



Università degli Studi della Tuscia

**Corso di Dottorato di ricerca
in Ortoflorofrutticoltura - XXI CICLO**

**IMPATTO AMBIENTALE DELL'ORTICOLTURA
IN SERRE TIPICHE DELL'AMBIENTE
MEDITERRANEO
E ANALISI DELLE TECNICHE DI COLTIVAZIONE
IN FUORI SUOLO**

(s.s.d.: AGR/10)

Coordinatore: Prof. Alberto Graifenberg

Tutore: Prof. Alvaro Marucci

Dottoranda: Dott.ssa Barbara Pagnello

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 1.1 <i>IMPATTO AMBIENTALE DELL'ORTICOLTURA IN SERRA</i> | 6 |
| 1.1.1 <i>Impatto ambientale dovuto alla fertilizzazione</i> | 8 |
| 1.1.2 <i>Impatto ambientale dovuto all'uso di fitofarmaci</i> | 12 |
| 1.2 <i>LE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO PER LIMITARE GLI IMPATTI AMBIENTALI DOVUTI ALL'USO DI FERTILIZZANTI E DI PESTICIDI</i> | 16 |
| 2. OBIETTIVI DELLA RICERCA | 18 |
| 3. MATERIALI E METODI | 19 |
| 3.1 <i>MONITORAGGIO DI AZIENDE RAPPRESENTATIVE DELL'ORTICOLTURA NEL LITORALE NORD DELLA REGIONE LAZIO</i> | 19 |
| 3.1.1 <i>Elaborazione dati del monitoraggio</i> | 25 |
| 3.1.2 <i>Analisi dell' impatto ambientale dovuto all'uso di fertilizzanti</i> | 28 |
| 3.1.3 <i>Analisi dell'impatto ambientale dovuto all'uso di pesticidi</i> | 28 |
| 3.2 <i>VALUTAZIONE DELLE TRASFORMAZIONI SUBITE NEL TERRENO DAI NUTRIENTI E DAI PERSTICIDI</i> | 34 |
| 3.2.1 <i>Il modello GLEAMS</i> | 34 |
| 3.2.2 <i>Applicazione del modello GLEAMS</i> | 40 |
| 3.3 <i>ANALISI TECNICO – ECONOMICA DI SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO</i> | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 4. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI..... | 51 |
| 4.1 <i>RISULTATI DELL'ANALISI GRANULOMETRICA DEL TERRENO E DELL'ANALISI DELLE ACQUE DI IRRIGAZIONE DELLE AZIENDE MONITORATE.....</i> | 51 |
| 4.2 <i>RISULTATI DELL'ANALISI DELL'IMPATTO AMBIENTALE DOVUTO ALL'USO DI FERTILIZZANTI.....</i> | 54 |
| 4.3 <i>RISULTATI DELL'ANALISI DELL' IMPATTO AMBIENTALE DOVUTO ALL'USO DI PESTICIDI.....</i> | 58 |
| 4.4 <i>SIMULAZIONE MEDIANTE IL MODELLO GLEAMS</i> | 74 |
| 4.4.1 <i>Risultati ottenuti con la simulazione in presenza di pomodoro sia in pieno campo sia in ambiente protetto.....</i> | 74 |
| 4.4.2 <i>Risultati ottenuti con la simulazione per gli avvicendamenti tipo dell'area oggetto di studio in pieno campo e in ambiente protetto.</i> | 81 |
| 4.5 <i>RISULTATI DELL'ANALISI TECNICO – ECONOMICA DELLE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO</i> | 92 |
| 4.5.1 <i>Analisi tecnico-economica dei sistemi di coltivazione in fuori suolo del pomodoro.....</i> | 92 |
| 4.5.2 <i>Analisi tecnica-economica delle coltivazioni fuori suolo di lattuga e zucchino.....</i> | 95 |
| 5. CONCLUSIONI..... | 96 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 99 |

1. INTRODUZIONE

La coltivazione delle piante in ambiente protetto si è affermata a partire dagli anni '60 in seguito alla comparsa dei film plastici per la copertura delle strutture di protezione e ancora oggi può essere considerata la forma di coltivazione più avanzata della moderna agricoltura.

