



UNIVERSITÀ DI PISA
centro interdipartimentale
di ricerche agro-ambientali
Enrico Avanzi

I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa

2

ATTI DEL CONVEGNO

VAPORE D'ACQUA E SOSTANZE A REAZIONE ESOTERMICA
PER LA GEODISINFEZIONE A BASSO IMPATTO AMBIENTALE:

una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile



Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali
"E. Avanzi" - San Piero a Grado (Pisa)

11 maggio 2007



MIUR
Ministero dell'Istruzione
dell'Università e della Ricerca



Università di Pisa





UNIVERSITÀ DI PISA
centro interdipartimentale
di ricerche agro-ambientali
Enrico Avanzi

I quaderni del Centro Enrico Avanzi dell'Università di Pisa

2

VAPORE D'ACQUA E SOSTANZE A REAZIONE ESOTERMICA
PER LA GEODISINFEZIONE A BASSO IMPATTO AMBIENTALE:
una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile

a cura di **Andrea Peruzzi**

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCHE AGRO-AMBIENTALI "E. AVANZI" - SAN PIERO A GRADO (PISA)

11 MAGGIO 2007

Ringraziamenti:

Alle ricerche oggetto della presente pubblicazione, oltre agli autori, hanno partecipato attivamente, collaborando alla realizzazione delle attrezzature innovative, occupandosi della gestione in campo ed in laboratorio delle prove sperimentali:

Roberta Del Sarto, Calogero Plaia

Sezione Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola del DAGA dell'Università di Pisa

**Silvano Toniolo, Luciano Pulga, Alessandro Pannocchia, Paolo Gronchi,
Claudio Marchi, Giovanni Melai**

Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa

Gli autori desiderano inoltre ringraziare per la fattiva collaborazione il Dott. **Andrea Magni**, il Dott. **Alberto Gritti** ed il Signor **Vanni Savoia** della ditta Celli Spa, nonché le numerosissime aziende orticole e floricole presso le quali hanno avuto luogo le prove sperimentali e dimostrative

Le ricerche sono state finanziate da:



Questa iniziativa è stata realizzata con il patrocinio ed il contributo finanziario di:



Impaginazione e grafica di ULIVA FOA'

INDICE

Presentazione di Giacomo Lorenzini , <i>Direttore del CIRAA "E.Avanzi", Università di Pisa</i>	6
Prefazione di Alfredo Celli , <i>Presidente della ditta Celli Spa (Forlì)</i>	8
Andrea Peruzzi , <i>Coordinatore nazionale dei PRIN sulla disinfezione del terreno,</i> <i>Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa</i> L'attività di ricerca svolta sul sistema bioflash nel periodo 1999-2006	11
Andrea Peruzzi, Michele Raffaelli, Marco Fontanelli, Christian Frascioni , <i>Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa</i> Marco Ginanni, Leonardo Lulli , <i>CIRAA "E.Avanzi", Università di Pisa</i> Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica	31
Enrico Triolo, Alberto Materazzi, Andrea Luvisi , <i>Sezione Patologia Vegetale del DCDSL, Università di Pisa</i> Esotermia e vapor d'acqua per la protezione delle colture: esperienze su alcuni patogeni fungini e virali	49
Francesco Paolo D'Errico, Rosa Giacometti, Giuseppe Russo, Ornella Russo <i>DEZA "F. Silvestri", Università Federico II di Napoli</i> "Il vapore e sostanze a reazione esotermica per la disinfezione dei terreni: osservazioni preliminari sulle prospettive future"	57
Andrea Peruzzi, Michele Raffaelli, Marco Fontanelli, Christian Frascioni , <i>Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa</i> Marco Ginanni, Leonardo Lulli , <i>CIRAA "E.Avanzi", Università di Pisa</i> Paolo Bàrberi - <i>SSSUP "Sant'Anna" di Pisa</i> Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno: risultati ottenuti su infestazione artificiale di <i>Brassica juncea</i> L. (Czern.) e sulla flora naturale	66
Antonio Gelsomino, Beatrix Petrovičová <i>DBMAA, Università Mediterranea di Reggio Calabria</i> Francesco Zaffina , <i>CRA-ISSDS, Catanzaro Lido (CZ)</i> Risposte chimiche e microbiche in un suolo di serra trattato con vapore e una sostanza a reazione esotermica (CaO)	87
Romano Tesi, Anna Lenzi, Ada Baldi , <i>DSAGTAF, Università degli Studi di Firenze</i> Antonio Gelsomino , <i>DBMAA, Università Mediterranea di Reggio Calabria</i> Andrea Peruzzi , <i>Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa</i> Effetto della disinfezione del terreno con vapore e sostanze esotermiche sulla resa e la qualità di Ravanello (<i>Raphanus sativum</i> L.) e Rucola (<i>Eruca sativa</i> Mill.)	106

PRESENTAZIONE

È con vivo piacere che mi accingo a scrivere alcune brevi parole di presentazione del volume che riporta le relazioni presentate al Convegno sull'impiego del vapore d'acqua in combinazione con sostanze a reazione esotermica per i trattamenti di parziale sterilizzazione dei suoli agrari, che si è svolto presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-ambientali "Enrico Avanzi" (CIRAA) dell'Università di Pisa.

I motivi di soddisfazione sono in particolare dovuti al fatto che vede la luce il secondo "Quaderno" del CIRAA, a pochi mesi di distanza dalla pubblicazione del primo, che ha illustrato la storia, l'attualità e qualche idea progettuale del Centro stesso. Il poter dare continuità all'iniziativa, considerando che sono in preparazione altri tre volumi (rispettivamente relativi al convegno sulle applicazioni GIS in ambito territoriale nell'area pisana, alla fitotossicità dell'ozono e alla ristampa anastatica della tesi di laurea di Enrico Avanzi) è elemento di particolare importanza, considerando anche il periodo certamente non facile per il reperimento di risorse da investire in attività editoriali.

Ma a questo si aggiungono altri elementi di interesse, legati al tema oggetto del presente volume, che coniuga le problematiche ambientali con quelle della produzione di alimenti di qualità, a costi ragionevoli. Infatti, si tratta di mettere a punto adeguati protocolli di intervento nel campo della fitoiatria senza compromettere lo stato di salute dell'ambiente, in particolare per quanto riguarda, in questo caso, la protezione della preziosa "fascia di ozono" stratosferica, e - nello stesso tempo - ridurre l'impatto degli interventi di difesa su soggetti "non bersaglio", quali quelli rappresentati dall'operatore, dal consumatore e dai vari comparti dell'ecosistema (terreno, acque, organismi utili, ecc.). Un tema, questo, nel quale sono coinvolti numerosi settori disciplinari, che spaziano dalla patologia vegetale alla meccanica agraria, dall'ecologia all'economia, dalla entomologia alla tossicologia, e via dicendo. Ed è a questo punto che mi corre l'obbligo di segnalare che i progetti di ricerca di cui tratta il volume hanno visto la nascita e si sono sviluppati in buona parte presso il CIRAA, una realtà unica in campo europeo, vera "palestra a cielo aperto", ove è possibile realizzare a scala reale esperienze interdisciplinari anche complesse. Infatti, il CIRAA è allo stesso tempo azienda agraria (1700 ha, con produzioni erbacee, colture industriali e da energia, allevamenti bovini da carne e da latte, boschi da frutto, riserve naturali), centro di ricerca (impegnato in una miriade di progetti, dall'agricoltura sociale e multifunzionale alle colture biologiche, dall'ingegneria naturalistica alla conservazione della fertilità dei suoli, con afferenze da ben 50 settori scientifico-disciplinari provenienti da otto facoltà dell'Ateneo pisano), e polo didattico, non solo universitario. Pertanto, i nostri studenti hanno l'opportunità

di “toccare con mano” realtà operative rappresentative di intere filiere produttive, e non sono pochi coloro che svolgono attività di *stage* e di tesi di laurea e di dottorato presso il CIRAA.

Un altro argomento che sta particolarmente a cuore è il rapporto con i portatori di interesse, autentico punto di riferimento e di stimolo per il CIRAA: le esperienze qui descritte derivano da una intima collaborazione tra soggetti privati (nella veste sia di utilizzatori finali che di attori dell'innovazione tecnologica) e pubblici e quindi mi piace concludere sottolineando come nel progetto in questione si sia data piena attuazione alle missioni del CIRAA (*sapere, saper fare, far conoscere*), in un *mix* coordinato di attività scientifiche, didattiche, operative e divulgative.

Infine, un caloroso ringraziamento al Prof. Andrea Peruzzi, ispiratore e animatore delle ricerche sui mezzi di disinfezione del suolo alternativi al bromuro di metile ed ai Suoi collaboratori, agli Enti patrocinatori ed agli *sponsor* della giornata di studio.

Prof. Giacomo Lorenzini

Direttore Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-ambientali
“Enrico Avanzi” Università di Pisa

PREFAZIONE

Alfredo Celli, Fondatore e Presidente della ditta Celli Spa di Forlì

La Ditta Celli ha iniziato l'attività nel 1955 con la produzione di zappatrici rotative da applicare alle trattrici agricole.

È stata questa per cinquanta anni la produzione, sempre aggiornata secondo le richieste del mercato ed ora la Ditta occupa uno dei primi posti nel settore. Infatti oltre ad una presenza significativa nel mercato interno, opera molto bene anche all'estero (in Olanda, Spagna, Portogallo, Grecia, Australia, Nuova Zelanda, Giappone e specialmente in Korea del Sud con una filiale).

Alla fine degli anni novanta, ci fu una grossa crisi in Estremo Oriente con conseguente caduta del mercato. Si poteva benissimo ridurre l'attività e aspettare tempi migliori.

Invece, coscienti che una azienda per vivere e crescere ha bisogno di fare proposte nuove, la Ditta Celli si è attivata per studiare e sperimentare nuove attrezzature agricole particolarmente mirate a rispettare l'ambiente e il consumatore, in alternativa ai prodotti chimici.

Negli ultimi venti anni si è imposto, in maniera massiccia, l'uso del bromuro di metile.

Questo fumigante si è rivelato però altamente tossico per tutti gli organismi acquatici e per l'uomo ed è ritenuto responsabile della riduzione dello strato di ozono. Inoltre, la presenza di residui di bromuro inorganico nei terreni e nelle piante coltivate ha creato anche problemi per la commercializzazione dei nostri prodotti agricoli verso alcuni Paesi, in particolare nel caso del Nord Europa.

Nel 1997 al IX Incontro di Montreal è stato stilato un protocollo per vietare l'utilizzo del bromuro di metile a partire dal 1° gennaio 2005.

Quali le alternative non chimiche?

Riscaldamento del terreno con vapore acqueo: il sistema, conosciuto da anni, non ha mai avuto successo per gli alti costi, per il rischio, scaldando il terreno oltre gli 80°C, di eliminare anche la flora attiva, ed inoltre per la poca praticità e per l'ingombro delle attrezzature.

Dal Giappone si avevano notizie di prove con acqua calda.

In Israele era in fase di sperimentazione un'attrezzatura per scaldare il terreno con aria calda.

La Ditta Celli ha iniziato nel 1997 studi e ricerche per verificare se ci fosse la possibilità, partendo dal vapore, di migliorare i risultati, ridurre i tempi ed i costi e rendere in particolare molto più pratiche ed affidabili le attrezzature.

E si è subito pensato alla proprietà di alcune sostanze (quali l'ossido di calce, l'idrossido di potassio, le zeoliti, etc.) di reagire in presenza di acqua producendo calore (reazione esotermica).

Il sistema chiamato in seguito "bioflash" si è subito rivelato molto adatto per un buon lavoro di disinfezione/disinfestazione e le nuove attrezzature, studiate e sviluppate negli anni, sono state molto apprezzate.

Nel 1998 è iniziata la collaborazione con il Centro “E. Avanzi” dell’Università di Pisa ed i risultati della sperimentazione sono stati subito molto significativi. I primi brevetti sono stati depositati in Italia nel 1997 ed estesi in tutti i Paesi interessati tra i quali è possibile ricordare il Canada, la Cina, etc. (Fig. 1).

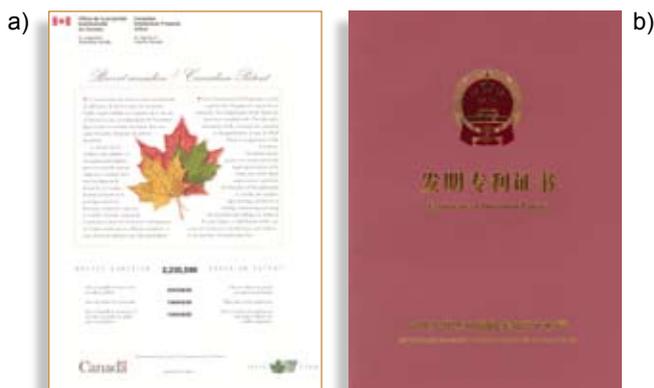


Fig. 1 Brevetti relativi al deposito del sistema “bioflash” in Canada (a) ed in Cina (b).

Le attrezzature “Ecostar” sono state premiate nel 1998 all’EIMA di Bologna e nel 1999 al SIMA di Parigi e ad AGRITECHNICA a Francoforte.

I lavori di ricerca e di sperimentazione sono continuati negli anni e le nuove attrezzature ed i risultati ottenuti sono stati presentati in vari Convegni (tenuti a Forlì nel 1999 e nel 2002, a Bologna presso l’EIMA nel 1999 e nel 2000, a Roma nel 2002, a Capri nel 2003, e a Ragusa nel 2004) e pubblicati in diverse riviste di settore.

I relatori di questo Convegno presenteranno gli importanti risultati ottenuti con il sistema bioflash per una disinfezione e disinfestazione del terreno nel massimo rispetto dell’ambiente e della salute e non mancheranno anche di sottolineare la convenienza economica del sistema.

Ci auguriamo che tutto ciò possa portare agli utilizzatori, da parte di vari Paesi (compreso ovviamente il nostro), un aiuto per l’acquisto di queste nuove attrezzature. Sarebbe il modo migliore per sostenere concretamente il settore orto - floro - vivaistico, punto di forza della produzione agricola italiana.



L'attività di ricerca svolta sul sistema bioflash nel periodo 1999-2006

Andrea Peruzzi

Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa, Coordinatore nazionale dei PRIN finanziati dal MIUR nei bienni 2002-2003 e 2005-2006

Introduzione

Nel settore orto-floricolo la tecnica di disinfezione e disinfestazione del terreno più impiegata per gli ottimi risultati fitoiatrici e produttivi e per la rilevante azione erbicida che consente di ottenere è sicuramente la fumigazione con bromuro di metile (Martino, 1997; Nederpel, 1979). Come è noto, in seguito al Protocollo di Montreal, questo fumigante dal gennaio 2005 non può più essere utilizzato nei Paesi ad economia sviluppata e dal 2015 non potrà più essere impiegato anche nei Paesi in via di sviluppo, in quanto ritenuto responsabile della deplezione dell'ozonofera (Ferrari *et al.*, 1998; Gullino, 1998; Gullino *et al.*, 1999; Katan, 1999; Triolo e D'Errico, 2002, Triolo *et al.*, 2003, 2004 e 2006).

L'impiego del bromuro di metile in realtà non è stato totalmente vietato in molte nazioni, tra le quali purtroppo è compresa anche l'Italia, che hanno fatto richiesta di deroghe internazionali, che si sono concretizzate nella concessione dei così detti "usi critici". Al riguardo, i quantitativi del fumigante utilizzati annualmente nel nostro Paese nel biennio 2005-2006, sono stati ancora piuttosto elevati (1200 t/anno in media), pur risultando inferiori dell'84% rispetto a quelli medi precedenti all'entrata in vigore del divieto (pari

a circa 7500 t/anno) (Nomisma, 2007). Parallelamente, è aumentato moltissimo l'impiego di altri fumiganti chimici, dotati di un'azione fitoiatrice ed erbicida decisamente inferiore rispetto a quella del bromuro di metile, il consumo totale dei quali nel 2006 ha interessato 33.000 ha (Nomisma, 2007). Tra i prodotti utilizzati (che risultano comunque tossici e nocivi per l'ambiente e per la salute, oltretutto molto costosi), molti sono a base di "vecchi" p.a. di cui da tempo è nota la ridotta efficacia (Nomisma, 2007; Siviero, 2007). A tale riguardo, in tempi recenti sono state anche avanzate proposte volte a richiedere una "moratoria" per il nostro Paese, motivata dall'assenza di alternative valide alle fumigazioni a base di bromuro di metile (Siviero, 2007). Tutto ciò appare inaccettabile, preoccupante ed anche in qualche modo disarmante, in quanto emblematico di una incapacità di prendere una posizione "politica" definita ed orientata a guidare le scelte dei floricoltori e degli orticoltori verso sistemi di disinfezione a basso impatto ambientale, di provata efficacia fitoiatrice, che vengono invece spesso presentati come troppo costosi e quindi economicamente non sostenibili (Siviero, 2007). Tutto ciò è evidentemente pretestuoso,

dato che i costi di gestione della disinfezione a basso impatto ambientale risultano spesso più bassi di quelli propri degli interventi chimici (Nomisma, 2007; Peruzzi *et al.*, 2002a, 2002b, 2003, 2004, 2005a, 2006).

D'altra parte, in seguito alle prime decisioni prese a livello internazionale, era emersa una grande urgenza di definire strategie alternative per la realizzazione della disinfezione e disinfestazione del terreno. In particolare, vista l'assenza di principi attivi chimici caratterizzati da un'azione biocida efficace come quella del bromuro di metile, una larga parte del mondo della ricerca ha rivolto la propria attenzione all'individuazione di sistemi fisici a basso impatto ambientale (Triolo e D'Errico, 2002; Triolo *et al.*, 2003, 2004 e 2006). Tra questi, la solarizzazione appare in grado di permettere di ottenere risultati fitoiatrici di tutto

rispetto, ma la sua diffusione risulta comunque fortemente penalizzata dalla dipendenza dalle fluttuazioni climatiche e stagionali e dalla necessità di un'interruzione prolungata nei normali cicli colturali (Katan, 1987; Materazzi *et al.*, 1987; Nederpel, 1979; Triolo *et al.*, 1991 e 2003).

In questa ottica, un nuovo sistema per la disinfezione e disinfestazione del suolo con vapore in associazione a sostanze a reazione esotermica, realizzato mediante specifiche macchine operatrici è stato sviluppato presso la Sezione Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola (MAMA) del DAGA dell'Università di Pisa in collaborazione con la ditta Celli S.p.A. di Forlì (Peruzzi *et al.*, 2000, 2002a, 2002b, 2003, 2004, 2005a, 2006; Raffaelli *et al.*, 2002). A tale riguardo, molti esperimenti sulla messa a punto del sistema e delle macchine operatrici sono stati condotti presso il

Fig.1 Centro "E. Avanzi", anno 2000. Rilevante contenimento del "marciume del colletto" su lattuga: (a) sistema bio-flasb; (b) testimone non trattato.



Fig. 2 Azienda "Stella" di Marina di Grosseto (GR), anno 1999. Apprezzabile riduzione degli effetti di nematodi galligeni su zucchino ottenuta utilizzando il sistema bioflash.



Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" dell'Università di Pisa nel periodo 1999-2006. In particolare, nel biennio 2002-2003, e nel biennio 2005-2006 il MIUR ha finanziato direttamente l'attività di ricerca, presentata nei progetti dal titolo "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la disinfezione del terreno a basso impatto ambientale: indagini tecniche e biologiche" e "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile", entrambi coordinati a livello nazionale dal Prof. Andrea Peruzzi. I risultati di queste ricerche sono stati decisamente positivi e hanno evidenziato ottime prospettive per un futuro impiego del sistema di disinfezione oggetto di studio in alternativa alle fumigazioni con bromuro di metile.

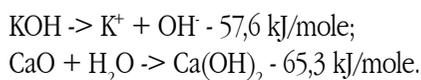
In particolare, questa tecnica innovativa è stata sperimentata a partire dal 1999 in diverse condizioni ambientali, operative e produttive (sia in serra e tunnel che in pieno campo) e su differenti problematiche fitoiatriche. I risultati relativi al controllo, sia di patologie fungine e virali (Fig. 1), sia di nematodi fitoparassiti (Fig. 2), sia di semi di piante infestanti microterme e macroterme (Fig. 3) sono stati decisamente positivi, evidenziando una significativa azione disinfettante e disinfestante del sistema (Bàrberi e Moonen, 2002; Bàrberi et al, 2002; Curto *et al.*, 2002; D'Erri-rico *et al.*, 2002; Moonen *et al.*, 2002; Peruzzi et al, 2000, 2004, 2005b e 2007; Stringari e Triolo, 2002; Triolo *et al.*, 2003, 2004 e 2006). Inoltre, la sperimentazione effettuata ha permesso di verificare i positivi effetti del sistema innovativo sulla produttività di alcune colture orticole e l'assenza di alterazioni negative e permanenti sulle caratte-

ristiche chimiche e microbiologiche del terreno (Gelsomino *et al.*, 2002; Mazzoncini *et al.*, 2002; Lenzi *et al.*, 2002 ; Peruzzi *et al.*, 2000; Tesi *et al.*, 2007). Relativamente a quest'ultimo campo di indagine, i risultati hanno evidenziato come il sistema non produca nel suolo un effetto eradicante, ossia, il così detto "vuoto biologico" (Gelsomino *et al.*, 2002; Tesi *et al.*, 2007).

Il sistema bioflash

Questo sistema rappresenta una valida soluzione per la disinfezione e disinfestazione del terreno e viene attuato mediante l'adozione di macchine semoventi o trainate capaci di realizzare un trattamento con vapore, ottimizzandone l'efficienza e riducendone i consumi energetici ed i costi. Il principale aspetto innovativo del sistema

bioflash (il cui schema di applicazione è riportato nella figura 4) riguarda la distribuzione e l'incorporazione nel terreno di sostanze, dotate di ridotto impatto ambientale e compatibili con le coltivazioni successive, in grado di reagire esotermicamente con il vapore (es. KOH e CaO) rilasciando una quantità aggiuntiva di energia termica:



La reazione esotermica ha diversi effetti positivi nel rendere efficace la disinfezione e disinfestazione del terreno in quanto consente di raggiungere temperature più elevate rispetto all'impiego del solo vapore, prolunga la durata del riscaldamento ed ha un effetto diretto su parassiti e semi

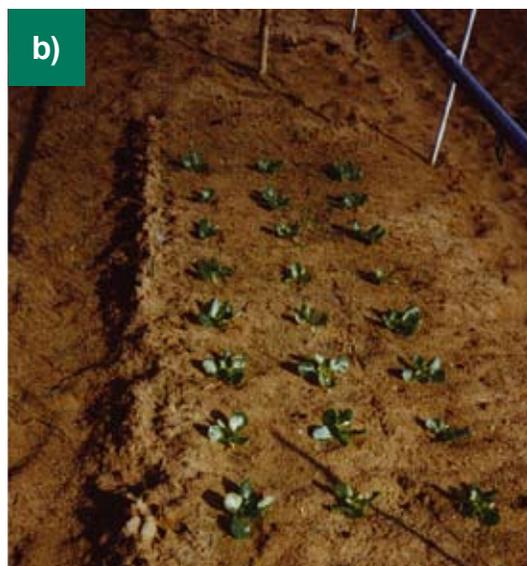


Fig. 3 Centro "E.Avanzi", anno 2000. Rilevante effetto erbicida su lattuga: (a) testimone non trattato; (b) sistema bioflash.

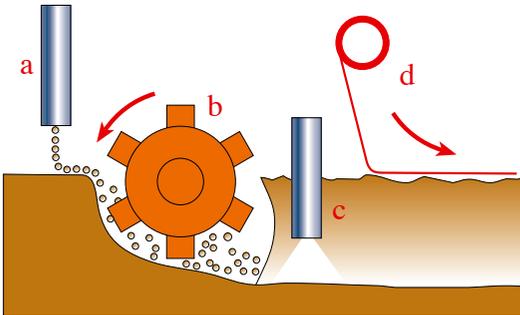


Fig. 4 Schema del trattamento di disinfestazione del terreno col sistema bioRash: (a) distribuzione della sostanza; (b) incorporazione nel terreno per mezzo di zappatrice rotativa; (c) iniezione del vapore; (d) pacciamatura del terreno trattato.

di specie infestanti. Le sostanze da impiegare sono state scelte sulla base del loro basso impatto ambientale e previa valutazione dei vantaggi conseguenti alla loro incorporazione nel terreno (correzione del pH, aumento della fertilità, etc.). Questo metodo consente di combinare in un unico passaggio l'immissione del vapore e la distribuzione delle sostanze a reazione esotermica (Peruzzi *et al.*, 2000, 2002a, 2002b, 2003, 2004, 2005, 2006).

L'adozione di questa tecnica innovativa permette il trapianto o la semina immediatamente dopo il trattamento e consente, inoltre, di intervenire in un solo passaggio mediante l'impiego di attrezzature combinate.

Attualmente il sistema risulta applicabile in modo corretto ed efficiente dalle ultime versioni ottimizzate delle macchine per la disinfestazione/disinfestazione del suolo che sono in grado di provvedere: alla distribuzione per caduta di differenti quantità di sostanze a reazione esotermica (solitamente comprese tra 1000 e 4000 kg ha⁻¹) attraverso un dispositivo appropriato (costituito da una tramoggia oscillante dotata di un sistema

di regolazione in continuo delle luci di efflusso e da un idoneo asse distributore a denti ricurvi), all'incorporazione nel suolo delle stesse (ottenuta impiegando una zappatrice rotativa equipaggiata con utensili a lama ed azionata da un motore idraulico) ed all'immissione del vapore alla profondità voluta attraverso una barra dotata di ugelli (che può avere diverse conformazioni e disposizioni), seguita, a sua volta, da un'aiuolatrice-pacciamatrice (Peruzzi *et al.*, 2000, 2002a, 2002b, 2003, 2004, 2005, 2006).

Evoluzione delle macchine per la disinfestazione/disinfestazione del terreno

La prima operatrice utilizzata in questa ricerca di lungo periodo era un'attrezzatura trainata molto pesante ed ingombrante (Fig. 5) che presentava spesso problemi di aderenza alle ridottissime velocità di lavoro impiegate su terreni sabbiosi, nei quali era necessario effettuare preliminarmente passaggi "a vuoto" con la sola trattrice in modo da formare un sistema di carreggiate compatte che permettevano un corretto avanzamento del cantiere in fase di lavoro (Fig. 6). La macchina trainata aveva infatti una lunghezza pari a 3,5 m (con la pacciamatrice e gli organi di collegamento 5,50 m), un'altezza di 2,35 m da terra, con massa a vuoto di 2800 kg ed era dotata di adeguate strutture di sostegno e di collegamento alla trattrice. Inoltre, il telaio, che appoggiava su ruote gommate, supportava non solo il generatore di vapore dotato di serbatoio di contenimento dell'acqua della capacità di 1 m³, ma anche un "addolcitore" (colonna filtrante a resina a scambio cationico con capacità nominale di 3 m³/h) molto pesante

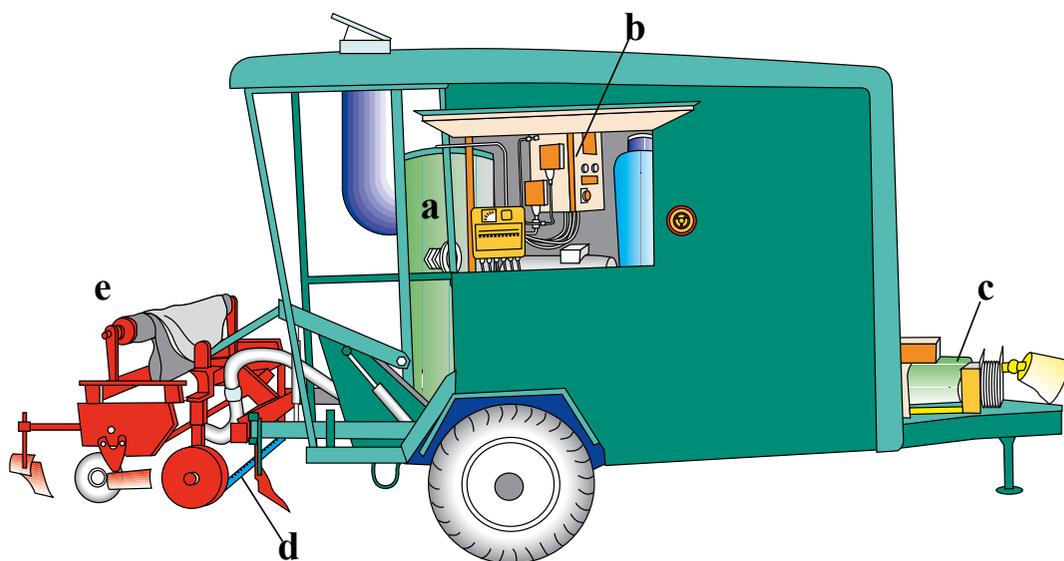


Fig. 5 Schema del primo prototipo di operatrice trainata della Celli utilizzato per gli esperimenti realizzati nel corso del 1999: (a) generatore di vapore; (b) pannello di comando e controllo; (c) generatore di elettricità; (d) barra distributrice del vapore; (e) aiuolatrice-pacciamatrice.

ed ingombrante. Successivamente, la ditta Celli ha realizzato un modello di addolcitore carrellato che viene offerto in abbinamento con le macchine senza alcun onere aggiuntivo per gli acquirenti. Il sistema di distribuzione e di incorporazione delle sostanze a reazione esotermica era molto inefficiente e veniva spesso sostituito da due interventi separati (uno di distribuzione ed uno di incorporazione) attuati prima del passaggio dell'operatrice, che in questo caso effettuava soltanto l'iniezione del vapore.

Le metodiche di applicazione del sistema bioflash si sono successivamente molto evolute. A tale riguardo, lo schema riportato nella figura 7 rappresenta l'ultima ed innovativa versione del sistema per realizzare il trattamento, che viene attualmente ancora adottata sulle macchine operatrici sia trainate che semoventi.

Tutte le macchine realizzate sono equipaggiate con:

- uno o più serbatoi per l'acqua;
- una caldaia;
- una tramoggia contenente le sostanze a reazione esotermica, dotata di appropriato sistema di distribuzione;
- una zappatrice rotativa (operante con regime rotazionale compreso tra un minimo di 25-30 giri min^{-1} ed un massimo di 80-90 giri min^{-1}) azionata da un motore idraulico;
- una barra forata a sezione triangolare per l'iniezione del vapore dotata di fori di uscita o di ugelli del diametro minimo di 1,5 mm;
- una aiuolatrice-pacciamatrice.

Relativamente alla distribuzione del vapore, nell'ultimo biennio sono state realizzate, testate e messe

a punto soluzioni innovative basate sull'impiego di barre di diversa conformazione sulle quali è possibile disporre un numero variabile di ugelli filettati. L'impiego di questi ultimi, in particolare, rende l'efflusso del vapore molto più efficiente, affidabile ed "adattabile" a diverse tipologie e condizioni del terreno. La conformazione e la disposizione della barra consentono altresì di ottenere un riscaldamento diversificato del terreno trattato. In estrema sintesi, la trasmissione di calore al terreno risulta concentrata nello strato compreso tra 15 e 20 cm di profondità con la "convenzionale" barra singola, ancora più profonda (nel profilo compreso tra 25 ed oltre 35 cm di profondità) con la barra "doppia", limitata alla sola porzione superficiale (5-7 cm) del suolo con la barra che inietta il vapore all'interno del carter della zappatrice rotativa ed infine più "diluata" in

tutto lo strato trattato quando si realizza la così detta distribuzione "mista", utilizzando contemporaneamente la barra singola e quella posizionata nel carter (Fig. 8).

Le attrezzature portate (Fig. 9) e trainate (Fig. 10) sono state progettate e realizzate per operare nelle condizioni di pieno campo, ma hanno sempre presentato evidenti limiti, dovendo in ogni caso prevedere l'utilizzo di una trattrice dedicata di medio-alta potenza ed essendo caratterizzate da un'insufficiente manovrabilità. Le macchine semoventi (sia il primo prototipo a 4RM isodiametriche – Fig. 11 – che la attuale versione cingolata - Fig. 12 -) sono state invece progettate e realizzate per l'effettuazione di trattamenti in tunnel ed in serra. In particolare, la macchina semovente ECOSTAR SC600 risulta utilizzabile in tutte le condizioni (sia in pieno campo che sotto

Fig. 6 Attrezzatura trainata in fase di lavoro durante le prove sperimentali effettuate presso il Centro "E. Avanzi" nel 2000 su terreno di medio impasto.



Fig. 7 Schema del sistema ottimizzato per la realizzazione del trattamento bioRash: (1) tubo di mandata del vapore; (2) bracci di collegamento; (3) tramoggia contenente la sostanza a reazione esotermica; (4) incorporazione della sostanza nel suolo per mezzo di zappatrice rotativa; (5) regolazione profondità di lavoro; (6) iniezione del vapore; (7) bobina film plastico; (8) rullo; (9) aiuolatrice-pacciamatrice.

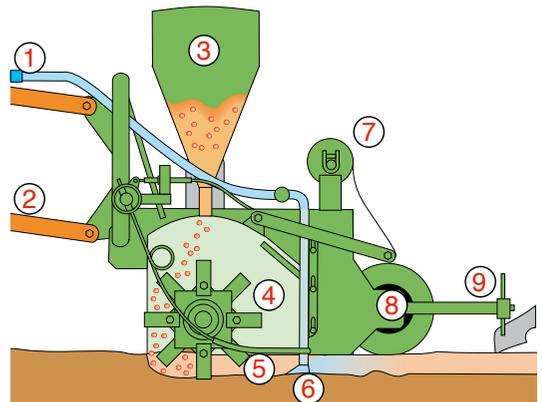
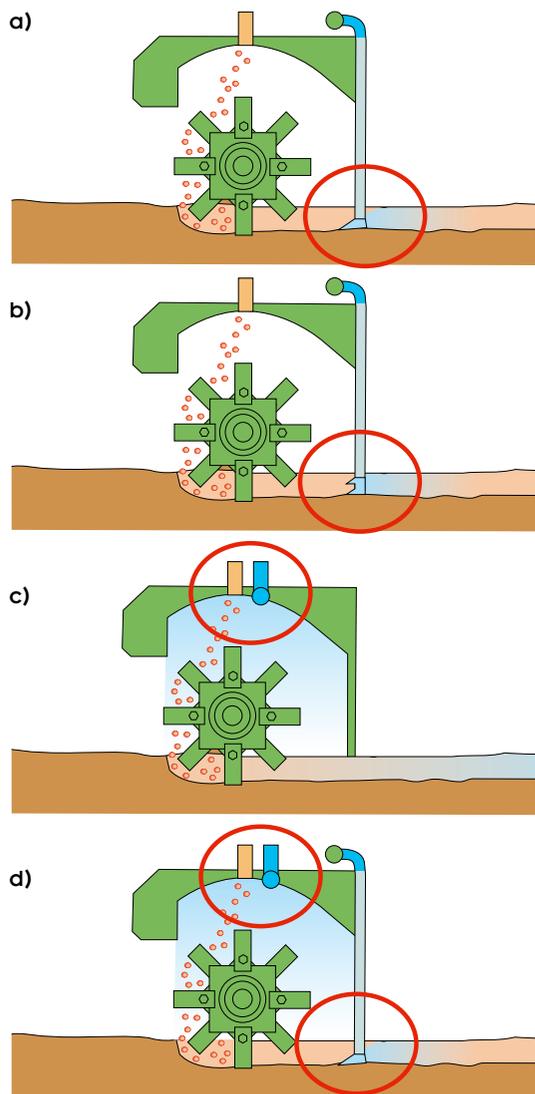


Fig. 8 Schema dei possibili sistemi di iniezione del vapore realizzabili con le macchine "Ecostar": (a) barra singola per distribuzione "concentrata" a circa 20 cm di profondità; (b) barra doppia per distribuzione "concentrata" a 25 ed a 35 cm di profondità; (c) barra posizionata nel carter della zappatrice rotativa per distribuzione superficiale (fino a 7-8 cm di profondità); (d) distribuzione "mista" realizzata utilizzando contemporaneamente la barra singola e quella nel carter.



serra e tunnel) ed appare estremamente innovativa in quanto contraddistinta da dimensioni molto ridotte, dotata di organi di propulsione costituiti da cingoli in gomma, di un generatore di vapore disposto orizzontalmente e di un attacco della parte posteriore al corpo macchina regolabile in senso trasversale in modo da poter trattare tutta la superficie protetta ed in particolare quella

Fig. 9 Centro "E. Avanzi", anno 2001. Macchina operatrice portata "Ecostar" della Celli in fase di lavoro.



Fig. 10 Centro "E. Avanzi", anno 2003. Macchina operatrice trainata "Ecostar T1200" della Celli in fase di lavoro.



Fig. 11 Schema dell'operatrice semovente a 4RM della Celli ottimizzata nel 2001 per effettuare trattamenti in serra: (1) corpo macchina contenente il generatore di vapore, il pannello di comando e controllo ed il generatore di elettricità; (2) tramoggia contenente la sostanza a reazione esotermica; (3) rotore a lame; (4) sistema per la regolazione della profondità di lavoro del rotore; (5) barra distributrice del vapore; (6) bobina film plastico; (7) rullo compattatore; (8) aiuolatrice-pacciamatrice.

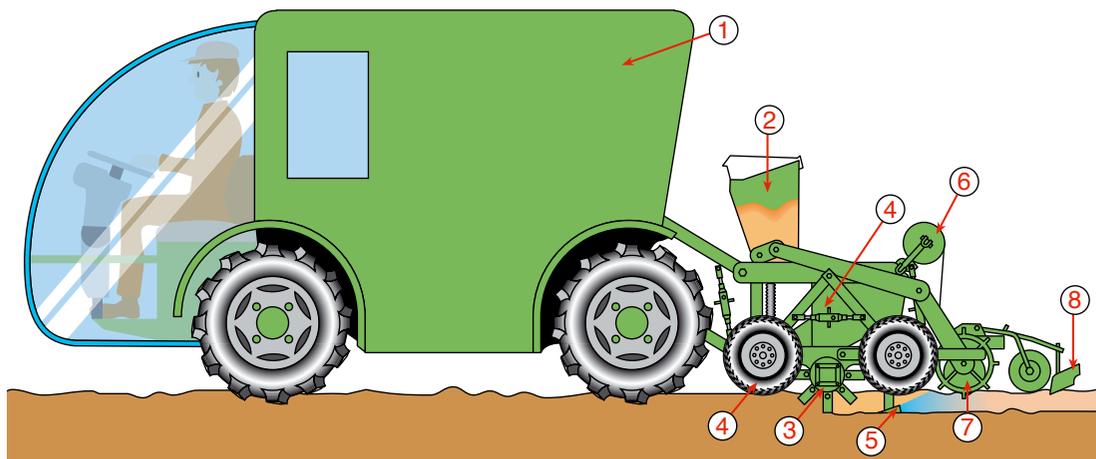


Fig. 12 Schema della macchina semovente cingolata "ECOSTAR SC 600" utilizzabile per il trattamento del suolo sia in serra che in pieno campo: (1) posto di guida; (2) corpo macchina con motore endotermico, generatore di vapore, pompe idrauliche, serbatoi acqua e gasolio, etc.; (3) cingoli in gomma; (4) tramoggia contenente la sostanza a reazione esotermica; (5) zappatrice rotativa; (6) regolazione della profondità di lavoro; (7) tubo di mandata del vapore; (8) barra per la distribuzione del vapore; (9) bobina film plastico; (10) rullo; (11) aiuolatrice-pacciamatrice.

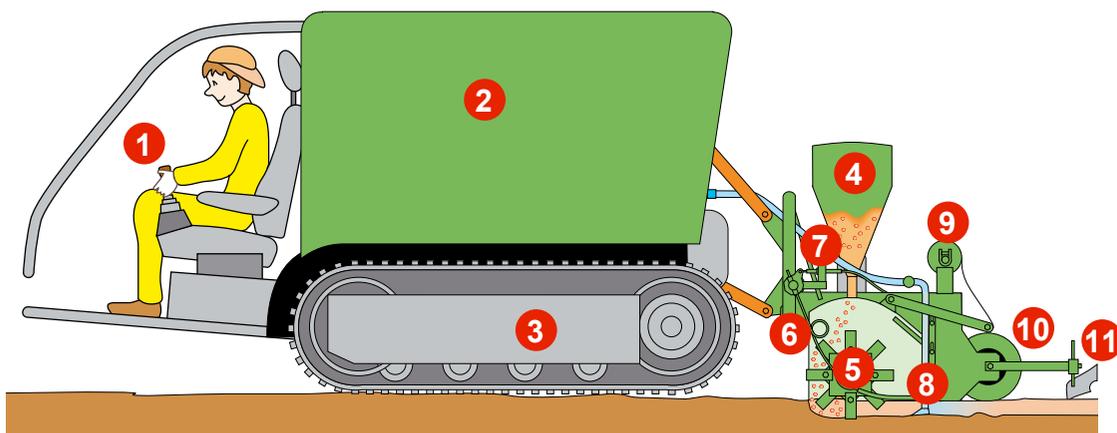




Fig. 13 Anno 2004. Disinfezione del terreno in serra a Vibo Valentia con l'operatrice Ecostar SC 600 della Celli.

più prossima ai lati lunghi di tunnel e serre (Fig. 13). Queste caratteristiche rendono l'attrezzatura particolarmente adatta ad operare agevolmente anche in spazi ristretti con ottima "galleggiabilità", ridotto calpestamento ed elevata capacità di trazione anche su substrati incoerenti. Inoltre, il sistema di trasmissione e di gestione di tutte le funzioni della macchina risulta completamente automatizzato, ergonomico e caratterizzato da notevole facilità di impiego (Fig. 14). Il funzionamento è agevolato da uno specifico software, utilizzato e controllato mediante un "joystick" bias-

siale multifunzionale ed altri semplici comandi disposti in prossimità della postazione dell'operatore. L'operatrice può anche essere movimentata a distanza facendo uso di un radiocomando (Fig. 15).

I risultati delle ricerche "biologiche" svolte nel biennio 2005-2006

L'attività di ricerca condotta nell'ambito del Progetto PRIN 2004, finanziato dal MIUR, si è conclusa a dicembre del 2006 ed ha permesso di



Fig. 14 Anno 2004. Disinfezione del terreno in spazi molto ristretti, sotto tunnel, a Ragusa con l'operatrice Ecostar SC 600 della Celli.



Fig. 15 Anno 2005. Disinfezione del terreno sotto tunnel a Lecco con l'operatrice Ecostar SC 600 della Celli.

ottenere risultati scientifici in linea con quanto stabilito in sede progettuale, tenendo conto della assoluta necessità di rendere disponibili in tempi brevi mezzi alternativi efficienti ed affidabili per il miglioramento delle condizioni igieniche del terreno in grado di garantire, oltre ad apprezzabili risultati fitoiatrici, un contenuto impatto ambientale ed un elevato livello di sicurezza per gli operatori e per i consumatori.

La ricerca si inserisce in un contesto attuale dove una sempre maggiore sensibilità da parte del consumatore alla qualità sanitaria degli alimenti

(in particolar modo ortaggi da consumo fresco) ed una sempre più solida coscienza ambientale da parte delle Istituzioni, richiedono lo studio di tecniche e macchine per la realizzazione di trattamenti alternativi a quelli a base di fumiganti, largamente impiegati per le colture protette.

Le attività sperimentali sono state condotte con spirito spiccatamente interdisciplinare ed hanno avuto come scopo principale la messa a punto e l'ottimizzazione del nuovo sistema di disinfezione e disinfestazione del terreno, attraverso un intenso lavoro di ricerca realizzato dalle singole Unità Operative, ma anche sfruttando il sinergismo esistente tra le specifiche conoscenze e competenze meccaniche, agronomiche, orticole, patologiche, nematologiche e chimico-microbiologiche.

Il sistema di disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica è stato ulteriormente ottimizzato e risulta al momento attuabile in modo appropriato ed efficiente da macchine operatrici combinate caratterizzate da un'elevata affidabilità, in grado di garantire un'efficace azione fitoiatrica ed erbicida (Fig. 16).

Nello stesso tempo è stato possibile verificare come le proprietà chimiche e biologiche del ter-

reno trattato non subiscano alterazioni negative (sia temporanee che permanenti), ma vadano altresì soggette ad un eventuale miglioramento. Le analisi condotte sulle rese e sulla qualità dei prodotti orticoli hanno evidenziato come questo sistema produca effetti positivi. Il costo di esercizio del nuovo sistema di disinfezione è apparso infine inferiore rispetto a quello delle metodiche basate sull'impiego di fumiganti. In conclusione, la vasta attività sperimentale effettuata nel biennio 2005-2006 ha permesso di conseguire risultati consolidati e significativi, in base a quanto a suo tempo previsto nel progetto originale presentato al MIUR nel 2004.

In particolare, relativamente alla valutazione dell'efficacia fitoiatrica su patogeni fungini e su virus, la sperimentazione ha riguardato le seguenti tematiche:

- (1) valutazione dell'efficacia fitoiatrica in diverse combinazioni ospite patogeno in condizioni di inoculazione artificiale del terreno: basilico/*Fusarium oxysporum f.sp. basilici*; pomodoro/*Sclerotium rolfsii*; pomodoro/*F. oxysporum f.sp. lycopersici*, rucola e ravenello/*Rhizoctonia solani*.
- (2) analisi condotte sugli effetti sub-letali indotti



Fig. 16 Ottimo controllo delle infestanti ottenuto presso l'azienda "Lemmetti" di Lido di Camaiore (LU) nel 2004: (a) testimone non trattato; (b) sistema bioflash.

su sclerozi di *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor* e su *Sclerotium rolfsii*.

Per quanto concerne la prima tematica, le ricerche condotte nel biennio 2005-2006 su queste combinazioni ospite/patogeno hanno permesso di conseguire risultati omogenei e pienamente soddisfacenti, relativamente al contenimento delle malattie indotte artificialmente (Fig. 17). Gli effetti fitoiatrici del sistema sono apparsi apprezzabili su un ampio spettro di combinazioni. Questo risultato ha trovato conferma nel biennio anche nel caso del contenimento di *Rhizoctonia solani* su rucola e ravanello presso l'azienda Cammelli di Firenze.

I risultati delle indagini riguardanti la valutazione dell'efficacia del trattamento sulla degradazione del virus del mosaico del tabacco (TMV), condotte nel biennio, hanno evidenziato come il riscaldamento del terreno abbia determinato una sostanziale riduzione della concentrazione virale e dell'infettività del virus.

Per quanto concerne la seconda tematica, le ricerche si sono concluse al termine del biennio, evidenziando il possibile ruolo del trattamento quale causa di effetti sub-letali sugli sclerozi. I

risultati ottenuti permettono di evidenziare alcune relazioni intercorrenti tra i titoli accertati dei vari parametri, assumendo come fattore variabile il livello di temperatura raggiunto in seguito a trattamenti con vapore d'acqua da solo od in associazione con KOH o CaO. In particolare sono stati rilevati decrementi statisticamente significativi nella germinazione degli sclerozi a seguito dei trattamenti termici, ad eccezione di *S. sclerotiorum*, per il quale il trattamento termico sembra avere un effetto accelerante e favorente la germinazione.

