 b	+125,3
DMDS + VIF	400	0,7 b	+ 147,6
1,3 Dicloropropene + VIF	159	0,9 b	+146,6

I risultati sono la media di 2 prove sperimentali; \*: indice galligeno su scala Lambert 0-5

Sulla stessa colonna, le medie aventi in comune una stessa lettera non differiscono significativamente per P=0,05 in accordo con il test di Student Newman-Keuls.

Tabella 2. Effetto dei trattamenti (indice galligeno) sull'infestazione delle radici di melone causata da *M. incognita* e incremento di produzione rispetto al testimone (%), rilevato al termine della prova

Tesi	Dose (kg/ha s.a.)	Indice galligeno (*)	Incremento di produzione commerciale rispetto al testimone (%)
Testimone	-	3,2 a	
DMDS + VIF	300	0,8 c	+713
DMDS + VIF	400	0,6 c	+ 732
1,3 Dicloropropene + VIF	159	1,4 b	+716

I risultati sono la media di 2 prove sperimentali; \*: indice galligeno su scala Lambert 0-5.

Sulla stessa colonna, le medie aventi in comune una stessa lettera non differiscono significativamente per P=0,05 in accordo con il test di Student Newman-Keuls.

### Prove di efficacia nei confronti di patogeni fungini tellurici

I dati sintetici ottenuti dalle 4 prove di efficacia nei confronti dell'infezione congiunta di *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* (Tabella 3) mostrano un valore medio d'incidenza della malattia nella tesi testimone piuttosto elevato (35% di piante infette o morte). Tutti i trattamenti hanno ridotto significativamente l'incidenza della malattia rispetto al testimone. Il DMDS applicato alla dose di 600 kg/ha di s.a. ha evidenziato una

testimone il numero di piante colpite (12,2%); tale valore è risultato, inoltre, significativamente inferiore ai valori osservati nelle tesi trattate con la miscela fumigante di riferimento (18,6%) e con DMDS a dosaggio inferiore (23,9%).

Tabella 3. Effetto dei trattamenti (percentuale di piante infette e morte) sull'infezione causata da *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *F. oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* su pomodoro, rilevato al termine delle prove

Tesi	Dose (kg/ha s.a.)	Piante infette e morte (%)
Testimone	-	35,0 a
DMDS (VIF)	400	23,9 b
DMDS (VIF)	600	12,2 c
1.3D + Cloropicrina (VIF)	188 +188	18,6 b

Nota: i risultati sono la media di 4 prove sperimentali.

Sulla stessa colonna, le medie aventi in comune una stessa lettera non differiscono significativamente per  $P=0,05$  in accordo con il test di Student Newman-Keuls.

### CONCLUSIONI

Il DMDS è un nuova molecola con un ampio spettro d'azione nei confronti delle aversità telluriche. La molecola mostra un innovativo meccanismo d'azione, differente da quello degli altri fumiganti in commercio, che agisce a livello della respirazione mitocondriale, inibendo l'attività della citocromo *c* ossidasi e determinando un crollo della produzione di ATP nelle cellule bersaglio.

La naturale presenza riscontrata nell'ambiente, il favorevole profilo tossicologico ed ecotossicologico, l'assenza di residui nel terreno e nelle colture e l'efficacia verificata lo rendono una novità di assoluto rilievo nel panorama della fumigazione del terreno.

L'attività di sperimentazione della molecola ha avuto inizio nel 2002 e ha permesso di validarne l'attività biologica. Il DMDS ha confermato, in oltre 250 prove condotte, una spiccata attività nematocida, anche a dosaggi ridotti, ed un'ottima attività fungicida ed erbicida. I dati sperimentali di 8 prove, condotte in Italia e riportati nel lavoro, confermano l'efficacia evidenziata.

Le caratteristiche biologiche e il profilo tecnico rendono il DMDS elemento chiave nella definizione di strategie di difesa integrata, inserite in ambito di una moderna agricoltura.

Certis Europe è partner esclusivo di Arkema per lo sviluppo, la registrazione e la commercializzazione di DMDS in Europa. Il processo registrativo di DMDS è iniziato nel 2012 e riguarderà due formulazioni della sostanza attiva: Paladin EC/Accolade® EC 94,1% (P/P), per applicazioni in coltura protetta mediante impianti di irrigazione a goccia, e Paladin/Accolade 99,1% (P/P) per applicazioni in pieno campo mediante sistema di lame-iniettori.

### LAVORI CITATI

- Arnault, I., Fleurance, C., Vey, F., Du Fretay, G. and Auger, J. 2013. Use of Alliaceae residues to control soil-borne pathogens. *Ind. Crop Prod.* 49, 265-272.
- Auger J., Charles P., 2003. Biogenic emission, biological origin, and mode of action of DMDS, a natural ubiquitous fumigant MBAO.

- Auger J., Arnault I., 2005. Les disulfures, pesticides naturels : le cas du DMDS, disulphure de diméthyle. *Proceedings of the AFPP Septième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture (France)*.
- Basallote-Ureba, M.J., Vela-Delgado, M.D., Macías, F.J., López-Herrera, C.J. and Melero-Vara, J.M. 2010. Soil Chemical treatments for the control of Fusarium wilt of carnation in Spain. *Acta Hort.* 883, 175-180
- Charles P., Heller J.J., 2010. Efficacy of DMDS as soil treatment against *Meloidogyne chitwoodi* in the Netherlands. *Acta Horticulturae*, 883:195-198.
- Coosemans J., 2005. Dimethyl disulphide (DMDS): a potential novel nematicide and soil disinfectant. *Acta Horticulturae*, 698, 57-63.
- Lamberti F., 1971. Primi risultati di prove di lotta nematocida su tabacchi levantini in provincia di Lecce. *Il Tabacco*, 733:8-10.
- Fritsch J., 2005. Dimethyl disulfide as a new chemical potential alternative to methyl bromide in soil disinfestations in France. *Acta Horticulturae*, 698:71-76.
- Heller, J.J., Korkmaz, E. and Charles, P. 2010. Evaluation of the efficacy of DMDS using drip application for the control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Turkey. *Acta Hort.*, 883:171-174.
- Garibaldi A., Minuto A., Gullino M.L., 2008. Disolfuro di metile: Valutazione di vecchi e nuovi fumiganti nei confronti della verticilliosi e di nematodi galligeni della melanzana. *Rivista Scientifica di Patologia Vegetale, Entomologia Agraria e Diserbo delle Colture*, Italy. Agosto 2008.