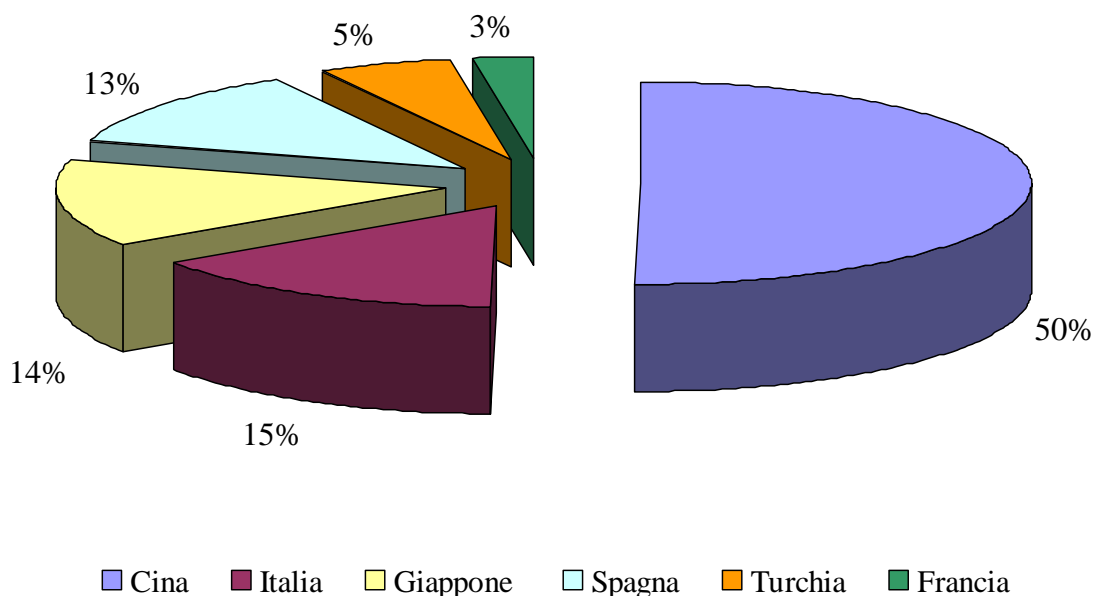
Attualmente il Paese che occupa il primo posto nel mondo in termini di superficie destinata alla coltivazione sotto protezione (compresi gli apprestamenti temporanei) è la Cina con circa 200 000 ha, seguita in ordine d'importanza dall'Italia (circa 67 000 ha), dal Giappone (60 000 ha), dalla Spagna (55 000 ha), dalla Turchia (24 000 ha) e dalla Francia (11 500 ha) (figura 1) (Trentini e Sitta, 2001).

Le colture ortive più diffuse in ambiente protetto nei Paesi che si affacciano sul mediterraneo (soprattutto in Spagna ed in Italia) sono il pomodoro e il peperone seguite da melanzana, zucchini e fragole.

Per quanto riguarda le strutture di protezione quelle più diffuse nel nostro Paese sono del tipo a padiglione, utilizzate soprattutto nelle regioni meridionali e destinate principalmente alla coltivazione delle solanacee, ed i tunnel semplici e multipli che sono presenti nelle altre aree e destinati alla coltivazione di fragole, melone, ecc.

Dall'analisi dei dati degli ultimi censimenti ISTAT sull'agricoltura (2° censimento - 1970, 3° censimento - 1982, 4° censimento - 1990/1991 e 5° censimento - 2000) emerge che nel nostro Paese, la superficie complessiva occupata dalle colture ortive, dopo aver raggiunto il massimo valore di circa 318 000 ha nei primi anni '90, negli ultimi anni è diminuita fino a ritornare ai livelli degli anni '70 con circa 260 000 ha.

Figura 1. Distribuzione percentuale della superficie occupata nel mondo dalle colture protette.



Per quanto riguarda invece la superficie occupata dalle colture protette questa segue un trend crescente passando dai circa 8 500 ha registrati nel 2° Censimento (1970) ai quasi 22 500 ha nel 5° censimento (2000).

Per quanto concerne la distribuzione regionale, sempre secondo i dati ISTAT, l'orticoltura in pieno campo risulta concentrata in tre regioni: Puglia (18.3%), Emilia-Romagna (18.0%) e Campania (9.5%), che da sole raggiungono circa il 46% della superficie nazionale.