Per quanto riguarda la valutazione dell'efficacia fitoiatrice su nematodi, sono state condotte due prove presso l'Azienda Cammelli di Firenze (Fig. 18): la prima su rucola e la seconda su ravanello. Il terreno all'origine non evidenziava la presenza di nematodi galligeni del genere *Meloidogyne*. Dopo i trattamenti, soprattutto quello con Basamid, sono state riscontrate presenze elevatissime di nematodi batteriofagi (98% circa), qualche raro esemplare di Collembolo e assenza di forme larvali di insetti. Nelle altre parcelle comunque trattate si è riscontrato un aumento dei nematodi batteriofagi (93% circa), un abbassamento dei



Fig. 17 Ottimo controllo dell'infezione artificiale di *Fusarium oxysporum* f.sp. basilicum su coltura di basilico: (a) testimone non trattato; (b) sistema bioRash.



Fig. 18 Anno 2005. Fase delle prove sperimentali di disinfezione del terreno realizzate a Firenze, presso l'azienda "Cammelli", con l'operatrice Ecostar SC 600 della Celli.

Collemboli e delle forme larvali di insetti. Dai risultati emersi sembra che i trattamenti tendano ad elevare il numero dei nematodi batteriofagi. Come previsto, nel 2006, sono stati valutati anche gli effetti derivanti dall'incorporazione di micorrizze sulla qualità della sostanza organica del terreno e sulla disponibilità di nutrienti per le piante coltivate. I risultati ottenuti hanno evidenziato una risposta molto valida della micorrizzazione soprattutto se effettuata su piantine prima della messa a dimora. In particolare i vantaggi sono da attribuire ad un migliore sviluppo dei grumoli, sia per i benefici apportati dalla maggiore disponibi-

lità di azoto, sia, principalmente, per il migliore equilibrio presente nel substrato, nel quale è stata riscontrata l'assenza di gruppi trofici dannosi alle piante (collemboli, acari, oligocheti, forme larvali di insetti e nematodi batteriofagi).

La prova specifica realizzata al fine di valutare l'efficacia erbicida degli interventi di disinfezione innovativa del terreno (intesa come capacità di devitalizzare i semi di infestanti presenti nel suolo) è stata effettuata testando tre diversi sistemi di iniezione del vapore, erogato da solo oppure in associazione con CaO e KOH. Più in particolare, durante il primo anno di sperimentazione

sono state impiegate la barra singola, quella nel cofano ed il sistema misto con rapporto di erogazione 1:2 tra la barra superiore e quella inferiore. In questo caso le sostanze a reazione esotermica sono state distribuite alla dose di 1000 e 4000 kg/ha. Durante il secondo anno di sperimentazione è stato ridotto il numero dei livelli del fattore dose, impiegando solo quello più elevato (4000 kg/ha), come conseguenza dei risultati ottenuti nel primo anno di prove, dove spesso i valori associati alla dose più ridotta delle sostanze a reazione esotermica si avvicinavano a quelli ottenuti con il solo vapore e raramente al riguardo erano state registrate differenze significative. Nel 2006 sono state invece ulteriormente differenziate le tesi a confronto inerenti il sistema di iniezione del vapore, testando altre due combinazioni del sistema misto, aggiungendo i rapporti di erogazione 1:1 e 2:1 tra la barra superiore e quella inferiore. L'esperimento ha previsto, per entrambi gli anni di prove, preliminarmente al trattamento, l'incorporazione nello strato di terreno compreso

tra 0 e 20 cm di profondità di quantità rilevanti di seme di *Brassica juncea* (L.) Czern. (infestante comune e cosmopolita) in modo da creare una consistente "seed-bank" artificiale su cui poter valutare le prestazioni delle diverse modalità di utilizzo del sistema di disinfezione del terreno. L'effetto erbicida è stato valutato sia sulla flora reale che sulla seed-bank presente in 3 diversi strati di terreno (uno più superficiale, uno intermedio ed uno più profondo). L'esperimento ha previsto anche il monitoraggio per 12 mesi della seed-bank naturale, per cui la prova che ha avuto luogo nel 2006 risulta tuttora in atto. I risultati ottenuti su *Brassica juncea* (L.) Czren. hanno mostrato come i sistemi di iniezione del vapore combinati con l'impiego di quantità diverse delle due sostanze a reazione esotermica determinino un'azione erbicida molto diversificata che lascia intravedere una grande versatilità nella possibilità di impiego del sistema testato. In particolare, l'iniezione superficiale ha causato quasi sempre un controllo pressoché totale della flora reale



Fig. 19 Anno 2006. Effetto erbicida ottenuto con la distribuzione superficiale del vapore sull'emergenza di plantule di *Brassica juncea*: (a) testimone non trattato; (b) trattamento con solo vapore.

(Fig. 19). L'iniezione profonda è apparsa legata ad un buon controllo della seed-bank e ad un controllo abbastanza limitato della flora reale. Il sistema misto sembra invece connesso con il miglior controllo in assoluto della seed-bank, cui si associa anche un'azione erbicida apprezzabile sulla flora emersa, in caso di impiego di dosaggi elevati di CaO e di KOH. Una prima analisi dei dati ottenuti tramite lo studio della seed-bank naturalmente presente nell'appezzamento trattato, ha evidenziato risultati del tutto assimilabili a quelli già osservati sull'infestazione artificiale di *B. juncea*.

I risultati ottenuti nel corso dell'esperimento a carattere interdisciplinare realizzato in serra presso l'azienda orticola specializzata ubicata a Firenze hanno evidenziato come il controllo della flora infestante reale, su rucola e su ravanello durante il primo anno e solo su rucola durante il secondo, sia stato pressoché massimo con l'iniezione superficiale e minimo con quella profonda. Il sistema misto ha comunque permesso di ottenere una buona "pulizia" delle parcelle trattate, garantendo allo stesso tempo un intervento più completo su tutto il profilo lavorato. Di particolare interesse è apparsa anche la capacità rinettante ottenuta con l'iniezione superficiale del vapore, senza alcun impiego di sostanze a reazione esotermica, che potrebbe aprire nuove prospettive di utilizzo di questo sistema di disinfezione per la coltivazione biologica di ortaggi di "quarta gamma".

La valutazione delle modificazioni prodotte sulle proprietà chimiche, microbiologiche e molecolari di suoli trattati è stata effettuata nel corso dell'esperimento condotto a Firenze e di quello condotto a Pisa sull'efficacia erbicida del nuovo sistema di disinfezione.

Nel primo anno di attività la sperimentazione ha avuto luogo presso l'azienda Cammelli di Firenze su terreno trattato con vapore e CaO (Fig. 20). Nel disegno sperimentale è stata inoltre inserita una tesi trattata con Basamid.

In tutte le tesi il valore del pH del suolo ha mostrato leggere oscillazioni nel corso dell'esperimento. Il tenore di C organico ha mostrato lievi oscillazioni in tutte le tesi attestandosi ad un valore finale mediamente superiore al controllo del tempo zero. Il contenuto di azoto nitrico è variato considerevolmente nel corso della prova scendendo da valori iniziali di 40-60 mg N nitrico/kg nelle prime settimane dal trattamento sino a valori inferiori a 10 mg N nitrico/kg al termine del periodo di osservazione. Il potassio di scambio ha mostrato fluttuazioni nel corso della prova, con valori significativamente più elevati nelle tesi



Fig. 20 Anno 2006. Trattamento di disinfezione del terreno realizzato presso l'azienda "Cammelli" di Firenze, prima dell'impianto di una coltura di rucola.



Fig. 21 Anno 2006, azienda “Cammelli” di Firenze. Coltura di rucola - seminata subito dopo trattamenti differenziali di disinfezione del terreno con il sistema bioflash - in prossimità della raccolta.

trattate in superficie.

La conta batterica totale non ha rivelato differenze significative tra le tesi, ad eccezione delle parcelle trattate con il Basamid, nelle quali si è registrata a tempi lunghi una marcata crescita di popolazioni batteriche. L'analisi dei profili molecolari ottenuti con la DGGE ha mostrato che i trattamenti non modificano sostanzialmente la struttura molecolare della componente batterica del suolo. Questo indica che il sistema non produce nel suolo un effetto eradicante nei confronti della comunità batterica. Inoltre la struttura molecolare della comunità batterica risulta poco alterata dai trattamenti. Il dato è estremamente interessante in quanto confermerebbe la maggior resistenza della componente batterica rispetto alla componente fungina.

Nel corso del secondo anno di attività è stato ripetuto l'esperimento presso l'azienda Cammelli

di Firenze. Presso il Centro “E. Avanzi” dell'Università di Pisa, è stato inoltre condotto un esperimento, ideato ed eseguito in collaborazione con i ricercatori dell'U.R. di Pisa, relativo alla caratterizzazione chimica e microbica del terreno oggetto delle prove sperimentali per la valutazione dell'effetto erbicida. La valutazione della carica batterica totale ha evidenziato che, anche in situazioni di pieno campo, le popolazioni batteriche eterotrofe aerobiche non vengono significativamente diminuite dal trattamento termico. Né risultano significative le differenze tra le diverse tesi di suolo geodisinfezzato a confronto. È interessante altresì notare che dopo circa un mese dal trattamento la carica batterica totale è aumentata significativamente da valori iniziali di circa 3×10^6 CFU/g suolo sino a valori di $14-16 \times 10^6$ CFU/g suolo in tutte le tesi trattate. Mentre non si sono registrati significativi aumenti nella tesi del controllo non



trattato. Da segnalare un significativo aumento di streptomiceti che partecipano, con i loro metaboliti, ai processi di controllo biologico dei patogeni tellurici.

Gli effetti del trattamento sulle rese e sulla qualità di alcuni prodotti orticoli sono stati valutati sempre presso l'Azienda Cammelli di Firenze, su ravanello e rucola nel 2005 e solo su rucola nel 2006 (Fig. 21). Le prove sono state condotte in serra su terreno franco-limoso. L'effetto del trattamento di disinfezione è stato valutato su due cicli consecutivi per entrambe le specie nel 2005; nel caso della rucola, in entrambi gli anni di prova, al primo ciclo sono stati effettuati due tagli.

Nel corso del primo anno, per quello che riguarda la produzione commerciabile di ravanello, è stato possibile osservare come il peso fresco sia delle piante che delle radici abbia raggiunto livelli più elevati adottando il sistema misto e dopo l'applicazione del Basamid. L'aggiunta della sostanza a reazione esotermica non ha prodotto differenze significative rispetto al corrispondente trattamento con vapore. Nel caso della rucola, i trattamenti migliori sono stati l'iniezione del vapore nel carter e la barra singola, seguiti dal Basamid e dal controllo, mentre il sistema misto è quello che ha determinato il livello di produzione più basso. In entrambe le colture, il contenuto in nitrati è risultato più elevato nel trattamento superficiale, sebbene i livelli raggiunti non si siano differenziati significativamente dal controllo.

I risultati relativi all'esperimento condotto su rucola nel 2006 hanno evidenziato un effetto significativo del vapore sulla produzione di foglie con un incremento del 15% rispetto al controllo. I trattamenti hanno mostrato inoltre un effetto significativo sull'assorbimento dei nitrati, con un

decremento di circa il 13% rispetto al controllo. Per quanto riguarda il composto a reazione esotermica utilizzato (CaO) e la sostanza aggiunta (S), i risultati non hanno messo in evidenza alcun effetto significativo.

Conclusioni

In conclusione, i risultati complessivamente ottenuti in otto anni di ricerca ed in particolare nel corso del biennio 2005-2006 sono da ritenersi senza alcun dubbio innovativi in rapporto allo stato dell'arte nel campo della disinfezione e della disinfestazione del terreno a basso impatto ambientale in quanto:

- sono il frutto della partecipazione e dell'integrazione delle diverse unità di ricerca che hanno preso parte al progetto, con massima valorizzazione delle competenze di ciascuna;
- consentono di valutare le "performances" complessive del sistema di disinfezione del terreno per mezzo di vapore e sostanze a reazione esotermica nei suoi molteplici aspetti, compresa una valutazione di tipo economico;
- rispondono ad un'esigenza realmente sentita dagli agricoltori (trovare rapidamente una soluzione valida al problema della disinfezione del terreno dopo la messa al bando del bromuro di metile);
- appaiono immediatamente trasferibili al mondo operativo.

In questo modo, infatti, è stato possibile finalizzare la grande mole di lavoro svolto con il finanziamento del MIUR, garantendo la reale ricaduta delle acquisizioni su imprenditori ed operatori dei settori orticolo e floricolo, che possono allo stato attuale avvalersi di un metodo di disinfezione del

terreno efficace, a basso costo, caratterizzato da un impatto ambientale decisamente molto contenuto e quindi in grado di costituire una valida alternativa al bromuro di metile.

Ciò che manca per far diventare questo percorso realmente "virtuoso" è senza dubbio una presa di posizione più chiara e decisa da parte del mondo politico, che dovrebbe esprimere una maggiore "coerenza" con quanto viene spesso pubblicamente dichiarato (in molti casi, purtroppo, in prossimità di scadenze elettorali, con la finalità principale di far percepire all'opinione pubblica l'impegno "ambientalista" di una coalizione...) e quindi promuovere i sistemi di geodisinfezione caratterizzati da un impatto ambientale ridotto anche attraverso l'individuazione di forme di sostegno economico facilmente individuabili ed utilizzabili per gli imprenditori agricoli.

Bibliografia

- BÀRBERI P., MOONEN C. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sul controllo della flora infestante reale e potenziale. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno"*, 103-110, Forlì 30.10.2002.
- BÀRBERI P., MOONEN C., PERUZZI A., RAFFAELLI M., MAZZONCINI M. (2002). Reducing weed seedling recruitment by soil steaming. *Proceedings of the 14th IFOAM World Congress, Victoria (Canada), 21-23 Aug. 49*.
- CURTO G., MOSCHENI E., SANTI R., MAINARDI M., DALLAVALLE E. (2002). Controllo dei nematodi galligeni su lattuga mediante vapore e sostanze a reazione esotermica: risultati di un biennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno"*, 71-77, Forlì 30.10.2002.
- D'ERRICO F.P., CAPRIO E., RUSSO G. (2002). Efficacia fitoiatrica del vapore e di sostanze a reazione esotermica sui nematodi. Risultati preliminari. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno"*, 67-70, Forlì 30.10.2002.
- FERRARI M., MARCON E., MENTE A. (1988) Fitopatologia, Entomologia Agraria e Biologia Applicata, 3rd edn., Ed agricola, Bologna.
- GELSOMINO A., MARTELLI G., OLIVA S., BOLIGNANO M.S., CACCO G. (2002). *Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica su alcune caratteristiche microbiche del terreno: risultati preliminari*. Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", 89-94, Forlì 30.10.2002.
- GULLINO M. (1998) Anno 2005: addio al bromuro di metile. *Terra e Vita* 7, 22-23.
- GULLINO M., MINUTO A., GASPARRINI G. (1999). Bromuro di metile – la parola agli agricoltori. *Culture protette* 7, 39-42.
- KATAN J. (1987). Soil solarization. In: Innovative approaches to plant disease control, I Chet ed., John Wiley & Sons, New York.
- KATAN J. (1999). The methyl bromide issue: problems and potential solution. *Journal of Plant Pathology* 81, 153-159.
- LENZI A., LOMBARDI P., MAINARDI M., TESI R. (2002). Risposta di alcuni ortaggi alla disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno"*, 95-102, Forlì 30.10.2002.
- LENZI A., LOMBARDI P., TESI R. (2004). Effects of steam and exothermic substances (KOH and CaO) on lettuce and strawberry production: two years of experimentation. *Advances in horticultural science*, 4, 155-160.
- MARTINO B. (1997) Il bromuro di metile in agricoltura. La difesa delle piante 20, 111-116.
- MATERAZZI A., IANDOLO R., TRIOLO E., VANNACCI G. (1987). La solarizzazione del terreno. Un mezzo di lotta contro il "marciume del colletto" della lattuga. *L'Informatore Agrario* 43, 97-99.
- MAZZONCINI M., RISALITI R., GINANNI M., MAINARDI M. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sulle principali caratteristiche chimiche del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno"*, 79-88, Forlì, 30.10.2002.
- MOONEN C., BARBERI P., RAFFAELLI M., MAINARDI M., PERUZZI A., MAZZONCINI M. (2002). Soil steaming with an innovative machine – effects on the weed seedbank. *Proceedings of the 5th EWRS Workshop on "Physical and Cultural Weed Control"*, Pisa 11-13 March 2002, 230-236.
- NEDERPEL L. (1979). *Soil sterilization and pasteurization*. In: Soil disinfection, D. Mulder ed. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- NOMISMA (2007). Il ruolo economico dei fumiganti e della disinfezione del terreno nell'agricoltura italiana – prima verifica. *Rapporto confidenziale Nomisma SpA, Bologna*.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., DI COLO S., MAZZONCINI M., GINANNI M., MAINARDI M., RISALITI R., TRIOLO E., STRINGARI S., CELLI A. (2000). Messa a punto di un prototipo di sterilizzatore del terreno per mezzo di vapore e di sostanze a reazione esotermica. *Rivista di Ingegneria Agraria* 31, 226-242.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M. (2002a). Development of innovative machines for soil disinfection by means of steam and substances in exothermic reaction. *Proceedings of the 5th EWRS Workshop on "Physical and Cultural Weed Control"*, Pisa 11-13 March 2002, 220-229.



- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., DEL SARTO R., BORELLI M. (2002b). Messa a punto del sistema "bioflash" ed evoluzione delle macchine operatrici per la disinfezione e disinfestazione del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*, 35-43. Forlì, 30.10.2002.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., TONIOLO S., MARCHI C. (2003). Le macchine operatrici per la disinfezione e disinfestazione del terreno. *L'Informatore Agrario*, 46, 51-56.
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2004). Weed seeds control by steam and substances in exothermic reaction. 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 8 – 10 March 2004, 128 – 138.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M. (2004). Vapore e esotermia: il sistema bioflash. *Terra e Vita*, 48, 52 – 56
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2005a). Weed control by steam and compounds causing an exothermic reaction. 13th EWRS Symposium, Bari 19-23 June 2005
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., DI CIULO S. (2005b). Una macchina innovativa per la disinfezione del terreno a basso impatto ambientale. VIII Congresso Nazionale AIIA – L'Ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea, Catania 27 – 30 giugno 2005.
- PERUZZI A., FONTANELLI M., RAFFAELLI M., GINANNI M. (2006) Una máquina innovadora para la desinfección del terreno con un bajo impacto ambiental. VII Conferencia Científica Internacional Unica 2006, Cuba, 18-21 ottobre 2006.
- PERUZZI A., GINANNI M., RAFFAELLI M., BARBERI P., LULLI L., FRASCONI C., FONTANELLI M. (2007) Influence of injection system on the effect of "activated" soil disinfection on Brassica juncea (L.) Czern. 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Salem 12-14 March 2007.
- RAFFAELLI M., PERUZZI A., DEL SARTO R., MAINARDI M., PULGA L., PANNOCCIA A. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sul riscaldamento del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*, 45-51. Forlì, 30.10.2002.
- SIVIERO P. (2007). Più costi e meno sicurezza con le limitazioni al bromuro di metile. *Culture protette*, 1, 17-20.
- STRINGARI S., TRIOLO E. (2002). Vapore d'acqua e reazioni esotermiche per il contenimento di patogeni tellurici: esperienze su Sclerotinia minor (Jagger) e Rhizoctonia solani (Kuhn). *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*, 61-66. Forlì, 30.10.2002.
- TESI R., GELSOMINO A., BALDI A., LENZI A., PERUZZI A. (2007). Soil disinfection with steam and CaO in radish greenhouse crop. *Advances in horticultural science, in press*.
- TRIOLO E., D'ERRICO F.P. (2002). Il vapore d'acqua: un secolo di esperienza per un sistema fitoiatrico attuale. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*, 11-17. Forlì, 30.10.2002.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., LUVISI A. (2003). Prospettive per la lotta contro i funghi patogeni. *Atti del Convegno: "Patogeni, fitofagi e piante infestanti delle colture agrarie: le prospettive senza il bromuro di metile"*, Capri, 15-17.10.2003.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., LUVISI A. (2004). Exothermic reactions and steam for the management of soil-borne pathogens: five years of research. *Advances in horticultural science*, 2, 89-94.
- TRIOLO E., LUVISI A., MATERAZZI A. (2006). Vapore d'acqua al posto del bromuro. *Culture protette*, 3, 37-40.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., VANNACCI G. (1991). Risultati di un decennio di ricerche in Italia. La solarizzazione: un terzo metodo di sterilizzazione parziale del terreno. *Terra e Sole*, 46, 22-28.

Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica

**Andrea Peruzzi¹, Michele Raffaelli¹, Marco Ginanni², Leonardo Lulli²,
Marco Fontanelli¹, Christian Frasconi¹**

¹ Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa.

² CIRAA "E. Avanzi", Università di Pisa

Introduzione

In seguito alle decisioni prese a livello internazionale con il Protocollo di Montreal ed alla sempre più sentita necessità e richiesta di avere elevate garanzie di salubrità del prodotto, una maggior tutela della salute degli addetti del settore agricolo ed un sostanziale rispetto dell'integrità dell'ambiente tellurico appare di fondamentale importanza definire strategie alternative per la realizzazione della disinfezione e disinfestazione del terreno. Per tale motivo una larga parte del mondo della ricerca ha rivolto la propria attenzione all'individuazione di sistemi fisici a basso impatto ambientale (Triolo e D'Errico, 2002; Triolo *et al.*, 2004).

Tra questi, la solarizzazione ha consentito di ottenere buoni risultati fitoiatrici, ma la sua diffusione risulta comunque fortemente penalizzata dalla dipendenza dall'andamento climatico e dal molto tempo necessario per il trattamento (Katan, 1987). Il vapore ha, da sempre, rappresentato uno dei più validi mezzi per il risanamento del terreno, ma le attrezzature messe a punto fino ad oggi per la sua distribuzione hanno limiti opera-

tivi che ne hanno impedito una ampia diffusione a livello aziendale (Colorio *et al.*, 2002; Nederpel, 1979).

In questa ottica, un nuovo sistema per la disinfezione e disinfestazione del suolo (denominato "bio-flash") con vapore in associazione a sostanze a reazione esotermica, realizzato mediante specifiche macchine operatrici, è stato sviluppato dalla ditta Celli S.p.A. di Forlì in collaborazione con la Sezione Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola del D.A.G.A. dell'Università di Pisa (Peruzzi *et al.*, 2000, 2002, 2003; Raffaelli *et al.*, 2002).

Questa tecnica innovativa è stata sperimentata a partire dal 1999 in diverse condizioni ambientali, operative e produttive e su differenti problematiche fitoiatriche con ottimi risultati (Bàrberi *et al.*, 2002; Curto *et al.*, 2002; D'Errico *et al.*, 2002; Lenzi *et al.*, 2004; Luvisi *et al.*, 2006; Moonen *et al.*, 2002; Peruzzi *et al.*, 2004 e 2005; Triolo *et al.*, 2004). Inoltre, la sperimentazione effettuata ha permesso di verificare che le caratteristiche del terreno non vengono alterate negativamente ed in modo permanente (Gelsomino *et al.*, 2002;

Mazzoncini *et al.*, 2002;).

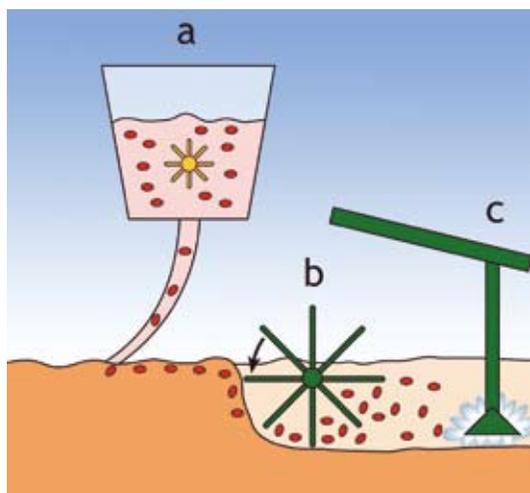
Lo scopo del presente lavoro è quello di presentare un'operatrice semovente cingolata innovativa specificamente realizzata per l'applicazione del sistema "bioflash" (ma che ha caratteristiche tecniche tali da renderla particolarmente interessante per molteplici altre applicazioni) ed i risultati ottenuti in sperimentazioni condotte per valutare le sue prestazioni operative ed il riscaldamento del terreno che è possibile ottenere con le sue diverse modalità di distribuzione del vapore.

Materiali e metodi

Il sistema bioflash

Il sistema per la disinfezione del terreno denominato "bioflash" (Fig. 1) si basa sulla distribuzione

Fig. 1 Schema del trattamento di disinfezione del terreno con il sistema "bioflash"; a) distribuzione della sostanza; b) miscelazione della sostanza a reazione esotermica con il terreno; c) distribuzione del vapore.



nel terreno di sostanze (ad esempio KOH o CaO) in grado di reagire esotermicamente con il vapore acqueo (Peruzzi *et al.*, 2000, 2002).

Il sistema "bioflash", applicato in idonee condizioni operative, determina nel terreno il raggiungimento di temperature più elevate rispetto all'impiego del solo vapore, prolunga la durata del riscaldamento ed ha un effetto diretto su parassiti e semi di specie infestanti.

Le sostanze da impiegare sono state scelte sulla base del loro ridotto impatto ambientale e della compatibilità con le coltivazioni successive, previa valutazione degli effetti e degli eventuali vantaggi conseguenti alla loro incorporazione nel terreno (effetto sul pH ed eventuale sua correzione, aumento della fertilità, etc.)

L'adozione del metodo "bioflash" permette di effettuare il trapianto, o la semina immediatamente dopo il trattamento.

Il sistema si realizza mediante operatrici in grado di immettere nel terreno, in successione con un unico passaggio, una sostanza in grado di agire esotermicamente (che viene incorporata mediante una zappatrice rotativa) e quantità definite di vapore (che viene iniettato mediante barre di diversa tipologia).

La macchina operatrice

L'attrezzatura semovente denominata Ecostar SC 600 (Fig. 2) è l'ultima e la più interessante ed innovativa di una serie di operatrici (trainate, portate e semoventi) realizzate per effettuare il trattamento di disinfezione del terreno per mezzo del sistema "bioflash". Le principali caratteristiche tecniche, lo schema e la disposizione dei principali componenti della macchina sono riportati



Fig. 2 Operatrice semovente cingolata Celli Ecostar SC 600 in fase di lavoro.

rispettivamente nella tabella 1 e nella figura 3. Questa operatrice, similmente alle altre attrezzature, è equipaggiata con un serbatoio per l'acqua, una caldaia, una tramoggia idonea al contenimento ed alla distribuzione delle sostanze a rea-

zione esotermica, una zappatrice rotativa azionata da un motore idraulico che ha il compito di incorporare e mescolare la sostanza a reazione esotermica nello strato di suolo interessato dal trattamento (operante con regime di rotazione

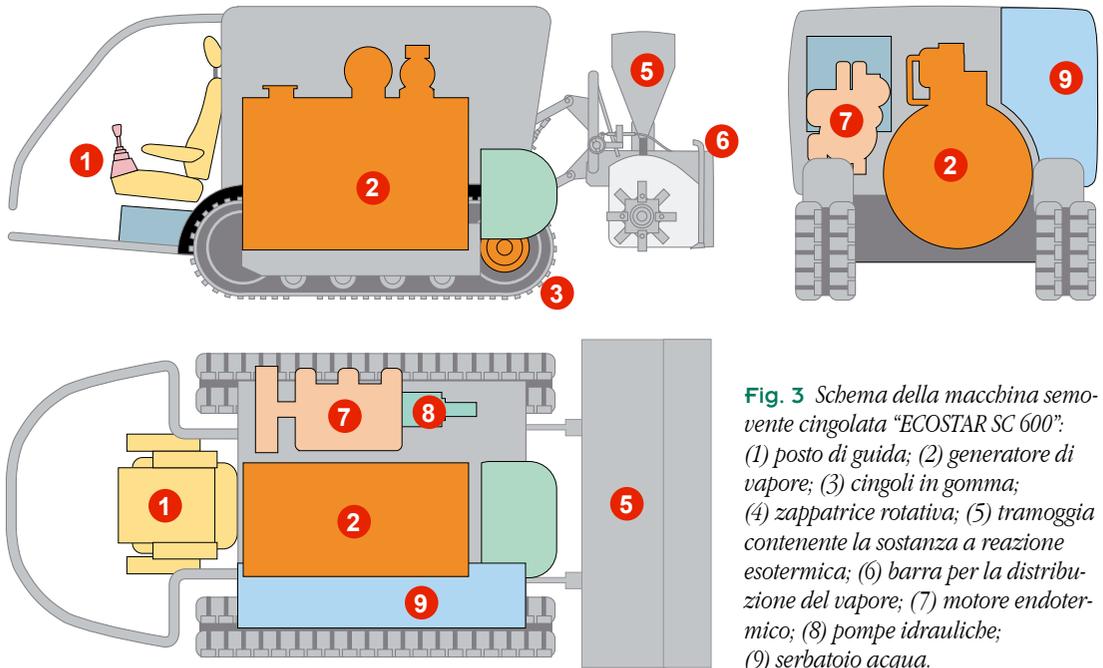


Fig. 3 Schema della macchina semovente cingolata "ECOSTAR SC 600": (1) posto di guida; (2) generatore di vapore; (3) cingoli in gomma; (4) zappatrice rotativa; (5) tramoggia contenente la sostanza a reazione esotermica; (6) barra per la distribuzione del vapore; (7) motore endotermico; (8) pompe idrauliche; (9) serbatoio acqua.

Tab. 1 Principali caratteristiche dell'operatrice "Ecostar SC 600"

Caratteristiche		Valori
Lunghezza	m	3,8
Larghezza	m	1,6
Altezza	m	1,5
Massa	kg	3000
Fronte di lavoro	m	1,6
MOTORE:		
Cilindrata	cm ³	2068
Potenza massima	kW	44
Consumo massimo di gasolio	kg h ⁻¹	11
Organi di propulsione	Cingoli in gomma	
Lunghezza cingoli	m	1,96
Larghezza cingoli	m	0,32
Altezza cingoli	m	0,52
Trasmissione	Idrostatica	
Velocità (min -max)	m h ⁻¹	60 – 6000
Capacità tramoggia reagenti	m ³	0,23
Capacità serbatoio acqua	m ³	0,60
GENERATORE DI VAPORE:		
Portata	kg h ⁻¹	600
Potenza erogata	MJ h ⁻¹	1507
Consumo massimo di gasolio	kg h ⁻¹	42
Pressione di esercizio massima	MPa	1,18
Potenza elettrica installata	kW	2,50

compreso tra 0,5 e 1,5 giri s⁻¹), una barra per la distribuzione del vapore (che come sarà descritto in seguito può essere di diversi tipi) ed un'auolatrice-pacciamatrice.

Le caratteristiche che rendono tale attrezzatura molto innovativa e particolarmente efficiente sono molteplici. Essa ha, infatti, dimensioni molto ridotte che permettono un suo agevole accesso e manovra in spazi ristretti, quali quelli tipici di serre e tunnel. Decisamente efficiente è la propulsione mediante cingoli in gomma che gli consente un facile dislocamento ed un'ottima trazio-

ne in tutte le condizioni di lavoro, anche su terreno sciolto e comunque molto affinato, con un ridotto calpestamento. Inoltre, l'adozione di un generatore di vapore disposto orizzontalmente ha permesso di ridurre in modo drastico l'ingombro in altezza della macchina e quindi può accedere anche in apprestamenti con luce di entrata molto bassa. Particolarmente utile risulta l'attacco della parte posteriore al corpo macchina regolabile in senso trasversale in modo da poter trattare tutta la superficie anche nelle colture protette ed in particolare quella più prossima ai lati lunghi di tunnel e serre senza incontrare problemi con le strutture di copertura, anche se caratterizzate da altezza molto contenuta.

È molto evoluto, inoltre, il sistema di trasmissione e di gestione di tutte le funzioni della macchina che è completamente automatizzato, er-

gonomico e caratterizzato da notevole facilità di impiego (Fig. 4); infatti il dislocamento dell'operatrice è comandato con un semplice "joystick" biassiale multifunzionale e la gestione della trasmissione, sia alle ruote motrici dei cingoli che agli organi lavoranti quali la zappatrice rotativa ed il distributore delle sostanze a reazione esotermica, è elettroidraulica, controllata da una scheda elettronica, appositamente realizzata e collegata a sistemi di azionamento e di controllo di facile utilizzo e comprensione. Infine, per la movimentazione a distanza del veicolo è possibile utilizza-

Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica

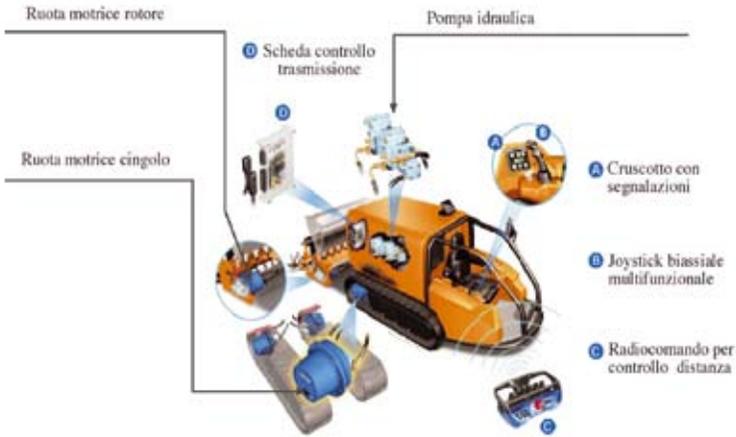


Fig. 4 Sistema di meccatronica della operatrice semovente cingolata "ECOSTAR SC 600"

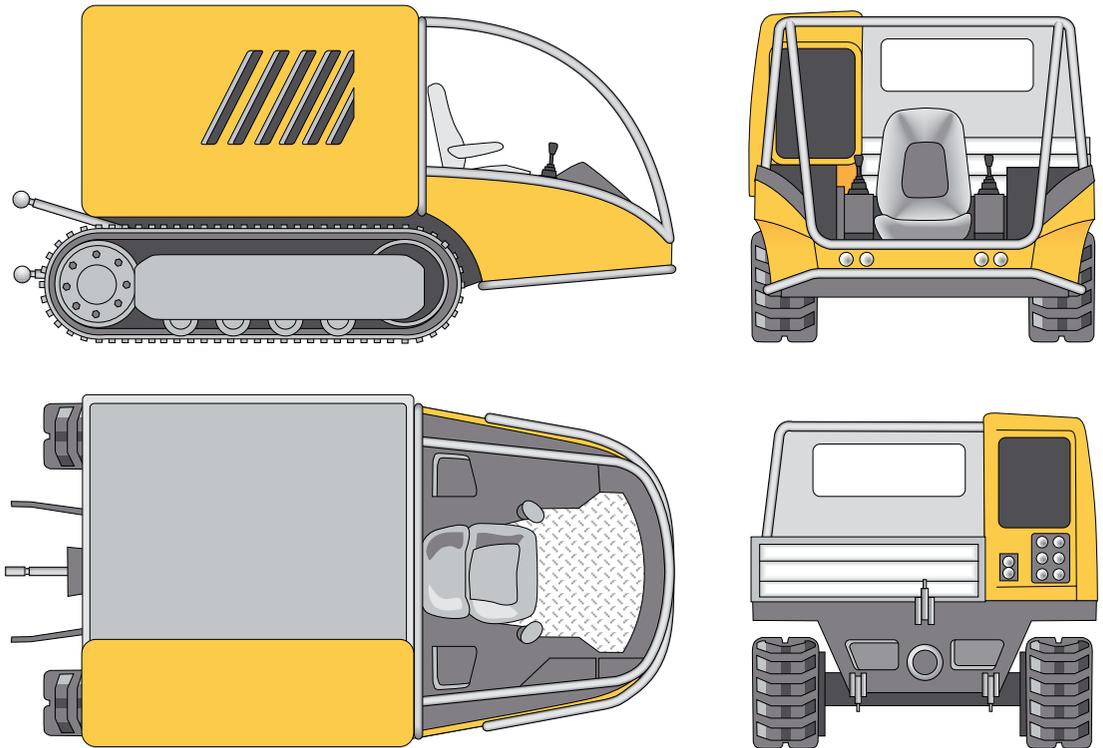


Fig. 5 L'operatrice semovente cingolata in versione unità motrice, equipaggiata con cassone di carico, attacco a tre punti, gancio di traino e presa di potenza.

re un radiocomando.

Particolarmente interessante è la possibilità di impiego della macchina come unità motrice separata dal gruppo per la disinfezione del terreno (Fig. 5); l'operatrice risulta a tale riguardo equipaggiata con un cassone di carico (che prende il posto del generatore di vapore e del serbatoio di contenimento dell'acqua che sono posizionati su di un modulo che può essere facilmente rimosso facendolo scorrere su due binari posizionati sulla "motrice"), con una presa di potenza, un attacco a tre punti, un gancio di traino ed una serie di prese idrauliche disposte posteriormente e può quindi essere utilizzata in accoppiamento con tutte le comuni operatrici per l'effettuazione di interventi colturali sia in serra ed in tunnel che in pieno campo (Fig. 6). In tal modo è possibile aumentarne notevolmente le possibilità di impiego.

I pregi di questa "particolarissima" operatrice cingolata sono enormi in considerazione dei già citati ingombri ridottissimi, della grande maneggevolezza, delle possibilità di manovra in spazi ridotti, delle ottime prestazioni in trazione e della elevata galleggiabilità. L'impiego polivalente consente infine agli utenti un pieno sfruttamento della macchina con positive ripercussioni sui costi di esercizio e quindi anche sul costo del trattamento di disinfezione del terreno.

Caratteristiche delle barre

Sono state realizzate tre diverse tipologie di barra per l'iniezione del vapore in grado, a parità di volume distribuito nell'unità di tempo, di determinare, ipoteticamente, una diversa stratificazione del calore nel terreno trattato. Le tre barre che



Fig. 6 *L'operatrice semovente cingolata equipaggiata con cassone di carico ed accoppiata a zappatrice rotante.*

sono state utilizzate nelle prove sperimentali sono schematizzate nella figura 7. La tipologia “a”, “barra singola”, è in grado di iniettare in maniera corretta il vapore ad una profondità variabile tra i 15 ed i 20 cm. La tipologia “b”, “barra doppia”, è stata realizzata per una ipotetica più omogenea distribuzione del vapore nel profilo trattato. Il distributore di tipo “c”, “barra nel cofano”, è stato pensato per trattare il terreno nello strato superficiale. In seguito, nel corso della sperimentazione, per valutare una possibile più omogenea distribuzione del vapore nei primi centimetri di profondità, la barra singola e quella nel cofano sono state utilizzate anche in modo “misto”, tipo “d” (Fig. 7), ripartendo la distribuzione del vapore fra le due con rapporto 1:1, 2:1 e 1:2.

L'efflusso del vapore è garantito da ugelli filettati in ottone, che permettono un'agevole regolazione del flusso e di effettuare facilmente le operazioni di manutenzione ordinaria (Fig. 8). La superficie di efflusso totale per le cinque modalità di distribuzione del vapore è rimasta costante e pari a 106 mm², valore ottenuto in prove precedenti, idoneo per mantenere una pressione adeguata e costante della caldaia (circa 0.8 MPa) e conseguentemente una temperatura del vapore elevata.

Rilievo delle temperature

La misura delle temperature è stata effettuata mediante un sistema costituito da sensori bifilari con PT100 (PT100-420 grado B a norme IEC 751) muniti di guaina in acciaio inox 304 lunga 50 mm e con diametro 5 mm, collegati ad un data logger. I sensori hanno un range di misura da 0 – 200 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$) e sono protetti contro le inversioni di polarità. Nel corso degli esperimenti le tempera-

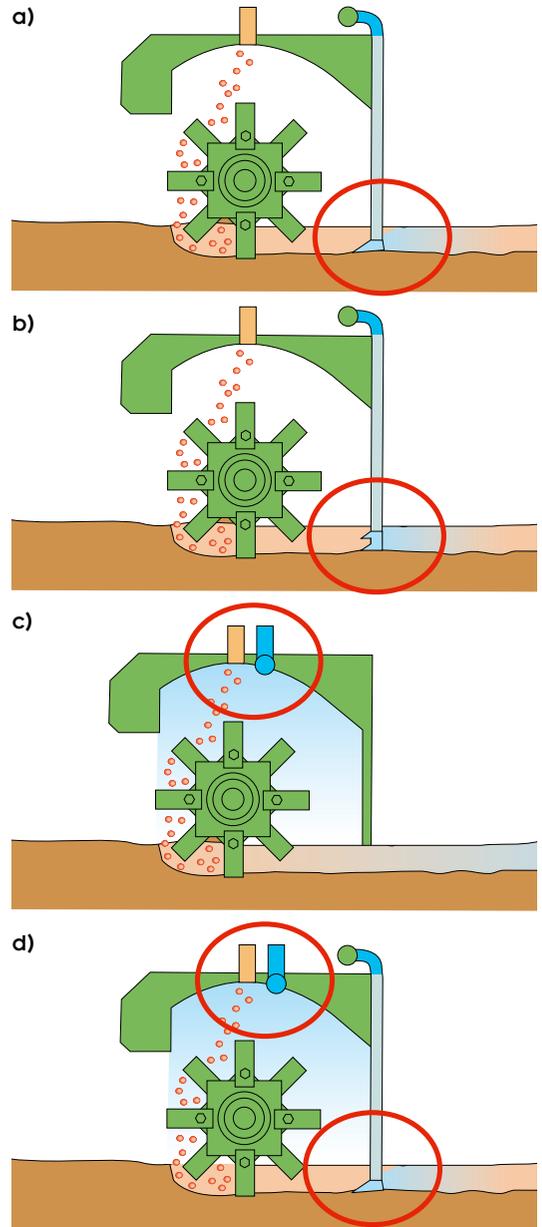


Fig. 7 Schema delle barre realizzate e delle diverse possibilità di distribuzione del vapore: (a) barra singola; (b) barra doppia; (c) barra nel carter della zappatrice rotativa; (d) modalità di distribuzione mista.



Fig. 8 Ugelli filettati (a sinistra), ugelli sulla barra singola (al destra), ugelli sulla barra doppia (in basso).

ture del terreno sono state monitorate ad intervalli regolari di 60 secondi nelle 3 ore successive al passaggio dell'operatrice. Le sonde sono state disposte verticalmente nel terreno alla profondità desiderata, regolata per mezzo di supporti in grado di non interferire con la misurazione della temperatura (Fig. 9). Come suggerito dalle sperimentazioni inerenti tematiche fitopatologiche e biologiche, le temperature rilevate sono state suddivise in quattro classi ($T \leq 40^\circ\text{C}$; $40 < T \leq 60^\circ\text{C}$; $60 < T \leq 80^\circ\text{C}$; $T > 80^\circ\text{C}$) e per ciascuna delle quali è stata determinata la permanenza nel terreno in minuti. Sono stati inoltre presi in considerazione i valori delle temperature massima, media, finale e le somme termiche (riferite all'intervallo di tempo di 180 minuti) raggiunti nel terreno a seguito dei diversi trattamenti.

Le prove sperimentali

Le prove sperimentali effettuate con l'operatrice Ecostar SC 600 (Fig. 10) sono state condotte su terreni sabbiosi (80-85% sabbia, 8-10% limo, 7-10% argilla) che al momento del trattamento erano ottimamente preparati ed avevano una umidità di

circa il 3% (rispetto al peso umido).

Le prestazioni operative sono state determinate durante ripetute prove sperimentali con velocità di avanzamento della macchina di 150 m h^{-1} . I rifornimenti di combustibile ed acqua sono stati effettuati fermando la macchina, operazione non strettamente necessaria dato che è possibile farli piuttosto agevolmente con l'operatrice in movimento. Sono stati determinati i tempi di lavoro (effettivi, accessori e operativi), i consumi di combustibile (sia della motrice che della caldaia per la produzione del vapore) ed è stato calcolata la capacità operativa ed il rendimento operativo. I dati raccolti sono stati elaborati e riferiti ad un campo ideale di 1 ettaro.

I risultati presentati in questo lavoro relativi al riscaldamento del terreno sono riferiti a diverse prove sperimentali; la velocità di avanzamento utilizzata in queste prove è stata variabile tra 80 e 150 m h^{-1} . Al fine di valutare l'effetto del sistema "bioflash", una sperimentazione ha previsto il confronto fra trattamenti effettuati con il solo

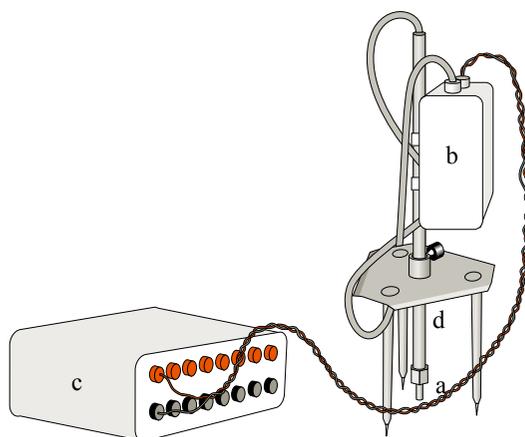


Fig. 9 Sistema per la misura delle temperature: a) sensore; b) interfaccia di pilotaggio; c) data logger; d) supporto regolabile.



Fig. 10 Operatrice semovente cingolata Celli Ecostar SC 600 e misura delle temperature durante le prove sperimentali.

vapore e vapore in associazione a KOH e CaO alle dosi di 1000 e 4000 kg ha⁻¹; in questo caso la macchina è stata utilizzata con la barra singola ed in assenza di pacciamatura. Una prova distinta è stata condotta per valutare l'effetto dell'applicazione, contemporanea al trattamento del terreno, di film pacciamante; i trattamenti sono stati effettuati utilizzando una sola sostanza e dose (2000 kg ha⁻¹ di CaO) ed una sola barra (la singola), ed è stata posta a confronto la stesura o meno di film plastico. Un'ulteriore sperimentazione è stata condotta per valutare l'effetto delle diverse barre sul riscaldamento del terreno a diversa profondità; in questo caso sono stati utilizzati una sola sostanza e dose (2000 kg ha⁻¹ di CaO) ed il telo pacciamante e sono state misurate le temperature ottenute con le tre diverse barre a 4 profondità del terreno. Infine, per ottimizzare la distribuzione del vapore nei primi 15 cm di profondità del terreno, è stata effettuata una sperimentazione che ha previsto l'utilizzo della barra singola, di quella nel cofano e delle tre modalità di distribuzione "miste"; in questo caso sono stati utilizzati una sola sostanza e dose (4000 kg ha⁻¹ di CaO) ed il telo pacciaman-

te e sono state misurate le temperature ottenute con le cinque modalità di distribuzione a 2 profondità del terreno.

Il disegno sperimentale utilizzato è stato in ogni caso un blocco randomizzato con 4 ripetizioni per ogni tesi (Gomez & Gomez, 1984). I dati ottenuti sono stati sottoposti all'analisi della varianza utilizzando il software CoStat (CoHort Software, 1998).

Valutazioni economiche

Le valutazioni economiche, consistenti nel calcolo dei costi orari ed unitari (riferiti ad un ettaro di superficie trattata), sono state effettuate applicando le metodologie classiche per il calcolo dei costi di esercizio delle macchine agricole (Cera, 1976; Ribaud, 1996; Sartori, 1998). I costi relativi all'impiego della macchina per la disinfezione del terreno sono stati suddivisi in fissi (ammortamento, interesse, spese varie) e variabili (riparazione, manutenzione, combustibile e manodopera). È stata considerata una vita utile della macchina pari a 10 anni ed una utilizzazione annua di

1500 ore/anno. Il costo dell'attrezzatura ufficiale fornito dal costruttore è di 90000 €. Per quanto attiene la sostanza a reazione esotermica è stato considerato un costo di 0,35 € kg⁻¹ per il KOH e di 0,25 € kg⁻¹ per il CaO, che è stato suggerito dalle industrie chimiche produttrici in previsione di questo utilizzo specifico. Per il costo del trattamento sono state considerate due dosi (1000 e 4000 kg ha⁻¹) di KOH e CaO (corrispondenti a quelle saggiate negli esperimenti biologici).

Risultati

Prestazioni operative

Le principali caratteristiche dell'operatrice sono riportate nella tabella 1.

Le dimensioni ridotte della macchina hanno con-

Tab. 2 *Principali prestazioni operative della ECOSTAR SC 600 per la disinfezione e disinfestazione del suolo.*

Caratteristiche operative		Valori
Velocità di avanzamento	m h ⁻¹	150
Profondità di lavoro	m	0,2
Larghezza di lavoro	m	1,6
Tempo effettivo	h ha ⁻¹	41,6
Tempi accessori	h ha ⁻¹	10,9
Tempo operativo	h ha ⁻¹	52,5
Rendimento operativo	%	79
Capacità operativa	m ² h ⁻¹	190
Consumi combustibile macchina	kg ha ⁻¹	450
Consumo caldaia	kg ha ⁻¹	1838
Consumo totale di combustibile	kg ha ⁻¹	2288

sentito di operare in ambienti ristretti anche in altezza (ad esempio in tunnel) grazie alla disposizione orizzontale della caldaia. La macchina ha mostrato una notevole maneggevolezza e semplicità d'utilizzo anche grazie alla gestione mediante il joystick biassiale multifunzionale.

Le prestazioni operative medie relative all'impiego dell'attrezzatura semovente (nel lungo periodo di esecuzione delle prove sperimentali) sono altresì riportate nella tabella 2. Adottando una velocità di avanzamento pari a 150 m h⁻¹, il tempo operativo è risultato molto elevato, mettendo in evidenza una incidenza dei tempi accessori e dei tempi morti pari a circa il 20% del totale. Il rendimento operativo può essere aumentato attraverso l'adozione di semplici accorgimenti tecnici, come i rifornimenti di combustibile ed acqua con l'attrezzatura in movimento, in grado di garantire una maggior efficienza dei tempi di rifornimento del generatore di vapore e quindi una maggior continuità del lavoro.

A commento della tabella 2, è opportuno ricordare che i tempi piuttosto lunghi necessari per la realizzazione del trattamento vengono in parte compensati dalla immediata disponibilità, almeno per le colture fino ad oggi testate (Curto *et al.*, 2002; D'Errico *et al.*, 2002; Lenzi *et al.*, 2002 e 2004; Peruzzi *et al.*, 2000 e 2003; Stringari e Triolo, 2002; Triolo e D'Errico, 2002; Triolo *et al.*, 2003 e 2004), della superficie trattata e destinata al trapianto, differendo così in maniera sostanziale dai sistemi di geodisinfezione con prodotti chimici, che, al contrario, richiedono necessariamente il rispetto di lunghi periodi tra l'effettuazione dell'intervento fitoiatrico e le successive operazioni di impianto, onde evitare la comparsa di fenomeni di fitotossicità. Inoltre rispetto agli altri

trattamenti con sistemi fisici il tempo operativo è molto contenuto.

Analisi del riscaldamento del terreno

I valori riportati nella tabella 3 mostrano chiaramente come l'adozione del sistema "bioflash" sia in grado di determinare un significativo innalzamento della temperatura del terreno rispetto all'uso del solo vapore (mediamente +17%). Gli incrementi termici ottenuti con il sistema "bioflash", pur differendo sempre in maniera significativa rispetto all'uso del solo vapore, mostrano anche una diversa efficacia reattiva delle sostanze impiegate e del loro dosaggio. Con riferimento al parametro "somma termica", a parità di dose

impiegata, la CaO sembra consentire incrementi medi del 7% rispetto al KOH. Appare inoltre evidente come i dosaggi più alti delle sostanze impiegate siano in grado di garantire un riscaldamento del terreno più elevato e duraturo. A tale riguardo, infatti, l'utilizzazione di 4000 kg ha⁻¹ sembra consentire, per entrambe le sostanze, incrementi delle somme termiche mediamente superiori del 10% rispetto al valore relativo ottenuto distribuendo 1000 kg ha⁻¹ (Tab. 4).

Di rilievo, inoltre, quanto emerso nell'ambito delle diverse classi di temperatura (Tab. 3). La CaO a dosaggi di 4000 kg ha⁻¹ ha permesso il raggiungimento di temperature superiori ai 60°C per oltre 50 minuti mentre alla dose di 1000 kg ha⁻¹ ha mostrato tempi di permanenza del tutto

Tab. 3 Tempi di permanenza nel terreno di quattro diverse classi di temperatura registrate in 180 minuti alla profondità di 8 cm in seguito a trattamenti effettuati con solo vapore e con vapore in associazione a due diverse dosi di CaO e di KOH alla profondità di 18 cm. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Classi di temperatura (°C)	Tempo (min)				
	Vapore	KOH 1000	KOH 4000	CaO 1000	CaO 4000
T ≤ 40	10 a	0 b	0 b	0 b	0 b
40 < T ≤ 60	170 b	180 a	178 a	177 a	130 c
60 < T ≤ 80	0 b	0 b	2 b	3 b	50 a
T > 80	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a

Tab. 4 Somme termiche, temperature massime, medie e finali rilevate nel terreno nelle tre ore successive al trattamento alla profondità di 8 cm, con vapore e con vapore associato a due sostanze a reazione esotermica a diverso dosaggio. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (Test di Duncan)

Variabili	Temperatura (°C)				
	Vapore	KOH 1000	KOH 4000	CaO 1000	CaO 4000
T max	46 c	50 c	57 b	57 b	72 a
T media	44 d	47 c	52 b	51 b	56 a
T finale	44 b	45 b	48 a	45 b	47 a
Σ T	7925 d	8444 c	9405 b	9184 cb	10052 a

Tab. 5 Tempi di permanenza nel terreno di quattro diverse classi di temperature registrate in corrispondenza della profondità di lavoro della barra (16 cm) in 180 minuti a seguito di trattamenti effettuati con vapore in associazione a 2000 kg ha⁻¹ di CaO, con e senza pacciamatura. Nell'ambito di una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Classi di temperatura (°C)	Tempo (min)	
	Coperto	Non coperto
T \leq 40 (min)	0 b	25 a
40<T \leq 60 (min)	70 b	122 a
60<T \leq 80 (min)	65 a	20 b
T>80 (min)	45 a	13 b

sovrapponibili a quelli dei piú alti dosaggi (4000 kg ha⁻¹) del KOH. Infine, entrambe le sostanze testate (Tab. 4), se utilizzate ai dosaggi piú elevati, sembrano contribuire in maniera significativa alla conservazione di temperature piú elevate nel terreno rispetto a quanto osservato nel caso della distribuzione del solo vapore.

Differenze significative sono state inoltre rilevate in corrispondenza dell'applicazione, contestualmente al trattamento del terreno, di film pacciamante (Tab. 5). Da questo punto di vista l'applicazione del film plastico sembra esplicare un effetto positivo sulla conservazione del calore nel terreno trattato, fornendo una sorta di barriera alla sua dispersione. Infatti a fronte del raggiungimento, come era da attendersi, di una stessa temperatura di picco (92-93°C), registrata nelle fasi immediatamente successive il trattamento, l'impiego del telo pacciamante ha determinato differenze significative delle somme termiche con incrementi, nell'arco dei 180 minuti, di circa il 30% (Tab. 6).

Il ruolo svolto dalla pacciamatura nel limitare il processo di dispersione del calore trova una con-

Tab. 6 Somme termiche, temperature massime, medie e finali registrate nel terreno dopo 3 ore in corrispondenza della profondità di lavoro della barra (16 cm) a seguito di trattamenti effettuati con vapore in associazione a 2000 kg ha⁻¹ di CaO, con e senza pacciamatura. Nell'ambito di una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Variabili	Temperatura (°C)	
	Coperto	Non coperto
T max	93 a	92 a
T media	67 a	52 b
T finale	49 a	37 b
ΣT	12091 a	9336 b

ferma significativa anche nei valori relativi alla temperatura finale osservata 180 minuti dopo l'esecuzione del trattamento. Il terreno coperto infatti mantiene anche a distanza di 3 ore dal trattamento valori termici prossimi ai 50°C. Su suolo pacciamato, infine, la temperatura media rilevata nel corso del trattamento risulta comunque piú elevata rispetto a quella determinata in assenza di pacciamatura.

A risultati interessanti si giunge anche osservando i diversi profili termici del terreno ottenuti a seguito dell'impiego di diverse tipologie di barra per l'iniezione del vapore.

L'adozione della barra posizionata nel cofano della zappatrice (Fig. 7) determina un riscaldamento significativamente superiore negli strati piú superficiali del terreno (0-5 cm). Questo tipo di distribuzione riesce infatti a riscaldare il terreno in modo rilevante ($T > 60^\circ\text{C}$) per un totale di 34 minuti, mentre l'effetto in superficie, delle altre due barre sembra essere estremamente limitato. Va inoltre rilevato che questo sistema di iniezione sembra disperdere con maggior rapidità il calore determinando al termine dei 180 minuti un nivel-

Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica

Tab. 7 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 5 cm di profondità con le tre tipologie di barra in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 5 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Variabili	Temperature (°C)		
	Cofano	Singola	Doppia
T max	81 a	52 b	48 b
T media	55 a	49 ab	45 b
T finale	48 b	50 a	47 b
ΣT	9857 a	8863 b	8168 b
Temperature (°C)	Tempo (min)		
	Cofano	Singola	Doppia
$T \leq 40$	0 b	15 a	25 a
$40 < T \leq 60$	146 b	165 a	155 ab
$60 < T \leq 80$	32 a	0 b	0 b
$T > 80$	2 a	0 b	0 b

lo termico inferiore rispetto a quello rilevato per la barra singola (Tab. 7).

A conferma dell'azione differenziata sul riscaldamento del terreno operata dai diversi modelli di

Tab. 9 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 15 cm di profondità con le tre tipologie di barra in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 15 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Variabili	Temperature (°C)		
	Cofano	Singola	Doppia
T max	47 c	90 a	63 b
T media	44 b	61 a	56 a
T finale	42 b	52 a	52 a
ΣT	7994 b	11050 a	10149 a
Temperature (°C)	Tempo (min)		
	Cofano	Singola	Doppia
$T \leq 40$	0 a	0 a	0 a
$40 < T \leq 60$	180 a	103 c	141 b
$60 < T \leq 80$	0 c	68 a	39 b
$T > 80$	0 b	9 a	0 b

Tab. 8 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 10 cm di profondità con le tre tipologie di barra in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 10 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Variabili	Temperature (°C)		
	Cofano	Singola	Doppia
T max	69 a	65 a	48 b
T media	53 b	58 a	46 c
T finale	47 b	51 a	46 b
ΣT	9523 b	10390 a	8250 c
Temperature (°C)	Tempo (min)		
	Cofano	Singola	Doppia
$T \leq 40$	0 b	0 b	17 a
$40 < T \leq 60$	152 a	123 b	163 a
$60 < T \leq 80$	28 b	57 a	0 c
$T > 80$	0 a	0 a	0 a

barra basta osservare quanto rilevato alla profondità di 10 cm (Tab. 8).

In questo caso la maggior efficienza termica viene esplicitata dalla barra singola. La somma termi-

Tab. 10 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 20 cm di profondità con le tre tipologie di barra in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 20 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan).

Variabili	Temperature (°C)		
	Cofano	Singola	Doppia
T max	40 b	85 a	87 a
T media	39 b	58 a	56 a
T finale	39 b	50 a	47 a
ΣT	7044 b	10461 a	10069 a
Temperature (°C)	Tempo (min)		
	Cofano	Singola	Doppia
$T < 40$	180 a	0 b	0 b
$40 < T < 60$	0 b	129 a	136 a
$60 < T < 80$	0 b	47 a	38 a
$T > 80$	0 c	4 b	6 a

ca infatti si attesta su valori decisamente più alti rispetto sia alla distribuzione nel cofano che mediante la barra doppia.

Di particolare rilievo è il contributo derivante dalle temperature presumibilmente più attive da un punto di vista fitoiatrico (comprese tra 60 e 80 °C) che permangono nello strato monitorato per quasi 1 ora (Tab. 8).

La temperatura di picco osservata a 10 cm di profondità utilizzando la barra singola è inoltre del tutto paragonabile a quella ottenuta con il distributore nel cofano e significativamente superiore rispetto a quella conseguita con la barra doppia. Alla profondità di 15 cm (Tab. 9) si osservano rapporti tra le prestazioni termodinamiche dei distributori sostanzialmente diversi rispetto a quanto rilevato a 10 cm. L'effetto della barra nel cofano sembra infatti di scarsa rilevanza ed il calore che giunge negli strati profondi manifesta una netta inferiorità rispetto a quanto osservato per le barre singola e doppia. I due distributori in grado di iniettare il vapore direttamente in profondità

garantiscono in particolare somme termiche che sembrano deporre a favore di una più prolungata attività fitoiatrica.

Infine, per quanto riguarda i rilievi condotti a 20 cm di profondità (Tab. 10), le prestazioni delle barre singola e doppia sembrano mostrare una medesima capacità di riscaldamento del terreno. I dati relativi alla sommatoria termica, come pure quelli relativi alla temperatura massima, media e finale, mostrano valori fra loro paragonabili. Differenze significative, ma poco rilevanti, sono presenti relativamente alla permanenza delle temperature più elevate (6 minuti della barra doppia contro i 4 minuti della barra singola).

L'attuale assetto della barra doppia comunque non consente al momento l'individuazione di effetti complessivi di rilievo rispetto alla barra singola, che, anzi, sembra quella in grado di fornire al momento i risultati migliori nello strato di terreno compreso tra 0 e 20 cm di profondità. La barra doppia permette altresì di riscaldare il terreno in modo apprezzabile anche a mag-

Tab. 11 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 5 cm di profondità con le cinque modalità di distribuzione del vapore in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 5 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan e test LSD per $\sum T$).

Variabili	Temperature (°C)				
	Cofano	Singola	Mista 1:1	Mista 2:1	Mista 1:2
T max	64 a	51 b	53 b	53 b	51 b
T media	54 a	48 b	45 b	51 ab	48 b
T finale	49 a	49 a	40 b	50 a	49 a
$\sum T$	9703 a	8608 b	8088 b	9112 ab	8712 b
Temperature (°C)	Tempo (min)				
	Cofano	Singola	Mista 1:1	Mista 2:1	Mista 1:2
T<40	0 c	13 b	26 a	0 c	15 b
40<T≤60	149 b	167 ab	154 b	180 a	165 ab
60<T≤80	31 a	0 b	0 b	0 b	0 b
T>80	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a

giori profondità, dove le altre tipologie di barre non hanno alcun effetto rilevabile. Pertanto, l'impiego di quest'ultimo tipo di distributore potrebbe essere consigliato per trattamenti mirati a colpire patogeni presenti prevalentemente nello strato di suolo compreso tra 15 e 30 cm di profondità.

I risultati delle prove sperimentali effettuate per valutare la possibilità di utilizzare modalità di distribuzione del vapore miste, con l'uso contemporaneo di due barre (la singola e quella nel cofano), per ottimizzare la distribuzione del vapore nei primi 15 cm di profondità del terreno, sono riportati nelle tabelle 11 e 12.

A 5 cm di profondità (Tab. 11) le migliori prestazioni termodinamiche sono state quelle ottenute con la distribuzione del vapore con la barra nel cofano che ha fatto registrare valori significativamente superiori di temperatura media, finale e della sommatoria delle temperature rispetto a tutti gli altri trattamenti ad esclusione della mista con 2/3 di vapore distribuito con la medesima

barra. La distribuzione con la barra nel cofano è comunque l'unica che riscalda il terreno con temperature superiori a 60 °C (per 31 minuti) dimostrando una decisa maggiore efficienza rispetto a tutte le altre.

Alla profondità di 10 cm (Tab. 12) la distribuzione con barra singola ha fornito i migliori risultati per tutti i parametri considerati, con valori decisamente più alti rispetto agli altri per la temperatura massima, media e finale e per la sommatoria delle temperature; è inoltre l'unica che ha fatto registrare temperature comprese tra 60 e 80 °C. È interessante osservare che nessuna delle modalità di distribuzione mista ha fatto registrare valori migliori rispetto a quella nel cofano.

Dall'analisi complessiva dei dati appare evidente come la contemporanea distribuzione del vapore con due barre abbia comportato un peggioramento del riscaldamento del terreno rispetto all'utilizzo di una unica barra, segno di una chiara perdita di efficienza termodinamica.

Tab. 12 Temperature massime, medie, finali e somme termiche registrate a 10 cm di profondità con le cinque modalità di distribuzione del vapore in prova. Tempi di permanenza delle classi di temperatura rilevate a 10 cm di profondità. In una stessa riga numeri seguiti da lettere diverse indicano differenze significative per $P \leq 0,05$ (test di Duncan e test LSD per ΣT).

Variabili	Temperature (°C)				
	Cofano	Singola	Mista 1:1	Mista 2:1	Mista 1:2
T max	59 b	73 a	51 b	51 b	55 b
T media	51 b	58 a	48 b	49 b	51 b
T finale	48 b	52 a	47 b	48 b	48 b
ΣT	9156 b	10640 a	8539 c	8692 c	9156 b
Temperature (°C)	Tempo (min)				
	Cofano	Singola	Mista 1:1	Mista 2:1	Mista 1:2
T<40	0 b	0 b	6 a	5 a	0 b
40<T≤60	180 a	152 b	174 a	175 a	180 a
60<T≤80	0 b	28 a	0 b	0 b	0 b
T>80	0 a	0 a	0 a	0 a	0 a

Valutazioni economiche

Il prezzo di acquisto dell'attrezzatura contenuto (Tab. 13), specialmente se considerato in rapporto al suo elevato livello tecnologico, ha permesso di ottenere un costo medio del trattamento di disinfezione del terreno di 4000€ ha⁻¹ che è decisamente concorrenziale sia nei confronti delle distribuzioni di bromuro di metile (dal costo di 6000€ ha⁻¹ ed oramai non più utilizzabili come termine di paragone) che delle applicazioni complementari degli altri trattamenti attualmente ammessi, utilizzati per ottenere uno spettro di azione più ampio (Nomisma, 2007). Ad esempio un trattamento utilizzato comunemente per la sua azione nematocida, fungicida e parzialmente erbicida che prevede la distribuzione di 1,3 Dicloropropene + cloropicrina ha un costo variabile da 4700 a 6000 € ha⁻¹ (Nomisma, 2007).

Tab. 13 Costi dei trattamenti effettuati con l'operatrice Celli ECOSTAR SC 600

Caratteristiche		Ecostar SC 600
Costo di acquisto	€	90.000
Vita utile	(anni)	10
Impiego annuo	(h)	1.500
Costo orario	(€ h ⁻¹)	62
Costo per ettaro	(€ ha ⁻¹)	3.250
Costo medio del trattamento:		
Vapore + KOH (1000 – 4000 kg ha ⁻¹)	(€ ha ⁻¹)	4125
Vapore + CaO (1000 – 4000 kg ha ⁻¹)	(€ ha ⁻¹)	3875
COSTO MEDIO	(€ ha⁻¹)	4000

Il trattamento con il sistema bioflash effettuato con l'operatrice semovente risulta più costoso rispetto a quelli che utilizzano un singolo prodotto chimico, come quello molto diffuso con 1,3 Dicloropropene (2500 - 3500 € ha⁻¹) che però ha solo azione nematocida ed ha intervallo di sicurezza di 28 giorni e quelli con Methan-potassio e Methan-sodio (1500 - 3400 € ha⁻¹) che hanno intervalli di sicurezza di 14-28 giorni (Nomisma, 2007), ma nel complesso per le sue caratteristiche specifiche (immediata disponibilità del terreno dopo il trattamento, esecuzione senza dover ricorrere ad accorgimenti particolari, permessi o a ditte specializzate, ampio spettro d'azione, velocità di esecuzione rispetto agli altri trattamenti con mezzi fisici) appare nel complesso economicamente competitivo. Inoltre, essendo i trattamenti di disinfezione del terreno con il sistema bioflash a basso impatto ambientale, è pensabile ed auspicabile un'incentivazione statale (o comunque istituzionale) al suo utilizzo che renderebbe l'acquisto dell'operatrice semovente meno oneroso. Infine, in una valutazione economica complessiva, non è da trascurare il fatto che l'attrezzatura è versatile e polivalente e che può essere utilizzata come motrice per molte operazioni colturali con ottime prestazioni operative.

Conclusioni

L'operatrice semovente cingolata nel corso di una lunga ed intensa sperimentazione ha mostrato una notevole maneggevolezza, semplicità d'utilizzo, affidabilità e prestazioni operative complessivamente buone, grazie sia alle caratteristiche proprie dell'attrezzatura che del sistema bioflash. Dalle prove sperimentali effettuate con questa

macchina è emerso e ha trovato conferma che l'adozione del sistema bioflash determina un significativo innalzamento delle temperature del terreno rispetto all'uso del solo vapore, che le diverse sostanze a reazione esotermica e le diverse dosi utilizzate hanno una differente efficacia (l'utilizzo della CaO e di dosi più elevate sono in grado di garantire un riscaldamento del terreno più elevato e duraturo) e che l'applicazione di film plastico durante l'intervento ha un effetto positivo sulla conservazione del calore nel terreno trattato.

Le esperienze condotte sulle diverse tipologie di barra hanno evidenziato la possibilità di operare in modo differenziato su diversi strati di terreno, subordinando, in via ipotetica, la barra da adottare all'organismo bersaglio verso il quale è diretta l'applicazione del sistema "bioflash". Tutti i distributori costruiti e messi a punto hanno mostrato un ottimo funzionamento e notevole facilità di regolazione e manutenzione.

Il costo medio del trattamento di disinfezione del terreno effettuato con questa operatrice è risultato decisamente concorrenziale sia nei confronti delle distribuzioni di bromuro di metile che delle applicazioni complementari degli altri trattamenti attualmente ammessi. Risulta tendenzialmente più costoso rispetto a quelli che utilizzano un singolo principio attivo, ma nel complesso per le sue caratteristiche specifiche appare economicamente competitivo e lo sarebbe ancora di più se, come è lecito pensare, fosse sostenuto a livello istituzionale mediante erogazione di specifici contributi. Inoltre deve essere considerato che l'attrezzatura è versatile e polivalente e che può essere validamente utilizzata come motrice per molte operazioni colturali.

Bibliografia

- BARBERI P., MOONEN A. C., PERUZZI A., RAFFAELLI M., MAZZONCINI M. (2002). Reducing weed seedling recruitment by soil steaming. *14th IFOAM Organic World Congress, Victoria (CA), 21-23 Aug. 49*.
- CERA M. (1976). Meccanizzazione Agricola, *Patron, Padova*.
- COHORT SOFTWARE (1998). Costat manual revision 6.311, *Edition Cohort Software, P.O. Box 19272, Minneapolis, MN 55419 USA*.
- COLORIO G., TOMASONE R., BOZZOLI M. (2002). Strumenti, impianti e macchine utilizzate per il trattamento del terreno con vapore acqueo: stato dell'arte ed evoluzione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì 30.10.2002, 19-28*.
- BARBERI P., MOONEN A. C. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sul controllo della flora infestante reale e potenziale. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì 30.10.2002, 103-110*.
- CURTO G., MOSCHENI E., SANTI R., MAINARDI M., DALLAVALLE E. (2002). Controllo dei nematodi galligeni su lattuga mediante vapore e sostanze a reazione esotermica: risultati di un biennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì 30.10.2002, 71-77*.
- D'ERRICO F. P., CAPRIO E., RUSSO G. (2002). Efficacia fitoatrica del vapore e di sostanze a reazione esotermica sui nematodi. Risultati preliminari. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì 30.10.2002, 67-70*.
- GELSOMINO A., MARTELLI G., OLIVA S., BOLIGNANO M. S., CACCO G. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica su alcune caratteristiche microbiche del terreno: risultati preliminari. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì 30.10.2002, 89-94*.
- GOMEZ K.A., GOMEZ A.A. (1984). Statistical procedures for agricultural research, *2nd edn, J. Wiley & Sons, New York, USA*.
- KATAN J. (1987). Soil solarization. In: *Innovative approaches to plant disease control, I Chet ed., John Wiley & Sons, New York*.
- LENZI A., LOMBARDI P., TESI R. (2004). Effects of steam and exothermic substances (KOH and CaO) on lettuce and strawberry production: two years of experimentation. *Advances in horticultural science, 4, 155-160*.
- LUVISI A., MATERAZZI A., TRIOLO E. (2006) Steam and exothermic reactions as alternative techniques to control soil-borne diseases in basil. *Agron. Sustain. Dev. 26, 201-207*.
- MAZZONCINI M., RISALITI R., GINANNI M., MAINARDI M. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sulle principali caratteristiche chimiche del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfezione del terreno", Forlì, 30.10.2002, 79-88*.



- MOONEN C., BARBERI P., RAFFAELLI M., MAINARDI M., PERUZZI A., MAZZONCINI M. (2002). Soil steaming with an innovative machine - effects on the weed seedbank. *5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Pisa, 11-13 March 2002*, 230-236.
- NEDERPEL L. (1979). *Soil sterilization and pasteurization. In: Soil disinfections, D. Mulder ed. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.*
- NOMISMA (2007). Il ruolo economico dei fumiganti e della disinfestazione del terreno nell'agricoltura italiana. 16 pp.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., DI CIOLO S., MAZZONCINI M., GINANNI M., MAINARDI M., RISALITI R., TRIOLO E., STRINGARI S., CELLI A. (2000). Messa a punto di un prototipo di sterilizzatore del terreno per mezzo di vapore e di sostanze a reazione esotermica. *Rivista di Ingegneria Agraria*, 31, 226-242.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M. (2002). Development of innovative machines for soil disinfection by means of steam and substances in exothermic reaction. *Proceedings of the 5th EWRS Workshop on "Physical and Cultural Weed Control", Pisa 11-13 March 2002*, 220-229.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., TONIOLO S., MARCHI C. (2003) Le macchine per la disinfezione e disinfestazione termica del terreno. *L'Informatore Agrario*, 46, 51 - 56.
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2004). Weed seeds control by steam and substances in exothermic reaction. *6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 8-10 March 2004*, 128-138.
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2005). Weed control by steam and compounds causing an exothermic reaction. *13th EWRS Symposium, 19 - 23 June 2005*.
- RAFFAELLI M., PERUZZI A., DEL SARTO R., MAINARDI M., PULGA L., PANNOCCHIA A. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sul riscaldamento del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno", Forlì, 30.10.2002*, 45-51.
- RIBAUDO F. (1996). Costo di esercizio delle macchine agricole. *Macchine & Motori Agricoli*, 3, 1-11.
- SARTORI L. (1998). Dispense di Meccanizzazione Agricola. Capitolo V: calcolo del costo di esercizio delle macchine. *Università degli Studi di Padova*.
- TRIOLO E., D'ERRICO F P. (2002). Il vapore d'acqua: un secolo di esperienza per un sistema fitoiatrico attuale. *Atti del Convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno", Forlì, 30.10.2002*, 11-17.
- Triolo E., Materazzi A., Luvisi A. (2004). Exothermic reactions and steam for the management of soil-borne pathogens: five years of research. *Advances in horticultural science*, 2, 89-94.

Esotermia e vapore d'acqua: un'alternativa per la disinfezione del terreno

Enrico Triolo, Andrea Luvisi, Alberto Materazzi

Dipartimento di Coltivazione e Difesa delle Specie Legnose "G. Scaramuzzi", Università di Pisa

Introduzione

Gli interventi di disinfezione del terreno rappresentano una parte fondamentale del programma di miglioramento delle condizioni sanitarie delle colture commerciali. Gli agenti fitopatogeni presenti nel terreno, infatti, benché non numerosi o specializzati nei rapporti con le piante ospiti come quelli interessanti gli organi aerei, costituiscono un gruppo estremamente importante in relazione sia alla precocità con la quale, di norma, instaurano le infezioni, sia per la delicatezza degli organi esposti agli attacchi, quali, per esempio, semi germinanti, plantule in emergenza, radici. Interventi di disinfezione, specialmente se effettuati con una sufficiente conoscenza della possibile carica patogenetica presente nel terreno, possono essere in grado di fornire una adeguata protezione alle piante. L'obiettivo principale di questi interventi va ricercato, quindi, nel contenimento di specifici organismi, senza trascurare, tuttavia, che questi interventi, alterando i complessi equilibri esistenti nel terreno, possono contribuire ad aumentarne la fertilità e la produttività. Seppure il ricorso a drastici interventi chimici abbia rappresentato, in passato, la via maestra per il contenimento dei patogeni nel terreno, la aumentata

sensibilità dell'opinione pubblica alle implicazioni di natura tossicologica ed ambientale sembrano imporre, oggi, l'adozione di tecniche più sicure e di ridotto impatto ambientale.

Ancora ben vive rimangono le difficoltà per individuare alternative di disinfezione del terreno che possano offrire lo stesso livello di efficacia e le stesse caratteristiche tecniche del bromuro di metile. Ogni sforzo, comunque, dovrà essere prodotto al fine di evitare di sostituire questo fumigante con formulati o con alternative che possano avere conseguenze negative o sconosciute sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Come è ben noto, tra i mezzi di disinfezione del terreno sperimentati, solo pochissimi hanno trovato condizioni per un largo impiego assumendo la connotazione di interventi di geodisinfezione propriamente detti: i primi due, il vapore d'acqua ed i fumiganti vengono utilizzati da ben oltre un secolo ed il terzo, più recente, la solarizzazione del terreno, è stato introdotto verso la fine degli anni settanta. È fondamentale, quindi, ricordare che in tutto il ventesimo secolo, periodo peraltro nel quale sono stati ottenuti incredibili sviluppi della fitoiatria, si siano resi disponibili solo tre tipi



di intervento, con la possibilità, per i trattamenti chimici, di utilizzare un piccolissimo numero di molecole attive.

Senza considerare gli interventi chimici e la solarizzazione, gli effetti degli interventi condotti con vapore d'acqua dipendono, come è ben noto, da una nutrita serie di variabili che partendo dalla combinazione "valori termici raggiunti con il trattamento x la loro durata" coinvolgono, per esempio, la natura del terreno, il suo contenuto idrico, il sistema di adduzione e distribuzione del vapore d'acqua, e tante altre cose fra le quali, non ultimo, il tipo di patogeno da controllare e la natura dell'intera biofase del terreno. Se, come è vero, il successo del trattamento dipende in prima approssimazione dalle temperature raggiunte, è bene ricordare come queste possono essere anche relativamente basse, visto che i dati acquisiti nel tempo hanno evidenziato come la maggioranza dei patogeni, in rapporto alle maggiori esigenze connesse con la loro specializzazione, siano meno resistenti di molti saprofiti ed antagonisti quando esposti a sfavorevoli condizioni ambientali. La storia dell'impiego del vapore d'acqua, ha evidenziato, a partire dal dopoguerra, l'abbandono di quell'empirismo che fino ad allora spesso suggeriva le soluzioni da adottare, per favorire uno sviluppo articolato su più solide basi scientifiche. Rapidamente si affermò l'opportunità di procedere con la riduzione della drasticità dell'intervento attraverso l'abbattimento dei valori "temperatura x tempo". Un "raffreddamento" (*cool steaming*) dell'intervento assicurava, oltre ad una maggiore economia, anche la salvaguardia della naturale biocenosi e degli equilibri chimico-fisici del terreno. In modo particolare si sono affermati gli interventi "raffreddati", tipicamente a 70°C per 30',

con l'impiego del vapore areato (*aerated steam*) (Baker, 1962 e 1970; Bartok, 1994; Grossman e Liebman, 1995). È inoltre interessante rilevare che recenti ricerche su trattamenti con vapore d'acqua di breve durata ed a basse temperature mostrano contenimenti di patogeni soddisfacenti allorché si effettuino trattamenti a 50 – 60°C per pochi minuti (Van Loenen *et al.*, 2003).

La maggiore conoscenza dei principali fattori interferenti nel procedimento di disinfezione con l'impiego del vapore d'acqua, ed in particolare la sempre più ampia disponibilità di dati relativi all'ecologia dei patogeni ed al ruolo della componente microorganica del terreno, nonché la possibilità di gestire gli effetti del trattamento sulle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e quindi sulla crescita delle piante, ha portato ad un miglioramento continuo delle prestazioni dell'intervento, seppure con l'applicazione di apparecchiature fisse per trattamenti generalmente effettuati in serra. Decisamente inferiori sono stati i progressi per la messa a punto di apparecchiature mobili in grado di permettere il trattamento con vapore d'acqua di ampie superfici in tempi ridotti. È evidente, infatti, che oltre a problematiche di natura strettamente tecnica e progettuale, il fattore limitante per interventi di questo tipo rimane il tempo estremamente ridotto durante il quale la macchina può trattare il terreno con i propri organi diffusori. Di particolare interesse è risultata la possibilità di trattare con vapore d'acqua terreno al quale è stata contestualmente addizionata una sostanza a reazione esotermica in grado di garantire un repentino innalzamento delle temperature per qualche decina di minuti (*"flash"* termico, sistema "bioflash") e il mantenimento di valori termici più elevati nelle prime

ore successive al trattamento (Triolo *et al.*, 2004; Luvisi e Triolo, 2006; Luvisi *et al.*, 2006a, 2006b). Infatti, prendendo in esame una qualsivoglia reazione chimica di natura esotermica – in cui si ha cioè una liberazione di calore – essa può essere considerata come uno “strumento” in grado di provocare un innalzamento della temperatura dell'ambiente in cui si verifica questo processo. È chiaro che, rifacendosi alla opportunità di poter intervenire sulla combinazione “temperatura x tempo” in trattamenti con vapor d'acqua, le reazioni esotermiche di idratazione, nelle quali cioè il rilascio di energia è conseguente al verificarsi di una reazione tra un reagente e l'acqua, possono rivelarsi potenzialmente utili.

L'efficacia fitoiatrica della combinazione esotermia / vapore d'acqua

È opportuno ricordare come le attività qui riportate si collocano in un piano di ricerca sviluppatosi sin dal 1999, e che ha visto questa Unità di ricerca impegnata nel Progetto MIUR 2002 – 2003 dal titolo “Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la disinfezione del terreno a basso impatto ambientale: indagini tecniche e biologiche”, producendo una serie di risultati di qualche interesse, confermati e sviluppati nel successivo Progetto MIUR 2005 – 2006 dal titolo “Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile”.

Le prime esperienze, che si collocano nel periodo 1999 - 2004, sono state condotte considerando *Sclerotinia minor* su lattuga e basilico, *Rhizoctonia solani* su ravanella, *Fusarium*

oxysporum f.sp. *basilici* su basilico in terreni inoculati artificialmente. Le diverse indagini hanno fornito, complessivamente, indicazioni incoraggianti, specie considerando la combinazione vapor d'acqua / idrossido di potassio (Triolo *et al.*, 2004). Specificatamente, il contenimento del marciume del colletto su lattuga si è rivelato particolarmente significativo, con riduzioni dell'incidenza fino ad oltre il 90% in un ciclo di sperimentazione quinquennale (Triolo *et al.*, 2004). Anche un primo ciclo di sperimentazione biennale su *R. solani* fornì interessanti indicazioni sulla capacità del metodo in esame di contenere le infezioni su rucola, con riduzioni dell'incidenza anche superiori al 74% e sempre incoraggiante fu la prima indagine condotta per saggiarne l'efficacia per il contenimento di una fusariosi, riducendo il numero di piante di basilico infette da *F. oxysporum* f.sp. *basilici* del 76,8% (Triolo *et al.*, 2004). Inoltre, furono condotte indagini preliminari per la valutazione degli effetti indotti sul virus del Mosaico del Tabacco (TMV).

Durante le successive esperienze, che si collocano nel periodo 2005 - 2006, questa Unità di ricerca ha sviluppato una serie di indagini relative ai trattamenti di pre-trapianto condotti con il sistema “bioflash”, al fine di contenere altri importanti patogeni tellurici come *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* e *Sclerotium rolfsii* su pomodoro, ampliando le indagini su *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici* su basilico, e monitorando gli effetti su altri parametri relativi allo stato della coltivazione quali infestanti, produttività, microrganismi nel terreno. Inoltre, sono state completate le sperimentazioni sugli effetti indotti sul virus del Mosaico del Tabacco.

Le esperienze del biennio 2005 – 2006.

La macchina utilizzata nelle indagini era un sistema semovente capace di iniettare vapore d'acqua nel terreno tramite appositi diffusori dopo la distribuzione di idrossido di potassio (KOH) o ossido di calcio (CaO) (Ecostar SC600, Celli S.p.A.). Per quanto riguarda i livelli termici rilevati nelle differenti indagini sperimentali, nello strato di terreno più profondo, 11-20 cm, la temperatura registrata era caratterizzata dall'essere superiore agli 80°C per pochi minuti, per poi decrescere e mantenersi sopra i 60°C per più di 20 minuti. La presenza di KOH comportava generalmente livelli termici più elevati e mantenuti più a lungo. Nello strato più superficiale, 0-10 cm, diversamente, la temperatura si collocava tra 60-40°C per quasi tutta la durata del monitoraggio, e l'incorporazione della sostanza a reazione esotermica non determinava cambiamenti significativi nelle temperature raggiunte nel suolo. La presenza del solo KOH o CaO non determinava incrementi termici (Luvisi e Triolo, 2006; Luvisi *et al.*, 2006a, 2006b.).

In riferimento alle indagini sui patogeni fungini, nel caso del pomodoro in presenza di *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* (FOL) (Tab. 1) si è avuto un elevato contenimento della malattia impiegando il solo vapore d'acqua (fino ad oltre l'81% di riduzione dell'incidenza), ma significativamente migliori sono stati i risultati ottenuti grazie all'impiego del KOH (fino ad oltre il 94% di riduzione dell'incidenza). Anche nel caso del basilico, i trattamenti con vapore d'acqua determinavano significative riduzioni nell'incidenza del *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici* (FOB) (Tab. 3) con effetti però simili utilizzando il KOH: l'incidenza della malattia è stata, infatti, ridotta fino all'88% utilizzando solo vapore, mentre combinandolo con la sostanza a reazione esotermica la riduzione ottenuta è stata anche superiore al 95% (Luvisi *et al.*, 2006a). Per quanto riguarda i marciumi imputabili a *Sclerotium rolfsii* (SR) (Tab. 2) l'apporto fitoiatrico dovuto all'integrazione del vapore d'acqua con il KOH è stato particolarmente soddisfacente, ottenendo riduzioni dell'incidenza di più dell'87%, contro riduzioni fino al 71%

Tab. 1 Efficacia dei trattamenti (vapore d'acqua, vapore d'acqua / KOH o KOH) sull'incidenza di *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici*, espressa come riduzione della malattia (%) rispetto al controllo non trattato (dati medi da tre repliche per trattamento).

<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> / pomodoro					
Anno		Controllo	KOH	Vapore	Vapore/KOH
2005	Piante Infette	25.0±1.0 a ¹	24.7±1.2 a	4.7±0.6 b	1.3±0.6 c
	Riduzione malattia (%)	-	1.2	81.2	94.8
2006	Piante Infette	25.7±0.6 a	24.0±1.7 a	5.7±0.6 b	1.7±0.6 c
	Riduzione malattia (%)	-	6.6	77.8	93.4

¹ I valori nella stessa riga seguiti dalla stessa lettera non differiscono statisticamente in accordo a LSD test (P=0.05); radice quadrata dell'arc sin è stata usata prima dell'analisi dei dati percentuali, sono riportate le medie non trasformate.

Tab. 2 Efficacia dei trattamenti (vapore d'acqua, vapore d'acqua / KOH o KOH) sull'incidenza di *S. rolfsii*, espressa come riduzione della malattia (%) rispetto al controllo non trattato (dati medi da tre replicazioni per trattamento).

Sclerotium rolfsii / pomodoro					
Anno		Controllo	KOH	Vapore	Vapore/KOH
2005	Piante Infette	16.3±1.5 a ¹	15.7±1.2 a	5.7±1.2 b	2.0±1.0 c
	Riduzione malattia (%)	-	3.7	65.0	87.7
2006	Piante Infette	17.3±2.4 a	16.3±1.5 a	5.0±1.0 b	2.3±0.6 c
	Riduzione malattia (%)	-	5.8	71.1	86.7

¹ I valori nella stessa riga seguiti dalla stessa lettera non differiscono statisticamente in accordo a LSD test (P=0.05); radice quadrata dell'arc sin è stata usata prima dell'analisi dei dati percentuali, sono riportate le medie non trasformate.

utilizzando il solo vapore. L'associazione vapore d'acqua / CaO si è anch'essa rilevata di sicuro interesse, come hanno dimostrato i risultati relativi al contenimento di *Rhizoctonia solani* su ravanello con riduzioni della malattia superiori all'80% e su rucola, con almeno l'84% in meno di piante infette rispetto al controllo (Luvisi e Triolo, 2006).

È opportuno ricordare anche gli interessanti risultati ottenuti su altri parametri significativi, quali produttività, controllo delle infestanti e impatto sulle popolazioni microbiche. Per quanto riguarda la produttività del basilico a seguito

dei trattamenti con vapore d'acqua, il peso fresco aumentava di circa il 300%, anche se la sostanza a reazione esotermica non sembrava dare ulteriori apporti significativi (Luvisi *et. al.*, 2006a), e risultati analoghi sono stati determinati anche per il pomodoro. Effetti decisamente positivi si sono potuti rilevare anche per alcune specie di infestanti monitorate, la cui presenza diminuiva di oltre l'80%, e sull'impatto sui microrganismi del terreno, dove l'incidenza dei trattamenti sui funghi totali, attinomiceti e *Trichoderma* spp. era minima, a confronto di un contenimento ele-

Tab. 3 Efficacia dei trattamenti (vapore d'acqua, vapore d'acqua / KOH o KOH) sull'incidenza di *F. oxysporum* f.sp. basilici, espressa come riduzione della malattia (%) rispetto al controllo non trattato (dati medi da tre replicazioni per trattamento).

F. oxysporum f.sp. basilici / basilico					
Anno		Controllo	KOH	Vapore	Vapore/KOH
2005	Piante Infette	24.3±0.6 a ¹	25.0±1.0 a	2.7±0.6 b	1.0±0.0 c
	Riduzione malattia (%)	-	-2.9	88.9 a	95.9 b
2006	Piante Infette	23.7±1.2 a ¹	24.0±1.7 a	3.0±1.0 b	2.7±0.6 b
	Riduzione malattia (%)	-	-1.3	87.3 a	88.6 a

¹ I valori nella stessa riga seguiti dalla stessa lettera non differiscono statisticamente in accordo a LSD test (P=0.05); radice quadrata dell'arc sin è stata usata prima dell'analisi dei dati percentuali, sono riportate le medie non trasformate.

vato dei patogeni fungini introdotti (Luvisi *et. al.*, 2006a).

Per quanto riguarda le esperienze condotte sul TMV, questi sono andati a completare delle indagini effettuate nel biennio 2003 – 2004 (Luvisi *et. al.*, 2006b). I risultati sul recupero del virus effettuato subito dopo i trattamenti sono riportati in Tab. 4 e Tab. 5. Vi sono differenze significative in relazione al trattamento utilizzato, ed anche in questo caso l'applicazione del KOH in precedenza all'impiego del vapore d'acqua sembra apportare un vantaggio, seppure non particolarmente ampio. Per quanto riguarda l'infettività, l'impiego della sostanza a reazione esotermica, mostra invece la sua utilità: infatti, dopo 3 settimane, il numero di lesioni per cm² sviluppate sulle foglie

inoculate con l'estratto ottenuto dai campioni trattati con vapore / KOH era sensibilmente minore rispetto alle lesioni ottenute su piante inoculate con l'estratto proveniente dai trattamenti con solo vapore d'acqua.

Conclusioni

I risultati ottenuti con l'abbattimento delle soglie termiche "ordinarie" e l'affermazione del *cool steaming* avevano lasciato irrisolta la necessità di svincolare l'impiego del vapore d'acqua dalle aree di terreno prossime a quella di collocazione del generatore. Una risposta in questo senso sembra costituita dalla messa a punto di un apparato che ha superato ormai la fase di prototipo ed è

Tab. 4 TMV recuperato espresso come $\mu\text{g ml}^{-1}$ di virus (dati medi da tre replicazioni per trattamento).

TMV			
Trattamenti	2003	2004	2005
Controllo	0.454±0.025a ¹	0.403±0.043a	0.402±0.032a
Vapore	0.301±0.032b	0.286±0.013b	0.275±0.010b
Vapore / KOH	0.236±0.014c	0.255±0.015c	0.246±0.012c

¹I valori nella stessa riga seguiti dalla stessa lettera non differiscono statisticamente in accordo a Duncan's Multiple Range test (P=0.05).

Tab. 5 Infettività residua espresso come numero di lesioni per cm² (dati medi da tre replicazioni per trattamento).

Infettività residua (n. di lesioni per cm ²)			
Treatmenti	2003	2004	2005
Controllo	10.29±1.1a ¹	9.46±1.0a	7.54±1.2a
Vapore	0.37±0.08b	0.38±0.09b	0.32±0.05b
Vapore / KOH	0.12±0.05c	0.19±0.06c	0.20±0.05c

¹I valori nella stessa riga seguiti dalla stessa lettera non differiscono statisticamente in accordo a Duncan's Multiple Range test (P=0.05).

in grado di fornire interessanti risultati fitoiatrici attraverso la gestione in pieno campo del sistema “vapore d'acqua / esotermia” che per i valori della combinazione “*temperatura x tempo*” realizzati può essere considerato un intervento a ridotta drasticità.