La regione che presenta una maggiore superficie destinata alla produzione orticola in ambiente protetto è la Sicilia, con circa il 30% della superficie totale, seguita da Campania (15%) e Lazio (11%).

A nostro avviso i fattori che hanno favorito la diffusione delle coltivazioni in ambiente protetto possono essere così sintetizzati:

- maggiori rese produttive rispetto a quelle ottenute con la coltivazione in pien'aria;
- presenza del prodotto sul mercato anche nei periodi complementari alle normali epoche di produzione;
- minore incidenza dei fattori climatici;
- possibilità di svolgere operazioni colturali al coperto;
- migliore controllo della qualità.

Per garantire produzioni precoci ed elevata produttività delle piante in ambiente protetto si è agito su alcune tecniche agronomiche, principalmente fertilizzazione e difesa, con notevoli effetti negativi sull'impatto ambientale.

Infatti, a causa della maggiore utilizzazione di elementi nutritivi e pesticidi di sintesi e della coltivazione ripetuta della stessa coltura sullo stesso terreno, l'orticoltura in ambiente protetto può arrecare alterazioni ambientali anche consistenti (salinizzazione, inquinamento falde, ecc...).

1.1 IMPATTO AMBIENTALE DELL'ORTICOLTURA IN SERRA

La recente normativa in materia ambientale, decreto legislativo 152 del 2006, all'art. 5 definisce l'impatto ambientale come *“l'alterazione qualitativa e/o quantitativa dell'ambiente, inteso come sistema di relazioni fra i fattori antropici, fisici, chimici e naturalistici, climatici paesaggistici, architettonici culturali ed economici, in conseguenza dell'attuazione sul territorio di piani o programmi o della realizzazione di progetti relativi a particolari impianti, opere o interventi pubblici o privati, nonché della messa in esercizio delle relative attività”*. Già nel 1984, però, Bettini aveva definito l'impatto ambientale, come *l'insieme delle alterazioni dei fattori e dei sistemi ambientali, nonché delle risorse naturali, prodotte dalle trasformazioni nell'uso del suolo e dagli insediamenti umani*.

In generale si può dire che l'agricoltura produce i seguenti effetti negativi sull'ambiente:

- modifiche verso la desertificazione delle risorse naturali, alterazioni della qualità e deflusso delle acque, della qualità dell'aria, del ciclo dei nutrienti, ecc.;
- riduzione del numero e della diversità delle specie animali e vegetali;
- diminuzione dei servizi naturali come il controllo dell'erosione, dell'equilibrio delle acque superficiali e di falda, ecc.;
- diminuzione dei servizi e benefici sociali, ricreazionali, estetici, ecc.;
- presenza negli alimenti di residui tossici di prodotti utilizzati per il controllo degli organismi dannosi alle colture.

Ma anche l'orticoltura in ambiente protetto può produrre un impatto ambientale molto rilevante e le problematiche più importanti, escludendo gli aspetti paesaggistici e quelli di smaltimento dei materiali plastici utilizzati per la copertura delle serre e per la pacciamatura del terreno, sono i fenomeni di stanchezza del terreno e l'eccessivo utilizzo di prodotti chimici per la difesa e la fertilizzazione delle colture. Infatti l'uso dei fertilizzanti e dei fitofarmaci, nonostante abbia rivestito un ruolo fondamentale nello sviluppo della moderna agricoltura, oggi è ritenuto una delle principali cause di impatto ambientale anche in ambiente protetto.

L'accumulo di tali sostanze nei suoli ne altera le proprietà chimiche e fisiche con meccanismi diversi da elemento ad elemento in funzione del tipo di suolo e di coltura. Oltre ad alterare le caratteristiche fisiche e chimiche del suolo queste sostanze generano alterazioni anche sulla fauna terricola.

L'uso di fertilizzanti e di fitofarmaci in agricoltura rappresenta inoltre la principale fonte diffusa d'inquinamento (NPS - nonpoint source pollution) delle acque superficiali e sotterranee (Dowd et al., 2008; Candela et al., 2007; Schulz, 2004; Novotny, 1999-2002; Carpenter et al., 1998) con conseguenti effetti sulla salute umana e sull'ambiente.

Al fine di valutare il comportamento dei fitofarmaci e dei fertilizzanti nel terreno e di quantificarne le perdite per lisciviazione sono stati sviluppati modelli di simulazione, come il *GLEAMS*, il *CREAMS* e l'*EPIC*, che tengono conto del tipo di coltura, del tipo di suolo, delle pratiche gestionali e delle condizioni climatiche (Ford et al., 1993, Shirmohammadi, 1998; Rekolainen et al., 2000; Dukes, 2000; Kersebaum et al. 2008; . David et al. 2008).

1.1.1 Impatto ambientale dovuto alla fertilizzazione

Come è noto, lo scopo principale della fertilizzazione è quello di mantenere un appropriato livello di fertilità nel terreno attraverso il ripristino degli elementi nutritivi asportati con le coltivazioni.

A tal proposito si ricorda che gli elementi *essenziali* per la vita della piante sono: carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, fosforo, potassio, zolfo, calcio, magnesio, ferro, manganese, zinco, rame, boro e molibdeno. A questi si aggiungono una serie di elementi chimici *accessori*, alcuni dei quali riscontrati solo in alcune piante (Sequi 1989).

I fertilizzanti più utilizzati sono quelli che contengono principalmente tre elementi fondamentali: azoto, fosforo e potassio, e secondariamente calcio, zolfo e magnesio.

Tra questi elementi l'azoto è quello maggiormente utilizzato a causa del fondamentale ruolo che svolge per la sintesi proteica e conseguentemente per la vita delle piante. Tale elemento è assorbito dalle radici prevalentemente sotto forma di azoto ammoniacale (NH_4^+) e azoto nitrico (NO_3^-).

Nei terreni agricoli l'azoto totale varia, in media tra lo 0.1% e lo 0.15% e raramente può raggiungere valori dello 0.2% (Sequi 1989).

L'azoto nel terreno si può trovare sotto forma organica o minerale. La forma organica è quasi sempre prevalente e costituisce la vera e propria riserva per il rifornimento azotato delle piante. Questa frazione segue le complesse vicende della sostanza organica e viene gradualmente rinnovata attraverso i processi di mineralizzazione nel terreno e di sintesi da parte delle piante e di alcuni microrganismi.

La mineralizzazione porta alla formazione di alcuni composti ammoniacali e nitrici che possiedono caratteristiche e comportamento diverso.

Lo ione NO_3^- , facilmente assorbito dall'apparato radicale delle piante, se è presente nel terreno in una quantità maggiore rispetto alla capacità di assorbimento della vegetazione e della microflora, essendo altamente solubile in acqua e non essendo trattenuto minimamente dal potere assorbente del terreno, può essere trasportato in profondità dalle acque di percolazione ed andare ad inquinare le falde sotterranee.

La perdita di nitrati per dilavamento dipende dalla concentrazione di NO_3^- nel suolo, dal volume di acqua drenata, dalla tessitura e struttura del suolo e dai fattori climatici.

A differenza dell'azoto nitrico, l'azoto ammoniacale, pur essendo solubile in acqua, viene trattenuto dal potere assorbente del terreno, che lo preserva dal dilavamento. Esso però è una forma transitoria, in quanto destinato ad essere ossidato dai batteri nitrificanti ad azoto nitrico.

Nelle concimazioni viene fatto largo impiego anche di fosforo e di potassio che risultano fondamentali per la qualità dei prodotti ma che di norma sono presenti nel suolo sottoforma di composti insolubili.

I fertilizzanti, nonostante siano fondamentali per lo sviluppo delle colture, vengono riconosciuti come una delle principali "pressioni" ambientali generate dall'attività agricola.

Lo sviluppo di forme di coltivazione sempre più intensive comporta un'alterazione del bilancio dei nutrienti nel suolo in quanto impedisce il naturale ciclo dei nutrienti nel sistema suolo pianta (Violante, 1996).

Il loro accumulo nei suoli ne altera le proprietà fisiche e chimiche, con meccanismi diversi da elemento ad elemento e in funzione di numerosi fattori, quali (APAT, 2004):

- tipo di suolo e di coltura;
- sistemi di irrigazione e di drenaggio;

- dosi e tipo di distribuzione;
- modalità e periodi di fertilizzazione.

Gli esuberi di elementi chimici, apportati attraverso i concimi, oltre a generare alterazioni delle proprietà del suolo possono generare effetti altamente negativi anche nell'acque.