Dai risultati ottenuti è possibile affermare la validità del sistema adottato come metodologia per la disinfezione del terreno. L'impiego delle sostanze a reazione esotermica in combinazione con il vapore d'acqua determina riduzioni nell'incidenza di importanti malattie fungine come la fusariosi su pomodoro e basilico, oltre che risultare efficace per il contenimento dei marciumi indotti da SR, sempre su pomodoro. Bisogna comunque premettere che il generatore mobile di vapore d'acqua garantisce già di per se ottimi livelli di contenimento delle malattie, come già era stato evidenziato nelle sperimentazioni precedenti al biennio 2005 – 2006, e l'incremento di efficacia fitoiatrice è talvolta limitato, come nel caso del FOB (1,3-7,0%). Diversamente, considerando il FOL, l'effetto positivo diviene più rilevante, con incrementi nel contenimento fino al 16%, così come per SR, con miglioramenti fino al 23%. Altrettanto interessanti sono i risultati ottenuti su TMV, scelto come membro rappresentativo del genere *Tobamovirus*, causa di importanti danni alle coltivazioni e non contenibile tramite fumi-

gazione chimica. I risultati di questa sperimentazione mostrano come il sistema in oggetto sia capace di ridurre significativamente il titolo virale nel suolo, e che l'infettività residua risulti essere estremamente bassa.

Attuali appaiono ancora le difficoltà ad individuare alternative di disinfezione del terreno che possano offrire lo stesso livello di efficacia del bromuro di metile e che possiedano caratteristiche economicamente e tecnicamente utili per il trasferimento nella pratica. Ad oggi le conoscenze sembrerebbero indicare come più vantaggiose quelle strategie in grado di esprimere o migliorare le *performance* già riconosciute ed in linea con un basso impatto ambientale, o soluzioni di lotta integrata. In effetti considerando l'indisponibilità di tecniche che possano fornire risultati fitoiatrici in tutto sovrapponibili a quelli offerti dal bromuro di metile, l'opinione di utilizzare il miglioramento di qualche intervento, ovvero l'associazione di metodi diversi opportunamente scelti, può effettivamente consentire di trarre vantaggio dagli eventuali effetti additivi o meglio sinergici che possano realizzarsi. In questo ambito, il sistema “bioflash”, si è dimostrato, nel corso di 8 anni di sperimentazione fitoiatrice, capace di poter esprimere validamente le sue potenzialità come alternativa per la disinfezione del terreno.

Bibliografia

- BAKER K. F. (1962) Principles of heat treatment of soil and planting material. *J. Austral. Inst. Agric. Sci.*, 28 (2), 118-126.
- BAKER K. F. (1970) Selective killing of microorganism by aerated steam. In *Root Diseases and Soilborne Pathogens*, Toussoun, T. A., Bega, R. V., and Nelson, P. E., Eds., University of California Press, Berkeley, 1970, 234.
- BARTOK, J. W. JR., 1994. Steam sterilization of growing media. *Disponibile su <http://fcnant.org/proceedings/1994/bartok1.pdf>*
- LUVISI A., TRIOLO E. (2006) Steam and exothermic reactions for the control of *Rhizoctonia solani* on radish and rocket by the use of a self-propelled soil steaming machine. *Proceedings 13th Congresso Nazionale SIPaV, Foggia, 12-15 settembre 2006*, pp. 107.
- LUVISI A., MATERAZZI A., TRIOLO E. (2006a) Steam and exothermic reactions as alternative techniques to control soil-borne diseases in basil. *Agronomy for Sustainable Development*, 26, 201-207.
- LUVISI A., MATERAZZI A., TRIOLO E. (2006b) Exothermic reactions and steam for the management of Tobacco Mosaic Virus in soil. *Agricoltura Mediterranea*, 136(2), 63-69.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., LUVISI A. (2004) Exothermic reactions and steam for the management of soil-borne pathogens: five years of research. *Adv. Hort. Sci.*, 18(2), 89-94.
- VAN LOENEN M.C.A., TURBETT Y., MULLINS C.E., FEILDEN N.E.H. (2003) Low temperature – short duration steaming of soil kills soil – borne pathogens, nematode pests and weed. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 993-1002.

Il vapore e sostanze a reazione esotermica per la disinfestazione dei terreni: osservazioni preliminari sulle prospettive future

Francesco Paolo D'Errico, Rosa Giacometti, Giuseppe Russo, Ornella Russo

Dipartimento di Entomologia e Zoologia Agraria, Università di Napoli "Federico II"

Premessa

Le restrizioni di impiego del bromuro di metile - il cui utilizzo attuale è limitato agli usi critici (Savigliano *et al.*, 2006) - il futuro difficile di altri p.a. volatili e la necessità tecnica di dover disinfestare i terreni - soprattutto in colture orto-floricole in ambiente protetto - hanno indotto diversi ricercatori a valutare vie alternative di geodisinfezione.

Il vapore, tra queste, grazie ai risvolti tecnico-pratici più vicini ai p.a. volatili, somministrato da macchine semoventi o trainate è in grado di fornire un'efficacia fitoiatrica sufficientemente affidabile. Non è marginale, inoltre, l'abbattimento dei costi e dell'impatto ambientale che tale mezzo offre come conseguenza dei più ridotti consumi energetici. Il principale aspetto innovativo di tale attrezzatura riguarda l'incorporazione nel terreno di sostanze in grado di reagire esotermicamente col vapore e liberare una quantità addizionale di energia termica. Si possono così raggiungere temperature più elevate e prolungare il riscaldamento con azione più marcata sui parassiti e semi di infestanti diverse.

Altre pratiche, come la solarizzazione del terreno e la biofumigazione che, tra l'altro, hanno una storia più recente del vapore, sono seguite con

molto interesse anche in virtù dell'arricchimento della fertilità dei suoli. Esse, però, richiedono tempi di attuazione lunghi e epoche obbligate spesso coincidenti con il ciclo colturale. Da ciò deriva, soprattutto in floricoltura dove le colture sono generalmente annuali (vedi garofano il cui ciclo va da inizio giugno a inizio maggio), l'impossibilità di attuare sia la solarizzazione che la biofumigazione; in orticoltura, a seconda dell'ordinamento colturale, dovrebbe essere sacrificato un ciclo a discapito dei già risicati margini di guadagno.

Il trattamento con vapore, non rilasciando residui come invece avviene con le sostanze chimiche volatili, è ritenuto un mezzo per nulla inquinante; esso in realtà, al pari dei fumiganti, crea negli equilibri stabili della biosfera tellurica, che si sono creati nel tempo, uno sconvolgimento di notevole entità con ripercussioni negative imprevedibili. In altre parole il vapore ed i fumiganti sono causa di quelle turbative che portano i microrganismi alla ricerca di un equilibrio adattato alle nuove condizioni. Aspetto questo non trascurabile in quanto i microrganismi del suolo svolgono attività fondamentali per il mantenimento degli equilibri dinamici degli ecosistemi e quindi per la fertilità dei suoli, attraverso:

- la degradazione della sostanza organica con relativa produzione di sali minerali utilizzati dalle piante per il loro metabolismo;
- il concorso nella produzione di *humus* che rappresenta una grande risorsa per i suoli grazie all'arricchimento in sostanza organica;
- la partecipazione al compimento dei cicli biogeochimici.

L'efficacia del vapore con l'aggiunta di sostanze a reazione esotermica nei riguardi dei nematodi è stata valutata sulla base dei risultati ottenuti su lattuga coltivata in ambiente protetto (Curto *et al.*, 2003) ed in campo (D'Errico *et al.*, 2003a) infestata dal nematode galligeno *Meloidogyne incognita* (Kofoid *et White*) Chitw., dannosissimo ad una vastissima gamma di colture orto-floro-frutticole, e su patata verso il cistiforme *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens che, tra i vari parassiti, è quello di primaria importanza per tale solanacea (D'Errico *et al.*, 2003a).

Il trattamento fu effettuato con il sistema "bio-flash" utilizzando una macchina della ditta Celli atta ad immettere nel terreno vapore e sostanze a reazione esotermica (KOH, CaO) (Peruzzi, 2003). I risultati fitoiatrici conseguiti furono soddisfacenti ma con il limite che potevano essere compromessi dall'insorgere di fenomeni di fitotossicità sulla coltura successivamente impiantata. Ricerche al riguardo misero in evidenza che tale risposta era conseguenziale all'immissione nel terreno delle sostanze a reazione esotermica e, soprattutto, era causata dall'innalzarsi del pH con variabilità strettamente correlata alla dose di impiego. Valori che rientravano nei livelli iniziali, nei terreni trattati con i più alti dosaggi di CaO (8000 kg/ha), entro 6 settimane; tempi leggermente più lunghi erano richiesti con KOH (8000 kg/ha) (Lenzi *et al.*, 2003).

In un'ulteriore prova sperimentale fu evidenziato altresì, che il pH del terreno permaneva elevato più a lungo nelle colture praticate su terreno pacchiamato; ciò fu attribuito al mancato dilavamento delle basi, in assenza dell'azione delle precipitazioni, che inibiva il ripristino delle condizioni di acidità pre-trattamento (Mazzoncini *et al.*, 2003). Si intravidero pertanto necessari, in accordo con altri ricercatori (Katan, 1984), studi indirizzati ad assumere ulteriori informazioni, soprattutto biologiche e microbiologiche. Nei riguardi di questo ultimo aspetto l'analisi molecolare ha evidenziato un chiaro effetto sulla struttura genetica delle popolazioni batteriche del suolo ma con conseguenze non eradicanti e non permanenti (Gelsomino *et al.*, 2003).

Allo scopo di acquisire ulteriori informazioni, soprattutto circa alcuni aspetti biologici, è stata impostata la riferita sperimentazione.

Materiali e metodi

Nel maggio del 2005 (16.05.05) fu avviata una prova di efficacia, in agro di Caivano (Napoli), su pomodoro, *Lycopersicon lycopersicum* (L.) coltivato in ambiente protetto. Furono messe a confronto sei tesi, replicate quattro volte, comprendenti: due geodisinfestanti volatili (bromuro di metile e cloropicrina), il vapore da solo e con l'aggiunta di due sostanze a reazione esotermica (CaO e KOH al dosaggio di 4000 kg/ha) impiegate separatamente ed il controllo. Sette giorni dopo i trattamenti furono trapiantate piantine della varietà "Ranco F₁ (C 823)". La prova venne meno per l'assenza e/o scarsa consistenza delle problematiche fitosanitarie del terreno, limitate alla presenza del micete *Pyrenochaeta lycoper-*

sici Schn. et Gerl. e del nematode galligeno *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw., irregolarmente distribuiti.

Campioni parcellari di 100 cc di terreno, composti da un certo numero di subcampioni prelevati subito prima dei vari trattamenti dalle parcelle oggetto della prova, avevano infatti evidenziato, all'estrazione dei nematodi, effettuata con il metodo dei setacci di Cobb (Thorne, 1961), cariche di forme libere oscillanti da 0 a 12 esemplari; al contrario il pH medio del terreno, 7,82 (7,78-7,84), era risultato omogeneo.

Le uniche indicazioni tecniche acquisite dalla prova di campo riguardarono l'assenza di una evidente fitotossicità sul pomodoro nelle tesi comunque trattate con vapore, un buon controllo di alcune infestanti quali fumaria comune (*Fumaria officinalis* L.), ortica (*Urtica dioica* L.) e un maggiore rigoglio vegetativo di altre, soprattutto di amaranto comune (*Amaranthus retroflexus* L.), stramonio comune (*Datura stramonium* L.) e portulaca (*Portulaca oleracea* L.).

Al fine di verificare, mediante il sostegno di un mezzo biologico e dell'acidificazione dell'acqua di irrigazione, se era possibile ottenere una soluzione operativa del vapore abbinato alle sostanze a reazione esotermica più affidabile, è stata messa a punto la riferita prova di laboratorio. Dalle parcelle trattate con vapore, da solo e con l'aggiunta delle due sostanze a reazione esotermica, e da quelle testimone, 3 giorni dopo l'inizio della prova (19.05.05), è stato prelevato un certo volume di terreno che, dopo opportuno rimescolamento, è stato posto in vasi (\varnothing 20 cm \Leftrightarrow 2,5 l di terreno). Precisamente sono stati utilizzati 100 contenitori di cui 40 sono stati riempiti con terreno prelevato dalle parcelle trattate con vapore e CaO, 40 con

terreno disinfestato con il vapore e KOH ed infine 10 con terreno trattato con il solo vapore e altrettanti con quello delle parcelle testimone. All'analisi nematologica i campioni, analizzati per singoli trattamenti, presentavano una carica di *M. incognita* rispettivamente di 0 L₂/100 cc di terreno nei suoli comunque trattati con il vapore e di 2 L₂/100 cc in quelli controllo.

Sette giorni dopo (23.05.05) al terreno della metà degli 80 vasi (40 + 40), contenenti terreno trattato con vapore addizionato alle due sostanze a reazione esotermica 40 (20 + 20), è stato aggiunto un ammendante organico "Micosat F", contenente un consorzio di microrganismi composto da batteri (*Pseudomonas* spp. e *Bacillus* spp.), actinomiceti (*Streptomyces* spp.) e funghi (*Glomus* spp. e *Trichoderma* spp.).

A questo punto nei vasi allestiti per l'iter sperimentale sono state trapiantate piantine di lattuga var. "Trocadero", allo stadio di 4 foglie vere, ottenute in contenitori alveolati (\varnothing 2 cm). Immediatamente dopo il trapianto dei 40 vasi (20 + 20), contenenti terreno geodisinfestato con vapore abbinato alle due sostanze a reazione esotermica e successiva aggiunta di Micosat, la metà - 20 (10 + 10) - sono stati irrigati, in base ai fabbisogni idrici, con acqua di rubinetto (pH = 6,5) tal quale e la restante parte - 20 (10 + 10) - con acqua acidificata con acido ortofosforico a dosaggi tali da portare il valore del pH dell'acqua di origine intorno a 5 (circa 0,5 cc /l di acqua). I restanti 40 vasi (20 + 20) contenenti terreno geodisinfestato con l'aggiunta delle due sostanze a reazione esotermica sono stati irrigati, la metà - 20 (10 + 10) - con acqua di rubinetto acidificata e la restante metà - 20 (10 + 10) - con acqua tal quale. Infine, i 20 vasi (10 + 10) contenenti terreno trattato con



il solo vapore e non trattato sono stati irrigati con acqua di rubinetto tal quale.

Nelle tesi dove è stata impiegata acqua acidificata tale intervento è stato limitato al primo ciclo colturale; arco di tempo stimato come mediamente tranquillizzante, nelle diverse situazioni pedologiche e limitatamente a tali dosaggi, per il recupero del valore del pH di origine del terreno. Gli interventi irrigui relativi ai due cicli colturali successivi, pertanto, sono stati effettuati con acqua di rubinetto tal quale e la cv. trapiantata è stata sempre la Trocadero.

La prova, pertanto, nel suo complesso, si è basata su tre cicli di coltivazione della lattuga con la tempistica di seguito riportata.

Il primo ciclo colturale (23.05.05 - 15.07.05) si è concluso in 53 giorni; il secondo (25.07.05 - 10.09.05) in 47 giorni ed il terzo (22.09.05 - 20.11.05) in 59 giorni.

Alla fine di ogni ciclo l'apparato radicale delle singole piante è stato divelto accuratamente da ogni vaso preparando così il contenitore per il ciclo successivo. Il numero dei vasi oggetto della prova si è ridotto, per ogni tesi, di una unità nel secondo e di due nel terzo ciclo di coltivazione per la necessità di effettuare nei singoli vasi dei piccoli ribocchi di terreno.

I rilievi effettuati alla fine dei tre cicli colturali sono stati i seguenti:

- analisi nematologica, di 100 cc di terreno prelevato dai singoli contenitori delle dieci tesi, limitatamente alla fine del terzo ciclo colturale (20.11.05);
- peso dei grumoli e dei relativi apparati radicali alla fine di ciascuno dei tre cicli colturali;
- indici medi di infestazione sulle radici (IMI), alla fine di ogni ciclo colturale e sul totale delle

piante, secondo la classica scala da 0 a 5 (Lamberti, 1971);

- sintomi di fitotossicità.

Il programma di concimazione, irrigazione e difesa fitosanitaria nel corso dei tre cicli colturali è stato attuato in ottemperanza alle esigenze della coltura e alle necessità fitoiatriche; in particolare nei riguardi della difesa è stato necessario un intervento con thiometoxam, in tutti e tre i cicli colturali, per contenere le infestazioni di *Myzus persicae* (Sulzer).

Risultati

L'insieme dei risultati acquisiti nella riferita sperimentazione sono stati riportati nelle tabelle 1 e 2. Da un'analisi dei dati complessivi si evincono riflessioni, a nostro avviso, molto significative che possono contribuire a migliorare la performance fitoiatrica del vapore somministrato al terreno con la tecnica citata.

In particolare è indubbio che le due sostanze a reazione esotermica rafforzano nel tempo, in maniera non diversificata tra loro ma significativamente più elevata rispetto al solo vapore, l'efficacia nel controllo dei nematodi. Tale affermazione è desumibile dalle produzioni più elevate e dalla più bassa carica di nematodi riscontrate alla fine del terzo ciclo colturale.

Le modificazioni del pH del terreno susseguenti all'applicazione del vapore, in accordo con i risultati ottenuti da altri ricercatori, sono da ritenersi irrilevanti; di notevole entità, invece, sono state le variazioni derivate dall'aggiunta di entrambe le sostanze a reazione esotermica. I valori del pH rilevati 7 giorni dopo il trattamento hanno, infatti, subito un innalzamento medio di 1,34 per il KOH

Tab. 1 Effetto dei trattamenti sul pH del terreno e sulla produzione.

Tesi a confronto	pH		gramoli (g)		
	23.05	20.11	1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo
Vapore	7,86	7,77	330 a	334 b	312 b
Vapore + KOH	9,22	7,82	237 c	366 ab	340 ab
Vapore + KOH + Micosat	9,15	7,75	244 c	382 a	369 a
Vapore + KOH + Micosat + acido	9,19	7,75	313 ab	402 a	378 a
Vapore + KOH + acido	9,18	7,81	327 a	380 a	348 ab
Vapore + CaO	9,12	7,78	235 c	359 ab	334 ab
Vapore + CaO + Micosat	9,14	7,74	299 b	362 ab	371 a
Vapore + CaO + Micosat + acido	9,10	7,73	326 a	384 a	390 a
Vapore + CaO + acido	9,16	7,78	323 a	368 ab	332 ab
Controllo	7,78	7,77	302 b	316 c	274 c

I dati contrassegnati da lettere uguali sulle stesse colonne non differiscono statisticamente in base al Test di Duncan per P = 0,01

Tab. 2 Effetto dei trattamenti sulle cariche nematologiche e sugli IMI.

Tesi a confronto	nematodi estratti (n)				Totale nematodi	IMI		
	fitoparassiti			batteriofagi		1° ciclo	2° ciclo	3° ciclo
	Meloidogyne	Altri	Totale					
Vapore	178 b	12 a	190 b	206 ab	396 b	0,3 ab	0,9 ab	1,8 b
Vapore + KOH	76 a	7 a	83 a	139 a	222 a	0,1 ab	0,4 a	1,4 a
Vapore + KOH + Micosat	77 a	11 a	88 a	193 ab	281 a	0,0 a	0,3 a	1,2 a
Vapore+ KOH + Micosat + acido	65 a	5 a	70 a	189 ab	259 a	0,0 a	0,5 a	1,2 a
Vapore + KOH + acido	71 a	5 a	76 a	182 ab	258 a	0,1 ab	0,5 a	1,4 a
Vapore + CaO	85 a	11 a	96 a	114 a	210 a	0,1 ab	0,5 a	1,9 b
Vapore + CaO + Micosat	64 a	5 a	69 a	174 ab	243 a	0,1 ab	0,3 a	1,1 a
Vapore+ CaO + Micosat + acido	61 a	6 a	67 a	219 b	286 a	0,0 a	0,4 a	1,2 a
Vapore + CaO + acido	87 a	7 a	94 a	121 a	215 a	0,2 ab	0,5 a	1,5 a
Controllo	276 c	10 a	276 c	234 b	510 c	0,7 b	1,4 b	2,7 c

I dati contrassegnati da lettere uguali sulle stesse colonne non differiscono statisticamente in base al Test di Duncan per P = 0,01

e 1,29 per il CaO. Ciò fa comprendere che i valori di partenza di un suolo possono essere determinanti ai fini del successo della coltura. Pertanto, nei terreni basici, se si vogliono evitare fenomeni di fitotossicità, o devono essere rispettati tempi

di attesa equiparabili a quelli della maggior parte dei fumiganti o si deve correggere il pH del terreno a partire dall'impianto della coltura. Sui cicli successivi l'acidificazione dell'acqua di irrigazione, praticata nel corso del primo ciclo colturale,

sembra non aver influito sulle produzioni anche se le esigenze della coltura sembravano richiederla. La lattuga, infatti, è un vegetale particolarmente inadeguato ai suoli basici; richiede un pH del terreno tra 6 e 7 e una salinità max. dell'1%.

Da una disamina più particolareggiata dei dati sulle produzioni relative ai tre cicli colturali è evincibile quanto segue: nel primo ciclo, in virtù del pH del terreno rimasto quasi inalterato e degli effetti collaterali susseguenti alla disinfestazione dei terreni (aumento della fertilità), le produzioni sono risultate più elevate, e non significativamente differenti tra loro, laddove il terreno era stato previamente trattato con vapore da solo o abbinato unicamente alle due sostanze a reazione esotermica e limitatamente al CaO e Micosat, il tutto irrigato con acqua acidificata. A seguire le produzioni ottenute nelle parcelle non trattate ed in quelle disinfestate con vapore e CaO con l'aggiunta di Micosat. Una posizione intermedia al riguardo, tra i due blocchi di diversa significatività è stata manifestata dal terreno trattato con vapore e KOH al quale è stato somministrato il Micosat e irrigato con acqua acidificata. In ultimo si sono attestate le produzioni ottenute nelle tesi in cui al vapore sono state addizionate le sostanze a reazione esotermica da sole e, nel caso del KOH con l'aggiunta del Micosat. L'evidente calo di produzione registrato in queste tesi è da attribuire alla fitotossicità; le basse cariche nematologiche rilevate alla fine della prova, evincibili anche dagli IMI, pur se significativamente diverse tra loro, fanno escludere una interferenza marcata dei nematodi.

Nel secondo e terzo ciclo colturale, con il ritorno del pH ai valori iniziali, produzioni significativamente più elevate sono state globalmente riscon-

trate nelle tesi con vapore abbinato alle sostanze a reazione esotermica e comunque trattate. Tale risposta fitoiatrica è risultata ulteriormente potenziata allorché prima del trapianto è stato somministrato il Micosat.

Anche in questi due cicli, presumibilmente soprattutto nel secondo, l'ingerenza negativa del nematode galligeno, per le basse cariche, è da considerare poco incisiva.

È interessante infine notare, come si evince dalla Figura 1, che esprime la quantità percentuale di nematodi distinta in base ai due gruppi trofici più rappresentativi che, indipendentemente dal tipo di intervento, si è verificata una riduzione dei nematodi fitoparassiti. In particolare l'applicazione del Micosat è stata quella maggiormente ripagante nel lungo periodo. Il suo apporto ha infatti contribuito a modificare la composizione della nematofauna, spostandola notevolmente a favore dei batteriofagi (72,46%), e a discapito dei fitoparassiti (27,54%).

Considerazioni e Conclusioni

L'efficacia fitoiatrica del vapore, somministrato al terreno con macchine semoventi e a temperature relativamente elevate (70-80°C) ma con la possibilità di essere ulteriormente innalzate e perdurare per un tempo più lungo grazie all'incorporazione nel terreno di sostanze in grado di reagire esotermicamente, è certamente affidabile nei confronti dei nematodi galligeni. Il successo di tale pratica può essere però invalidato dalle modificazioni di alcuni parametri chimici e soprattutto dall'innalzamento del pH del terreno. L'alterazione del grado di reazione del terreno non dovrebbe rappresentare un problema, anzi

un correttivo, quando si va ad operare su terreni acidi. In ambiente basico ci potrebbe essere invece la necessità di rispettare un giusto tempo di attesa prima della messa a dimora della coltura; in altre parole il vapore deve essere gestito sotto questo aspetto al pari dei fumiganti. Altro elemento importante, ai fini agronomici, legato al pH del substrato è che da esso dipende la maggiore o minore disponibilità dei nutrienti che trovano condizioni ottimali di assunzione nei valori compresi fra 5,5 e 6,5 (Montesano *et al.*, 2006).

I risultati della descritta prova hanno messo in evidenza che è comunque possibile ridurre i tempi di attesa, abbassando i valori del pH, mediante irrigazioni con acqua acidificata. Pratica questa già comunemente impiegata per esaltare l'efficacia fitoiatrica di altri p.a. (oxamyl, azadiractina). È anche vero però che i risultati di detta prova sono da ritenersi preliminari in quanto ottenuti in ambiente confinato; si rendono pertanto necessarie conferme da sperimentazioni in campo. Delle due sostanze a reazione esotermica la scelta, a nostro avviso, è da farsi sulla base delle dotazioni del terreno e delle esigenze della coltura.

L'applicazione del consorzio di microrganismi (Micosat F) non ha sortito alcun vantaggio aggiuntivo nel primo ciclo colturale. Questo risultato, molto probabilmente, è da correlare al pH marcatamente basico del terreno non adatto a favorire la micorrizzazione nelle piante. Nel secondo, ed ancora maggiormente nel terzo ciclo, con il recupero dei valori di origine del pH, evidenti sono stati i benefici offerti dall'applicazione del Micosat. Ciò probabilmente anche in virtù delle mutate caratteristiche del substrato più idoneo allo sviluppo dei microrganismi. L'incremento di produzione è da attribuire, molto probabilm-

te, come è evidenziato, in un'altra sperimentazione, alla rafforzata protezione dagli attacchi di *M. incognita* (D'Errico e Caprio, 2004) e ad una maggiore assimilazione dell'azoto (D'Errico *et al.*, 2003b). Da non sottovalutare poi, come si evince dall'incremento percentuale dei nematodi batteriofagi (Fig. 1), che in un ambiente più ricco di microrganismi utili (nematodi compresi) si crea un'attività della microflora particolarmente favorevole alla crescita delle piante, con le cui radici molti di essi vivono in simbiosi più o meno stretta. Questi gruppi microbici comprendono: funghi simbiotici (micorrize), azotofissatori (es. rizobi), Plant Growth Promoting Rhizobacteria (es. *Pseudomonas* spp.) e vari antagonisti di nematodi e funghi come i *Trichoderma* spp.; questi ultimi, tra l'altro, già presenti nel consorzio dei microrganismi utilizzati.

In altre parole la considerazione da farsi è che se le piante influenzano lo sviluppo dei microrganismi è altrettanto vero l'opposto, e cioè che alcuni di questi incidono positivamente sulla crescita delle piante con diversi meccanismi quali: fissazione dell'azoto atmosferico; produzione di siderofori; solubilizzazione di minerali utili; sintesi di vitamine, amminoacidi, fitormoni e, certamente non ultimo in ordine di importanza, la soppressione di potenziali patogeni per competizione e/o antagonismo attraverso il rilascio di sostanze tossiche (De Souza e Raaijmakers, 2000; Glick *et al.*, 2001).

Ulteriori valutazioni in positivo sono da ricercare nell'apporto dato dall'inoculo di micorrize arbuscolari nei terreni sottoposti a continue fumigazioni dove è presumibile che non ci siano simbiotici micorrizici naturalmente presenti. In tali situazioni viene dato un considerevole aiuto nel

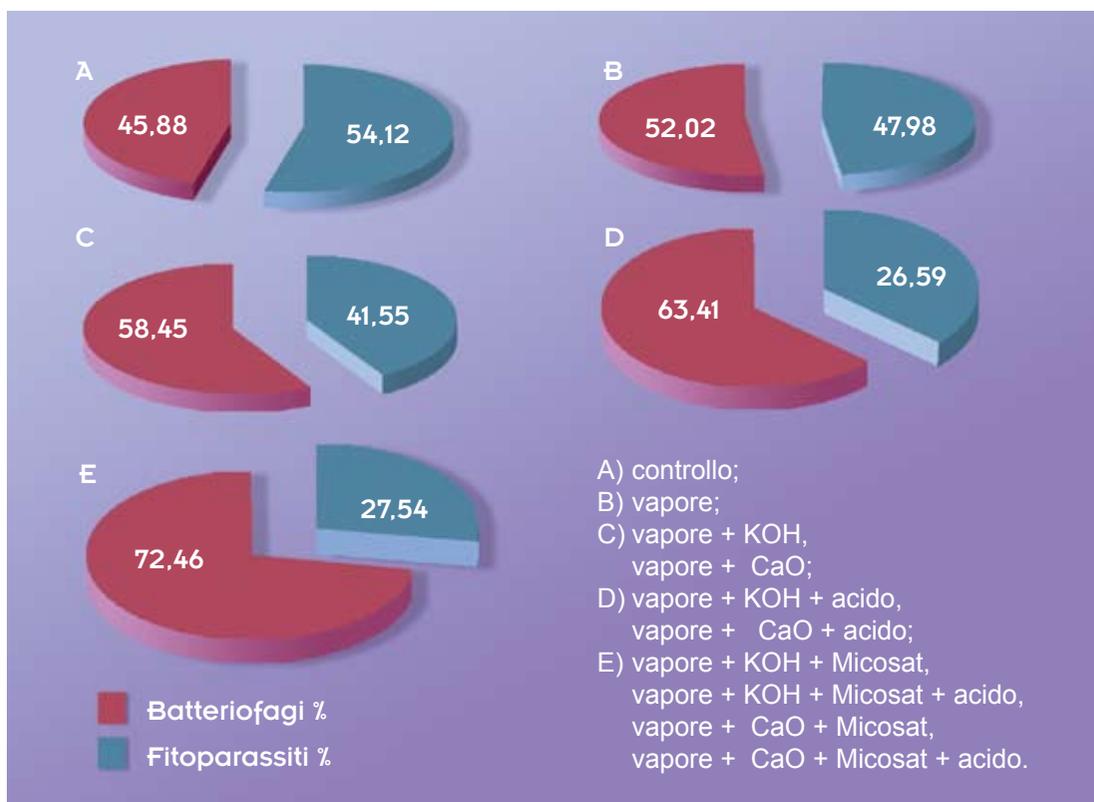


Fig. 1 Effetto dei trattamenti sulle cariche nematologiche.

favorire la formazione a catena, di microrganismi utili a discapito di quelli dannosi recuperando in tal modo i terreni degradati (bioremediation) (D'Errico e Giacometti, 2006).

Infine, particolare certamente non trascurabile, è l'incidenza sulla qualità delle produzioni in considerazione della sicurezza degli alimenti. Aspetti salienti riguardano la riduzione di N-nitroso ammine e l'incremento degli antiossidanti (D'Argenio *et al.*, 2006).

Alla luce di quanto acquisito nella riferita sperimentazione si evince che l'efficacia fitoiatrice del vapore, immesso nel terreno con la macchina

della ditta Celli, è senz'altro rafforzata con l'aggiunta di una sostanza a reazione esotermica. L'acidificazione dell'acqua di irrigazione e l'apporto di un consorzio di microrganismi, che vanno ad arricchire il potenziale del suolo, sembrano incidere positivamente sullo sviluppo delle piante le cui produzioni, tra l'altro, presentano un target apprezzato per la salvaguardia della salute dei consumatori. D'altro canto che i microrganismi del suolo contribuissero a determinarne la loro fertilità era noto già da tempi remoti. Chauveau affermava, oltre un secolo addietro, che: *la fertilità è la bella prigioniera del terreno, che l'agri-*

coltore può sempre sperare di liberare a suo profitto, con lo sforzo delle braccia, la costanza e l'ingegnosità (Chauveau, in De Cillis, 1923). In definitiva, anche se la strada da seguire sembra essere quella giusta, i risultati di tale sperimentazione devono essere confermati da ulteriori indagini di campo.

Bibliografia

- CURTO G., MOSCHENI E., SANTI R., MAINARDI M., DALL'AVALLE E., 2003 – Controllo dei nematodi galligeni su lattuga mediante vapore e sostanze a reazione esotermica: Risultati di un biennio di sperimentazione.- *Atti Convegno: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfestazione e disinfestazione del terreno"*, Forlì 30 ottobre 2002, 71-77.
- D'ARGENIO G., D'ERRICO F.P., LONGO V., MAYOL L., 2006 – Agricultural productions and food safety for the diseases protection.- *Atti 8° Convegno FISV, Riva del Garda 28 settembre-1 ottobre 2006, PMS.12, P.47.*
- DE CILLIS E., 1923 – Il problema agronomico-meccanico della lavorazione del terreno.- *Atti dell'Istituto Sperimentale di Meccanica Agraria, Milano, Piazza Cavour, 4: 9-18.*
- D'ERRICO F.P., CAPRIO E., RUSSO G., 2003a – Efficacia fitoiatrica del vapore e di sostanze a reazione esotermica sui nematodi. Risultati preliminari.- *Atti Convegno: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfestazione e disinfestazione del terreno"*, Forlì 30 ottobre 2002, 67-70.
- D'ERRICO F.P., CAPRIO E., MAYOL L., DE NAPOLI L., RAGOZZINO A., 2003b – Orientamenti produttivi del tabacco alla luce dei rapporti suolo-pianta.- *Il Tabacco, 11: 1-6.*
- D'ERRICO F.P., CAPRIO E., 2004 – Limitazione dei danni al tabacco indotti dal nematode galligeno *Meloidogyne incognita* in seguito alla colonizzazione delle radici con funghi micorrizici arbuscolari (*Glomus* spp.).- *Atti Giornate Fitopatol., Montesilvano (Pescara) 4-6 maggio 2004, 225-230.*
- D'ERRICO F.P., GIACOMETTI R., 2006 – Organic matter and microorganisms for the agricultural soil (bio)remediation.- *Atti 8° Convegno FISV, Riva del Garda 28 settembre-1 ottobre 2006, SIS.04.P.14*
- DE SOUZA J. T., RAAJMAKERS J. M., 2000 – General and specific primers and probes to isolate antibiotic producing *Pseudomonas* spp. from rhizosphere environments.- *Proceedings of the Fifth International PGPR Workshop, Cordoba, Argentina 29/10-3/11/200, http://www.ag.auburn.edu/argentina/pdf/manifestos/desouza.pdf.*
- GELSOMINO A., MARTELLI G., OLIVA S., BOLIGNANO M. S., CACCO G., 2003 – Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica su alcune caratteristiche microbiche del terreno: Risultati preliminari.- *Atti Convegno: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfestazione e disinfestazione del terreno"*, Forlì 30 ottobre 2002, 89-91.
- GLICK B.R., PENROSE D.M., MA W., 2001 - Bacterial promotion of plant growth.- *Biotechnology Advances, 19: 135-138.*
- KATAN J., 1984 – The role of soil disinfestation in achieving high production in horticulture crops.- *Proc. Br. Crop. Prot. Conf., 3: 1189-1193.*
- LAMBERTI F., 1971 – Primi risultati di prove di lotta nematocida su tabacchi levantini in provincia di Lecce.- *Il Tabacco, 738: 5-10.*
- LENZI A., LOMBARDI P., MAINARDI M., TESI R., 2003 – Risposta di alcuni ortaggi alla disinfestazione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica.- *Atti Convegno: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfestazione e disinfestazione del terreno"*, Forlì 30 ottobre 2002, 95-102.
- MAZZONCINI M., RISALITI R., GINANNI M., MAINARDI M., 2003 – Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sulle principali caratteristiche chimiche del terreno: Risultati di un quadriennio di sperimentazione.- *Atti Convegno: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfestazione e disinfestazione del terreno"*, Forlì 30 ottobre 2002, 79-88.
- MONTESANO F., IERSEL VAN M., SANTAMARIA P., 2006 – Così si può controllare la fertilizzazione in serra.- *Culture Protette, 2: 21-30.*
- PERUZZI A., 2003 – Il sistema "bioflash" e le macchine operatrici della ditta Celli per la disinfestazione e disinfestazione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica.- *Atti del convegno, Patogeni, fitofagi e piante infestanti delle colture agrarie. le prospettive senza il bromuro di metile, Capri, Auditorium, 15-17 ottobre 2003, 128-130.*
- SAVIGLIANO R., CLINI C., GULLINO M.L., 2006 – Usi critici per il 2006 del bromuro di metile.- *Informatore Agrario, 14: 69-71.*
- THORNE G., 1961 – Principles of Nematology.- *McGraw-Hill Book Company, London, UK, 553 pp.*

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno: risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

Andrea Peruzzi¹, Marco Ginanni², Michele Raffaelli¹, Paolo Bärberi³,
Leonardo Lulli², Christian Frascioni¹, Marco Fontanelli¹

¹ Sezione MAMA del DAGA, Università di Pisa.

² CIRAA "E. Avanzi", Università di Pisa

³ Land Lab, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa

Introduzione

L'impiego di metodi preventivi rappresenta senz'altro una delle principali strategie per la gestione delle erbe infestanti sia su colture erbacee da pieno campo che su colture orticole. Le tecniche di controllo preventive includono una vasta serie di metodi efficaci che permettono una sensibile riduzione dell'emergenza di malerbe durante il ciclo colturale, e senz'altro rivestono un ruolo chiave in agricoltura biologica, dove il controllo delle infestanti in post-emergenza risulta particolarmente difficoltoso, specialmente sulla fila della coltura, dove gli interventi debbono necessariamente essere selettivi (Bärberi, 2002). La tecnica della falsa semina, ad esempio, che viene generalmente effettuata mediante uno o più passaggi con operatrici specifiche che effettuano una lavorazione superficiale del terreno, equipaggiate con denti elastici (ad esempio l'erpice strigliatore) oppure con organi rotativi (ad esempio

l'erpice a dischi attivi), ai quali possono seguire interventi termici di pirodiserbo in pre-semina o pre-emergenza, rappresenta senz'altro la strategia preventiva più diffusa, in grado di ridurre il tempo necessario per le scerbature manuali in orticoltura biologica ed integrata (Peruzzi *et al.* 2005a). Tale tecnica, anche se decisamente valida, tempestiva ed economica, permette comunque solo la riduzione della banca seme più superficiale del terreno (4-5 cm) e risulta inefficace sui semi dormienti, che non reagiscono allo stimolo delle operazioni condotte.

La disinfezione del terreno con vapore rappresenta un altro importante metodo preventivo di gestione delle erbe infestanti, che risulta particolarmente diffuso su colture protette ad alto reddito, come ad esempio ortaggi, insalate da IV gamma e fiori (Colorio *et al.* 2002; Lenzi, 2002). Questo metodo in realtà è nato come un trattamento al-

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

ternativo a basso impatto ambientale all'impiego dei fumiganti chimici, come ad esempio il bromuro di metile, che è stato senz'altro il più ampiamente diffuso fino al 2005 e risulta al momento comunque molto utilizzato in Italia, in virtù della deroga per usi critici al Regolamento n. 2037/2000 (Bollettino dell'Unione Europea, 2000), che di fatto ne vieta l'uso all'interno dell'Unione Europea. I trattamenti di disinfezione (sia fisici che chimici) sono comunque generalmente condotti non solo al fine di ridurre la banca seme di infestanti presenti nel terreno ma anche con quello di controllare altre avversità, quali ad esempio nematodi, funghi e batteri (Triolo e D'Errico, 2002; Triolo *et al.* 2003, 2004; D'Errico, 2002).

La disinfezione del terreno mediante vapore, se confrontata con altri metodi preventivi di controllo della flora spontanea, presenta generalmente il vantaggio di ottenere un effetto sulla banca seme del terreno ad una maggiore profondità (fino a 20-30 cm) e di eliminare anche semi in dormienza. La disinfezione con vapore inoltre è generalmente più costosa rispetto ad altre tecniche preventive (ad esempio la falsa semina), ma risulta comunque complessivamente più economica se confrontata con le fumigazioni chimiche (Peruzzi *et al.*, 2002a e 2002b). Trattamenti con vapore sono inoltre consigliati per porre "preventivamente" in vantaggio rispetto alla flora spontanea colture scarsamente competitive (carota, aglio, cipolla, etc.), come è stato effettuato in alcune ricerche Danesi (Melander *et al.* 2002 e 2004; Melander e Jørgensen 2005) e Svedesi (Hansson e Svensson, 2004 e 2007), dove tale trattamento è stato applicato "in-banda", con lo scopo di ridurre l'emergenza delle erbe infestanti sulla fila della coltura.

Il trattamento con vapore presenta inoltre il grosso vantaggio di avere un effetto che si esplica nel giro di poche ore, mentre altre tipologie di interventi fisici, come ad esempio la solarizzazione, necessitano un lungo periodo di applicazione e condizioni climatiche appropriate per essere efficaci (Katan, 1987; Materazzi *et al.* 1987, Triolo *et al.* 1991). L'impiego del vapore, non costituendo assolutamente un pericolo per la salute della coltura, rende possibile l'impianto già poche ore dopo l'intervento, operazione decisamente impossibile nel caso di fumigazione chimica, che richiede generalmente un periodo di pausa di alcuni giorni dopo il trattamento per evitare problemi di fitotossicità.

In questo lavoro sono riportati i risultati relativi al controllo delle erbe infestanti, che sono stati ottenuti durante questo ultimo biennio di sperimentazione, condotto al fine di testare l'efficacia dell'ultima versione dell'operatrice Celli "Ecostar SC 600", costruita grazie alla collaborazione tra l'Università di Pisa e la ditta Celli di Forlì (Peruzzi, 2007; Peruzzi *et al.* 2002a, 2002b, 2005b e 2007a). Studi sull'effetto del sistema sulla banca seme infestante presente nel terreno sono stati già comunque condotti nel periodo 2000-2004, dove la macchina ha fornito risultati molto positivi ed incoraggianti (Barberi *et al.* 2002, Moonen *et al.* 2002, Peruzzi *et al.* 2004, 2005c). Ulteriori sperimentazioni sono state realizzate nel biennio 2005-2007 (Peruzzi *et al.* 2007b), con lo scopo di valutare l'effetto dei nuovi sistemi di distribuzione sviluppati per l'operatrice semovente Celli "Ecostar SC 600" sulla banca seme spontanea presente nel terreno e su una infestazione artificiale di *Brassica juncea* (L.) Czern. Anche in questo caso l'efficacia del sistema è stata incrementata

grazie all'impiego di sostanze a reazione esotermica, come CaO e KOH.

Materiali e Metodi

Le prove sperimentali

Le prove sperimentali, che sono tuttora in atto, sono iniziate nel maggio 2005 presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa (San Piero a Grado, 43°40' lat. N, 10°19' long. E).

L'esperimento ha previsto, durante il primo anno di prove, una combinazione fattoriale (disegno sperimentale a parcella suddivisa) tra tre diversi sistemi di distribuzione del vapore (barra singola, barra nel carter e sistema misto con regolazione 1:2) e due differenti sostanze a reazione esotermica (CaO e KOH) distribuite a due dosi differenti (1000 e 4000 kg ha⁻¹). Inoltre sono stati inseriti anche tre diversi trattamenti con il solo vapore (ognuno corrispondente ad un diverso sistema di distribuzione) ed un testimone non trattato, per un totale di 16 trattamenti, che sono stati a loro volta replicati tre volte.

Durante il secondo anno di prove sperimentali (iniziate nel maggio 2006), il numero totale dei trattamenti ed il disegno sperimentale sono risultati del tutto invariati, mentre tra le tesi a confronto è stata eliminata la dose più bassa di applicazione di sostanze a reazione esotermica (perché spesso, durante il primo anno di prove, ha fornito risultati molto simili a quelli relativi all'impiego del solo vapore) e contemporaneamente sono state aggiunte due nuove regolazioni del sistema di distribuzione misto (2:1 e 1:1), soluzione apparsa molto interessante dai risultati conseguiti

nel corso del 2005.

In questo lavoro sono riportati i dati relativi ai due anni di prove sperimentali condotti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* (ottenuta grazie all'incorporazione nel terreno di 450 semi dm⁻³), mentre le prove inerenti lo studio dell'effetto dei trattamenti sulla seed-bank naturale sono tuttora in atto, ed i dati del primo anno in fase di elaborazione.

I tre nuovi sistemi di distribuzione del vapore associati all'operatrice semovente Celli "Ecostar SC 600"

In questo lavoro sarà riportata solo una breve descrizione dei nuovi sistemi di distribuzione del vapore che sono stati testati durante lo svolgimento di queste prove sperimentali, consigliando la consultazione di altri testi specifici per approfondire gli aspetti meccanici relativi all'operatrice semovente Celli "Ecostar SC 600" (Peruzzi *et al.* 2002a, 2002b e 2005b) (Fig. 1).

In questa sperimentazione sono stati complessivamente testati tre diversi sistemi di distribuzione del vapore:

1. barra singola, per trattamenti in profondità (circa 20 cm) (Fig. 2a);
2. barra nel carter, per interventi in superficie (circa 7 cm) (Fig. 2b);
3. sistema misto, caratterizzato dall'impiego contemporaneo delle barre (1) e (2).

Il sistema misto, a sua volta, è stato utilizzato secondo tre diverse regolazioni, a seconda del rapporto di erogazione del vapore tra la parte superiore e quella inferiore del sistema di iniezione:

- sistema misto 1:2 (l'unica regolazione testata nel 2005), che permette una ripartizione del

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale



Fig. 1 Operatrice semovente Celli "Ecostar SC 600" durante le prove sperimentali condotte nel 2006.

vapore per $1/3$ nella barra nel carter e $2/3$ in quella singola;

- sistema misto 2:1, che permette una ripartizione del vapore per $2/3$ nella barra nel carter e $1/3$ in quella singola;
- sistema misto 1:1, che garantisce una ripartizione del vapore pari ad $1/2$ per la barra nel carter ad $1/2$ per quella singola.

Le barre, realizzate in profilato quadro, sono inoltre state implementate con appositi ugelli di efflusso del vapore, con diametro pari ad $1,5$ oppure 2 mm^2 , il cui impiego presenta la duplice funzione di garantire una miglior affidabilità dell'operatrice (in quanto gli ugelli sono suscettibili in misura minore all'occlusione rispetto alla semplice barra forata) e di consentire la variazione del rapporto di erogazione del vapore tra la barra superiore e quella inferiore, nel caso del sistema di distribuzione misto, realizzabile agendo sulla superficie di efflusso relativa di una barra rispetto all'altra e mantenendo allo stesso tempo costante la superficie di efflusso complessiva, che, da prove specifiche precedentemente realizzate, risulta pari a circa 106 mm^2 .



Fig. 2 Barra singola (a) e barra nel carter (b) associate all'operatrice semovente per la disinfezione del terreno.



Fig. 3 Particolare della aiuolatrice-pacciamatrice, inserita nella parte posteriore della macchina semovente per la disinfezione del terreno Celli "Ecostar SC600".

Per limitare al minimo la dispersione di calore in seguito al trattamento, il terreno è stato sempre coperto con apposito film plastico nero, mediante la pacciamatrice - aiuolatrice con cui la macchina operatrice "Ecostar SC 600" è equipaggiata. (Fig. 3).

Preparazione del letto di semina

Il terreno è stato lavorato, prima del trattamento, mediante due passaggi con zappatrice rotativa (fino a 30 cm di profondità), necessari poiché l'operatrice è in grado di operare solo su terreno ben preparato ed affinato.