Nel complesso i principali effetti negativi sull'ambiente generati dalla fertilizzazione possono essere così sintetizzati (Perelli, 2003):

- accumulo nel terreno e nei prodotti di nitrati, metalli pesanti, sostanze pericolose, ecc.;
- lisciviazione di azoto nelle falde acquifere;
- perdita di fosforo nelle acque superficiali con pericoli di eutrofizzazione e la conseguente alterazione della vita nei fiumi, nei laghi, nelle lagune e nel mare.

Lo studio dell'impatto della fertilizzazione in ambiente protetto non appare sufficientemente affrontato mentre numerose ricerche sono state condotte per lo studio dell'effetto sull'ambiente della fertilizzazione in condizioni di campo aperto.

Numerose ricerche, infatti, sono state condotte per analizzare la lisciviazione dell'azoto in diversi tipi di suolo e in diverse condizioni climatiche e gli effetti sulla qualità delle acque di falda.

In uno studio effettuato da Panno e Kelly (2004), per valutare l'influenza dell'attività agricola sulla qualità delle acque nel sud-ovest dell'Illinois (USA), è emerso che circa la metà del contenuto di azoto nitrico rilevato nelle acque di sorgente deriva dalla fertilizzazione.

Diversi studi hanno messo in evidenza come l'inquinamento delle acque di falda nelle zone agricole dipende da vari fattori quali l'intensità dell'attività agricola, gli apporti di azoto, gli apporti idrici, le caratteristiche del suolo e la vulnerabilità della falda acquifera (Owens et al. 2000; Vuorenmaa et al. 2002; Panno et Kelly 2004; Hashim et Wan Abdullah 2005; Randall et al. 2001, Muhametolu and Tyardimci 2006; Chatupote 2005; Civita et al. 2007; Novotny, 2002; Ritter 2007). Oggetto di numerosi studi, infatti, è l'influenza dei diversi fattori nel complesso fenomeno della lisciviazione dell'azoto che ad oggi risulta ancora poco chiara (Malone et al. 2007).

Tra i diversi fattori che influenzano la lisciviazione dell'azoto le pratiche di gestione agricola svolgono un ruolo fondamentale. Alcuni studi, infatti, hanno dimostrato che a causa della presenza e dell'intensificazioni di tali pratiche le perdite di nutrienti per lisciviazione sono maggiori nei suoli agricoli che in quelli forestali (Vuorenmaa et al. 2002; Randall et al. 2001).

Errate modalità di applicazione degli elementi nutritivi e la scelta di non idonee tecniche di gestione colturale possono generare eccessi di azoto nel terreno. A tal proposito è bene ricordare che vi sono diversi sistemi di distribuzione di fertilizzanti che influenzano diversamente la mobilità dei nitrati nel suolo. In particolare, la distribuzione localizzata e la concimazione fogliare interessano una superficie ridotta e diminuiscono il pericolo di contaminazione delle acque da nitrati. La fertirrigazione, invece, che consiste nella distribuzione dei concimi mediante l'irrigazione, è il sistema potenzialmente più pericoloso per il trasporto dei nitrati nelle acque sotterranee (Civita et al., 2003).

Un ruolo determinante nel fenomeno della lisciviazione è svolto dall'apporto idrico dovuto all'irrigazione e in condizioni di campo aperto, alle precipitazioni.

Prove sperimentali in siti caratterizzati da climi di tipo mediterraneo hanno messo in evidenza che la presenza di abbondanti precipitazioni, soprattutto nei mesi invernali in cui l'assorbimento di N da parte delle piante è scarso, favorisce il fenomeno della lisciviazione (Miloroy et al. 2008).

Per quanto riguarda gli effetti diretti delle concimazioni sulle acque superficiali diversi studi hanno messo in evidenza che attraverso lo scorrimento superficiale delle acque di precipitazione avviene l'asportazione degli eccessi di elementi nutritivi che vengono poi accumulati nei diversi corpi idrici. Tali accumuli di nutrienti e soprattutto quelli di P sono la principale causa di eutrofizzazione nei laghi di acqua dolce, ruscelli, fiumi ecc. (Correll, 1998).

Anche per il P come per l'N le perdite per scorrimento superficiale sono strettamente legate al tipo di apporti, al periodo di applicazione, al tipo di suolo, al quantitativo di acqua apportato con l'irrigazione e al periodo in cui si verificano le precipitazioni più intense (Soldat and Petrovic, 2008).

1.1.2 Impatto ambientale dovuto all'uso di fitofarmaci

Al fine di garantire l'ottenimento di elevati standard di qualità dei prodotti agricoli le moderne pratiche colturali prevedono l'utilizzo di fitofarmaci sia per la difesa delle colture da attacchi da parassitari (insetti e acari) sia per controllare lo sviluppo delle piante infestanti (APAT 2004).

Le colture trattate con fitofarmaci, e quindi protette da attacchi parassitari, permettono di raggiungere rese più elevate e allo stesso tempo richiedono un minore impiego di manodopera in pratiche colturali (diserbo).

Nelle coltivazioni in ambiente protetto, a causa della presenza di condizioni microambientali che favoriscono l'insorgere delle infezioni, si assiste ad un maggiore uso dei fitofarmaci rispetto alle coltivazioni in piena aria (Alpi A., Tognoni F., 1990).

In particolare, è il tasso di umidità relativa a giocare un ruolo determinante, essendo molto spesso anche per lunghi periodi prossimo a quello di saturazione, provocando fenomeni di condensa, gocciolamenti e bagnatura delle foglie. L'insieme di tali condizioni favoriscono lo sviluppo di funghi e batteri, i quali per dare inizio all'infezione hanno bisogno di un'elevata umidità.

In ambiente protetto il maggiore uso di fitofarmaci è dovuto anche ad alcune caratteristiche proprie del sistema di coltivazione:

- l'elevata specializzazione con coltivazione di un limitato numero di specie;
- le rotazioni ristrette;
- l'elevata densità colturale;
- la raccolta scalare dei prodotti, che può facilitare la presenza di prodotti sani accanto a prodotti in via di decomposizione.

L'impiego sempre più diffuso dei fitofarmaci genera effetti negativi nei diversi comparti ambientali quali il suolo, l'aria e l'acqua (acque superficiali e di falda) con ulteriori effetti anche per la salute umana (APAT 2004).

A tal proposito è opportuno ricordare i problemi relativi all'accumulo di sostanze tossiche nelle colture in atto e in quelle successive con rischi per la salute dei consumatori e degli operatori che eseguono i trattamenti. I maggiori rischi per gli operatori si verificano soprattutto negli ambienti confinati delle serre dove i prodotti somministrati possono permanere anche per lunghi periodi nell'aria (Alpi A., Tognoni F. 1990).

Per quanto riguarda lo studio del destino dei fitofarmaci nel terreno questo risulta molto più complesso di quello di altri inquinanti perché questi sono soggetti a processi di decomposizione che danno luogo ad una serie di prodotti intermedi, spesso dotati di una forte tossicità (Sequi 1989).

L' inquinamento del suolo generato dall'uso incontrollato di fitofarmaci è strettamente legato alle dosi e alle modalità di impiego, ma anche e soprattutto alla resistenza del principio attivo e quindi alla sua persistenza nel terreno.

La presenza dei p.a. nel suolo può alterare la pedofauna riducendo il numero di individui e di specie, con la conseguente semplificazione della comunità biotica dell'ecosistema suolo. La riduzione della pedofauna che svolge l'importante funzione di decomposizione e di umidificazione della sostanza organica a sua volta genera una riduzione della fertilità del terreno.

L'uso di fitofarmaci in agricoltura rappresenta, inoltre, una delle principali fonti non puntuali di inquinamento per le acque sotterranee e superficiali (Schultz, 2004; Dowd et al., 2008).

Tali sostanze attraverso lo scorrimento superficiale delle acque di precipitazioni e il fenomeno dell'infiltrazione nei suoli riescono a raggiungere e contaminare le acque superficiali e la falda freatica.

Le maggiori perdite per dilavamento e infiltrazione si verificano nei periodi immediatamente successivi all'applicazione di pesticidi ed in corrispondenza di abbondanti eventi pluviometrici (Wauchope, 1978).

In merito alla pericolosità di un fitofarmaco è opportuno ricordare che questa è legata sia alle caratteristiche proprie del prodotto, sia alle condizioni climatiche e alle caratteristiche del terreno sul quale viene distribuito.