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche del terreno oggetto della sperimentazione sono riportate nella tabella 1.

Rilievi sperimentali

- Temperature del terreno

I rilievi sulla temperatura del terreno sono stati realizzati grazie a sonde bifilari PT 100 (PT 100-420 grado B a norme IEC 751), munite di una guaina in acciaio inox 304 lunga 50 mm (diametro di 5 mm), in grado di registrare, mediante un apposito data logger, in un range di temperatura che va da 0 a 200 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$) (Fig. 4). Durante le prove sperimentali le temperature sono state re-

Tab. 1 Principali caratteristiche fisico-meccaniche del terreno oggetto della sperimentazione.

Caratteristiche	Valori (%)
Sabbia	86
Limo	8
Argilla	6
Umidità	3



Fig. 4 Sonde PT100 connesse ad appositi data loggers, durante la registrazione della temperatura del terreno a seguito di un trattamento di disinfezione.

gistrate ad intervalli regolari di 1 minuto nelle tre ore successive al trattamento. Le sonde sono state posizionate verticalmente lungo il profilo del terreno fino alla profondità desiderata, che può essere regolata mediante appositi supporti, che non interferiscono con il corretto funzionamento dello strumento. In questo lavoro sono riportati i valori di temperatura massima e media del terreno registrati a tre diverse profondità: 0-7 cm, 7-14 cm e 14-21 cm.

- Seedbank artificiale e naturale

L'effetto dei trattamenti di disinfezione del terreno sulla seedbank naturale ed artificiale sono stati osservati mediante la "seedling emergence technique" (Moonen *et al.*, 2002).

Quattro carote di terreno per ogni parcella trattata sono state prelevate e suddivise in tre diversi sottocampioni, ognuno corrispondente a tre differenti profondità di terreno (0-7, 7-14 e 14-21 cm) e successivamente poste in condizioni controllate

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

(una rimessa agricola nel periodo estivo ed autunnale ed una serra fredda in quello invernale e primaverile) al fine di monitorare l'emergenza sia della *Brassica juncea* che delle specie spontanee. Le carote sono state prelevate mediante uno strumento realizzato appositamente per tale scopo presso l'officina della Sez. MAMA del DAGA, costituito da un telaio prismatico a base quadrata, con una faccia laterale e le due basi aperte, di dimensioni interne pari a 10 x 10 x 21 cm (per un volume complessivo pari a 2100 cm³) (Fig. 5).

Il prelievo è stato effettuato, dopo aver inserito lo strumento nel terreno per tutta la sua lunghezza, scavando una piccola trincea in corrispondenza della faccia aperta e suddividendo la carota, mediante una spatola metallica che scorreva in apposite guide, in tre porzioni, ciascuna corrispondente alle tre diverse profondità di campionamento ed ognuna di volume pari a 700 cm³.

I campioni di terreno sono stati posti in una cel-

la frigo a temperatura costante di 4 °C sino alla messa a dimora definitiva. Sottocampioni di 250 cm³ di terreno sono stati posti in apposite vaschette in plastica (dimensioni pari a 15 x 10 x 5 cm) in condizioni controllate per un periodo complessivo di 12 mesi (Fig. 6). Le vaschette sono state forate alla base e riempite con uno strato di ghiaia sterilizzata di spessore pari a 2 cm, sopra al quale è stato posto uno strato di tessuto non tessuto che aveva lo scopo di dividere la ghiaia dal campione di terreno. Le vaschette sono state poste a loro volta in vasche di capacità maggiore (125 x 55,5 x 5 cm) e successivamente coperte con un telo di tessuto non tessuto, per prevenire contaminazioni da semi esterni. Le condizioni di umidità dei campioni di terreno sono state mantenute su livelli ottimali grazie a regolari interventi di sub-irrigazione. L'emergenza sia delle specie spontanee che di *Brassica juncea* è stata periodicamente rilevata.



Fig. 5 Attrezzo appositamente realizzato per il prelievo dei campioni di terreno.



Fig. 6 Vaschette contenenti i campioni di terreno durante le prove sperimentali del 2005.



- Emergenza in pieno campo di *Brassica juncea*

L'emergenza di *Brassica juncea* in pieno campo è stata rilevata quotidianamente per un periodo di dieci giorni a partire da una settimana circa dalla realizzazione dei trattamenti. Per ciascuna parcella l'emergenza della crucifera è stata registrata su una superficie campione pari a 25 x 30 cm. Le plantule sono state contate e rimosse ad ogni rilievo. Le parcelle sperimentali sono state irrigate giornalmente con un impianto ad asperzione.

Analisi dei dati

In questo lavoro le temperature del terreno (medie e massime) e i dati relativi alla banca seme delle infestanti sono stati analizzati mediante tre differenti serie di ANOVA (secondo tre diversi disegni sperimentali a blocco randomizzato: sistema di iniezione x profondità, sistema di iniezione x trattamento e trattamento x profondità) con lo scopo di osservare i differenti effetti delle varie tesi a confronto alle tre profondità di riferimento.

Per quanto riguarda invece i soli dati relativi alla banca seme del terreno, i valori di emergenza registrati sui testimoni non trattati sono stati confrontati, per ciascun sistema di distribuzione, con tutti quelli relativi alle tesi trattate. I valori di emergenza delle infestanti relativi alla banca seme del terreno sono stati riportati ad un volume di suolo pari ad 1 dm³.

I valori di emergenza in pieno campo di *Brassica juncea* sono stati analizzati tramite un disegno sperimentale a blocco randomizzato, per confrontare i testimoni con tutte le altre tesi, ed un disegno sperimentale a split plot, per osservare

l'effetto "sostanza" e l'effetto "dose". Tali dati sono stati riferiti all'unità di superficie (1 m²).

I dati non sono stati trasformati e l'ANOVA è stata realizzata mediante il software CoStat (CoHort software, 2006).

Risultati e Discussione

Temperatura del terreno

Osservando la figura 7 ed 8, dove sono riportati i dati medi di temperatura del terreno registrati nei due anni di prova, è possibile percepire l'effetto delle sostanze a reazione esotermica sul riscaldamento del terreno a seguito dell'intervento di disinfezione. Indipendentemente dal tipo di barra, le maggiori temperature sono sempre state raggiunte con la dose massima dei composti.

Nel 2005, l'impiego della dose massima di sostanze a reazione esotermica ha infatti permesso di ottenere incrementi significativi della temperatura del terreno nel caso sia della barra singola (+12%) che di quella nel carter (+8%) (Fig. 7).

Nel 2006 invece l'applicazione dei composti "attivanti" ha fatto mediamente registrare livelli termici significativamente più elevati nel caso della barra singola (+8%), di quella nel carter (+8%) e del sistema misto 2:1 (+18%) (Fig. 8).

Nelle figure 9 e 10 è riportato invece l'andamento della temperatura media e massima del terreno, a seguito dei trattamenti di disinfezione, per ciascun sistema di distribuzione del vapore, a seconda delle tre diverse profondità campionate.

Possiamo osservare come la barra singola abbia mostrato livelli termici significativamente più elevati in corrispondenza dello strato di terreno più

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

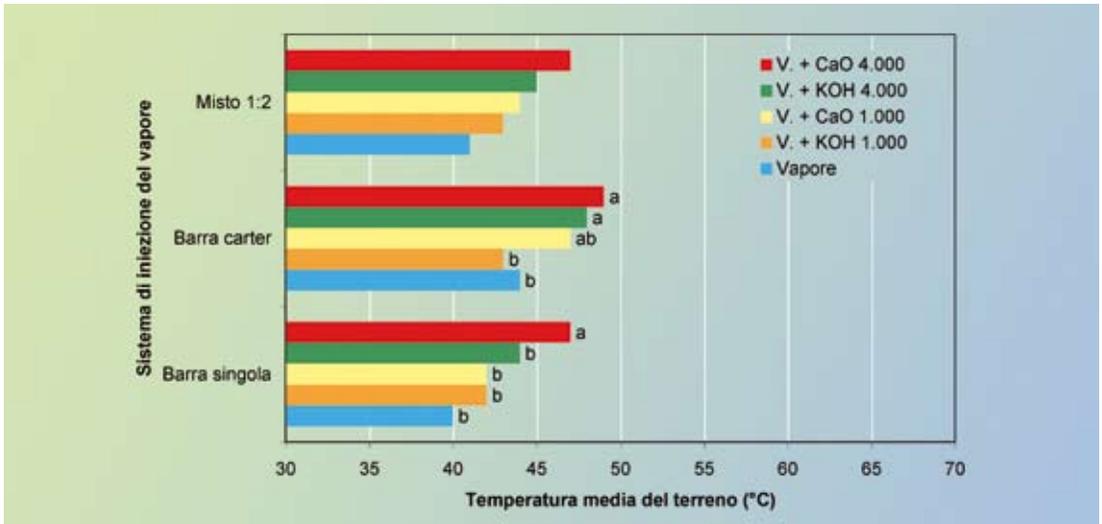


Fig. 7 Temperatura media del terreno registrata durante le tre ore successive all'intervento di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica, durante le prove sperimentali condotte nel 2005. Per lo stesso sistema di iniezione del vapore, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0,05$ (test LSD). I dati presentati sono i valori medi registrati per le tre differenti profondità campionate.

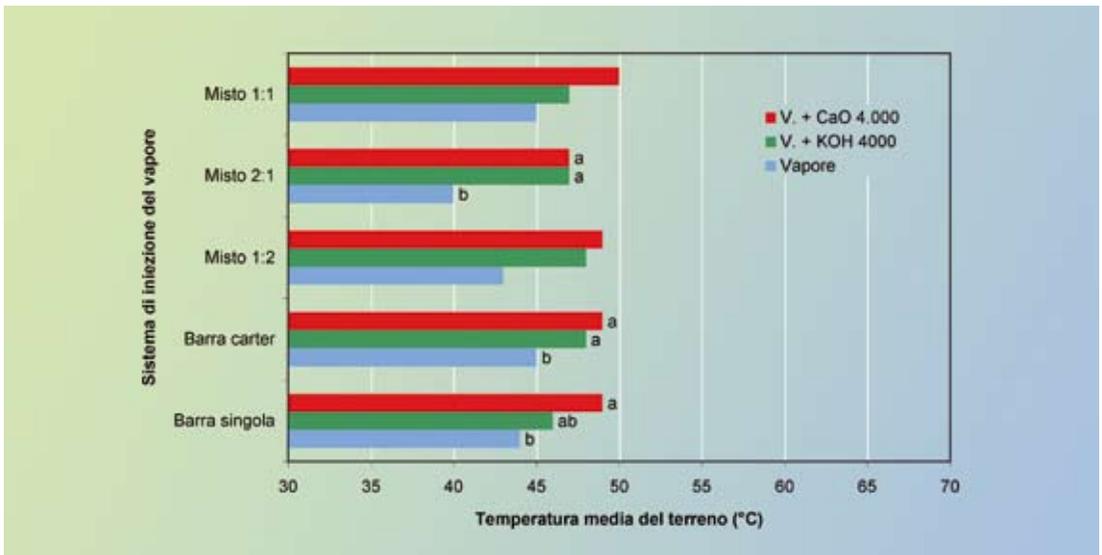


Fig. 8 Temperatura media del terreno registrata durante le tre ore successive all'intervento di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica, durante le prove sperimentali condotte nel 2006. Per lo stesso sistema di iniezione del vapore, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0,05$ (test LSD). I dati presentati sono i valori medi registrati per le tre differenti profondità campionate.

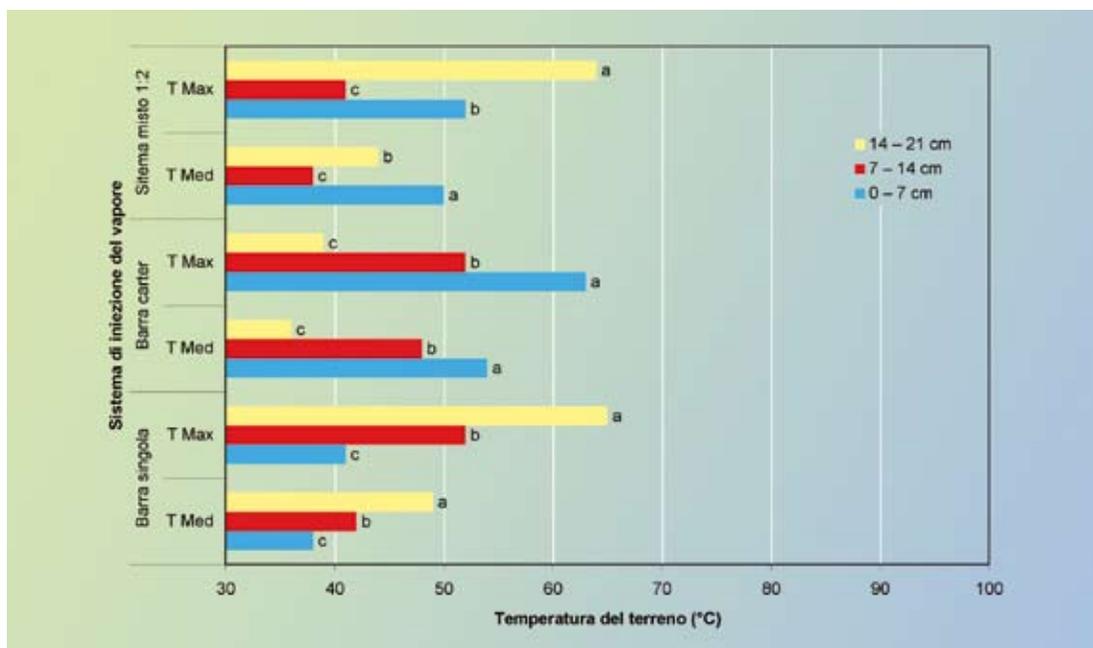


Fig. 9 Temperatura media del terreno registrata durante le tre ore successive all'intervento di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica, durante le prove sperimentali condotte nel 2005. Per lo stesso sistema di iniezione del vapore, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0,05$ (test LSD). I dati presentati sono i valori medi dei cinque diversi trattamenti.

profondo, rispetto sia a quello intermedio che a quello più superficiale (in media +20% e +45% nel 2005 e +25% e +50% nel 2006).

La barra nel carter è invece risultata più efficace in superficie, dove sono stati registrati valori di temperatura superiori del 16% e del 58% nel 2005 e del 10% e del 45% nel 2006 rispetto allo strato intermedio e profondo.

Il sistema misto ha fornito risultati diversi a seconda del tipo di regolazione, scaldando in misura maggiore in profondità con la regolazione 1:2 (fino ad un massimo di 71 °C), in superficie con regolazione 2:1 (con un massimo registrato di 65 °C) e presentando un situazione più omogenea nel caso della regolazione 1:1.

Banca seme di Brassica juncea

L'effetto dei vari trattamenti di disinfezione del terreno sulla banca seme artificiale sono stati tendenzialmente in accordo con i dati di temperatura registrati: valori maggiori di emergenza dell'infestante sono stati osservati generalmente in corrispondenza di valori di temperatura più bassi.

L'effetto dei diversi trattamenti (vapore e vapore con sostanze a reazione esotermica) per ciascun sistema di iniezione, nei due anni di prove sperimentali, sono riportati nelle tabelle 2 e 3. In entrambi gli anni di prove è stato osservato un effetto erbicida significativamente più elevato nel

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno: risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

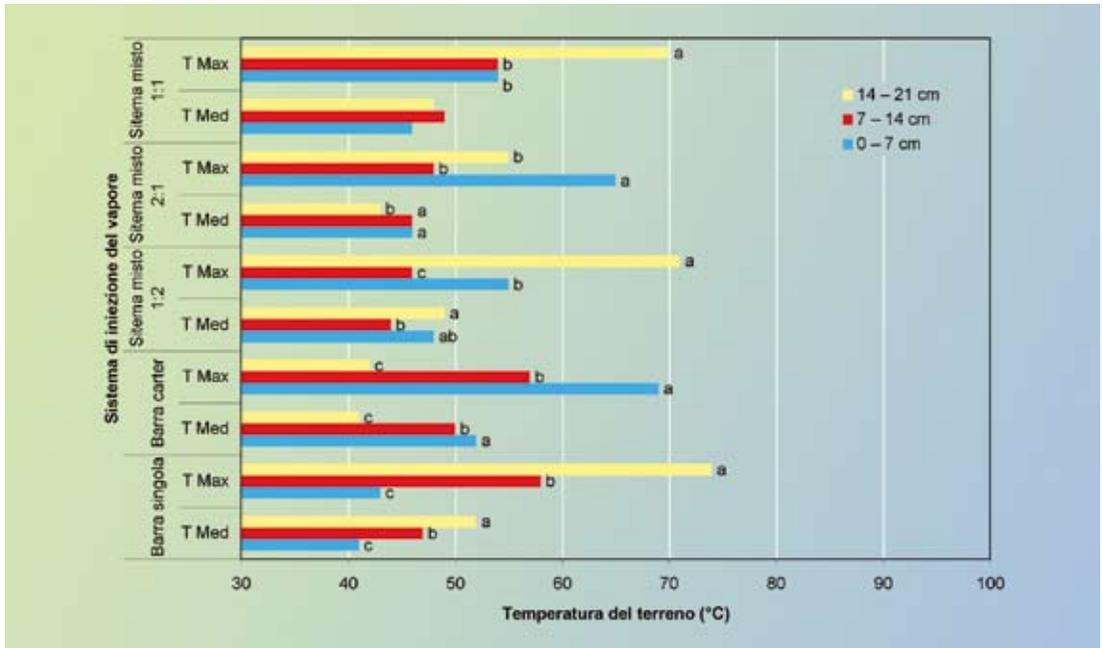


Fig. 10 Temperatura media del terreno registrata durante le tre ore successive all'intervento di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica, durante le prove sperimentali condotte nel 2006. Per lo stesso sistema di iniezione del vapore, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0,05$ (test LSD). I dati presentati sono i valori medi dei tre diversi trattamenti.

caso dell'impiego di sostanze a reazione esotermica rispetto all'intervento con il solo vapore. In particolare, nel 2005, è stato possibile osservare che le dosi più elevate dei composti hanno

permesso un sensibile incremento dell'efficacia del sistema rispetto alle dosi più basse ed al trattamento con il solo vapore. Ad esempio, nel caso della barra singola, l'impiego di 4000 kg ha^{-1} di

Tab. 2 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2005 dopo l'intervento di disinfezione con tre diversi sistemi di distribuzione del vapore e cinque differenti trattamenti. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ (test LSD). I dati riportati in tabella sono i valori medi delle tre diverse profondità di campionamento.

Trattamento	Sistema di iniezione del vapore		
	Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2
Vapore	133,1 a	93,0 a	108,3 a
V. + KOH 1.000	115,3 ab	47,0 b	18,9 b
V. + CaO 1.000	102,9 ab	47,3 b	23,0 b
V. + KOH 4.000	43,6 c	11,7 c	8,0 b
V. + CaO 4.000	72,9 bc	45,0 b	11,7 b

Tab. 3 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2006 dopo l'intervento di disinfezione con cinque diversi sistemi di distribuzione del vapore e tre differenti trattamenti. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente diversi per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati in tabella sono i valori medi delle tre diverse profondità di campionamento.

Trattamento	Sistema di iniezione del vapore				
	Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2	Misto 2:1	Misto 1:1
Vapore	113,2 a	119,6 a	107,1 a	90,2 a	73,8 ns
V. + CaO 4.000	83,0 b	90,0 ab	41,6 b	27,6 b	38,2 ns
V. + KOH 4.000	60,1 b	62,4 b	33,9 b	21,8 b	57,1 ns

KOH ha ridotto l'emergenza della crucifera del 63% rispetto alla dose più bassa dei due composti ed al trattamento con il solo vapore. Per la barra nel carter il trend è stato del tutto analogo: l'impiego della dose più elevata di KOH ha ridotto l'emergenza della *B. juncea* dell'87% rispetto al trattamento con il solo vapore e del 75% se confrontato con gli altri interventi. Il sistema misto ha invece fornito i risultati più omogenei: entrambe le dosi dei composti utilizzate hanno complessivamente presentato lo stesso effetto erbicida (Tab. 2).

Nel 2006 l'impiego della sostanze a reazione esotermica (limitato in questo caso solo alla dose più elevata) ha permesso un sensibile decremento dell'emergenza dell'infestante per ogni barra testata, anche se tale risultato non è apparso significativo per il sistema misto 1:1. In media la riduzione ottenuta mediante l'impiego delle sostanze rispetto al solo vapore è stata pari a circa il 50%, con valori massimi raggiunti nel caso del sistema misto 2:1, dove è stata invece registrato un abbattimento della germinazione pari a circa il 75%.

Nelle figure 11 e 12 è invece possibile osservare i dati di emergenza della crucifera registrati per ciascun sistema di iniezione del vapore, alle tre diverse profondità di campionamento. Nel 2005,

in accordo con i dati di temperatura osservati, la barra singola ha permesso il miglior controllo dell'infestante alla massima profondità, rispetto sia a quella intermedia che a quella più superficiale (-80% e -90% rispettivamente).

La barra nel carter è stata significativamente più efficace in superficie, dove è stato in media registrata una emergenza delle infestanti sette volte inferiore rispetto alle altre due profondità.

Il sistema misto 1:2 ha invece fatto registrare i migliori risultati alla profondità maggiore (molto simili a quelli della barra singola), dove la *B. juncea* ha mostrato valori di emergenza ridotti del 50% e del 70% rispetto allo strato più superficiale ed a quello intermedio (Fig. 11).

Nel 2006, i valori registrati nel caso dei tre sistemi di distribuzione comuni ai due anni di prove hanno tendenzialmente confermato il trend dell'anno precedente, mentre le due nuove regolazioni del sistema misto hanno decisamente fornito i risultati aspettati: la regolazione 2:1 ha ridotto maggiormente l'emergenza della crucifera nello strato più superficiale di terreno (-90% rispetto allo strato intermedio e -85% rispetto a quello più profondo), mentre il sistema misto 1:1 ha fornito i valori più omogenei lungo il profilo del terreno, in quanto non sono state registrate

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

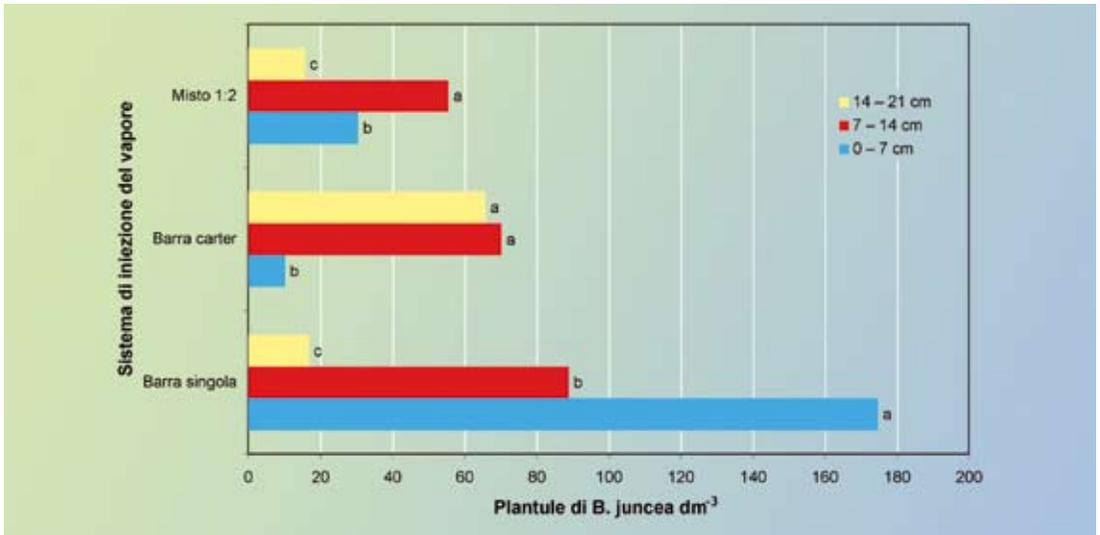


Fig. 11 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2005, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Per lo stesso sistema di iniezione, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi di cinque diversi trattamenti.

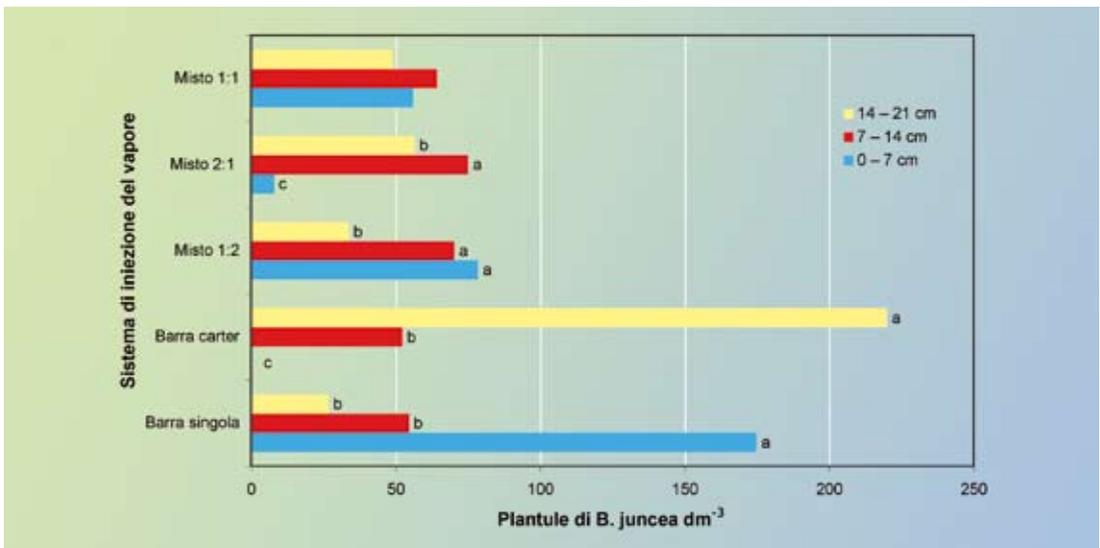


Fig. 12 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2006, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Per lo stesso sistema di iniezione, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi dei tre diversi trattamenti.

differenze significative.

Nelle tabelle 4 e 5 sono riportati i dati relativi all'emergenza dell'infestante, per ciascuna profondità di campionamento, analizzati al fine di evidenziare la differenza di efficacia dei diversi sistemi di distribuzione.

Nel 2005 sono state registrate differenze significative a tutte e tre le profondità interessate (Tab.

Tab. 4 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^3) in condizioni controllate nel 2005, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi dei cinque diversi trattamenti.

Sistema di iniezione	Profondità (cm)		
	0 - 7	7 - 14	14 - 21
Barra singola	174,7 a	89,0 a	16,9 b
Barra nel carter	10,3 b	70,3 ab	65,9 a
Misto 1:2	30,6 b	55,6 b	15,7 b

Tab. 5 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^3) in condizioni controllate nel 2006, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi dei tre diversi trattamenti.

Sistema di iniezione	Profondità (cm)		
	0 - 7	7 - 14	14 - 21
Barra singola	174,9 a	54,6 ns	26,9 b
Barra nel carter	0,1 d	52,3 ns	220,0 a
Misto 1:2	78,5 b	70,3 ns	33,8 b
Misto 2:1	8,0 cd	75,0 ns	56,7 b
Misto 1:1	56,0 bc	64,3 ns	48,8 b

4). La barra nel carter ha confermato la sua maggiore efficacia in superficie (-66% e -82% di emergenza di *B. juncea* rispetto al sistema misto ed alla barra singola). La barra nel carter ed il sistema misto sono stati più efficaci nello strato intermedio rispetto alla barra singola (-30% di emergenza della crucifera). La barra singola ed il sistema misto hanno fornito valori molto simili nello strato più profondo, riducendo la germinazione dell'infestante del 75%.

Nel 2006 i risultati sono stati tendenzialmente in linea con quelli del 2005 per quanto concerne i sistemi di distribuzione in comune, fatta eccezione dello strato intermedio, dove non sono state registrate differenze significative tra le varie barre testate. Anche in questo caso le due nuove regolazioni del sistema misto di distribuzione del vapore hanno fornito i risultati aspettati: il sistema misto 2:1 ha fatto registrare valori di emergenza molto simili a quelli della barra nel carter tra 0 e 7 cm di profondità, mentre il sistema 1:1 ha presentato valori intermedi rispetto alle altre due diverse regolazioni. (Tab. 5).

Nelle figure 13 e 14 i valori di emergenza della *B. juncea* sono espressi come medie delle tre profondità di campionamento ed analizzati singolarmente per ciascuna tipologia di trattamento, in modo tale che sia percepibile l'effetto complessivo, su tutto il profilo di terreno, dei diversi sistemi di distribuzione del vapore.

Nel 2005 il sistema misto 1:2 ha permesso il miglior controllo della crucifera per tutti i trattamenti testati, fatta eccezione del trattamento con il solo vapore. Ciò è probabilmente attribuibile ad una maggiore omogeneità di distribuzione del vapore, che conseguentemente permette di ottenere una maggiore efficienza complessiva

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

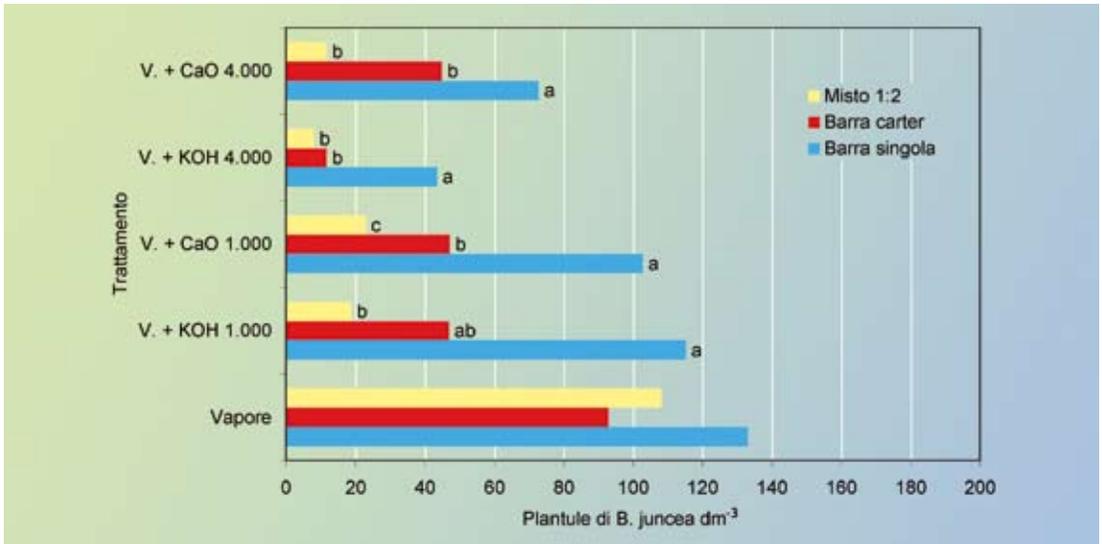


Fig. 13 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2005, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Per lo stesso trattamento, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi delle tre diverse profondità di campionamento.

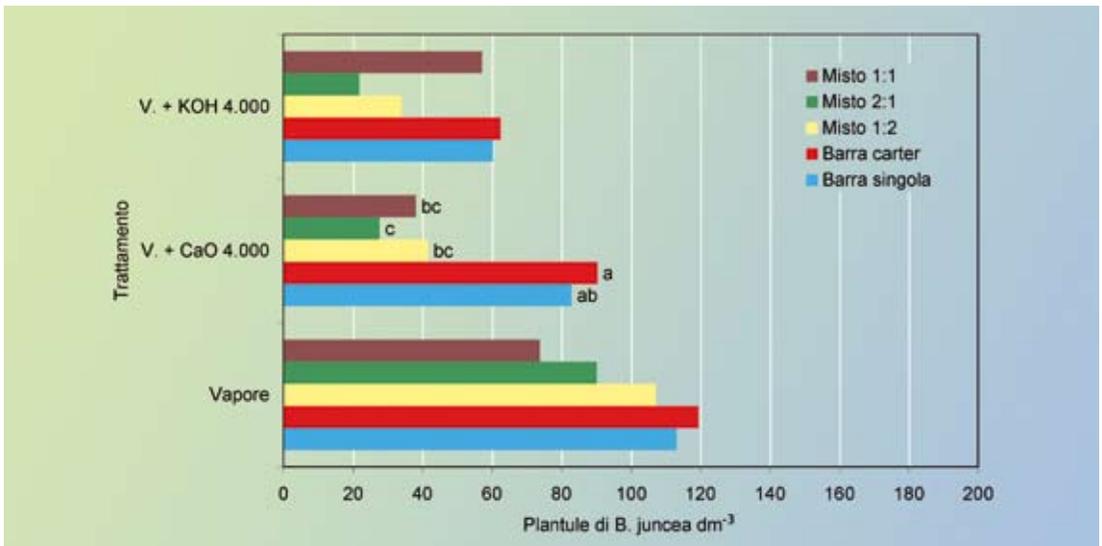


Fig. 14 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2006, a seguito dei trattamenti di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica. Per lo stesso trattamento, la presenza di lettere diverse indica differenze significative per $P \leq 0.05$ (test LSD). I dati riportati nella figura rappresentano i valori medi delle tre diverse profondità di campionamento.

del sistema. Mediamente il sistema misto ha fatto registrare valori di emergenza inferiori del 30 e del 64% se confrontati alla barra nel carter ed alla barra singola rispettivamente (Fig. 13).

Nel 2006 il sistema misto ha confermato la sua maggiore efficacia erbicida, facendo mediamente registrare una riduzione maggiore del 40% circa rispetto alla barra singola e a quella nel carter, che, a differenza del 2005, sono state a loro volta contraddistinte da valori di germinazione di *B. juncea* molto simili. Il sistema misto in media

ha comunque fornito valori di emergenza significativamente più contenuti rispetto agli altri due sistemi di distribuzione solamente nel caso del trattamento con CaO, dove le tre diverse regolazioni hanno complessivamente fatto registrare un decremento pari al 60% rispetto alla barra nel carter, mentre la regolazione 2:1 è risultata significativamente più efficace rispetto sia alla barra singola che a quella nel carter (in media - 70% circa di emergenza di *B. juncea*) (Fig. 14).

Nelle tabelle 6 e 7 sono riportati tutti i dati relativi

Tab. 6 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^3) in condizioni controllate nel 2005, per tutte le tesi testate e per il testimone non trattato. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0.05$ (test LSD).

Trattamento	Profondità (cm)	Sistema di iniezione del vapore		
		Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2
Vapore	0-7	219,6 ab	30,4 d	91,3 bc
Vapore	7-14	143,9 abcd	153,4 abc	191,6 a
Vapore	14-21	35,9 de	95,3 bcd	41,9 c
V.+CaO1000	0-7	202,1 abc	2,1 d	24,0 c
V.+CaO1000	7-14	98,6 cde	67,4 cd	31,6 c
V.+CaO1000	14-21	7,9 e	72,4 cd	13,3 c
V.+CaO4000	0-7	151,4 abcd	1,0 d	9,4 c
V.+CaO4000	7-14	59,3 de	60,9 cd	17,6 c
V.+CaO4000	14-21	7,9 e	73,3 cd	8,1 c
V.+KOH1000	0-7	203,4 abc	17,1 d	24,6 c
V.+KOH1000	7-14	117,9 bcde	51,0 d	23,9 c
V.+KOH1000	14-21	24,7 e	73,0 cd	8,1 c
V.+KOH4000	0-7	97,3 cde	1,0 d	3,3 c
V.+KOH4000	7-14	25,7 e	18,7 d	13,6 c
V.+KOH4000	14-21	7,7 e	15,3 d	7,3 c
Testimone	0-7	237,7 a	237,7 a	237,7 a
Testimone	7-14	213,1 abc	213,1 ab	213,1 a
Testimone	14-21	177,6 abc	177,6 a	177,6 ab

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

Tab. 7 Emergenza di *B. juncea* (piante dm^{-3}) in condizioni controllate nel 2006, per tutte le tesi testate e per il testimone non trattato. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0,05$ (test LSD).

Trattamento	Profondità (cm)	Sistema di iniezione del vapore				
		Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2	Misto 2:1	Misto 1:1
Vapore	0-7	226,7 a	0,1 c	139,8 b	20,4 d	78,9 b
Vapore	7-14	75,0 cd	77,2 c	142,5 b	157,5 b	78,9 b
Vapore	14-21	37,9 d	281,4 a	39,0 c	92,9 c	63,6 b
V.+CaO4000	0-7	171,3 ab	0,0 c	61,4 c	3,6 d	17,1 b
V.+CaO4000	7-14	55,2 cd	59,0 c	40,1 c	45,0 d	38,9 b
V.+CaO4000	14-21	22,5 d	212,2 ab	23,2 c	34,3 d	58,4 b
V.+KOH4000	0-7	126,6 bc	0,1 c	34,4 c	0,0 d	71,8 b
V.+KOH4000	7-14	33,6 d	20,7 c	28,1 c	22,5 d	75,2 b
V.+KOH4000	14-21	20,2 d	166,5 b	39,1 c	42,9 d	24,5 b
Testimone	0-7	213,7 a	213,7 ab	213,7 a	213,7 a	213,7 a
Testimone	7-14	220,6 a	220,6 ab	220,6 a	220,6 a	220,6 a
Testimone	14-21	215,4 a	215,4 ab	215,4 a	215,4 a	215,4 a

all'emergenza di *B. juncea*, comprese le tesi testimone, in condizioni controllate, per i due anni di prove sperimentali, riferiti ai diversi sistemi di distribuzione del vapore, ai differenti trattamenti ed alle tre profondità.

Nel 2005, la barra singola ha fatto registrare sempre differenze significative nello strato di terreno più profondo (in media 91% di riduzione dell'emergenza, con un massimo del 96%). Nello strato intermedio la barra singola è risultata significativamente efficace solo con l'applicazione della massima dose di composti a reazione esotermica, presentando in questo caso in media un decremento della germinazione dell'infestante pari all'80% rispetto al controllo. In superficie la barra singola ha ottenuto riduzioni significative di emergenza di *B. juncea* solo se impiegata con la

massima dose di KOH (-60% rispetto al controllo) (Tab. 6).

Nel 2006 la barra singola ha sostanzialmente confermato le sue capacità erbicide in profondità (in media -88% di emergenza della crucifera rispetto al controllo) ed ha presentato risultati molto simili all'anno precedente per quanto concerne lo strato sia intermedio che superficiale. In quest'ultimo caso riduzioni significative rispetto al testimone sono state comuni solo all'impiego di KOH (-40%) (Tab. 7).

La barra nel carter ha mostrato nel 2005 un effetto significativo rispetto al testimone non trattato per tutte le tesi a confronto, fatta eccezione per il trattamento con solo vapore alla profondità intermedia. La percentuale media di riduzione ottenuta rispetto al controllo è stata pari al 96%

in superficie, al 67% nello strato intermedio ed al 63% tra 14 e 21 cm (Tab. 6).

Nel 2006 la barra nel carter ha mostrato risultati molto simili al 2005 per quanto riguarda lo strato più superficiale e quello intermedio, raggiungendo nel primo caso un controllo totale della crucifera per tutti i trattamenti testati, ma non ha determinato riduzioni significative rispetto al testimone nello stato più profondo (Tab. 7).

L'applicazione della barra nel carter risulta senz'altro un'implementazione molto importante per l'operatrice semovente, in quanto permette un controllo significativo delle erbe infestanti anche con l'impiego del solo vapore, consentito, a differenza delle sostanze a reazione esotermica, anche in agricoltura biologica.

Il sistema misto 1:2, nel 2005, ha permesso ridu-

zioni significative in tutte le tesi a confronto, fatta eccezione per la profondità intermedia nel caso del trattamento con il solo vapore, ed in media ha fatto registrare percentuali di riduzione pari all'87% in superficie, al 74% tra 7 e 14 cm ed al 91% tra 14 e 21 cm (Tab. 6).

Nel 2006 il sistema misto 1:2 ha presentato in media valori di riduzione della *B. juncea*, rispetto al testimone, in linea con quelle osservate l'anno precedente ma tendenzialmente più contenuti (-63% in superficie, -68% tra 7 e 14 cm e -84% in profondità), mentre la regolazione 2:1 ha permesso un controllo più spinto dell'emergenza in superficie, garantendo comunque un buon risultato anche negli altri due strati (in media -96% tra 0 e 7 cm, -66% tra 7 e 14 cm, -74% tra 14 e 21 cm). La regolazione 1:1 ha invece fornito i risultati più

Tab. 8 Emergenza di *B. juncea* in pieno campo (*plantule m²*) registrata nel 2005 a seguito dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica e su testimone non trattato. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0.05$ (test LSD).

Trattamento	Sistema di iniezione del vapore		
	Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2
Vapore	20440,0 a	1417,8 b	9342,2 a
V. + CaO 1.000	13822,2 b	217,8 c	1293,3 b
V. + CaO 4.000	231,1 e	0,0 c	0,0 c
V. + KOH 1.000	19675,6 a	471,1 c	1951,1 b
V. + KOH 4.000	3920,0 d	4,4 c	0,0 c
Testimone	9186,7 c	9186,7 a	9186,7 a

Tab. 9 Emergenza di *B. juncea* in pieno campo (*plantule m²*) registrata nel 2006 a seguito dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica e su testimone non trattato. Nella stessa colonna, valori contraddistinti dalla stessa lettera non sono significativamente differenti per $P \leq 0.05$ (test LSD).

Trattamento	Sistema di iniezione del vapore				
	Barra singola	Barra nel carter	Misto 1:2	Misto 2:1	Misto 1:1
Vapore	21514,7 a	40,0 b	10801,6 a	524,3 b	6084,0 b
V. + CaO 4.000	4258,7 c	1,3 b	178,6 b	13,3 b	32,5 c
V. + KOH 4.000	3972,0 c	4,1 b	83,0 b	6,7 b	4,5 c
Testimone	10620,0 b	10620,0 a	10620,0 a	10620,0 a	10620,0 a

Effetto dei trattamenti con vapore e sostanze a reazione esotermica sulla banca seme infestante presente nel terreno:
risultati ottenuti su infestazione artificiale di *Brassica juncea* L. (Czern.) e sulla flora naturale

omogenei lungo il profilo campionato, non facendo registrare differenze tra i vari trattamenti, che sono tutti apparsi però significativamente efficaci rispetto al controllo. In media quest'ultima soluzione ha permesso una riduzione dell'infestazione artificiale pari al 75% circa tra 0 e 21 cm (Tab. 7).

La soluzione mista ha senz'altro fornito risultati molto interessanti, permettendo un'ottima riduzione della banca seme del terreno lungo tutto il profilo interessato al trattamento e rivelandosi allo stesso tempo uno strumento molto versatile ed adattabile alle varie possibili esigenze aziendali,

fornendo prestazioni sia intermedie che molto simili a quelle osservate per i due sistemi più "estremi", come la barra singola e quella nel carter.

Emergenza di *Brassica juncea*

Nelle tabelle 8 e 9 sono riportati i risultati relativi all'emergenza di *B. juncea* in pieno campo nei due anni di prove, che hanno presentato un andamento simile a quello già osservato nella prova della banca seme.

La barra singola, se confrontata con il testimone



Fig. 15 Sensibile emergenza di *B. juncea* a seguito di un trattamento di disinfezione del terreno, realizzato con la barra singola, utilizzando il solo vapore.

non trattato, ha stimolato l'emergenza dell'infestante nel caso del trattamento con il solo vapore (+120% nel 2005 e +100% nel 2006) (Fig. 15) e con la dose più bassa delle due sostanze (in media +95% nel 2005), mentre con la quantità massima sono state ottenute riduzioni pari al 75% circa nel 2005 ed al 60% nel 2006.

La barra nel carter ha invece mostrato i risultati migliori, facendo registrare una riduzione di emergenza della crucifera significativa sia con il trattamento con il solo vapore (-85% nel 2005 e controllo molto prossimo al 100% nel 2006) che con l'aggiunta delle sostanze a reazione esotermica (valori in media superiori al 90% per le dosi più ridotte e del 100% per la dose più elevata) (Fig. 16).

Il sistema di distribuzione misto 1:2, se impiegato con il solo vapore, non ha presentato un effetto significativo rispetto al testimone non trattato

in entrambi gli anni di prove, mentre ha ridotto sensibilmente l'emergenza dell'infestante se associato alle sostanze a reazione esotermica, sia nel 2005 (-83% con la dose più ridotta e -94% con quella più elevata) che nel 2006 (-98%).

Il sistema misto 2:1, testato solo nel 2006, ha permesso una riduzione significativa dell'emergenza, sia se utilizzato con il solo vapore (-95%) che assieme alle sostanze a reazione esotermica, con l'ausilio della quali è stato ottenuto un controllo pressoché totale. Lo stesso risultato, per i trattamenti effettuati con CaO e KOH, è stato del resto conseguito con il sistema misto 1:1, che però, allo stesso tempo, ha presentato una minore efficacia con l'impiego del solo vapore (-45% circa).

I diversi sistemi di distribuzione testati, fatta eccezione per la barra singola, hanno comunque garantito un ottimo effetto erbicida se associati alle sostanze a reazione esotermica, mentre la



Fig. 16 Risultato di un trattamento di disinfezione del terreno, realizzato impiegando la barra nel carter e la dose più elevata di KOH, che ha permesso il completo azzeramento dell'emergenza di *B. juncea* in pieno campo.

barra nel carter ed il sistema misto 2:1 hanno presentato un ottimo livello di controllo anche con l'impiego del solo vapore.

Conclusioni

Questo biennio di prove sperimentali, condotte al fine di valutare l'efficacia erbicida dei nuovi sistemi di distribuzione del vapore implementati sull'operatrice per la disinfezione del terreno Celli "Ecostar SC 600", ha senz'altro fornito risultati molto interessanti, evidenziando nuovamente l'ottima attitudine del sistema nel ridurre la banca seme del terreno.

I dati registrati hanno infatti ampiamente confermato le aspettative: la barra singola ha permesso un controllo molto spinto della seed-bank artificiale nello strato più profondo, la barra nel carter ha invece consentito di ottenere l'azzeramento dell'emergenza di *B. juncea* in pieno campo, mentre il sistema misto, in generale, è risultato il più efficiente nel devitalizzare i semi presenti su tutto il profilo di terreno analizzato (0-21 cm). Quest'ultima soluzione è stata inoltre testata in tre diverse conformazioni, che permettono di regolare il rapporto di erogazione tra la barra superiore e quella inferiore, in modo tale da avvicinare il comportamento di tale sistema a quello della barra nel carter oppure a quello della barra singola.

L'impiego della barra nel carter e della barra mista 2:1 ha inoltre fornito riduzioni significative dell'emergenza in pieno campo della *B. juncea* anche con l'impiego del solo vapore, obiettivo importantissimo poiché consente di aprire le porte anche a sistemi colturali biologici, dove non è consentito l'utilizzo delle sostanze a reazione

esotermica, applicate assieme al vapore durante questa prova.