Le caratteristiche del prodotto che è necessario valutare sono:

- il tipo di principio attivo e la percentuale di questo presente nel prodotto commerciale;
- la classe tossicologica;
- il grado di solubilità in acqua che ne indica la mobilità nel terreno;
- il tempo di persistenza del prodotto nel terreno, valutato in genere sulla base di una scomparsa minima pari al 50% o “mezza vita” del fitofarmaco.

Le condizioni ambientali che devono essere prese in considerazione sono:

- la temperatura;
- l’umidità;
- la popolazione microbica;
- la copertura vegetale;
- le caratteristiche chimico-fisiche del terreno;
- le condizioni climatiche della zona dove il terreno è situato.

1.2 LE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO PER LIMITARE GLI IMPATTI AMBIENTALI DOVUTI ALL'USO DI FERTILIZZANTI E DI PESTICIDI

Per limitare l'uso dei fitofarmaci e risolvere i fenomeni di percolazione di elementi nutritivi apportati con la fertilizzazione del terreno, come alternativa al tradizionale sistema di coltivazione in serra, si possono adottare i sistemi di coltivazione fuori suolo.

Come evidenziato da diversi autori (Gullo, 2006; Sportelli, 2001/2002; Cariglia et Stanghellini, 2001, Venezia et al, 2008) i sistemi di coltivazione fuori suolo rispetto alle tradizionali tecniche di coltivazione in ambiente protetto presentano maggiori vantaggi produttivi e gestionali.

I principali vantaggi riportati a livello produttivo sono la maggiore quantità prodotta e l'alta qualità dei prodotti, apprezzate sia per le caratteristiche merceologiche sia per quelle sanitarie grazie alle migliori condizioni di coltivazione che permettono una minore incidenza di patogeni e, quindi, anche un minor apporto di pesticidi.

I vantaggi a livello gestionale sono un migliore controllo dell'apporto idrico e di fertilizzanti, un maggior controllo delle infestanti ed il superamento di problemi relativi la salinizzazione del terreno.

In Italia la tecnica è ancora in fase di introduzione (Tognoni, 2003), infatti, sulla base di dati non ufficiali, si è stimato che dei 22 500 ha destinati alle colture protette nei primi anni 2000 (dati ISTAT) solo una superficie inferiore a 1 000 ha è occupata da coltivazioni con sistemi fuori suolo (Pardossi, 2005).

La maggiore diffusione delle tecniche fuori suolo si è verificata nei paesi dell'Europa occidentale, in particolare in Olanda dove si stima che il 90% degli ortaggi è prodotto in idroponica e che le coltivazioni con sistemi a ciclo

chiuso o aperto su substrati inorganici occupano una superficie di circa 5 000 ha (Gullo, 2006).

Ciò che ad oggi ostacola nel nostro Paese l'ampia diffusione dei sistemi fuori suolo, oltre alla richiesta di personale specializzato, sono gli alti costi d'investimento iniziali e di gestione che è necessario sostenere rispetto alle colture protette di tipo tradizionale.

Il problema dei maggiori costi di produzione in parte può essere compensato dalle maggiori rese e caratteristiche qualitative del prodotto, che seppur apprezzate da grossisti e grande distribuzione, ancora oggi non riescono a spuntare prezzi significativamente diversi dalla produzione tradizionale.

Al fine di favorire la diffusione dei sistemi di coltivazione fuori suolo è necessario individuare soluzioni impiantistiche e gestionali caratterizzate da maggiore semplicità d'uso e costi sempre più contenuti.

2. OBIETTIVI DELLA RICERCA

Al fine di contribuire alla diminuzione e comunque al controllo dell'impatto ambientale dell'orticoltura in serra sono state sviluppate le seguenti linee di ricerca:

1) Analisi dell'impatto ambientale dell'orticoltura in ambiente protetto in serre tipiche dell'ambiente mediterraneo in confronto con la corrispondente coltivazione in pien'aria. La valutazione dei rischi connessi all'uso dei fertilizzanti e dei fitofarmaci verrà effettuata mediante un'indagine diretta presso alcune aziende orticole del litorale nord della regione Lazio.

Infatti, solo conoscendo gli effettivi apporti di prodotti chimici utilizzati nella fertilizzazione e nella difesa, è possibile individuare le colture e i sistemi di coltivazioni a maggiore impatto sull'ambiente ed elaborare le opportune contromisure.