La macchina è quindi adesso decisamente più versatile e facilmente adattabile alle esigenze delle aziende agricole, che possono presentare differenti problematiche, sia da un punto di vista agronomico che malerbologico e fitopatologico, a seconda dell'orientamento produttivo scelto, della rotazione colturale adottata e del contesto ambientale in cui sono inserite.

Per esprimere un giudizio più completo sulla capacità erbicida del sistema è comunque necessario indagare ulteriormente sui risultati relativi alla banca seme naturalmente presente nel terreno, che potrebbe fornire risultati diversi a seconda della tolleranza al calore dei semi delle specie presenti.

Tali dati sono tuttora in fase di elaborazione, ma per il momento le specie più numerose hanno fornito valori del tutto assimilabili a quelli della *B. juncea*, infestante "spia" che è stata incorporata nel terreno per osservare l'effetto del sistema di disinfezione su un numero elevato e fisso di semi.

L'operatrice Celli "Ecostar SC600", alla luce dei risultati acquisiti, può quindi rappresentare, anche dal punto di vista malerbologico, una reale alternativa a basso impatto ambientale all'impiego di fumiganti chimici, nell'ottica di produzioni agricole ad alto reddito sia in coltura convenzionale, che integrata e biologica.

Bibliografia

- BARBERI P. (2002) Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed research* 42, 176-193.
- BARBERI P., MOONEN A. C., RAFFAELLI M., PERUZZI A., BELLONI P., MAINARDI M. (2002). Soil steaming with an innovative machine-effects on actual weed flora. *Proceedings of 5th EWRS workshop on Physical and Cul-*

- tural Weed Control*, Pisa 11-13 March, 238-241.
- BOLETTINO DELL'UNIONE EUROPEA (2000) Regolamento n. 2037/2000, L 244, 1-24.
- COLORIO G., TOMASONE R., BOZZOLI M. (2002). Strumenti, impianti e macchine utilizzate per il trattamento del terreno con vapore acqueo: stato dell'arte ed evoluzione. *Atti del convegno "vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*. Forlì, 30 ottobre, 19-28.
- D'ERRICO F.P., CAPRIO E., RUSSO G. (2002) Efficacia fitoiatrice del vapore e di sostanze a reazione esotermica sui nematodi. Risultati preliminari. *Atti del convegno "vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*. Forlì, 30 ottobre 2002, 67-70.
- HANSSON D., SVENSSON S.-E. (2004) Steaming soil in narrow strips for intra-row weed control in sugar beet. *Proceedings of 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway, 8-10 March, 152.
- HANSSON D., SVENSSON S.-E. (2007) Steaming soil in narrow bands to control weeds in row crops. *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 11-14 March.
- KATAN J., (1987) Soil solarization. In I. Chet ed. *"Innovative approaches to plant disease control"*, John Wiley & Sons, New York.
- LENZI A., LOMBARDI P., MAINARDI M., TESI R., (2002) Risposta di alcuni ortaggi alla disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica. *Atti del convegno "vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*. Forlì, 30 ottobre 2002, 95-102.
- MATERAZZI A., IANDOLO R., TRIOLO E., VANNACCI G. (1987). La solarizzazione del terreno. Un mezzo di lotta contro il "marciume del colletto" della lattuga, *L'Informatore Agrario* 43/87, 97-99.
- MELANDER B., JØRGENSEN M.H. (2005) Soil steaming to reduce intrarow weed seedling emergence. *Weed Research* 45, 202-211.
- MELANDER B., HEISEL T., JØRGENSEN M.H. (2002) Band-steaming for intra-row weed control. *Proceedings of 5th EWRS Workshop on Physical Weed Control*. Pisa, Italy, 11-13 March, 216-219.
- MELANDER B., JØRGENSEN M.H., ELSGAARD L. (2004) Recent results in the development of band steaming for intra-row weed control. *Proceedings of 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway, 8-10 March, 154.
- MOONEN A.C., BARBERI P., RAFFAELLI M., MAINARDI M., PERUZZI A., MAZZONCINI M. (2002) Soil steaming with an innovative machine-effects on the weed seedbank. *Proceedings of 5th EWRS workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Pisa 11-13 March, 230-236.
- PERUZZI A. (2007) L'attività di ricerca svolta sul sistema bioflash nel periodo 1999-2006. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile"*. S. Piero a Grado (PI), 11 maggio, in press.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M. (2002a) Development of innovative machines for soil disinfection by means of steam and substances in exothermic reaction. *Proceedings of 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Pisa 11-13 March, 220-229.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., DEL SARTO R., BORELLI M. (2002b) Messa a punto del sistema "bioflash" ed evoluzione delle macchine operatrici per la disinfezione e disinfestazione del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. *Atti del convegno "vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*. Forlì, 30 ottobre, 35-43.
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2004) Weed seeds control by steam and substances in exothermic reaction. *Proceedings of 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Lillehammer, Norway, 8-10 March, 155-165.
- PERUZZI A., GINANNI M., RAFFAELLI M., DI CIULO S. (2005a) The rolling harrow: a new implement for physical pre- and post emergence weed control. *Proceedings of 13th EWRS Symposium*. Bari, Italy, 19-23 June.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., DI CIULO S., (2005b) Una macchina innovativa per la disinfezione del terreno a basso impatto ambientale. *Atti dell'VIII Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria*. Catania, 27-30 giugno.
- PERUZZI A., BORELLI M., MAZZONCINI M., RAFFAELLI M., GINANNI M., BARBERI P. (2005c) Weed control by steam and compounds causing an exothermic reaction. *Proceedings of 13th EWRS Symposium*. Bari, Italy, 19-23 June.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., FONTANELLI M., LULLI L., FRASCONI C. (2007a) Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile"*. S. Piero a Grado (PI), 11 maggio, in press.
- PERUZZI A., GINANNI M., RAFFAELLI M., BARBERI P., LULLI L., FRASCONI C., FONTANELLI M. (2007b) Influence of injection system on the effect of "activated" soil disinfection on *Brassica juncea* (L.) Czern. *Proceedings of 7th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*. Salem, Germany, 11-14 March.
- Triolo E., D'Errico F.P., (2002) Il vapore d'acqua: un secolo di esperienza per un sistema fitoiatrice attuale, *Atti del convegno "vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno"*. Forlì 30 ottobre, 11-17.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., VANNACCI G. (1991) Risultati di un decennio di ricerche in Italia. La solarizzazione: un terzo metodo di sterilizzazione parziale del terreno, *Terra e sole*, 46/91, 22-28.
- Triolo E., Materazzi A., Luvisi A. (2003), Prospettive per la lotta contro i funghi patogeni. *Atti del Convegno: "Patogeni, fitofagi e piante infestanti delle colture agrarie: le prospettive senza il bromuro di metile"*, Capri, 15-17 October.
- Triolo E., Materazzi A., Luvisi A. (2004), Exothermic reactions and steam for the management of soil-borne pathogens: five years of research. *Advances in horticultural science*, 2, 89-94.

Risposte chimiche e microbiche in un suolo di serra trattato con vapore e una sostanza a reazione esotermica (CaO)

Antonio Gelsomino¹, Beatrix Petrovičová¹, Francesco Zaffina²

¹Dipartimento BioMAA, Università Mediterranea di Reggio Calabria - 89060 Reggio Calabria

²CRA-ISSDS, Via Cagliari 16 - 88064 Catanzaro Lido (CZ)

Introduzione

Uno dei problemi fitopatologici di maggiore gravità connesso con la coltivazione specializzata di specie orticole e floricole, sia in pieno campo che, soprattutto, in ambiente protetto è rappresentato dalle riduzioni, talvolta consistenti, delle rese commerciali e della qualità merceologica del prodotto, causate da patogeni ad habitat tellurico: in particolare dai funghi, oltre che da batteri, nematodi, insetti e malerbe. Infatti, in ambiente protetto si realizzano condizioni prolungate di elevata temperatura e di alta umidità atmosferica, unitamente ad un'elevata densità di semina, che creano condizioni ambientali idonee allo sviluppo ed alla crescita di patogeni delle piante coltivate. Le perdite medie di produzione stimate su scala globale per le principali colture agrarie si collocano intorno al 12%, anche se con sensibili scostamenti in relazione al tipo di coltura considerata (D'Errico *et al.*, 2005). Tra i più ricorrenti agenti fungini di malattia si ricordano *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.*, *Sclerotinia spp.*, *Phytophthora spp.*, *Verticillium spp.* (Stapleton, 2000). Tra i parassiti animali particolarmente dannosi si ricordano i nematodi galligeni del genere

Meloidogyne. Questi, per le loro caratteristiche di elevata polifagia, rappresentano un grave problema fitosanitario per le colture ortive coltivate in ambiente protetto, nelle aree agrarie a coltivazione intensiva e nelle zone litoranee, caratterizzate nelle nostre regioni da suoli tendenzialmente sabbiosi (Lamberti, 1979). Non deve essere altresì ignorato che ancora più gravi, per effetto sinergico, sono i danni dovuti alle interazioni ecologiche tra i nematodi galligeni ed i funghi patogeni del terreno (D'Errico *et al.*, 2005).

L'azione di controllo e di contenimento dei patogeni tellurici può essere realizzata mediante l'impiego di tecniche di disinfestazione del terreno. Allo stato attuale sono sostanzialmente tre i tipi di intervento presenti a livello commerciale che possono essere programmati per la gestione degli agenti di malattia del terreno: l'impiego di fumiganti chimici, il riscaldamento del terreno mediante solarizzazione e l'impiego del calore umido (o vapore d'acqua) (Cartia, 2001).

Per molti anni la lotta ai patogeni tellurici è stata condotta mediante l'impiego del bromuro di metile (o monobromo metano, CH₃Br), un fumi-

gante chimico largamente utilizzato per la disinfezione del terreno e delle derrate alimentari. Tuttavia l'impiego diffuso e ripetuto di fumigazioni a base di bromuro di metile hanno anche generato negli ultimi anni una crescente preoccupazione per il forte impatto negativo del prodotto nei confronti sia delle risorse ambientali (suolo, atmosfera, acque) che della salute umana (Bell *et al.*, 1996). Tra l'altro il composto contribuisce in maniera significativa all'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico, e quindi partecipa negativamente al più ampio fenomeno del riscaldamento globale del pianeta (*global warming*). Per questo il bromuro di metile è stato riconosciuto come molecola pericolosa per l'ambiente e per la salute umana ed a seguito di accordi multilaterali, sottoscritti anche dall'Italia, è stato incluso nel 1997 nell'elenco delle sostanze con forti limitazioni d'uso (il Protocollo di Montreal) sino alla sua completa fuoriuscita dalla scena fitoiatrica entro il 2015 (UNEP, 2005). Attualmente non esistono valide alternative chimiche al bromuro di metile, in quanto gli altri fumiganti chimici attualmente autorizzati dal Ministero della Salute (cloropicrina, metam-sodium, metam-potassio, dazomet e l'1,3-dicloropropene) non sono in grado di esplicare una pari azione fitoiatrica.

Invero, l'impiego del vapore d'acqua come agente fisico per la disinfezione del terreno e per il controllo dei patogeni tellurici rappresenta una pratica ormai ben nota e consolidata, soprattutto per la difesa fitosanitaria di colture ad alto reddito, quali specie orticole, floricole e vivaistiche, sia in pieno campo che in ambiente protetto (Peruzzi *et al.*, 2000; Raffaelli *et al.*, 2002). Il trattamento consiste nel riscaldare il terreno a temperature comprese tra +70 ed +80 °C per

almeno 30 minuti (realizzando una azione di *pasteurizzazione*). L'azione fitoiatrica del vapore risulta efficace nel caso in cui tutto lo strato di terreno che dovrà ospitare la coltura raggiunga e mantenga la temperatura richiesta per i tempi prefissati. L'efficacia del trattamento può essere esaltata coprendo il terreno, subito dopo l'iniezione del vapore, con film plastici ben ancorati ai lati in modo da ritardare la dispersione del calore verso l'atmosfera. Un'altra strategia per conseguire un rilascio addizionale di energia termica riguarda la distribuzione di sostanze a reazione esotermica che, reagendo chimicamente con il vapore d'acqua, aumentino il picco termico del suolo prolungandone altresì l'azione nel tempo (Peruzzi *et al.*, 2000). Vantaggi applicativi ed ambientali dell'impiego del vapore d'acqua sono dovuti: alla assenza di residui rilasciati nel terreno e sul prodotto, alla velocità di applicazione, ai brevi tempi di attesa per la messa a coltura del terreno trattato, alla possibilità di trattare anche materiali diversi dal terreno, come substrati di coltivazione di interesse floro-vivaistico (perlite, torba, sabbia, etc.), alla non pericolosità dei materiali utilizzati. Di contro, il limite principale della tecnica è rappresentato dagli elevati costi di esercizio e di impiego di combustibili fossili per la generazione e la distribuzione del vapore.

Tuttavia, sebbene siano preferenzialmente indagati gli effetti prodotti sui patogeni terricoli, meno studiati sono gli aspetti connessi all'impatto del trattamento con il vapore nel modificare alcune caratteristiche chimiche e biologiche del suolo. In particolare quelle inerenti alle dinamiche dei principali nutrienti delle piante e alle popolazioni microbiche normalmente residenti nel suolo. È opportuno ricordare che i microrganismi della

biomassa microbica del terreno (batteri e funghi principalmente, seguiti da alghe ed attinomiceti), costituiscono la frazione biologicamente attiva della frazione organica del terreno e con la loro attività biologica contribuiscono a mantenere la fertilità del suolo e le condizioni di abitabilità e di nutrizione minerale idonee per la crescita delle piante coltivate (Florenzano, 1983). È stato inoltre osservato che il riscaldamento del terreno provocato sia in condizioni artificiali (Zogg *et al.*, 1997) che in condizioni naturali, a seguito di trattamento termico di solarizzazione (Gelsomino *et al.*, 2006), produce sensibili modificazioni nelle dinamiche dei principali nutrienti del terreno. Variazioni nelle quote di nutrienti resi "biodisponibili" a seguito dell'immissione di vapore nel suolo non sono nuove. Studi pionieristici in tal senso sono stati condotti parallelamente all'affermazione della tecnica di impiego del vapore d'acqua come agente per la disinfestazione del terreno. Nel 1965 Dawson e colleghi osservarono che riscaldando il suolo oltre +80 °C con miscele di aria e di vapore d'acqua si determinava un significativo incremento di forme solubili di manganese (Dawson *et al.*, 1965). Variazioni quantitative dei nutrienti del suolo sono state inoltre evidenziate in studi successivi (Sonneveld, 1979; Runia, 2000). Lacatus e colleghi (1976) indagando in suoli di serra di origine alluvionale e di tessitura sabbiosa hanno riscontrato un significativo incremento del manganese scambiabile dopo applicazione con vapore d'acqua.

Lo scopo della presente sperimentazione, condotta nell'ambito di un programma di ricerca di rilevante interesse nazionale con il supporto finanziario del MUR, e svolta in collaborazione con unità di ricerca di altri atenei italiani, è sta-

to di indagare gli effetti prodotti sulle proprietà chimiche e microbiche del terreno in risposta a trattamenti diversificati di geodisinfezione con vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica. Ciò al fine ultimo di poter valutare compiutamente il livello di impatto ambientale offerto dalla tecnica proposta nei confronti di una risorsa di notevole significato per l'ecosistema, ma estremamente vulnerabile, quale è il suolo. In particolare, sono state monitorate nel tempo le dinamiche di alcune variabili chimiche e microbiche di un terreno di serra geodisinfezionato nel corso di due cicli colturali di ravanella consecutivi.

Materiali e metodi

Geodisinfezione con vapore d'acqua e disegno sperimentale

La sperimentazione è stata condotta nel periodo da aprile a luglio 2005, in ambiente protetto all'interno di una serra ad indirizzo orticolo specializzato di proprietà della ditta Cammelli di Firenze. Nel periodo di osservazione il suolo è stato coltivato con ravanella (*Raphanus sativus* L.) e con rucola (*Eruca sativa* Mill.). Le proprietà fisico-chimiche del terreno utilizzato nel corso della presente sperimentazione sono descritte nella Tabella 1. Osservando i valori riportati si può notare che l'orizzonte coltivato presenta le caratteristiche fisiche di un terreno di medio impasto con scheletro assente. Il grado di reazione è compreso tra debolmente e moderatamente alcalino per la presenza di carbonati che determinano altresì una elevata capacità tampone, come risulta dal grado di saturazione in basi (GSB) prossimo al 100%. Il suolo è lievemente calcareo con un

medio contenuto di calcare attivo. Risulta inoltre mediamente fornito in sostanza organica e ben fornito in azoto totale. Riguardo le forme assimilabili dei macronutrienti, il terreno risulta ben fornito in azoto nitrico, con una elevata dotazione di fosforo assimilabile (Olsen) ed un contenuto molto elevato di potassio di scambio. La capacità di scambio cationico (CSC) è moderatamente bassa. Sul complesso di scambio risulta maggiormente rappresentato il catione Mg^{2+} (70% di saturazione del catione) mentre è basso il contenuto in calcio di scambio (16% di saturazione). Il valore del sodio di scambio (ESP) è di 6,5%. Il valore

della conducibilità elettrica - parametro chimico correlato alla presenza di sali solubili presenti nel suolo - dell'estratto acquoso di suolo (rapporto suolo/acqua 1:2, p/v) è risultato pari a $2,9 \text{ dS m}^{-1}$. Osservando il valore di pH, di ESP e di CE si può affermare che il suolo presenta caratteristiche di salinità. È presente inoltre un elevato contenuto di magnesio non adeguatamente bilanciato dagli ioni calcio (il valore di riferimento per il rapporto Mg/Ca è 1/10), e dal potassio di scambio (il valore di riferimento per il rapporto Mg/K è compreso tra 2 e 5).

Prima del trattamento di geodisinfestazione con

Tab. 1 Caratteristiche fisico-chimiche iniziali del terreno di serra (ditta Cammelli, Firenze) studiato nel corso della sperimentazione.

Parametro		Valore medio
Sabbia	%	48,0
Limo	%	41,0
Argilla	%	11,0
Tessitura (secondo USDA)		Franco
pH in $CaCl_2$		7,49 (0,07)*
Carbonio organico	g C kg^{-1} suolo	12,5 (1,1)
Azoto totale	g N kg^{-1} suolo	1,63 (0,06)
Rapporto C/N		7,7
Calcare totale	g kg^{-1} suolo	50 (5)
Calcare attivo	g kg^{-1} suolo	23 (1)
Capacità di scambio cationico	$cmol_{(+)} kg^{-1}$ suolo	12,3 (2,1)
Conducibilità elettrica ($CE_{1,2}$) a 25 °C	$dS m^{-1}$	2,88 (0,7)
Azoto nitrico	mg N kg^{-1} suolo	38,5 (19,6)
Fosforo assimilabile (P Olsen)	mg kg^{-1} suolo	60,23 (4)
Na^+	$cmol_{(+)} kg^{-1}$	0,8 (0,1)
K^+	$cmol_{(+)} kg^{-1}$	1,0 (0,5)
Mg^{2+}	$cmol_{(+)} kg^{-1}$	8,5 (0,9)
Ca^{2+}	$cmol_{(+)} kg^{-1}$	2,0 (0,7)
Percentuale di sodio scambiabile (ESP)	%	6,5
Grado di saturazione in basi	%	100

* Tra parentesi è riportata la deviazione standard

vapore, in combinazione o non con l'applicazione di CaO come sostanza a reazione esotermica, il suolo di serra è stato sottoposto a concimazione minerale secondo il seguente dosaggio: 90,0 kg N ha⁻¹ (applicato sotto forma di urea), 37,5 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 172,5 kg K₂O ha⁻¹. Il suolo è stato quindi sottoposto ad erpicatura e fresatura. La superficie sperimentale è stata quindi suddivisa in parcelle elementari delle dimensioni di 10,5 x 1,2 m, distribuite secondo uno schema completamente randomizzato per meglio rappresentare le seguenti cinque tesi: controllo (parcella senza alcun trattamento di disinfestazione); vapore distribuito con barra singola interrata; vapore distribuito direttamente nel carter ospitante gli organi lavoranti della macchina; vapore distribuito con barra singola interrata insieme a CaO (dose applicata: 1000 kg ha⁻¹); vapore distribuito direttamente nel carter insieme a CaO (1000 kg ha⁻¹). Tutte le tesi sperimentali sono state replicate tre volte.

Il trattamento di geodisinfestazione con vapore è stato realizzato il 20/04/2005 mediante passaggio con il semovente cingolato Ecostar SC 600 della ditta Celli SpA di Forlì, operante ad una velocità di avanzamento di 0,06 km·h⁻¹ e ad una profondità di lavorazione di 20 cm. Sono state utilizzate due modalità di iniezione del vapor d'acqua. Con la barra singola si inietta il vapore interrandolo ad una profondità variabile di 15-20 cm. Mentre con il sistema di iniezione del vapore all'interno del carter che ospita la zappatrice rotativa viene interessata al trattamento solo la porzione più superficiale del terreno (5-7 cm). Subito dopo l'applicazione del vapore la macchina ha disteso sul terreno trattato una copertura pacciamante in polietilene di colore nero dello spessore di 40 μm. Una dettagliata descrizione delle funzionali-

tà e delle caratteristiche operative della macchina è riportata altrove (Peruzzi *et al.*, 2002) ed in questo stesso volume (Peruzzi, 2007; Peruzzi *et al.*, 2007). Il giorno successivo al trattamento il film plastico è stato rimosso e le parcelle sperimentali sono state seminate meccanicamente con semi di ravanello (*Rapbanus sativus* L., var. *radicula*) in file con una distanza di 10 x 10 cm ed una densità di semina di 250 semi m⁻².

Nelle parcelle geodisinfestate con il vapore si sono succeduti due cicli colturali consecutivi della stessa specie, con il seguente calendario: il primo ciclo di crescita dal 21 aprile al 20 maggio ed il secondo ciclo di crescita dal 22 giugno al 20 luglio. La specie è stata irrigata secondo necessità. Nel corso dell'esperimento non sono stati applicati fitofarmaci.

Campionamento e caratterizzazione chimica del suolo

Il prelievo dei campioni di suolo è stato eseguito al centro di ogni parcella, alla profondità di 10-15 cm, secondo il seguente calendario: il 29/03/2005, 20 giorni prima del trattamento di geodisinfestazione con vapore (T0); il 28/04/2005, 8 giorni dopo il trattamento (T1); il 09/05/2005, 19 giorni dopo la geodisinfestazione (T2); il 13/06/2005, 54 giorni dopo la geodisinfestazione (T3); il 25/07/2005, 91 giorni dal trattamento (T4). I campioni di suolo sono stati essiccati all'aria (per 24 h circa) e setacciati con vaglio a maglie di 2 mm prima di eseguire le analisi di caratterizzazione chimica. Le determinazioni analitiche delle caratteristiche chimiche sono state eseguite secondo i metodi ufficiali di analisi del suolo (Sparks, 1996; D.M. 13/9/1999). Sono stati indagati le seguenti



variabili chimiche: acidità reale, conducibilità elettrica dell'estratto acquoso di suolo, carbonio organico totale, azoto totale, manganese assimilabile.

Carica batterica totale

Le cellule batteriche sono state estratte da 10 g di suolo campionato fresco setacciato a 2 mm in presenza di 90 ml una soluzione estraente sterile di pirofosfato di sodio 1 g l⁻¹ a pH 7,0 sotto agitazione per 20 min (Allievi, 2002). Dopo diluizione seriale 1:10 in soluzione salina sterile di Ringer, la sospensione (1 ml) è stata inoculata in piastra Petri contenente triptone soia agar (TSA) al 10% addizionato di nistatina (80 mg l⁻¹). Le piastre sono state poste ad incubare al buio ad una temperatura di 26±1 °C e dopo 96 h è stato rilevato il numero delle colonie cresciute. Le letture (in triplicato per ogni diluizione) sono state espresse come unità formanti colonie (cfu) x 10⁶ g⁻¹ di suolo secco.

Analisi molecolare

Il DNA della popolazione batterica è stato estratto da 4 g di suolo campionato fresco secondo il metodo della estrazione indiretta e successivamente purificato mediante precipitazione con CsCl e filtrazione attraverso colonnine cromatografiche del tipo GeneClean Spin Kit (Bio 101) (van Elsas *et al.*, 1997). Successivamente, le sequenze geniche codificanti per la sintesi della sub-unità 16S dell'RNA ribosomale (16S rDNA) sono state amplificate mediante reazione a catena della polimerasi (PCR) utilizzando la coppia di primer batterici universali (F984GC/R1378) e separate

per elettroforesi su gel di poliacrilammide con gradiente di agente chimico di denaturazione (DGGE) (Gelsomino e Cacco, 2006). Dopo la separazione elettroforetica, gli amplificati sono stati colorati con SYBR[®] Gold, un colorante per acidi nucleici. Il gel infine è stato fotografato sotto irradiazione con luce ultravioletta ($\lambda = 312$ nm) per evidenziare le bande colorate. I profili elettroforetici sono stati acquisiti mediante sistema di analisi di immagine.

Analisi statistica dei risultati

I dati relativi alle proprietà dei suoli mostrati nel presente contributo, sono la media di tre replicati sperimentali ($n=3$). Tutti i dati raccolti nella presente ricerca sono stati sottoposti ad elaborazione statistica mediante analisi della varianza; le medie ottenute sono state confrontate per mezzo del test di Tukey al livello di significatività del 95% ($P < 0,05$). L'elaborazione statistica dei dati è stata condotta mediante il programma Systat 11 della Jandel Scientific (San Rafael, CA). I grafici sono stati preparati mediante il programma SigmaPlot versione 10.0 (Jandel Scientific).

Risultati e discussione

Le principali proprietà chimiche del terreno

- Il pH

Nelle tesi trattate con il vapore il grado di reazione del suolo è variato, nel corso dell'intero periodo di osservazione, fluttuando tra i valori di pH di 7,42 e 7,62, senza peraltro mostrare differenze significative rispetto al controllo non trattato

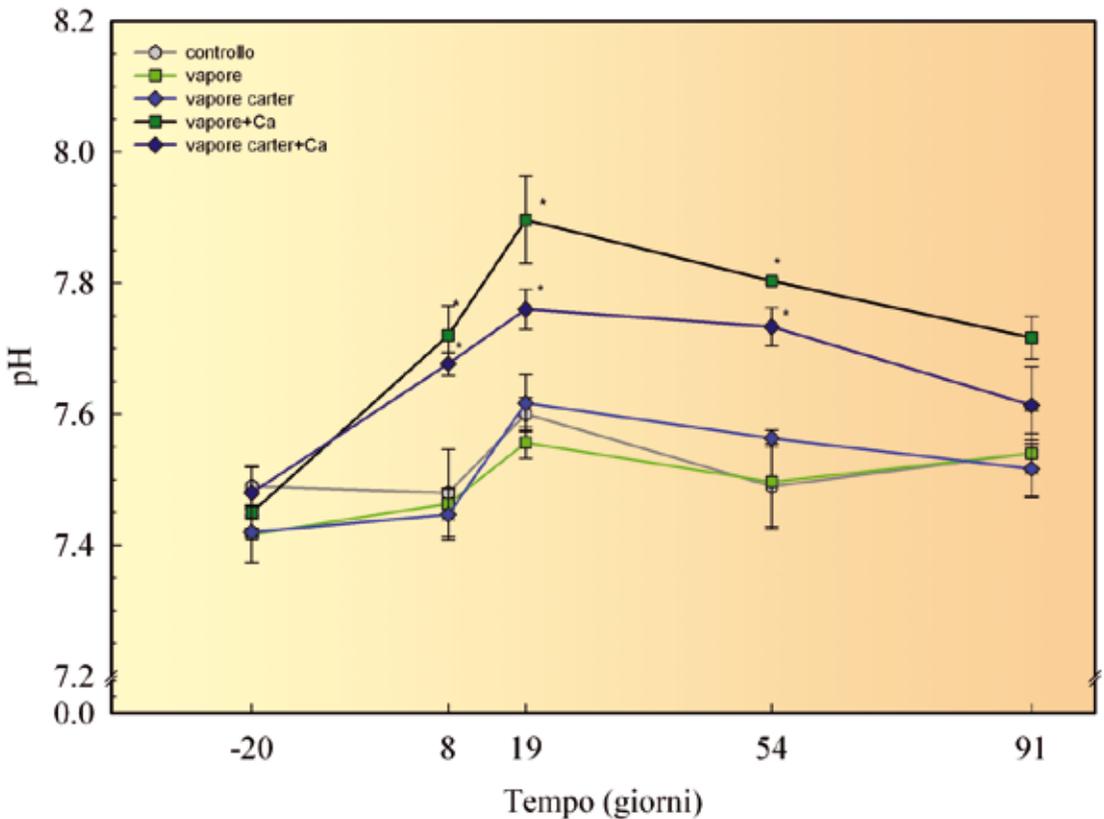


Fig. 1 Variazione del pH in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfezione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). * indica differenze significative per $P < 0,05$ rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

(Fig. 1). Di contro, nelle tesi addizionate di CaO il valore del pH del terreno è significativamente aumentato immediatamente dopo il trattamento e si è mantenuto alto nei successivi tre punti di campionamento (T1-T3), facendo registrare il valore più elevato (pH 7,90) in corrispondenza del campionamento T2.

È interessante notare che nel corso della fase finale dell'esperimento (tempi T3-T4), si è registrato un decremento del grado di reazione del terreno a valori statisticamente non dissimili dal controllo. Invero, questo dato non risulta inat-

teso in quanto in precedenti indagini chimiche sulle variazioni delle proprietà chimiche di base del terreno in risposta ad iniezione di vapore con CaO era stata segnalata una capacità tampone del terreno, ovvero di ritornare, nel tempo, a valori di pH prossimi a quelli precedenti il trattamento (Mazzoncini *et al.*, 2002; Lenzi *et al.*, 2004). È ben noto che i suoli manifestano una capacità tampone, variabile con la tipologia e la quantità dei colloidii maggiormente presenti. Nei suoli resi alcalini per la presenza di carbonati, intesi sia come calcare totale che, soprattutto, come cal-

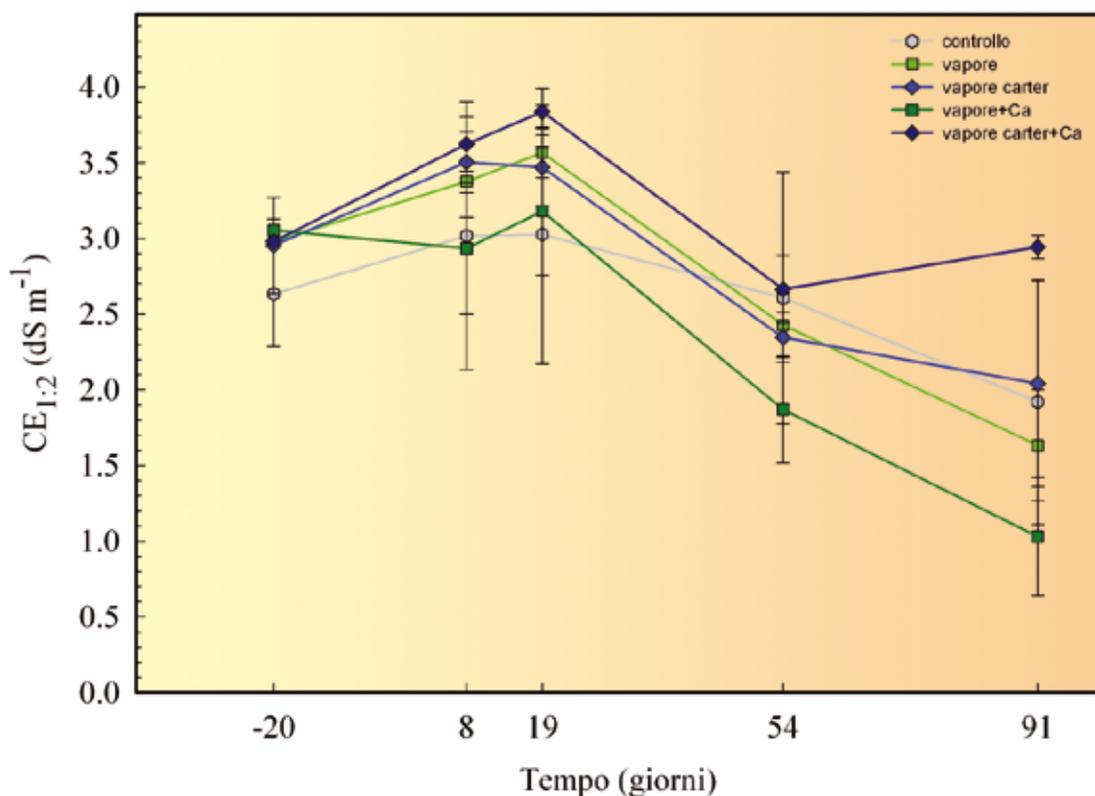


Fig. 2 Variazione della conducibilità elettrica nell'estratto acquoso ($CE_{1:2}$, suolo:acqua 1:2, p/v) in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfestazione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). Le medie non sono significativamente differenti rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

care attivo chimicamente più reattivo, come nel presente caso studiato, il meccanismo chimico di controllo del grado di reazione del terreno coinvolge reazioni di precipitazione e di dissoluzione del $CaCO_3$. I meccanismi di controllo del pH sono di rilevante importanza ecologica in quanto assicurano la stabilità di particolari condizioni chimiche in ambienti biologicamente dinamici come il suolo. Un elevato potere tampone del terreno è inoltre caratteristica chimica particolarmente apprezzabile in quei suoli che richiedono interventi di geodisinfestazione ripetuti nel tempo.

- La conducibilità elettrica dell'estratto acquoso.

Non sono state apprezzate significative differenze nei valori di conducibilità elettrica dell'estratto acquoso ($CE_{1:2}$) nel confronto tra le diverse tesi sperimentali e la tesi di controllo (Fig. 2). Da notare l'iniziale incremento dei valori di conducibilità, seguito da un andamento decrescente dal T2 in poi. Il più marcato decremento è stato peraltro osservato al tempo finale nelle tesi trattate con la barra singola interrata, sia senza (-45,3%) che con addizione di CaO (-66,2%). Generalmente i suoli di serra presentano valori di sali-

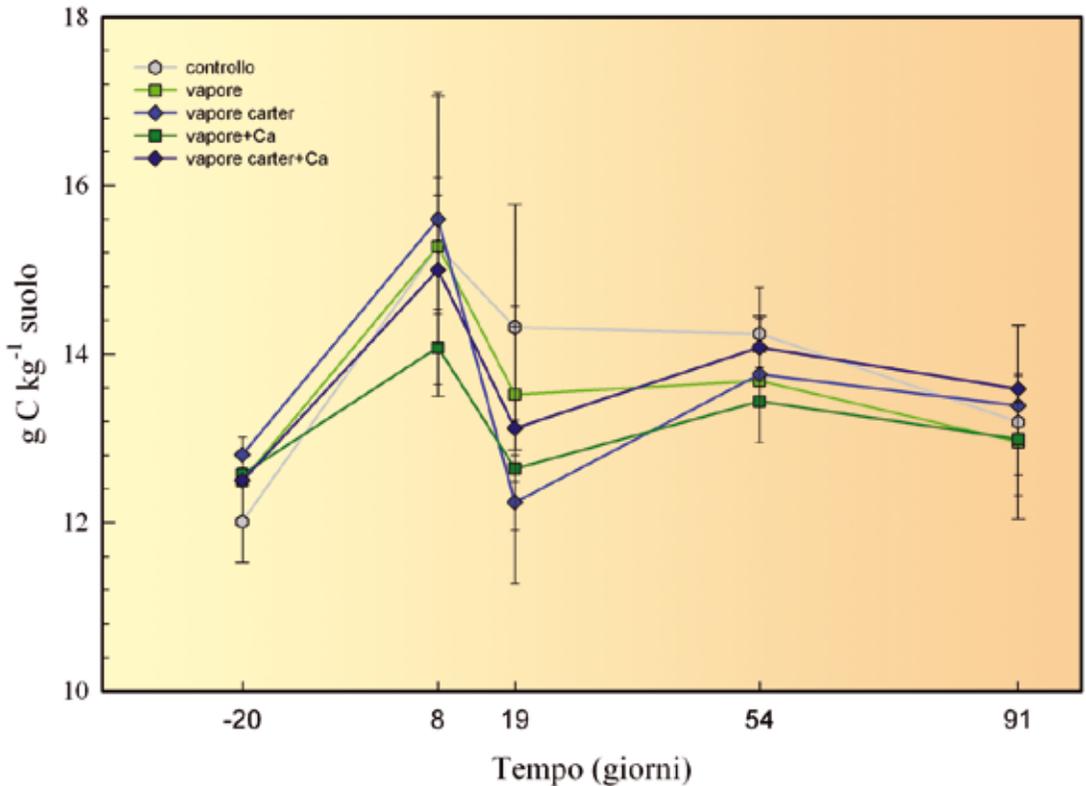


Fig. 3 Variazione del contenuto di carbonio organico in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfezione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). Le medie non sono significativamente differenti rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

nità elevati, dovuti ai lauti e ripetuti interventi di concimazione (Levi-Minzi *et al.*, 1998). Tuttavia, per effetto dello stato idrico del suolo di serra, generalmente mantenuto a livelli non limitanti per la crescita delle colture mediante abbondanti somministrazioni di acqua, i fenomeni di stress da salinità del suolo sono molto rari nella realtà delle colture protette. Pertanto non è infrequente riscontrare situazioni in cui la conducibilità elettrica dell'estratto acquoso raggiunge valori di $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, senza tuttavia determinare preoccupanti diminuzioni di resa della coltura.

- Il contenuto in carbonio organico

Il titolo di carbonio organico non è variato significativamente tra le tesi sperimentali rispetto al controllo nel corso della sperimentazione (Fig. 3). Dopo una leggera crescita registrata nelle fasi iniziali della coltura i valori si sono mantenuti in un intervallo compreso tra 12,8 e 14,0 g C per kg di suolo. Sebbene alcuni autori abbiano osservato una diminuzione del carbonio organico in parcelle trattate con il vapore (Mazzoncini *et al.*, 2002), tali variazioni sono raramente significative, confermando l'ipotesi che il contenuto

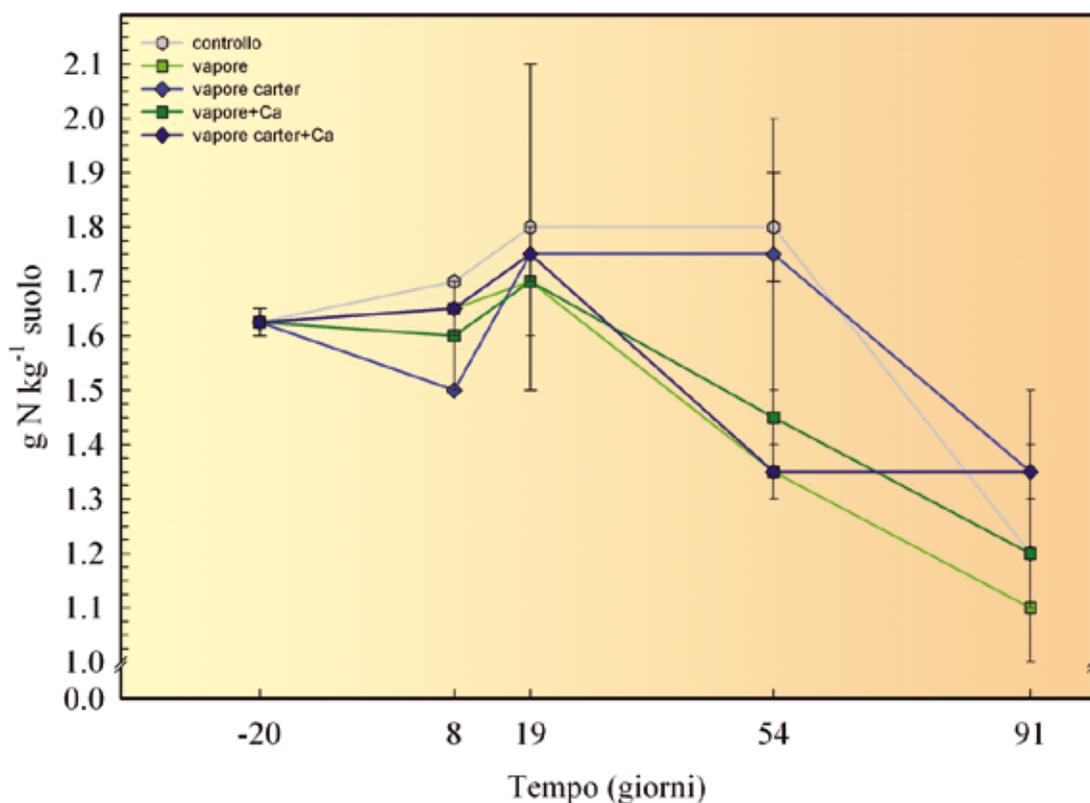


Fig. 4 Variazione del contenuto di azoto totale in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfestazione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). Le medie non sono significativamente differenti rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

di carbonio organico del terreno è in realtà un parametro molto stabile, poco reattivo nei confronti di eventi esterni di perturbazione e che può essere alterato in intervalli di tempo molto brevi solo in risposta di eventi o di pratiche molto impattanti, quali abbondanti e ripetuti ammendamenti (Sikora e Stott, 1996). Pertanto il monitoraggio delle variazioni di carbonio organico risulta poco informativo, almeno nel breve periodo, nel mostrare gli effetti della tecnica di geodisinfestazione con il vapore sulle proprietà chimiche del suolo.

- Il contenuto di azoto totale

Similmente al parametro analizzato in precedenza, anche il contenuto di azoto totale non ha fatto registrare nelle tesi trattate significative variazioni nel tempo rispetto al controllo (Fig. 4). Le fluttuazioni osservabili nel corso dell'esperimento possono ragionevolmente essere attribuite a fluttuazioni del contenuto di forme solubili dell'azoto dovute sia agli apporti mediante concimazione che alle perdite per assorbimento radicale della coltura e per lisciviazione ad opera delle acque irrigue.

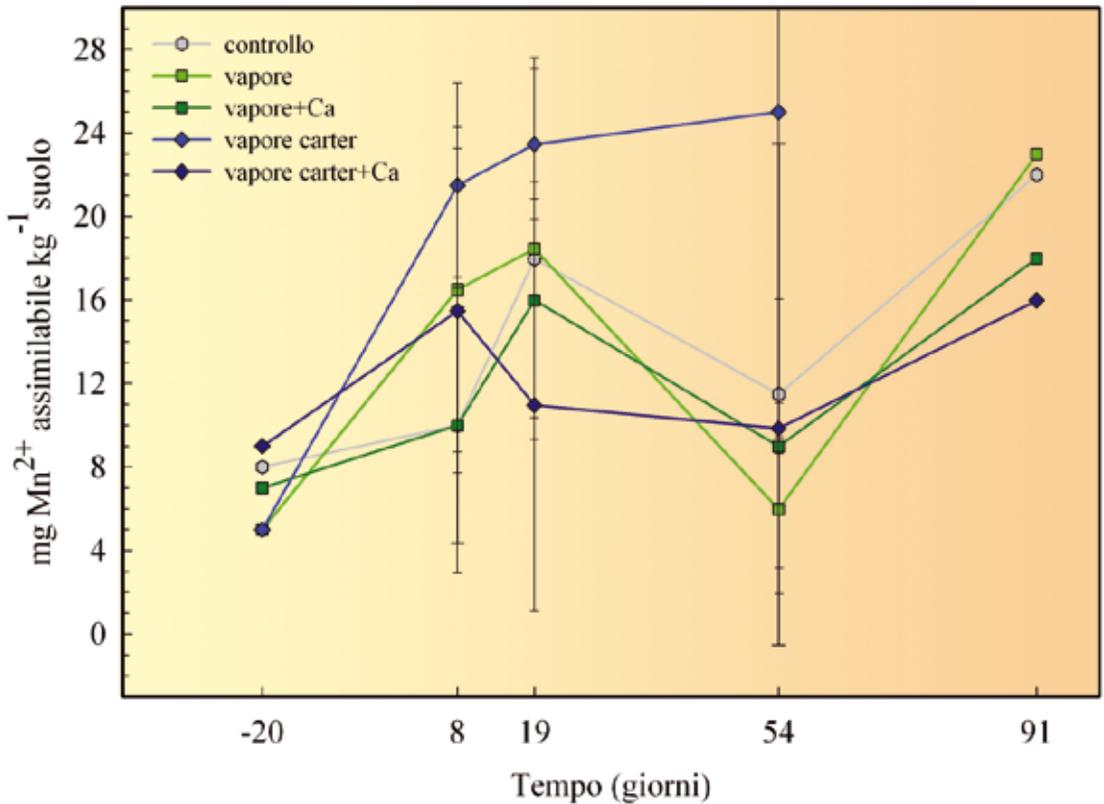


Fig. 5 Variazione del contenuto di manganese assimilabile in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfezione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). Le medie non sono significativamente differenti rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

- *Il manganese nel terreno e le forme biodisponibili*
È interessante notare le variazioni di manganese solubile registrate nelle parcelle trattate con il vapore (Fig. 5). Pur essendosi osservate sensibili fluttuazioni nel contenuto di manganese assimilabile nel corso dell'esperimento, nelle tesi trattate con vapore iniettato nel carter si è verificato un aumento del contenuto dell'elemento. È noto da molti anni che i trattamenti con vapore possono determinare un rilascio di quantità crescenti di manganese biodisponibile, il quale, pur essendo un nutriente per la pianta, se presente nel suolo

in quantità superiori ad una soglia critica, variabile in relazione al pH del terreno, può divenire tossico per gli organismi vegetali.

Il manganese è stato riconosciuto come micronutriente essenziale per la pianta sin dal 1922 in quanto pur essendo richiesto dalla pianta in quantitativi molto bassi, esso è indispensabile per sostenere il metabolismo funzionale e non può essere sostituito da un altro elemento (Schorroks, 1992). Complessivamente la dotazione di manganese totale nel suolo oscilla da valori minori di 20 mg Mn kg⁻¹ per arrivare a concentrazioni mag-

giori di $3000 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ di suolo. Mediamente si riscontra un contenuto intorno a $600 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ di suolo. Tuttavia è ben noto che il manganese, come peraltro molti altri elementi, è presente nel terreno sotto diverse frazioni, o forme chimiche, a mobilità diversificata. Le forme con cui il manganese si trova presente nel terreno sono:

1. la frazione solubile o "pool" labile, che comprende gli ioni Mn^{2+} disciolti nella fase liquida;
2. la frazione scambiabile o "pool" scambiabile, rappresentata dagli ioni Mn^{2+} adsorbiti sul complesso di scambio, costituito dall'insieme dei colloidali umo-argillosi;
3. la frazione adsorbita dagli ossidi di ferro secondo meccanismi di adsorbimento di tipo specifico che lo rende poco disponibile per i processi di scambio cationico;
4. la frazione complessata dai composti umici;
5. i precipitati insolubili, come gli ossidi di manganese;
6. la frazione strutturale, presente come costituente di edifici cristallini di minerali primari e secondari.

Il contenuto totale di manganese rappresenta la somma di tutte le frazioni, ma è poco indicativo della quota assimilabile dalla pianta. Infatti, da un punto di vista quantitativo, il pool del manganese assimilabile costituisce solo una frazione minoritaria rispetto al contenuto totale dell'elemento nel suolo. Secondo stime grossolane, sino al 98% del quantitativo complessivo si trova immobilizzato nella fase solida del terreno, sia nelle particelle minerali che nei composti organici. Il rimanente 2% costituisce la frazione scambiabile adsorbita sul complesso di scambio, mentre meno dello 0,2% dell'elemento si trova disciol-

to in forma ionica nella fase liquida del terreno. La frazione biodisponibile è rappresentata dalla forma ionica bivalente presente sia nella frazione solubile che scambiabile. Di contro, il manganese presente nei rimanenti comparti può incrementare la quota biodisponibile a seguito dei lenti processi di pedogenesi e/o di alterazione chimica a carico dei componenti organo-minerali del terreno. I suoli sabbiosi a causa della loro elevata macroporosità e per una ridotta presenza di siti di adsorbimento, risultano più poveri degli elementi chimici della fertilità. Diversamente avviene nei suoli argillosi, ricchi di siti di adsorbimento. Anche la sostanza organica agisce positivamente nel preservare una riserva di nutrienti del terreno sia direttamente in quanto capace di chelare gli ioni metallici, sia indirettamente, stabilizzando la struttura del suolo.

La biodisponibilità dello ione manganese (Mn^{2+}) nel suolo è inoltre controllata da due fondamentali proprietà chimiche del terreno, capaci di modificare la forma chimica del nutriente: il pH ed il potenziale redox. Condizioni di sommersione causano l'allontanamento dell'ossigeno e quindi determinano un abbassamento del valore del potenziale redox ($< +0,32 \text{ V}$) favorendo la comparsa di specie ridotte solubili del manganese (Mn^{2+}).

Anche valori di pH compresi tra 3,0 e 6,5 sono associati ad una condizione di massima disponibilità dell'elemento. Viceversa, in condizioni di forte ossigenazione (fino a potenziali redox di $+0,8 \text{ V}$) e in suoli alcalino-calcarei viene favorita la formazione di specie di manganese meno assimilabili dalla pianta. Come le specie a più alto numero di ossidazione (Mn^{4+}), che si trovano generalmente presenti nel suolo sotto forma di

ossidi insolubili (MnO_2).

Il manganese viene assorbito dalla pianta come ione Mn^{2+} per via radicale e tende ad accumularsi nelle foglie, raggiungendo nei vegetali un contenuto variabile con la specie, da 2 a $1500 \mu\text{g}\cdot\text{Mn g}^{-1}$ di sostanza secca. Infatti, se vi è disponibilità della specie assimilabile nel terreno, la pianta tende a farne un consumo di lusso, causando quindi risposte di tossicità dovute ad inibizione del processo respiratorio, alterazione del metabolismo dell'azoto e delle proteine, diminuzione del contenuto di clorofilla (Demirevska-Kepova *et al.*, 2004).

Nelle parcelle studiate i valori di manganese biodisponibile sono risultati inaspettatamente elevati, anche alla luce del fatto che il valore di pH del terreno si attesta su valori debolmente alcalini per la presenza di calcare sia attivo che totale. In tali situazioni, infatti, il livello critico indicativo di dotazione della frazione assimilabile del manganese, estratto da un suolo non acido con una soluzione di DTPA secondo il metodo di Lindsay e Norwell, oscilla intorno a $1,5\text{-}2,0 \text{ mg}\cdot\text{Mn kg}^{-1}$ di suolo. Il livello critico indica il contenuto del nutriente nel terreno al di sotto del quale è molto probabile il manifestarsi di carenze. Di contro, contenuti medi di manganese assimilabile compresi nell'intervallo $10\text{-}20 \text{ mg Mn kg}^{-1}$ di suolo rappresentano una condizione alquanto diffusa, soprattutto in suoli acidi. In genere, valori superiori a 30 mg Mn kg^{-1} di suolo possono generare risposte di tossicità nelle piante sensibili. Il superamento di tale soglia avviene più frequentemente in suoli acidi.

Dawson e collaboratori (1963) hanno osservato che in suoli riscaldati con vapore d'acqua sino a temperature superiori a $+93^\circ\text{C}$, si sono re-

gistrati valori complessivi di Mn^{2+} scambiabile maggiori di 30 mg kg^{-1} di suolo, determinando quindi risposte di fitotossicità nelle piante di lattuga su di esso coltivate. Forti incrementi di Mn biodisponibile (sino a due volte il valore iniziale) sono stati inoltre riportati in suoli di serra geodisinfestati con vapore e coltivati con piante di pomodoro (Lacatus *et al.*, 1976). Gli autori hanno inoltre riscontrato che l'elevato contenuto di Mn biodisponibile nel terreno determinava un aumento del contenuto dell'elemento all'interno dei tessuti fogliari di piante di pomodoro sino a valori di $440 \mu\text{g}\cdot\text{Mn g}^{-1}$ di sostanza secca. Peraltro, effetti di fitotossicità da manganese in suoli geodisinfestati con vapore sono stati evidenziati in altre colture allevate in ambiente protetto, quali la rosa, il cetriolo, il melone (Runia, 2000). Più recentemente alcuni autori giapponesi (Kobayashi *et al.*, 2002) hanno investigato le variazioni nello stato nutrizionale di suoli di serra trattati con vapore ed hanno riscontrato che, immediatamente dopo il trattamento, la quantità di manganese solubile in acqua è risultata incrementata di circa cinque volte rispetto al valore del terreno di controllo. Tale incremento si è mantenuto significativamente elevato per un periodo di tempo di oltre 80 giorni dal trattamento.

Nel caso da noi analizzato è risultato che, ove la distribuzione di vapore avviene con il sistema di iniezione nel carter della macchina che assicura un più intimo contatto tra vapore e suolo, il contenuto di manganese assimilabile è aumentato sino a valori compresi tra i 20 ed i 25 mg Mn kg^{-1} suolo. Da ciò ne discende l'opportunità di monitorare la forma di manganese assimilabile in suoli ripetutamente sottoposti a trattamenti con il vapore.

Le principali proprietà microbiche del terreno

- La carica batterica totale

La carica batterica totale ha evidenziato significative variazioni nel tempo in tutte le tesi trattate (Fig. 6). Nella tesi di controllo si è registrato un costante aumento dei valori di conta batterica totale, presumibilmente in risposta all'evento di coltivazione. Viceversa, nelle tesi geodisinfestate le conte totali sono risultate significativamente più basse nelle due tesi trattate con il vapore a barra singola e nella distribuzione di vapore nel carter. Al termine del periodo di osservazione si è evidenziata una significativa diminuzione nella tesi del vapore iniettata nel carter in presenza di

CaO. Pur essendo i dati presentati relativi ad una porzione limitata dei componenti della microflora tellurica – meno del 10% dei batteri del suolo risultano rilevabili su terreno colturale agarizzato – tuttavia la tecnica può fornire utili indicazioni nel confronto tra trattamenti diversificati eseguiti sullo stesso suolo. Occorre comunque notare che: (i) i trattamenti termici di geodisinfestazione hanno prodotto oscillazioni della carica batterica totale talora significative quantitativamente, ma non persistenti, e (ii) in nessuna delle tesi trattate si sono verificate condizioni di “vuoto biologico”, ovvero soppressione, anche temporanea, della carica batterica. Peraltro, il dato microbiologico risulta in linea con quanto riportato da Bollen (1969), che ha riscontrato una elevata percentua-

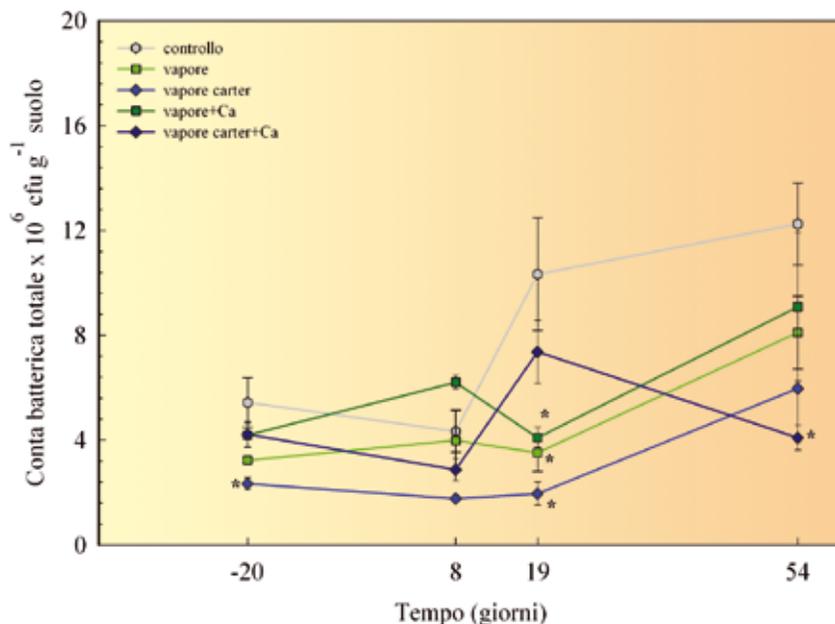


Fig. 6 Variazione della carica batterica totale in un suolo di serra in risposta a trattamento diversificato di geodisinfestazione con vapore d'acqua con o senza sostanza a reazione esotermica (CaO). * indica differenze significative per $P < 0,05$ rispetto ai valori del controllo della stessa epoca di campionamento.

le di sopravvivenza di batteri (in particolare di *Streptomyces* spp.) in suoli riscaldati con vapore d'acqua sino a temperature comprese tra +60 e +80 °C.

- *Profili molecolari della popolazione batterica del suolo*

La comunità batterica è stata caratterizzata mediante analisi DGGE di sequenze amplificate del gene 16S rDNA codificante per la sintesi della molecola dell'RNA ribosomale (16S) della subunità piccola (30S) del ribosoma degli organismi procarioti. La scelta di utilizzare la regione genica dell'rRNA 16S in indagini di tipo biomolecolare è sostanzialmente legata all'importanza universalmente riconosciuta ai geni dell'RNA ribosomale per la costruzione di alberi filogenetici. Infatti, come attestato da recenti studi di filogenesi molecolare (Olsen e Woese, 1993), gli RNA ribosomali si sono rivelati molecole eccellenti per riconoscere le relazioni evolutive tra gli organismi viventi poiché sono molecole molto antiche, dotate della medesima funzione, abbondanti nelle cellule, distribuite universalmente in tutti gli organismi ed abbastanza ben conservate anche tra individui filogeneticamente distanti. All'interno del gene dell'rRNA si trovano regioni con sequenze altamente conservate unitamente ad altre regioni, definite ipervariabili la cui sequenza nucleotidica presenta un numero di variazioni, dovute a mutazioni, le quali aumentano con la distanza filogenetica tra gli individui in esame (Neefs *et al.*, 1993). Il gene dell'rRNA 16S con la sua taglia di circa 1530 coppie di basi risulta abbastanza maneggevole dal punto di vista sperimentale e sufficientemente ricco di informazioni molecolari, così da essere estremamente utile in indagini di ecologia micro-

bica per identificare gruppi o individui batterici, per disegnare relazioni filogenetiche, per costruire librerie di geni e per indagare la diversità molecolare delle comunità batteriche del suolo (Kirk *et al.*, 2004).

In figura 7 sono mostrati (in doppio) i profili elettroforetici relativi agli estratti di DNA batterico da campioni di suolo prelevati in tre differenti momenti nel corso della sperimentazione. Come si può notare non si evidenziano significativi riasortimenti della struttura genetica delle comunità batteriche residenti nel terreno. Né sembra che le diverse forme di distribuzione del vapore determinino perturbazioni sulle popolazioni batteriche. Pur con i noti limiti, la tecnica DGGE tuttavia è largamente utilizzata in indagini di ecologia microbica per la caratterizzazione molecolare dei principali raggruppamenti costituenti le comunità batteriche di ecosistemi complessi, come il suolo (Nannipieri *et al.*, 2003). I dati microbiologici e molecolari sembrano peraltro confermare quanto osservato in passato da altri ricercatori in suoli di serra (Bollen, 1969; Runia, 2000), riguardo una maggiore termotolleranza ai trattamenti di *pasteurizzazione* con vapore manifestata dai batteri rispetto ai funghi del suolo. L'osservazione è di particolare rilevanza, considerando l'insostituibile ruolo eco-funzionale svolto dalla componente batterica nel suolo, in particolare: nel mantenimento dei cicli biogeochimici, nella trasformazione della sostanza organica, nella genesi della struttura del terreno, nello stimolo alla nutrizione ed all'accrescimento dei vegetali, nella azotofissazione biologica, nella degradazione degli xenobiotici, nell'antagonismo contro un ampio spettro di patogeni tellurici (azione di controllo biologico) (Kennedy, 1999). Peraltro è stato dimo-

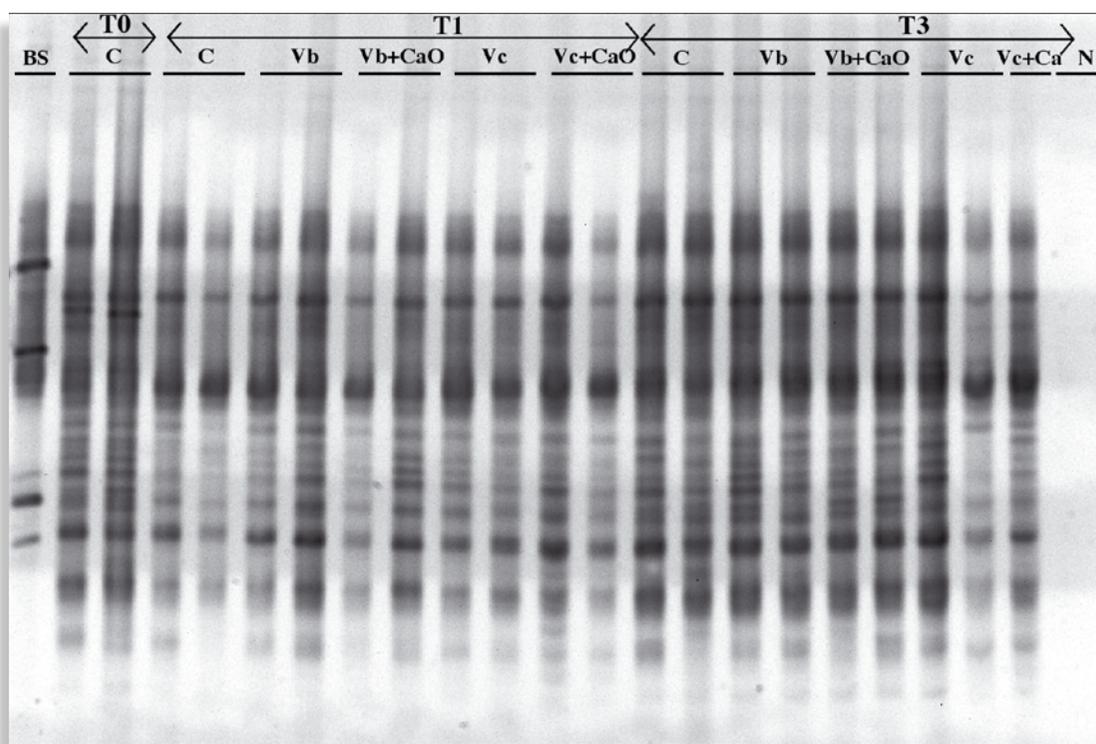


Fig. 7 Profili molecolari dopo analisi DGGE dei frammenti 16S rDNA estratti da suolo ed amplificati con i primer batterici universali (F984GC/R1378). I trattamenti sono così indicati: C, tesi di controllo non geodisinfestata; Vb, vapore distribuito con barra singola interrata; Vb+CaO, vapore distribuito con barra singola interrata insieme a 1000 kg CaO ha⁻¹; Vc, vapore distribuito direttamente nel carter ospitante gli organi lavoranti della macchina; Vc+CaO, vapore distribuito direttamente nel carter insieme a 1000 kg CaO ha⁻¹. I rilievi sono relativi ai campionamenti del T0 (20 giorni prima del trattamento di geodisinfestazione); T1 (8 giorni dopo il trattamento) e T3 (54 giorni dopo la geodisinfestazione). **BS** indica il controllo positivo costituito da standard batterici. **N** è il controllo negativo per la PCR.

strato che trattamenti di *pasteurizzazione* con vapore eseguiti a temperature di tra +60 e +70 °C per un tempo di permanenza di almeno 30 minuti sono risultati efficaci contro i più comuni patogeni fungini del suolo sia in pieno campo che in applicazioni sotto serra (Pinel *et al.*, 2000; Ahonsi *et al.*, 2002; O'Neill *et al.*, 2005; Reuven *et al.*, 2005). Inoltre, l'impiego delle sostanze a reazione esotermica in combinazione con il vapore d'acqua ha dimostrato di ridurre significativamente l'incidenza degli attac-

chi di *Sclerotinia minor* su lattuga, di *Rhizoctonia solani* su ravenello e di *Fusarium oxysporum* f.sp. *basilici* su piante di basilico (Triolo *et al.*, 2004). Sotto il profilo squisitamente microbiologico è pertanto evidente il notevole interesse, sia fitoiatrico che ambientale, della geodisinfestazione con vapore d'acqua, eventualmente in combinazione con sostanze a reazione esotermica, come tecnica innovativa per il controllo dei patogeni ad habitat tellurico.

Conclusioni

I problemi ecologici legati all'impiego di sostanze chimiche di sintesi, ed in particolare al bromuro di metile, hanno risvegliato nel corso degli ultimi anni l'interesse verso sistemi alternativi ed a minor impatto ambientale per la disinfestazione dei suoli (Reuven *et al.*, 2005). Parallelamente all'uscita del bromuro di metile dalla scena fitoiatrica planetaria, si stanno cercando soluzioni alternative per il controllo dei patogeni ad habitat tellurico, come la tecnica di geodisinfezione con vapore d'acqua eventualmente in combinazione con la distribuzione di sostanze a reazione esotermica. Il trattamento del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica può in taluni casi causare alterazioni più o meno profonde, reversibili o meno, di alcune caratteristiche chimiche e microbiche del terreno. Queste alterazioni dipendono dalle caratteristiche del trattamento e dalla sua intensità, e cioè: quantità di vapore, tipo e quantità di sostanza distribuita, numero di trattamenti per anno. Poco significative, e comunque temporanee, appaiono le modificazioni indotte sulla comunità batterica del suolo. Ciò potrebbe suggerire che mentre il *target* primario del trattamento è rappresentato dagli organismi funghi, che come è noto vengono controllati, nelle condizioni operative della macchina la comunità batterica sopravvive all'azione termica del vapore. D'altro canto, proprietà chimiche del suolo come pH, K scambiabile, sostanza organica, capacità di scambio cationico si possono ritenere non particolarmente suscettibili all'azione del calore e/o all'apporto delle sostanze a reazione esotermica (Cedrola *et al.*, 2004), come peraltro confermato dalla presente indagine. Tuttavia, risulta sicura-

mente interessante monitorare le frazioni assimilabili dei microelementi, come nel caso da noi studiato del manganese assimilabile, in quanto si potrebbero determinare, in risposta al trattamento con il vapore, indesiderati aumenti della quota assimilabile oltre la soglia di carenza. L'indagine condotta nel suolo di serra ha inoltre evidenziato che i ripetuti ed abbondanti apporti di nutrienti con la concimazione minerale possono generare in particolari contesti pedochimici condizioni di antagonismo o di sinergismo di assorbimento radicale tra nutrienti.

Pertanto, nel monitorare i parametri della fertilità chimica in suoli geodisinfezzati con vapore è consigliabile rivolgere la propria attenzione anche al dosaggio di quelle variabili, talvolta inopinatamente trascurate nelle analisi di routine del suolo, ma non per questo meno rilevanti al fine di assicurare una corretta ed equilibrata presenza di nutrienti nel suolo agrario.

Ringraziamenti

La presente ricerca è stata condotta con il supporto finanziario del MUR nell'ambito del Programma di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale dal titolo: "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile", biennio 2005-2006. Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine al coordinatore nazionale Prof. Andrea Peruzzi dell'Università di Pisa, per l'efficace coordinamento ed il continuo supporto dato alla presente ricerca.



Bibliografia

- AHONSI M.O., BERNER D.K., EMECHEBE A.M., LAGOKE S.T. (2002). Effects of soil pasteurisation and soil N status on severity of *Stringa hermonthica* (Del.) *Bentli* in maize. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 1675-1681.
- ALLIEVI L. (2002). Procedimento generale per le conte per via colturale. In: *Metodi di Analisi Microbiologica del Suolo* (Picci G. e Nannipieri P., Eds.), Franco Angeli Editore, Milano, 1-18.
- BELL C.H., PRICE N., CHAKRABARTI B. (1996). The Methyl Bromide Issue. *John Wiley & Sons, New York, NY*, 400 pp.
- BOLLEN G.J. (1969). The selective effect of heat treatment on the microflora of a greenhouse soil. *Netb. J. Plant Path.* 75, 157-163.
- CARTIA G. (2001). Alternative al bromuro di metile nell'orticoltura intensiva. G3 Press Soc. Coop. a r.l., Reggio Calabria, 85 pp.
- CEDROLA C., TOMASONE R., BOZZOLI M., MARCUCCI A., COLORIO G. (2004). Alterazioni chimiche in suoli agrari sterilizzati con l'impiego di vapore e sostanze a reazione esotermica. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo* 53, 422-427.
- D.M. del 13/9/1999. Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Supplemento ordinario n. 185. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, serie generale n. 248 del 21/10/1999.
- DAWSON J.R., JOHNSON R.A.H., ADAMS P., LAST F.T. (1965). Influence of steam/air mixtures, when used for heating soil, on biological and chemical properties that affect seedling growth. *Annals in Applied Biology* 56, 243-251.
- DEMIREVSKA-KEPOVA K., SIMOVA-STOILOVA L., STOYANOVA Z., HÖLZER R., FELLER U. (2004). Biochemical changes in barley plants after excessive supply of copper and manganese. *Environmental and Experimental Botany* 52, 253-256.
- D'ERRICO F.P., COLOMBO A., CAPRIO E., MARANO G. (2005). Razionalizzare l'impiego dei fumiganti in agricoltura. *L'Informatore Agrario* 30, 59-62.
- FLORENZANO G. (1983). Fondamenti di microbiologia del terreno, REDA, Roma, 748 pp.
- GELSOMINO A., CACCO G. (2006). Compositional shifts of bacterial groups in a solarized and amended soil as determined by denaturing gradient gel electrophoresis. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 91-102.
- GELSOMINO A., BADALUCCO L., LANDI L., CACCO G. (2006). Soil carbon, nitrogen and phosphorus dynamics as affected by solarization alone or combined with organic amendment. *Plant and Soil* 279, 307-325.
- KENNEDY A.C. (1999). Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 65-76.
- KIRK J.L., BEAUDETTE L.A., HART M., MOUTOGLIS P., KLIRONOMOS J.N., LEE H., TREVORS J.T. (2004). *Methods of studying soil microbial diversity*. *Journal of Microbiological Methods* 58, 169-188.
- KOBAYASHI T., MAEDA K., YAMANE S., IWASAKI K., TANAKA S., SAKURAI K. (2002). Changes in chemical and microbiological properties of soil by steam sterilization. *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science, 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand, Paper no. 753, 1-10*.
- LACATUS V., GHIDIA A., TOMESCU P., DONOIU E., ILIE A. (1976). Changes occurring in nutrient-contents of soils following steam sterilization. *Acta Horticulture* 58, 227-233.
- LAMBERTI F. (1979). Economic importance of *Meloidogyne* spp. in subtropical and mediterranean climates. In: *Root-knot Nematodes (Meloidogyne species) Systematics, Biology and Control* (Lamberti F. and Taylor C.E., Eds.), Academic Press, London, cap. 22, pp. 341-357.
- LENZI A., Lombardi P., Tesi R. (2004). Effect of steam and exothermic substances (KOH and CaO) on lettuce and strawberry production: two years of experimentation. *Advances in Horticultural Science* 18, 155-160.
- LEVI-MINZI R., SCAGNOZZI A., SAVIOZZI A., RIFFALDI R., STOPPELLI G. (1998). Ricerche sulla salinità dei terreni di serra. *Culture Protette* 1, 79-83.
- MAZZONCINI M., RISALITI R., GINANNI M., MAINARDI M. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sulle principali caratteristiche chimiche del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. In: *Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e la disinfestazione del terreno*, Forlì (Italy), 30 Ottobre, *Proceedings, Grafiche MDM SpA (Forlì - Italy)*, pp. 79-88.
- NANNIPIERI P., ASCHER M., CECCHERINI M.T., LANDI L., PIETRAMELLARA G., RENELLA G. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54, 655-670.
- NEEFS J.-M., VAN DE PEER Y., DE RIJK P., CHAPPELLE S., DE WACHTER R. (1993). Compilation of small ribosomal subunit RNA structures. *Nucleic Acids Research* 21, 3025-3049.
- O'NEILL T.M., GREEN K.R., RATCLIFFE T. (2005). Evaluation of soil steaming and a formaldehyde drench for control of Fusarium wilt in column stock. *Acta Horticulture* 698, 129-134.
- OLSEN G.J., WOESE C.R. (1993). Ribosomal RNA: a key to phylogeny. *FASEB Journal* 7, 113-123.
- PERUZZI A. (2007). L'attività di ricerca svolta sul sistema bioflash nel periodo 1999-2006. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile"*. S. Piero a Grado (PI), 11 maggio, in press.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., DI CIULO S., MAZZONCINI M., GINANNI M., MAINARDI M., RISALITI R., TRILO E., STRINGARI S., CELLI A. (2000). Messa a punto e valutazioni preliminari di un prototipo per la disinfezione del terreno per mezzo di vapore e di sostanze a reazione esotermica. *Rivista di Ingegneria Agraria* 4, 226-242.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., DEL SARTO R., BORELLI M. (2002). Messa a punto del sistema "bioflash" ed evoluzione delle macchine operatrici per la disinfezione e disinfestazione del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. In: *Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e la disinfestazione del terreno*, *Proceedings, 30 Ottobre, Forlì (Italy), Grafiche MDM SpA (Forlì)*, pp. 35-43.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., FONTANELLI M., LULLI L., FRASCONI C. (2007). Una operatrice semovente innovativa per la disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica. *Atti del Convegno "Vapore d'acqua e sostanze a reazione esotermica per la geodisinfezione a basso impatto ambientale: una possibile alternativa all'impiego del bromuro di metile"*. S. Piero a Grado (PI), 11 maggio, in press.

- PINEL M.P.C., BOND W., WHITE J.G. (2000). Control of soil-borne pathogens and weeds in leaf salad monoculture by use of a self-propelled soil-steaming machine. *Acta Horticulture* 532, 125-130.
- RAFFAELLI M., PERUZZI A., DEL SARTO R., MAINARDI M., PULGA L., PANNOCCHIA A. (2002). Effetto del vapore e di sostanze a reazione esotermica sul riscaldamento del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. In: *Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e la disinfestazione del terreno, Proceedings, 30 Ottobre, Forlì (Italy), Grafiche MDM SpA (Forlì), pp. 45-52.*
- REUVEN M., SZMULEWICH Y., KOLESNIK I., GAMLIEL A., ZILBERG V., MOR M., CAHLON Y., BEN-YEPHET Y. (2005). Methyl bromide alternatives for controlling Fusarium wilt and root knot nematodes in carnations. *Acta Horticulture* 698, 99-104.
- RUNIA W.T. (2000). Steaming methods for soils and substrates. *Acta Horticulture* 532, 115-124.
- SCHORROKS V. (1992). I microelementi: fabbisogni, impieghi e recenti sviluppi della ricerca. In: *I microelementi nel terreno e nella pianta. Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto (ESAV), Agenzia per i Servizi di Sviluppo, Quaderni di Formazione, no. 9, pp. 75-110.*
- SIKORA L.J., STOTT, D.E. (1996). Soil Organic Carbon and Nitrogen. In: *Methods for Assessing Soil Quality (Doran J.W., Jones A.J., Eds.), SSSA Special Publication No 49, SSSA, Madison, WI, pp. 157-167.*
- SONNEVELD C. (1979). Changes in chemical properties of soil caused by steam sterilization. In: *Soil Disinfestation (Mulder D., Ed.), Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 39-50.*
- SPARKS D.L. (1996) Methods of Soil Analysis: Chemical Methods - Part 3. No. 5 in the SSSA Book Series. SSSA-ASA, Madison, WI, 1390 pp.
- STAPLETON J.J. (2000). Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection* 19, 837-841.
- TRIOLO E., MATERAZZI A., LUVISI A. (2004). Exothermic reactions and steam for the management of soil-borne pathogens: five years of research. *Advances in Horticultural Science* 18, 89-94.
- UNEP (2005). Report of the UNEP Technology and Economic Assessment Panel. *October 2005. Evaluation of 2005 Critical Use Nominations for Methyl bromide and Related Matters. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya. 100 pp.*
- VAN ELSAS, J.D., MÄNTYNEN, V., WOLTERS, A.C., 1997. Soil DNA extraction and assessment of the fate of Mycobacterium chlorophenicum strain PCP-1 in different soils by 16S ribosomal RNA gene sequence based most-probable-number PCR and immunofluorescence. *Biology and Fertility of Soils* 24, 188-195.
- ZOGG G.P., ZAK D.R., RINGELBERG D.B., MACDONALD N.W., PREGITZER K.S., WHITE D.C. (1997). Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. *Soil Science Society America Journal* 61, 475-481.



Effetto della disinfezione del terreno con vapore e CaO sulla resa e la qualità di ravanello (*Raphanus sativus* L.) e rucola (*Eruca sativa* Miller)

Romano Tesi¹, Ada Baldi¹, Anna Lenzi¹, Antonio Gelsomino², Andrea Peruzzi³

¹ *Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestale (DISAT) Università degli Studi di Firenze.*

² *Dipartimento di Biotecnologie per il Monitoraggio Agroalimentare ed Ambientale (BIOMAA) Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.*

³ *Sezione di Meccanica Agraria e Meccanizzazione Agricola - Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'Agro-Ecosistema (MAMA-DAGA) - Università degli Studi di Pisa.*

Introduzione

Nell'orticoltura protetta il problema della “stanchezza” del terreno, dovuta all'accumulo di patogeni e parassiti ad habitat tellurico, rende la disinfezione del terreno una pratica indispensabile. In tale contesto produttivo, infatti, l'adozione della monocoltura, le alte densità colturali e le condizioni ambientali caratterizzate da temperatura e umidità elevate, determinano la proliferazione di funghi, batteri, virus, nematodi, insetti e piante infestanti, responsabili di drastiche riduzioni delle rese e della qualità del prodotto finale.

Nella sperimentazione di seguito descritta è stato adottato il sistema di geodisinfezione e geodisinfestazione con vapore e sostanza a reazione esotermica (metodo che permette di contrastare efficacemente il problema della “stanchezza” del terreno senza porre problemi per la sicurezza ambientale) con l'obiettivo di valutarne l'effetto su

diverse colture ortive. La sostanza a reazione esotermica impiegata è stato l'ossido di calcio (CaO), che ha un calore di idratazione molto elevato ed un costo contenuto rispetto ad altri composti.

Il trattamento con vapore e la somministrazione della sostanza a reazione esotermica, a prescindere dall'effetto fitoiatrico, possono determinare alterazioni più o meno profonde, reversibili o meno, di alcune caratteristiche chimiche del terreno e, di conseguenza, avere delle ripercussioni sull'entità e sulla qualità delle produzioni orticole. Tali alterazioni sono influenzate sia dalle caratteristiche del terreno (composizione e granulometria) che da quelle del trattamento (volumi di vapore e qualità e quantità di sostanza esotermica applicata). Inoltre, va considerato l'effetto cumulato di più interventi successivi, visto che la disinfezione del terreno è una pratica che viene

ripetuta ogni anno.

Tra i parametri chimici del suolo, il pH e la conducibilità elettrica (C.E.) sono particolarmente suscettibili all'azione prodotta dal vapore o dall'apporto delle sostanze a reazione esotermica. Il trattamento può inoltre portare ad un aumento o ad una diminuzione della disponibilità di certi elementi nutritivi.

Per quanto riguarda il pH, un suo innalzamento può derivare sia dal solo trattamento con vapore (Lacatus *et al.*, 1976) che dall'impiego di sostanze esotermiche a reazione alcalina, come il CaO (Mazzoncini *et al.*, 2002; Lenzi *et al.*, 2002). L'innalzamento del pH del terreno può tradursi in un effetto positivo, se corrisponde alla correzione di un terreno acido con conseguente incremento della disponibilità di certi elementi nutritivi (P, N, K, Mg, Ca, S, Fe, Mo, B, Cu) poco disponibili con reazione troppo bassa (<5), oppure in un effetto negativo se corrisponde al raggiungimento di valori di pH troppo elevati, con superamento del limite di tolleranza delle diverse specie (per la maggior parte delle specie ortive il pH ottimale è compreso tra 6,5 e 7,5) e considerando che con $\text{pH}>8$ diminuisce la disponibilità di numerosi nutrienti (P, K, Mn, Fe, B, Zn, Cu) (Tesi, 1994).

Anche l'innalzamento della C.E. che può essere osservato in seguito al trattamento con vapore e sostanze esotermiche (Lenzi *et al.*, 2002) può tradursi in un fenomeno positivo o negativo; infatti, mentre nei terreni poco fertili un aumento della disponibilità di elementi nutritivi può risultare vantaggioso, nei terreni molto dotati l'aumento della pressione osmotica e la maggiore competizione tra gli elementi minerali può determinare carenze indotte (Tesi, 1994).

Infine, alcuni elementi o sostanze che possono li-

berarsi per effetto del riscaldamento del terreno, come NH_3 e nitriti in presenza di sostanza organica indecomposta o Mn in terreni ricchi dell'elemento ed a pH acido, sono in grado di esercitare direttamente un'azione tossica sulle piante (Tesi, 2001).

Per quanto riguarda specificatamente gli effetti dell'arricchimento del terreno in calcio conseguente all'impiego di CaO come sostanza esotermica, è utile ricordare quali funzioni questo elemento può svolgere nel terreno e nelle piante.

A livello del terreno si può ricordare l'azione cementante sui componenti della tessitura, con conseguente miglioramento strutturale (in presenza di calcio si ha la flocculazione dei colloidi argillosi ed umici e la formazione di una struttura grumosa) (AA.VV., 2002).

Nella pianta, l'elemento svolge numerose funzioni, sebbene non tutte chiaramente spiegabili (Marschner, 1974); se carente, provoca nelle specie ortive delle fisiopatie caratteristiche, come il "marciume apicale" del pomodoro (Paiva *et al.*, 1998) e del peperone (Marcelis e Ho, 1999), il "tipburn" della lattuga (Collier e Tibbitts, 1982), ed il "cuore nero" del sedano (Scaife e Clarkson, 1978). È importante sottolineare, tuttavia, che raramente la carenza di Ca per la pianta è dovuta ad una effettiva scarsità dell'elemento nel terreno; più spesso si tratta di problemi di scarsa disponibilità, legati all'equilibrio tra i principali nutrienti ($\text{N}:\text{K}:\text{Ca}:\text{Mg} = 1:1:1:1/2$), oppure alle condizioni dell'ambiente (temperatura e umidità relativa) o del terreno (sicchezza, salinità e pH).

Il calcio è invece praticamente privo di tossicità, anche quando presente nelle soluzioni nutritive in quantità molto forti (Lotti, 1985), tuttavia un eccesso dell'elemento nel terreno può provocare

carezza indotta di Mg, K e Fe, per un fenomeno di competizione tra cationi (Tesi, 1994).

Materiali e Metodi

La sperimentazione è stata condotta presso l'Azienda Cammelli, un'azienda orticola specializzata ubicata alla periferia di Firenze.

Le prove sono state realizzate per due anni, il 2005 ed il 2006, in serre dotate di copertura in PE, nel periodo primaverile-estivo, su specie coltivate dall'azienda per tutto l'arco dell'anno con cicli di produzione continui [ravanello (*Raphanus sativus* L.) il primo anno e rucola (*Eruca sativa* Miller) il secondo].

Il terreno è stato sottoposto a disinfezione con vapore, con o senza l'aggiunta di CaO, utilizzando la macchina semovente "Ecostar SC 600" della Ditta Celli (Forlì, Italia) (Peruzzi *et al.*, 2002) e distribuendo il vapore con barre di diverso tipo, come meglio specificato di seguito (Fig. 1).

Anno 2005

La prova è stata condotta da aprile a luglio, su un terreno franco sabbioso (sabbia 47,9%, limo 40,6%, argilla 11,5%), le cui caratteristiche chimiche all'inizio della prova sono riportate nella tabella 1.

Prima del trattamento di disinfezione il terreno è



Fig. 1 Disinfezione del terreno con vapore e sostanze a reazione esotermica realizzata con la macchina semovente "Ecostar SC 600" della Ditta Celli.

Tab. 1 Principali caratteristiche chimiche del terreno su cui si è svolta la prova del 2005.

pH		7,49
Conducibilità elettrica (C.E.,)	dS m ⁻¹	2,88
Sostanza organica (S.O.)	%	2,10
Azoto totale (N-tot)	g kg ⁻¹ peso secco di terreno	1,60
Fosforo assimilabile (P-ass., Met. Olsen)	mg kg ⁻¹ p. s. di terreno	60,4
Potassio scambiabile (K-sc.)	mg kg ⁻¹ p. s. di terreno	429
Calcare attivo	g kg ⁻¹ p. s. di terreno	23

stato concimato con 7,5 q ha⁻¹ di concime granulare "Eurofertil" (12% N – 5% P₂O₅ – 23% K₂O + 12 SO₃) e preparato con vangatrice e fresatrice.

La disinfezione del terreno è stata realizzata il 20 aprile, mettendo a confronto i seguenti trattamenti: 1) controllo (senza alcun trattamento di disinfezione); 2) vapore distribuito con barra operante a 15-20 cm di profondità (distribuzione profonda); 3) vapore distribuito nei primi 5-7 cm di terreno, con barra posta nel carter (distribuzione superficiale); 4) distribuzione profonda + sostanza a reazione esotermica (CaO, 1000 kg ha⁻¹); 5) distribuzione superficiale + sostanza a reazione esotermica (CaO, 1000 kg ha⁻¹).

Ogni trattamento è stato ripetuto 3 volte, secondo uno schema a randomizzazione completa, ed è stato applicato su parcelle di 10,5 m di lunghezza x 1,2 m di larghezza.

Immediatamente dopo l'applicazione del vapore e nelle 3 ore successive, a intervalli regolari di un minuto, sono stati effettuati rilievi della temperatura del terreno mediante un sistema costituito da sensori bifilari con PT100 (PT100-420 grado B a norme IEC 751) muniti di guaina in acciaio inox 304, lunga 50 mm e con diametro di 5 mm, collegati ad un data logger (range di temperatura rilevabile 0-200°C±1°C). Le temperature sono state rilevate a due profondità (0-10 cm e 10-20 cm), e la

temperatura media raggiunta in corrispondenza di ciascun strato è stata calcolata. Inoltre, le temperature rilevate sono state suddivise in 4 classi (T≤40°C; 40<T≤60°C; 60<T≤80°C; T>80°C), e per ogni classe è stata determinata la durata di esposizione (in minuti) alle due profondità considerate.

La semina del ravanello è stata realizzata con seminatrice meccanica di precisione, in file distanti 10 cm (Fig. 2).

L'effetto della disinfezione è stato valutato su due cicli consecutivi: per il 1° ciclo la semina è stata realizzata il 21 aprile e la raccolta il 20 maggio; il 2° ciclo è iniziato con la semina il 22 giugno e si è concluso con la raccolta il 20 luglio.

Durante entrambi i cicli le parcelle sono state irrigate secondo il bisogno con un sistema per aspersione con ali mobili. Non è stato realizzato nessun trattamento con fitofarmaci.

Alla raccolta del ravanello (Fig. 3) sono stati determinati i seguenti parametri: produzione (espressa come: peso fresco piante, peso fresco radici commerciabili, numero di radici totali, commerciabili e di scarto), rapporto tra il peso della radice e quello della parte aerea (indicato come *root/shoot*), peso fresco medio a radice, peso secco % delle radici e, limitatamente al primo ciclo, contenuto in nitrato delle radici.



Fig. 2 Semina del ravanello con seminatrice meccanica di precisione.

Durante il corso della prova sono stati effettuati dei controlli sul terreno, ovvero sono stati ripetutamente determinati il pH (in CaCl_2), la C.E. (sull'estratto acquoso 1:2 in volume), l'azoto nitrico (N-NO_3), il P assimilabile (P-ass; Metodo Olsen) ed il K scambiabile (K-sc). Tali parametri sono stati misurati su campioni di terreno ottenuti ciascuno riunendo 3 sottocampioni prelevati a 10-15 cm di profondità per ogni parcella. I campioni sono stati raccolti nella parte centrale della parcella per minimizzare l'effetto di bordo. I campionamenti del terreno sono stati ripetuti per 5 volte durante il corso dell'esperimento: prima del trattamento di disinfezione (T0), 8 giorni dopo il trattamento (T1), 19 giorni dopo il trattamento (T2), 54 giorni dopo il trattamento (T3), e alla fine della prova, cioè 91 giorni dopo il trattamento (T4).

Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi della varianza e le medie confrontate con Test di Duncan per $P \leq 0,05$.



Fig. 3 Raccolta del ravanello.

Anno 2006

La prova è stata condotta da maggio a giugno, su un terreno franco-argilloso (sabbia 35,0%, limo 34,8%, argilla 30,2%), le cui caratteristiche chimiche all'inizio della prova sono riportate nella tabella 2.

Prima del trattamento di disinfezione il terreno è stato concimato con 10 q ha⁻¹ di Eco-stallatico-life, un concime organico pellettato (3,5-3,8% N organico – 2,8-3,0% P₂O₅ – 2,5-2,8% K₂O) e preparato con vangatrice e fresatrice.

La disinfezione del terreno è stata realizzata il 10 maggio. La distribuzione del vapore è stata realizzata con sistema “misto”, ovvero sia in parte con la barra operante a 15-20 cm di profondità ed in parte con quella posta nel carter.

Per controbilanciare il potenziale innalzamento del pH dovuto all'aumento della dose di ossido di

calcio distribuita rispetto al primo anno (2000 kg ha⁻¹), è stata sperimentata la combinazione di tale sostanza con zolfo (S) alla dose di 500 kg ha⁻¹.

I trattamenti confrontati sono stati pertanto i seguenti: 1) controllo (senza alcun trattamento di disinfezione); 2) controllo + CaO (2000 kg ha⁻¹); 3) controllo + S (500 kg ha⁻¹); 4) controllo + CaO (2000 kg ha⁻¹) + S (500 kg ha⁻¹); 5) vapore; 6) vapore + CaO (2000 kg ha⁻¹); 7) vapore + S (500 kg ha⁻¹); 8) vapore + CaO (2000 kg ha⁻¹) + S (500 kg ha⁻¹).

Ogni trattamento è stato ripetuto 3 volte, secondo uno schema a blocchi randomizzati, ed è stato applicato su parcelle di 6 m di lunghezza x 1,2 m di larghezza.

Rilievi della temperatura del terreno sono stati realizzati immediatamente dopo l'applicazione del vapore e nelle 3 ore successive, come descritto per il primo anno.



Fig. 4 Un'immagine della coltura della rucola in prova nel 2006.

Tab. 2 *Principali caratteristiche chimiche del terreno su cui si è svolta la prova del 2006.*

pH		7,01
Conducibilità elettrica (C.E.)	dS m ⁻¹	1,68
Sostanza organica (S.O.)	%	1,90
Azoto totale (N-tot)	g kg ⁻¹ peso secco di terreno	1,10
Fosforo assimilabile (P-ass., Met. Olsen)	mg kg ⁻¹ p. s. di terreno	42,8
Potassio scambiabile (K-sc.)	mg kg ⁻¹ p. s. di terreno	260
Calcare attivo	g kg ⁻¹ p. s. di terreno	25

La semina della rucola è stata realizzata con seminatrice meccanica di precisione, in file distanti 10 cm, il giorno successivo al trattamento (11 maggio).

Durante il ciclo colturale le parcelle sono state irrigate secondo il bisogno con un sistema per aspersione con ali mobili. Non è stato realizzato nessun trattamento con fitofarmaci (Fig. 4).

La raccolta (Fig. 5) è stata effettuata con due tagli successivi (5 giugno e 21 giugno) e i seguenti pa-



Fig. 5 *Mazzetti di rucola per il mercato.*

rametri sono stati determinati: produzione (peso fresco foglie), peso secco % foglie e contenuto in nitrati.

Durante il corso della prova sono stati effettuati dei controlli sul terreno, ovverosia sono stati ripetutamente determinati il pH (in CaCl₂), la C.E. (sull'estratto acquoso 1:2 in volume), ed il K-sc. Il campionamento del terreno è stato realizzato come descritto per il primo anno. I rilievi sul terreno sono stati realizzati: prima del trattamento di disinfezione (T0), 16 giorni dopo il trattamento (T1), 32 giorni dopo il trattamento (T2), in coincidenza con la prima raccolta.

Tutti i dati raccolti sono stati sottoposti ad analisi della varianza e le medie confrontate con Test di Duncan per $P \leq 0,05$.

Risultati e discussione

Anno 2005

La disinfezione del terreno con vapore, con o senza l'aggiunta della sostanza a reazione esotermica (CaO), ha mostrato degli effetti sulla temperatura del suolo, su alcune sue caratteristiche chimiche e sulla produzione del ravanello.

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportate, in corrispondenza dei diversi trattamenti di disinfezione, le

Effetto della disinfezione del terreno con vapore e CaO sulla resa e la qualità di ravanello (*Raphanus sativus* L.)
e rucola (*Eruca sativa* Miller)

temperature massime e medie del terreno (Tab. 3) ed i tempi di esposizione a 4 classi di temperatura ($T \leq 40^\circ\text{C}$; $40 < T \leq 60^\circ\text{C}$; $60 < T \leq 80^\circ\text{C}$; $T > 80^\circ\text{C}$) (Tab. 4) con riferimento a 2 profondità di suolo (0-10 cm e 10-20 cm) e alle tre ore successive alla disinfezione.

Come era prevedibile, l'iniezione del vapore con la barra operante a 15-20 cm di profondità ha determinato un maggiore riscaldamento dello strato più profondo, mentre si è verificato il contrario quando il vapore è stato distribuito nel carter (Tab. 3).

La distribuzione profonda del vapore, sebbene abbia consentito di raggiungere temperature massime più elevate (anche superiori a 80°C per alcuni minuti, nello strato compreso fra 10 e 20 cm di profondità, quando è stata aggiunta la sostanza esotermica) è risultata poco efficace nel riscaldare lo strato superficiale, dove non si sono superati i 33°C , con medie di 28°C e 31°C rispettivamente con e senza l'aggiunta di CaO (Tab. 3 e Tab. 4). La distribuzione superficiale del vapore, che nello strato 0-10 cm ha portato a temperature massime di $50-53^\circ\text{C}$ e medie di $42-44^\circ\text{C}$ (Tab. 3), mantenute

Tab. 3 Temperature media e massima ($^\circ\text{C}$) del terreno misurate a due profondità (0-10 e 10-20 cm) nelle tre ore successive al trattamento di disinfezione con vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO.

Trattamento	Temperatura ($^\circ\text{C}$)			
	0-10 cm		10-20 cm	
	Media	Massima	Media	Massima
Vapore profondo	28 b	33 b	45 a	70 b
Vapore profondo + CaO	31 b	33 b	46 a	82 a
Vapore superficiale	42 a	50 a	36 b	38 c
Vapore superficiale + CaO	44 a	53 a	37 b	39 c

La temperatura media del terreno nelle parcelle non trattate con vapore era $21 \pm 2^\circ\text{C}$. Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per $P \leq 0,05$ (Test di Duncan).

Tab. 4 Durata (minuti) delle diverse temperature registrate a due profondità (0-10 e 10-20 cm) nelle tre ore successive al trattamento di disinfezione con vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO.

Trattamento	Durata (minuti)							
	0-10 cm				10-20 cm			
	<40 $^\circ\text{C}$	40-60 $^\circ\text{C}$	60-80 $^\circ\text{C}$	>80 $^\circ\text{C}$	<40 $^\circ\text{C}$	40-60 $^\circ\text{C}$	60-80 $^\circ\text{C}$	>80 $^\circ\text{C}$
Vapore profondo	180 a	0 b	0 a	0 a	61 b	102 a	17 a	0 b
Vapore profondo + CaO	180 a	0 b	0 a	0 a	63 b	94 a	19 a	3 a
Vapore superficiale	55 b	125 a	0 a	0 a	165 a	15 b	0 b	0 b
Vapore superficiale + CaO	44 b	136 a	0 a	0 a	180 a	0 b	0 b	0 b

La temperatura media del terreno nelle parcelle non trattate con vapore era $21 \pm 2^\circ\text{C}$. Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per $P \leq 0,05$ (Test di Duncan).

per oltre 1 ora (Tab. 4), ha consentito di arrivare quasi a 40°C anche nello strato più profondo, con temperature medie di 36°C e 37°C rispettivamente con e senza sostanza esotermica.

L'aggiunta di CaO, rispetto al trattamento con solo vapore, ha determinato un aumento statisticamente significativo (+17%) della temperatura massima raggiunta nello strato di terreno 10-20 cm quando il vapore è stato distribuito in profondità, mentre le temperature medie, con entrambi i tipi di distribuzione, sono aumentate ma in misura non significativa (+1-3°C) (Tab. 3).

I risultati produttivi del ravanello in corrispondenza dei diversi trattamenti di disinfezione sperimentati sono riportati nelle tabelle 3 (primo

ciclo) e 4 (secondo ciclo), mentre nelle figure 6-10 può essere osservato l'andamento delle principali caratteristiche del terreno misurate durante la prova.

Poiché nelle parcelle di controllo non sono stati osservati problemi di natura sanitaria, il fatto che la coltura abbia manifestato una risposta significativa ad alcuni dei trattamenti di disinfezione sperimentati è probabilmente legato ad un effetto dei trattamenti stessi sul terreno. Tuttavia, l'elevato numero di parametri che possono entrare in gioco e la complessità delle interazioni che si stabiliscono tra essi, nonché la scarsa uniformità che frequentemente i terreni presentano rispetto a tali parametri, rendono difficile sia evidenzia-

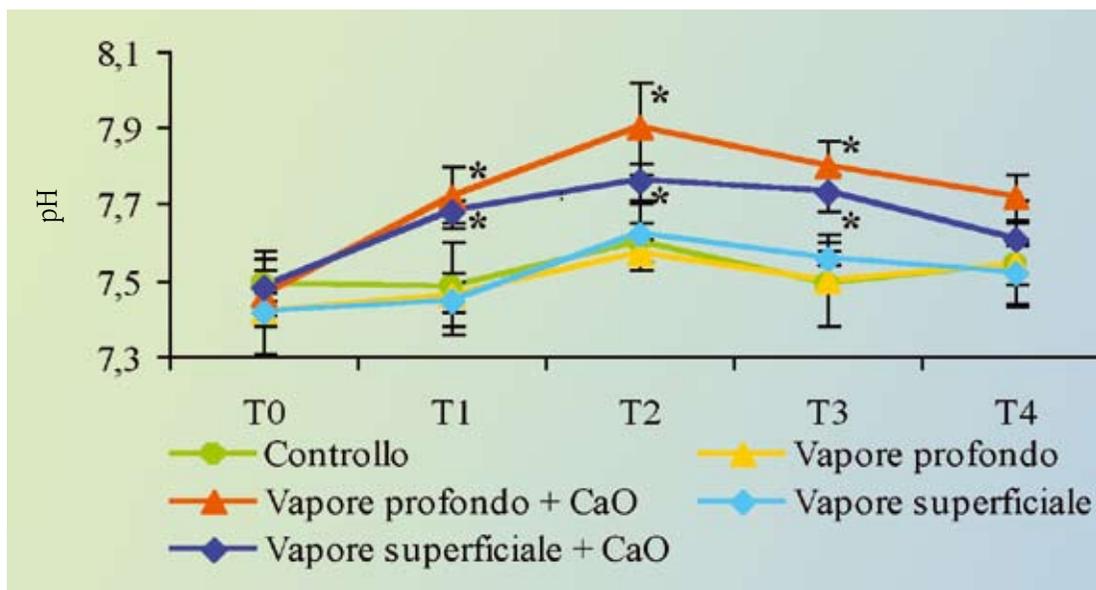


Fig. 6 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sul pH. Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate le differenze statisticamente significative per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan) tra i trattamenti ed il controllo. T0 = prima del trattamento; T1, T2, T3 e T4 = 8, 19, 54 e 91 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

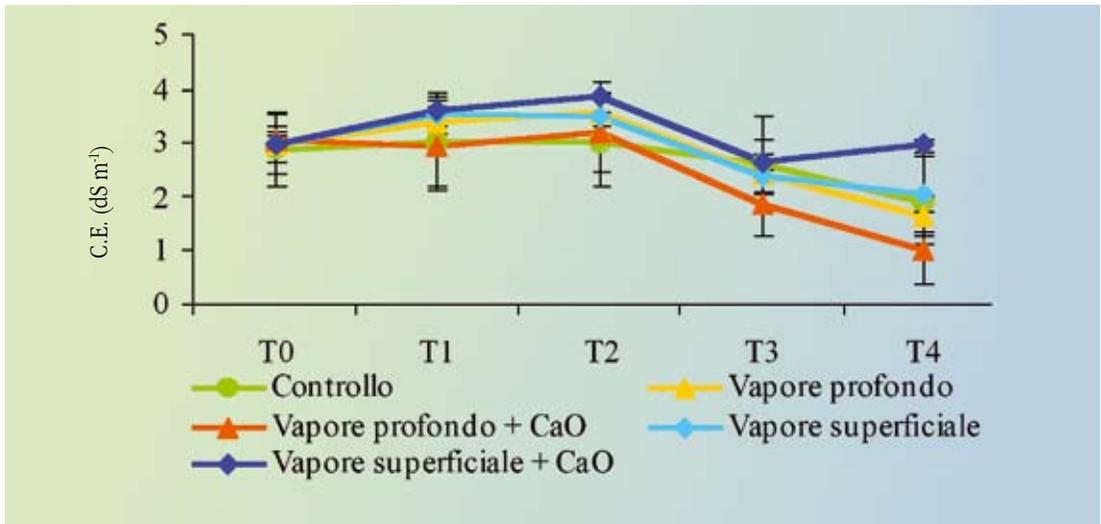


Fig. 7 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sulla C.E. (dS m⁻¹). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate le differenze statisticamente significative per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan) tra i trattamenti ed il controllo. T0 = prima del trattamento; T1, T2, T3 e T4 = 8, 19, 54 e 91 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

re con chiarezza tale effetto, sia individuare una relazione precisa tra esso e la risposta della coltura.

Considerando il primo ciclo, in generale possiamo dire che la disinfezione con vapore distribuito in profondità senza l'aggiunta della sostanza esotermica è stata il trattamento meno favorevole ai fini della produzione del ravanello, non avendo determinato nessun vantaggio rispetto al controllo, mentre la migliore "performance" della coltura è stata conseguita con la distribuzione superficiale del vapore (Tab. 3). Probabilmente esiste un rapporto tra questo risultato e il modello di crescita del ravanello, che presenta un apparato radicale molto superficiale, che si sviluppa cioè prevalentemente nello strato di terreno interessato dal vapore distribuito dalla barra posta nel carter.

In particolare, il trattamento con vapore distri-

buito superficialmente senza l'aggiunta della sostanza a reazione esotermica ha determinato un più elevato numero di ravanelli commercializzabili, nonché una più alta produzione di sostanza fresca, sia considerando le piante intere che le sole radici, ed un maggiore peso medio a radice (Tab. 3). Questo risultato può essere forse messo in relazione, almeno in parte, all'aumentata disponibilità di potassio riscontrata nel terreno in seguito alla distribuzione superficiale del vapore. Infatti, con questo trattamento di disinfezione, la concentrazione del K-sc è aumentata in maniera statisticamente significativa rispetto al controllo già al T1 (8 giorni dopo il trattamento), e si è mantenuta significativamente più elevata fino al T3 (54 giorni dopo il trattamento) (Fig. 10). È noto come il potassio sia un fattore chiave ai fini della produttività del ravanello (Bokhtiar *et al.*, 2001),

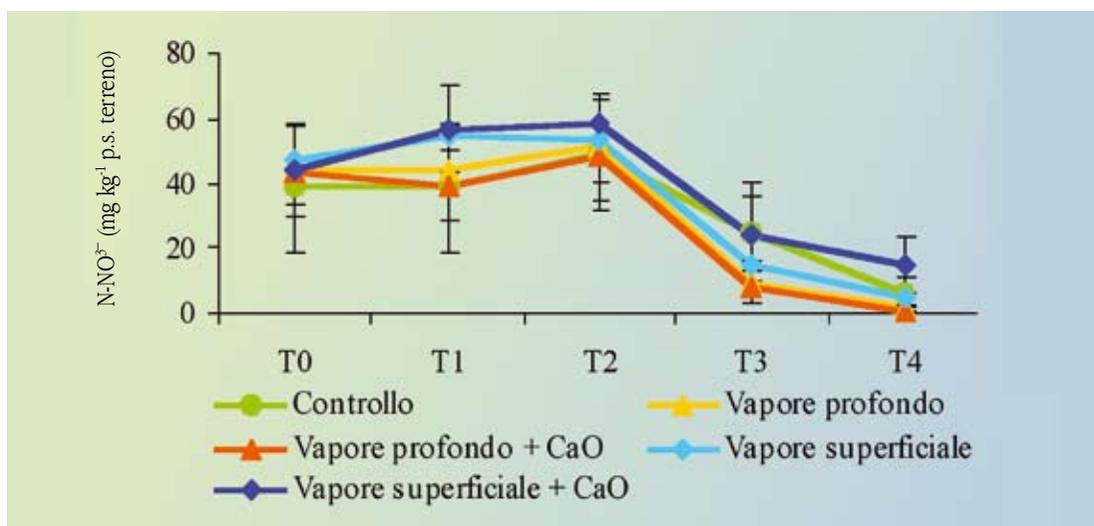


Fig. 8 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sull' N nitrico ($mg\ kg^{-1}$ di p.s. di terreno). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate le differenze statisticamente significative per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan) tra i trattamenti ed il controllo. T_0 = prima del trattamento; T_1 , T_2 , T_3 e T_4 = 8, 19, 54 e 91 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

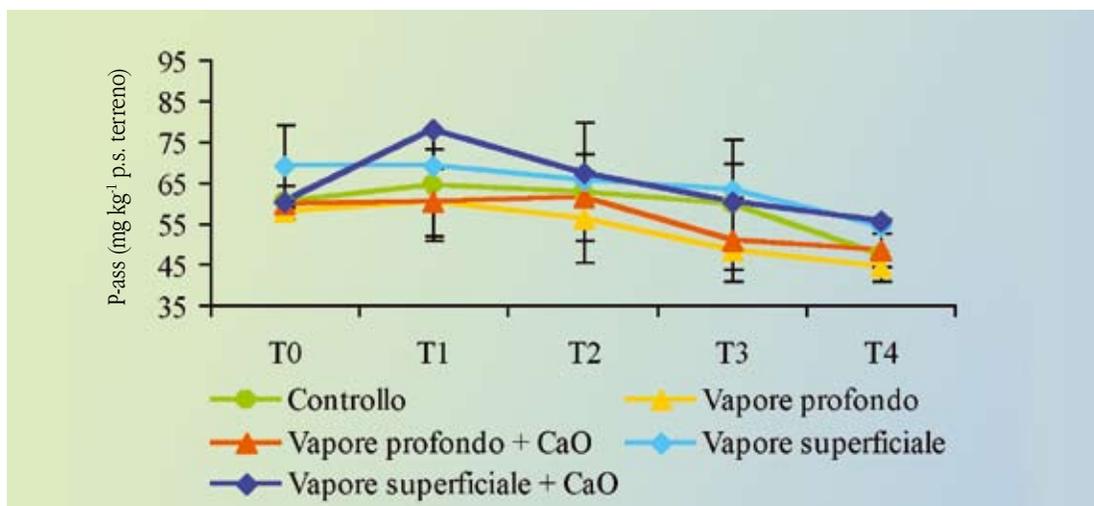


Fig. 9 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sul P assimilabile ($mg\ kg^{-1}$ di p.s. di terreno). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate le differenze statisticamente significative per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan) tra i trattamenti ed il controllo. T_0 = prima del trattamento; T_1 , T_2 , T_3 e T_4 = 8, 19, 54 e 91 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

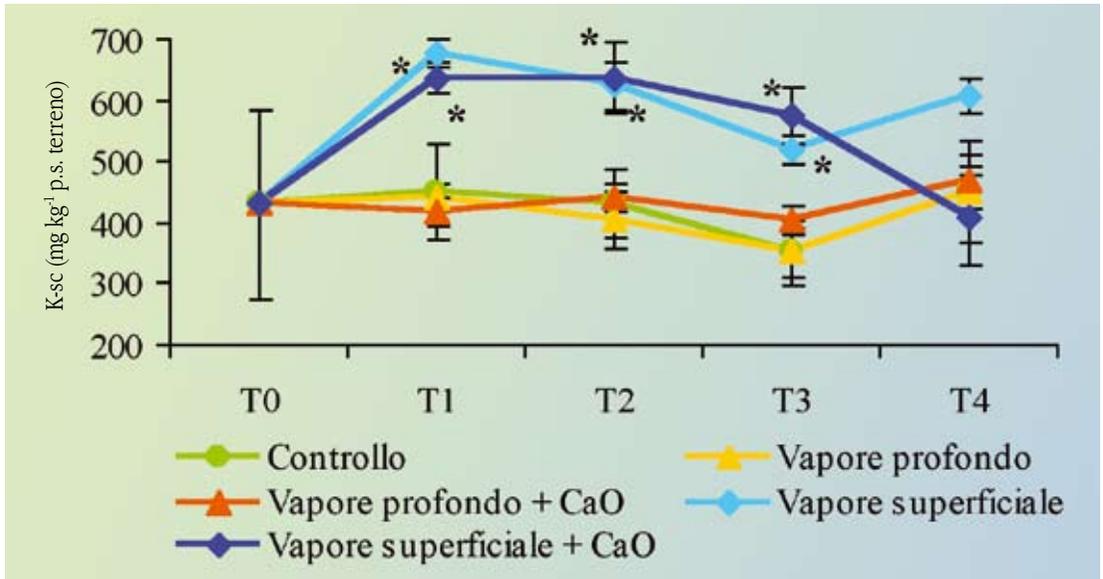


Fig. 10 Effetto dei diversi trattamenti di disinfestazione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sul K scambiabile (mg kg^{-1} di p.s. di terreno). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate le differenze statisticamente significative per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan) tra i trattamenti ed il controllo. T0 = prima del trattamento; T1, T2, T3 e T4 = 8, 19, 54 e 91 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

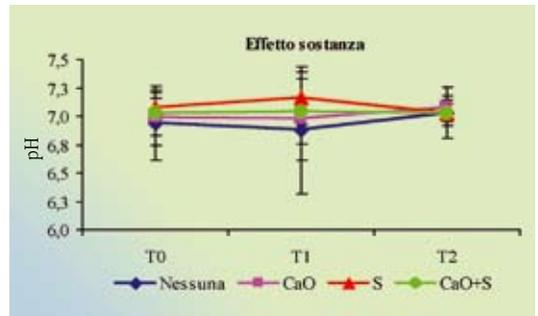
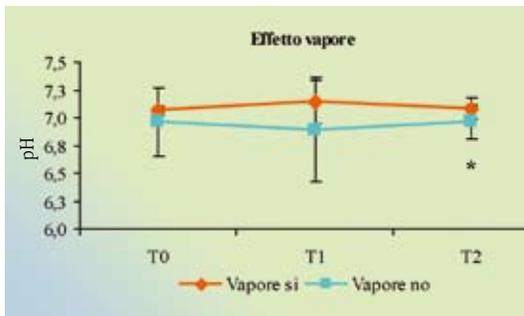


Fig. 11 Effetto del vapore e delle sostanze distribuite al terreno sul pH. Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate differenze statisticamente significative tra i trattamenti per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan). T0 = prima del trattamento; T1 e T2 = 8 e 16 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

e questo probabilmente in relazione al ruolo che esso gioca nella regolazione del metabolismo idrico delle piante (Lotti, 1985; Tesi, 2001). Quando il vapore è stato distribuito superficialmente, l'aggiunta della sostanza a reazione eso-

termica non ha determinato differenze significative rispetto al trattamento con solo vapore per nessuno dei parametri produttivi considerati (Tab. 3). Nel caso della distribuzione profonda il CaO ha portato ad un aumento statisticamente

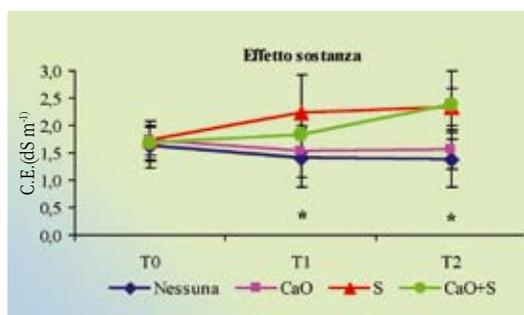
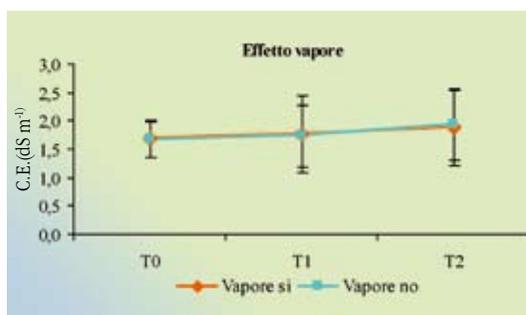


Fig. 12 Effetto del vapore e delle sostanze distribuite al terreno sulla C.E. (dS m^{-1}). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate differenze statisticamente significative tra i trattamenti per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan). T0 = prima del trattamento; T1 e T2 = 8 e 16 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

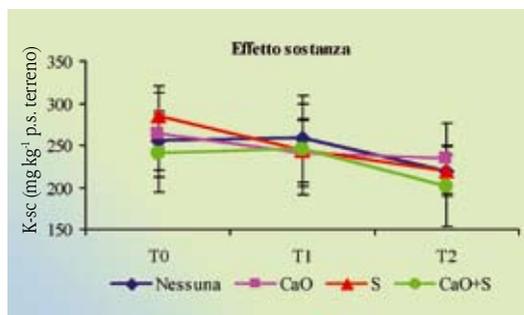
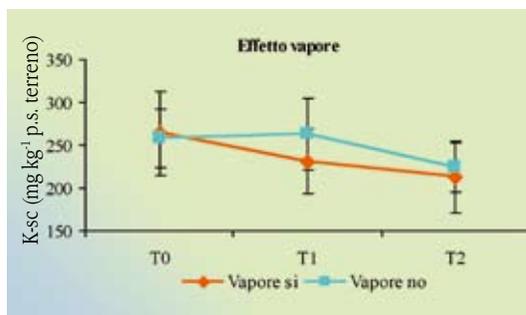


Fig. 13 Effetto del vapore e delle sostanze distribuite al terreno sul contenuto in K scambiabile (mg kg^{-1} di p.s. di terreno). Le barre rappresentano la deviazione standard. Con l'asterisco vengono indicate differenze statisticamente significative tra i trattamenti per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan). T0 = prima del trattamento; T1 e T2 = 8 e 16 giorni dopo il trattamento, rispettivamente.

te significativo del rapporto *root/shoot* e ad una diminuzione del peso secco % (Tab. 3); inoltre è aumentato significativamente il numero delle radici totali prodotte, a causa però di un maggior numero di radici di scarto, mentre quelle commerciabili sono aumentate ma non in misura statisticamente significativa (Tab. 3). Comunque, sembra che la coltura del ravanello non abbia risentito dell'innalzamento di pH, statisticamente positivo rispetto al controllo, che si è verificato quando al vapore è stata abbinata la sostanza a reazione esotermica (Fig. 6). Nel dettaglio, a fron-

te di valori ottimali per la specie compresi tra 6 e 7 (Tesi, 1994), il pH è arrivato a 7,90 e a 7,76 rispettivamente per trattamenti "vapore distribuito profondamente + CaO" e "vapore distribuito superficialmente + CaO" 19 giorni dopo il trattamento (T2) e si è mantenuto significativamente più elevato, rispetto al controllo, per tutto il primo ciclo colturale (Fig. 6). In ogni caso, in seguito i valori si sono nuovamente abbassati e alla fine della prova (T4) non risultavano più statisticamente diversi dal controllo. Tale andamento era del resto prevedibile; infatti, la capacità del terre-

no di “tamponare” gli effetti sul pH del trattamento con vapore e sostanze a reazione esotermica, e così ripristinare le condizioni originarie, era già stata descritta da Mazzoncini *et al.* (2002) e Lenzi *et al.* (2004).

La mancanza di ripercussioni negative sulla produzione in seguito all'apporto di CaO al terreno esclude che il livello di Ca raggiunto possa aver indotto carenza di altri elementi, come Mg e Fe, che possono subire l'effetto competitivo del Ca (Tesi, 2001). Per quanto riguarda il Mg, comunque, bisogna considerare che la concentrazione dell'elemento nel terreno utilizzato nella prova era particolarmente elevata (circa 2g kg⁻¹ di terreno secco).

La sostanza esotermica sembra aver avuto un effetto stimolante sullo sviluppo delle radici, come indicato dall'incremento del rapporto *root/shoot* osservato quando la distribuzione di CaO, appunto, è stata abbinata al trattamento con vapore, tanto che esso sia stato iniettato in profondità,

quanto che sia stato iniettato nel carter (Tab. 3). È interessante notare come la coltura del ravanello non sia stata negativamente influenzata dall'elevato livello di salinità del terreno su cui si è svolta la prova. Infatti, sebbene i trattamenti di disinfezione non abbiano determinato incrementi della C.E. rispetto al controllo (Fig. 7), come invece era plausibile prevedere (Lenzi *et al.*, 2004), il valore iniziale di questa (2,88 dS m⁻¹) era già molto più alto rispetto a quello che viene riportato come livello massimo tollerato dalla specie (1,4 dS m⁻¹) (Tesi, 2001). La presenza di terreni fortemente salini in serra è del resto un fatto normale, legato all'intensa e ripetuta applicazione di fertilizzanti e fitofarmaci (Levi-Minzi *et al.*, 1998). Probabilmente il regime irriguo mantenuto nel corso della prova ha evitato il verificarsi di effetti indesiderati sulle piante. Sempre con l'effetto dell'irrigazione, inoltre, si può probabilmente spiegare la riduzione di C.E. osservata al T3 (54 giorni dopo il trattamento) in tutte le parcelle (Fig. 7).

Tab. 5 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sulla produzione del ravanello (primo ciclo).

Trattamenti	Peso Fresco			Radici commerciabili				Radici di scarto	Radici totali
	Piante	Radici	Root/ Shoot	Numero	Peso Medio	Sostanza Secca	Nitrati	Numero	Numero
	kg m ⁻²	kg m ⁻²	-	N° m ⁻²	g	%	mg kg ⁻¹ P.F.	N° m ⁻²	N° m ⁻²
Controllo	1,6 b	1,0 c	1,87 c	166 b	6,3 b	5,5 a	2765 a	56 b	222 bc
V.profondo	1,5 b	1,0 c	1,94 bc	162 b	6,5 b	5,3 a	2683 ab	46 b	209 c
V.profondo+CaO	2,2 b	1,6 bc	2,43 a	186 ab	8,3 ab	4,5 b	2311 b	80 a	266 a
V.superficiale	3,1 a	2,1 a	2,27 ab	220 a	9,6 a	4,6 b	1683 c	21 c	242 ab
V.superficiale+CaO	2,3 ab	1,2 ab	2,46 a	204 ab	8,1 ab	4,6 b	1830 c	38 bc	242 ab

Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per P≤0.05 (Test di Duncan).

Come per la C.E., anche per l'azoto nitrico e il fosforo non sono state osservate differenze significative tra parcelle trattate e parcelle di controllo (Figure 8 e 9).

Per quanto riguarda l'azoto nitrico, bisogna dire che esistono in letteratura indicazioni di avvenute variazioni per effetto del trattamento del terreno con vapore (Lacatus *et al.*, 1976). Nel nostro esperimento è possibile che un effetto del trattamento di disinfezione sull'azoto del terreno non si sia potuto evidenziare perché mascherato da quello di altri fattori responsabili di fluttuazioni dell'elemento, che forse sono entrati in gioco: fertilizzazione, assorbimento da parte delle piante, lisciviazione dovuta all'acqua di irrigazione distribuita durante la prova.

Passando a considerare l'aspetto della qualità della produzione del ravanello, sempre con riferimento al primo ciclo colturale, possiamo notare un effetto positivo rispetto al controllo del trattamento con vapore distribuito in profondità e con

l'aggiunta di CaO e di quelli con vapore distribuito superficialmente, sia senza che con CaO (Tab. 3). I ravanelli prodotti sulle parcelle sottoposte a tali trattamenti hanno presentato un minore peso secco percentuale (quindi tessuti più teneri) e un più basso tenore di nitrato, soprattutto nel caso della distribuzione di vapore superficiale (rispettivamente 1830 mg per kg di sostanza fresca e 1683 mg per kg di sostanza fresca rispettivamente con e senza CaO) (Tab. 3). Non è escluso che sia l'effetto sulla sostanza secca percentuale che quello sul contenuto in nitrato osservati quando il vapore è stato iniettato nel carter, possano essere legati all'incremento della disponibilità di K-sc (Fig. 10). Infatti, oltre a favorire l'assorbimento dell'acqua e quindi del nitrato, l'elemento stimola anche, e in misura maggiore, la traslocazione del nitrato dalle radici, con il risultato di allontanare da esse un'alta percentuale del nitrato assorbito (Rufty *et al.*, 1981).

Per quanto riguarda i risultati ottenuti nel secon-

Tab. 6 Effetto dei diversi trattamenti di disinfezione del terreno (vapore distribuito superficialmente o in profondità, con o senza l'aggiunta di CaO) sulla produzione del ravanello (secondo ciclo).

Trattamenti	Peso Fresco			Radici commerciabili			Radici di scarto	Radici totali
	Piante	Radici	Root/Shoot	Numero	Peso Medio	Sostanza Secca	Numero	Numero
	kg m ⁻²	kg m ⁻²	-	N° m ⁻²	g	%	N° m ⁻²	N° m ⁻²
Controllo	1,9 b	1,2 b	1,62 ab	123 a	10 a	5,1 a	68 a	190 a
V.profondo	2,9 a	1,8 a	1,64 ab	143 a	12 a	3,9 a	67 a	210 a
V.profondo+CaO	2,5 ab	1,6 ab	1,88 a	132 a	13 a	4,3 a	45 a	177 a
V.superficiale	3,3 a	1,9 a	1,34 b	167 a	11 a	4,0 a	57 a	223 a
V.superficiale+CaO	3,2 a	2,0 a	1,64 ab	168 a	12 a	5,0 a	43 a	212 a

Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan).

Effetto della disinfestazione del terreno con vapore e CaO sulla resa e la qualità di ravanello (*Raphanus sativus* L.)
e rucola (*Eruca sativa* Miller)

do ciclo del ravanello (Tab. 4), possiamo osservare che essi sono fondamentalmente in accordo con quelli del primo ciclo. Comunque, in questo caso, i trattamenti di disinfestazione del terreno, sebbene sostanzialmente vantaggiosi, hanno determinato differenze significative rispetto al controllo solo in termini di peso fresco (delle radici e delle piante intere). Anche l'effetto sul rapporto *root/shoot* dovuto alla distribuzione del CaO è risultato meno evidente.

Anno 2006

L'effetto termico dei trattamenti di disinfestazione con vapore confrontati nel 2006 (vapore distribuito con sistema "misto" applicato da solo o in combinazione con CaO, S o CaO + S) può essere valutato osservando le tabelle 7 e 8, dove sono riportate, rispettivamente, le temperature media e massima raggiunte nel terreno alle profondità di 0-10 e 10-20 cm nelle tre ore successive al trat-

Tab. 7 Temperature media e massima (°C) del terreno misurate a due profondità (0-10 e 10-20 cm) nelle tre ore successive al trattamento di disinfestazione con vapore o con vapore unitamente a CaO, S o CaO + S.

Trattamento	Temperatura (°C)			
	0-10 cm		10-20 cm	
	Media	Massima	Media	Massima
Vapore	35 b	37 b	43 a	59 a
Vapore+CaO	36 a	39 a	44 a	76 a
Vapore+S	35 ab	37 b	43 a	64 a
Vapore+CaO+S	37 a	37 b	44 a	69 a

La temperatura media del terreno nelle parcelle non trattate con vapore era 22±1°C. Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per P≤0.05 (Test di Duncan).

Tab. 8 Durata (minuti) delle diverse temperature registrate a due profondità del terreno (0-10 e 10-20 cm) nelle tre ore successive al trattamento di disinfestazione con vapore o con vapore unitamente a CaO, S o CaO + S.

Trattamento	Durata (minuti)							
	0-10 cm				10-20 cm			
	<40°C	40-60°C	60-80°C	>80°C	<40°C	40-60°C	60-80°C	>80°C
Vapore	180 a	0 a	0 a	0 a	86 a	94 a	0 b	0 a
Vapore+CaO	180 a	0 a	0 a	0 a	73 a	94 a	13 a	0 a
Vapore+S	180 a	0 a	0 a	0 a	82 a	91 a	6 ab	0 a
Vapore+CaO+S	180 a	0 a	0 a	0 a	78 a	94 a	8 ab	0 a

La temperatura media del terreno nelle parcelle non trattate con vapore era 22±1°C. Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per P≤0.05 (Test di Duncan).

Tab. 9 Effetto del vapore e delle sostanze distribuite al terreno (CaO, S e CaO+S) sulla resa e la qualità della rucola (primo taglio).

Trattamento	Peso fresco	Peso secco	Nitrati
	kg m ⁻²	%	mg kg ⁻¹ P.F.
Effetto vapore			
Vapore sì	2,0 a	9,1 b	4230 b
Vapore no	1,7 a	9,6 a	4768 a
Significatività	**	*	*
Effetto sostanza			
Nessuna	1,8	9,1	4185
CaO	1,7	9,6	4748
S	2,0	9,3	4410
CaO+S	1,8	9,5	4654
Significatività	N.S.	N.S.	N.S.
Significatività dell'interazione	N.S.	N.S.	N.S.

Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan).

tamento, ed i tempi di esposizione a 4 classi di temperatura ($T \leq 40^\circ\text{C}$; $40 < T \leq 60^\circ\text{C}$; $60 < T \leq 80^\circ\text{C}$; $T > 80^\circ\text{C}$) sempre con riferimento a quelle profondità e a quel periodo di tempo.

La distribuzione del vapore con sistema "misto" ha determinato un riscaldamento maggiore nello strato di terreno più profondo che non in quello superficiale. In quest'ultimo, non si sono mai superati i 40°C (Tab. 8); le temperature massime raggiunte sono state di $37-39^\circ\text{C}$, con medie di $35-37^\circ\text{C}$ (Tab. 7). A 10-20 cm di profondità la temperatura massima è variata da 59 a 76°C a seconda della sostanza aggiunta o meno al terreno, con medie di $43-44^\circ\text{C}$ (Tab. 7); in questo strato, nell'arco delle 3 ore in cui sono stati eseguiti i rilievi termici, per oltre 1 ora e mezzo la temperatura si è mantenuta tra 40 e 60°C , e per alcuni minuti

(fino ad un massimo di 13), sono stati superati i 60°C (Tab. 8).

Il CaO, soprattutto quando è stato aggiunto da solo, ma anche quando è stato abbinato allo zolfo, ha aumentato l'effetto termico del vapore, determinando temperature medie e massime più alte. Nello strato più profondo, la temperatura massima raggiunta con il trattamento "vapore + CaO", sebbene statisticamente non differente rispetto a quella raggiunta con il solo vapore, è risultata di ben 17°C superiore di quest'ultima. Ciò ha determinato una differenza statisticamente significativa della durata di esposizione alle temperature della classe $60-80^\circ\text{C}$ tra questi due trattamenti (Tab. 8).

Come ci si aspettava, lo zolfo non ha determinato differenze significative rispetto al trattamento con il solo vapore né in termini di temperature media e massima raggiunte, né come durata di esposizione alle diverse classi di temperatura considerate (Tab. 7 e tab. 8).

Passando a considerare il comportamento della coltura della rucola, i risultati produttivi al primo taglio (raccolta: 5 giugno 2006) sono riportati nella tabella 9, dove si può osservare come sia stato rilevato un effetto statisticamente significativo del vapore su tutti i parametri considerati (produzione, espressa come peso fresco al m², peso secco % e tenore di nitrato).

In particolare, nelle parcelle trattate con vapore si è ottenuta una maggiore resa (+ 15% circa) ed un prodotto caratterizzato da una minore percentuale di sostanza secca (quindi dai tessuti più teneri) e da un più basso tenore in nitrato. Da notare, comunque, che il livello di nitrato, pari in media a 4768 mg per kg di sostanza fresca per la rucola cresciuta sul terreno non trattato con

Effetto della disinfezione del terreno con vapore e CaO sulla resa e la qualità di ravanello (*Raphanus sativus* L.)
e rucola (*Eruca sativa* Miller)

Tab. 10 Effetto del vapore e delle sostanze distribuite al terreno (CaO, S e CaO+S) sulla resa e la qualità della rucola (secondo taglio).

Trattamento	Peso fresco	Peso secco	Nitrati
	kg m ⁻²	%	mg kg ⁻¹ P.F.
Effetto vapore			
Vapore sì	2.5	7.4	4233
Vapore no	2.1	7.9	4038
Significatività	N.S.	N.S.	N.S.
Effetto sostanza esotermica			
Nessuna	2.4	7.4	4269
CaO	2.3	7.9	4156
S	2.3	7.5	4083
CaO+S	2.3	7.7	4034
Significatività	N.S.	N.S.	N.S.
Significatività dell'interazione	N.S.	N.S.	N.S.

Valori sulla stessa colonna seguiti da lettera uguale non sono statisticamente diversi per $P \leq 0.05$ (Test di Duncan).

vapore, ha raggiunto valori elevati (mediamente 4230 mg per kg di sostanza fresca) anche nella rucola prodotta sulle parcelle sottoposte a vaporizzazione.

Nessun effetto sulla produzione, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, può essere imputato all'azione della CaO e dello zolfo distribuiti al terreno, sia singolarmente che in combinazione (Tab. 9). Inoltre, non è stata osservata alcuna interazione tra queste sostanze e il vapore. Al secondo taglio (raccolta: 21 giugno) i parametri produttivi considerati non hanno presentato differenze statisticamente significative né in relazione al trattamento con vapore, né in relazione alle sostanze apportate al terreno (Tab. 10).

Rispetto al primo taglio, la resa (kg m² di sostanza fresca prodotta) è risultata superiore (media-

mente, circa 27% in più) e la sostanza secca % inferiore (probabilmente le più frequenti irrigazioni rese necessarie in relazione all'aumento stagionale delle temperature hanno portato ad un maggiore assorbimento di acqua da parte della coltura); il contenuto in nitrati ha assunto valori leggermente più bassi ma sostanzialmente paragonabili a quelli del primo taglio (comunque superiori a 4000 mg per kg di sostanza fresca) (Tab. 9 e tab. 10).

Per quanto riguarda il contenuto in nitrati, è bene ricordare che spesso i contratti di compravendita imposti agli esportatori italiani dai mercati esteri, soprattutto Germania e Svizzera, impongono per la rucola livelli di tali composti non superiori a 2500 mg per kg di peso fresco (Santamaria *et al.*, 1999). Inoltre, se attualmente la legge comunitaria vigente in materia di nitrati negli ortaggi (Reg. CE 1822/2005) fissa dei livelli che non possono essere superati ai fini della commercializzazione soltanto per lattuga e spinacio, non va tuttavia dimenticato che l'articolo 3bis del suddetto Regolamento recita: "Gli Stati membri sottopongono a regolari controlli il tenore di nitrati negli ortaggi che ne presentano tenori rilevanti, in particolare gli ortaggi a foglie verdi, e comunicano i risultati di tali controlli entro il 30 giugno di ogni anno". Pertanto, essendo la rucola tra le specie a maggiore attitudine all'accumulo di nitrati (Santamaria *et al.*, 1999; Lenzi e Tesi, 2000; Lenzi *et al.*, 2002) è probabile che tra non molto anche per la sua commercializzazione verranno stabiliti dei limiti massimi di nitrati ammessi. Per il momento, immaginando di estendere alla rucola i limiti fissati per la lattuga, il prodotto ottenuto in coltura protetta nel periodo primaverile-estivo non dovrebbe contenere più di 3500 mg di nitrato per

kg di sostanza fresca, valore invece superato nella nostra prova in corrispondenza di tutti i trattamenti sperimentati, compreso il controllo.

Non è facile spiegare l'osservato effetto del trattamento con il vapore sulla produzione della rucola al primo taglio (Tab.7); senz'altro non lo si può mettere in relazione alle caratteristiche del terreno analizzate. Infatti, l'unica variazione statisticamente significativa di tali caratteristiche imputabile al vapore è stata quella del pH (peraltro aumentato pochissimo rispetto alle parcelle non trattate con vapore) 32 giorni dopo il trattamento (Figure 11, 12 e 13). Inoltre, nonostante il raddoppiamento della dose distribuita rispetto all'anno precedente (2000 kg ha⁻¹ anziché 1000 kg ha⁻¹), la somministrazione di CaO non ha determinato alcun innalzamento del pH (Fig. 11), per cui l'abbinamento con lo zolfo, pensato proprio per neutralizzare l'effetto della sostanza esotermica, nelle condizioni del terreno in cui si è svolta la prova del 2006 (terreno franco-argilloso ad elevato potere tampone), si è rivelato superfluo.

Tuttavia, non è escluso che la distribuzione di zolfo unitamente al CaO possa avere un senso in terreni caratterizzati da minore potere tampone nei riguardi del pH, soprattutto considerando che, come già ricordato, il trattamento di disinfezione è una pratica che normalmente viene ripetuta ogni anno, per cui non è da escludere un "effetto cumulato". D'altra parte, non va sottovalutato l'effetto di innalzamento della C.E.: infatti, mentre da questo punto di vista l'azione del CaO sembra assai limitata (come del resto già osservato nella prova svolta nel 2005), lo zolfo ne ha determinato un incremento significativo sia rispetto al controllo, che rispetto allo stesso CaO (Fig. 12). Nel nostro caso, questo non ha avuto ripercussioni

negative sulla coltura, dato che la C.E. iniziale del terreno su cui si è svolta la prova era piuttosto bassa (1,68 dS cm⁻¹), tuttavia in terreni ad alta salinità, situazione piuttosto frequente in serra (Levi-Minzi *et al.*, 1998), e con interventi ripetuti, ciò potrebbe costituire un problema.

Infine, da notare come nella prova del 2006 non sia stato osservato nessun aumento della disponibilità di potassio in seguito al trattamento con vapore (Fig. 13), come invece si era evidenziato nel 2005 (Fig. 10).

In definitiva, possiamo dire che l'effetto del trattamento di disinfezione con vapore e sostanze a reazione esotermica sulle caratteristiche chimiche del terreno è fortemente dipendente dal terreno stesso su cui si opera, in maniera non sempre facilmente prevedibile.

Conclusioni

Sulla base dei risultati ottenuti, possiamo concludere con le seguenti considerazioni:

- Il trattamento con vapore e CaO determina la modifica di alcune caratteristiche chimiche del terreno, più o meno evidenti e più o meno reversibili a seconda del terreno su cui si opera, che, teoricamente, possono avere per le colture un significato negativo (ad esempio incremento di pH e C.E.) o positivo (aumento della disponibilità di nutrienti).
- Anche quando le modifiche a carico del terreno non sono evidenti, o appaiono temporanee, esse non vanno comunque trascurate, in relazione alla necessità di ripetere il trattamento di disinfezione del terreno ogni anno; un effetto "cumulato" non può infatti essere escluso.

- Le colture realizzate sul terreno sottoposto a disinfezione con vapore + CaO (ravanello e rucola) non hanno manifestato alcun problema riconducibile al trattamento, anzi in alcuni casi sono stati osservati effetti positivi sulla resa e sulla qualità della produzione (tessuti più teneri e minore contenuto in nitrati).
- Tra i due sistemi di distribuzione del vapore sperimentati su ravanello (prova del 2005), quello che prevede l'iniezione del vapore in superficie (barra posta nel carter) è risultato più efficace di quello con barra operante a 15-20 cm di profondità. Il fatto che il ravanello sviluppi un apparato radicale molto superficiale, probabilmente gli ha permesso di usufruire delle modifiche prodotte sullo strato di terreno interessato dal trattamento con il carter. Si deve anche segnalare che la distribuzione del vapore in superficie, con o senza CaO, ha migliorato la resa e la qualità della produzione rispetto al controllo.
- L'uso dello zolfo per neutralizzare l'effetto del CaO sulla reazione del suolo (prova del 2006) si è rivelato superfluo, in quanto il terreno (franco-argilloso) su cui si è svolta la prova ha manifestato un accentuato potere tampone nei riguardi del pH, che non ha subito innalzamenti nonostante la distribuzione di una dose di sostanza esotermica doppia rispetto a quella impiegata nella prova dell'anno precedente; questo dimostra ulteriormente che le caratteristiche di partenza terreno su cui si opera sono determinanti ai fini degli effetti del trattamento sul terreno stesso e sulle colture.

Bibliografia

- AA.VV., 2002 – Fertilizzanti azotati e nitrati. Come, quando, dove, perchè. – ARPA, *Provincia di Piacenza*, pag. 73.
- BOKHTIAR S.M.D., KARIM A.J.M.S., KHANDAKER M.H., HOSSAIN T., EGASHIRA K., 2001 - Response of radish to varying levels of irrigation water and fertilizer potassium on clay terrace soil of Bangladesh. - *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 17-18 (32): 2979-2991.
- COLLIER G.F., TIBBITTS T.W., 1982 - *Tipburn of lettuce*. Hort. Rew. 4: 49-65.
- LACATUS V., GHIDIA A., TOMESCU P., DONOIU., ILIE A., 1976 - *Changes occurring in nutrient-contents of soils following steam sterilization*. - Acta Hort. 58: 227-233.
- LENZI A., LOMBARDI P., TESI R., 2004 - Effect of steam and exothermic substances (KOH and CaO) on lettuce and strawberry production: two years of experimentation. - *Adv. Hort. Sci.* 18: 155-160.
- LENZI A., TESI R., 2000 - Influenza di alcuni fattori colturali sull'accumulo dei nitrati nella rucola. - *Riv. Agron.* 34 (4), 419-424.
- LENZI A., TESI R., VENTO V., 2002 - *Variazione del contenuto di nitrati nella rucola e strategie di controllo*. - *Culture protette* 3: 85-93.
- LEVI-MINZI R., SCAGNOZZI A., SAVIOZZI A., RIFFALDI R., STOPPELLI G., 1998 - Ricerche sulla salinità dei terreni di serra. - *Culture protette* 1: 79-83.
- LOTTI G., 1985 - *Principi di Chimica e Biochimica Vegetale - Vol. II ETS Editrice, 1985, pp. 488.*
- MARCELIS L.F.M., HO L.C., 1999 - Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annum L.*). *J. Exp. Bot.* 50(332): 357-363.
- MARSCHNER H., 1974 - Calcium nutrition of higher plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 22: 275.
- MAZZONCINI M., RISALITI R., GINANNI M., MAINARDI M., 2002 - Effetto del vapore e sostanze a reazione esotermica sulle principali caratteristiche chimiche del terreno: risultati di un quadriennio di sperimentazione. In: "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica: una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e disinfestazione del terreno", 30 Ottobre, Forlì (Italy), *Proceedings, Graficbe MDM SpA (Forlì)*, 79-88.
- PAIVA E.A.S., MARTINEZ H.E.P., CASALI V.W.D., PADILHA L., 1998 - Occurrence of blossom-end rot in tomato as a function of calcium dose in the nutrient solution and air relative humidity. *J. Plant Nutrition* 21(12): 2663-2670.
- PERUZZI A., RAFFAELLI M., GINANNI M., MAINARDI M., DEL SARTO R., BORRELLI M., 2002 - *Messa a punto del sistema "bioflash" ed evoluzione delle macchine operatrici per la disinfezione e disinfestazione del terreno: Risultati di un quadriennio di sperimentazione*. - Atti del convegno "Vapor d'acqua e sostanze a reazione esotermica": una combinazione a ridotto impatto ambientale per la disinfezione e la disinfestazione del terreno. Forlì (Italia), 30 Ottobre, 35-43.
- RUFY T. W. JR, JACKSON W.A., RAPER D.C.JR., 1981 - Nitrate reduction in roots as affected by the presence of potassium and by flux of nitrate through the roots. - *Plant Physiol.* 68: 605-609.
- SANTAMARIA P., ELIA E., GONNELLA M., PARENTE A., SERIO F. 1999 - Accumulo di nitrati e produzione della rucola. - *L'Informatore Agrario* 15: 99-103.
- SCAIFE M.A., CLARKSON D.T., 1978 - Calcium-related disorders in plants - a possible explanation for the effect of weather. *Plant and Soil* 50(3): 723-725.
- TESI R., 1994 - *Principi di orticoltura e ortaggi d'Italia. - Edagricole Bologna, 1994, pp. 340.*
- TESI R., 2001 - *Culture protette - Ortoflorovivaismo. - Edagricole Bologna 2001, pp. 503.*



Ente Parco Regionale
Migliarino San Rossore
Massaciuccoli