Se è vero, infatti, che in ambiente protetto si potrebbe registrare un maggiore utilizzo di prodotti chimici, è anche vero che in queste condizioni sono impedita le perdite per percolazione dovute alle acque di pioggia.

2) Individuazione di soluzioni tecniche ed impiantistiche per la coltivazione di piante orticole in fuori suolo protetto in serre tipiche dell'ambiente mediterraneo sulla base di valutazioni tecniche ed economiche con riferimento alle colture a maggiore diffusione.

3. MATERIALI E METODI

3.1 MONITORAGGIO DI AZIENDE RAPPRESENTATIVE DELL'ORTICOLTURA NEL LITORALE NORD DELLA REGIONE LAZIO

Nell'ambito di un progetto PRIN “*Strategie innovative e interventi per ridurre l'impatto ambientale derivante dall'attività orticola*” per cercare di quantificare gli input di prodotti chimici, presenti nei nutrienti, negli erbicidi, nei fungicidi e negli insetticidi, è stato eseguito un monitoraggio di alcune aziende orticole presenti nella zona litoranea dell'alto Lazio, precisamente nei comuni: Montalto di castro (VT), Tarquinia (VT), Civitavecchia (RM), Cerveteri (RM), Ladispoli (RM) e Fiumicino (RM).

Nel territorio dei suddetti comuni sono state individuate 40 aziende tra le più rappresentative dell'attività orticola locale, in particolare 5 nel Comune di Montalto di castro, 17 nel Comune di Tarquinia, 1 nel Comune di Civitavecchia, 2 nel Comune di Cerveteri, 8 nel Comune di Ladispoli e 7 nel Comune di Fiumicino (figura 2).

Nella fase di monitoraggio sono stati rilevati i dati riguardanti le caratteristiche generali dell'azienda e i dati riguardanti le colture orticole adottate nelle diverse aziende.

Figura 2. Area di studio.



Le informazioni riguardanti le caratteristiche generali dell'azienda sono:

- la SAU (Superficie agricola utilizzata);
- la superficie destinata alle colture protette;

- il tipo di manodopera (se interna o esterna) e la quantità;
- gli avvicendamenti colturali praticati in pieno campo e in serra, e le relative superfici;
- l'irrigazione (provenienza dell'acqua, profondità di falda, salinità, ecc.);
- il terreno (sistemazione e tipologia);
- le serre, se presenti in azienda, (materiali utilizzati nelle strutture portanti, nelle coperture, tipo riscaldamento e consumi, impianti per il risparmio energetico, servizi di smaltimento e quantità di plastica smaltita, materiale utilizzato per la pacciamatura);
- i trattamenti di post-raccolta, se presenti in azienda, attività di confezionamento e commercializzazione;
- opinioni riguardanti i trattamenti (concimi, fungicidi, insetticidi ed erbicidi) odierni rispetto a quelli effettuati 10 anni prima e informazioni riguardati le motivazioni alla base delle scelte tecniche effettuate nell'azienda.

Le informazioni rilevate per le singole colture adottate in ogni azienda, sia per le colture in pieno campo sia per quelle in ambiente protetto riguardano:

- Le colture praticate:
 - tipo di coltura;
 - superficie investita;
 - tipo di cultivar;
 - periodo di trapianto;
 - densità delle piante;
 - periodo di raccolta e rese.

- La concimazione:
 - tipo di concime utilizzato;
 - quantità distribuita;
 - modalità di distribuzione;
 - provenienza del concime.

- La fertirrigazione:
 - tipo di concime utilizzato;
 - quantità distribuita;
 - fase colturale;
 - frequenza di distribuzione.

- La concimazione fogliare:
 - tipo di concime utilizzato;
 - quantità distribuita;
 - quantità di acqua utilizzata;
 - epoca di distribuzione e frequenza.

- Le pratiche di difesa:
 - tipo di prodotto utilizzato;
 - numero di interventi;
 - dosi;
 - modalità di distribuzione;
 - patologie.

- L'irrigazione:
 - metodo irriguo;
 - caratteristiche dell'impianto;
 - fase fenologica;
 - numero di ore al giorno;
 - numero di interventi settimanali.

Unitamente all'attività di monitoraggio sono state effettuate una serie di analisi del terreno e delle acque di irrigazione (sia nel caso in cui provenissero da pozzi, che da consorzio) delle aziende oggetto di studio.

Per quanto riguarda le analisi del terreno sono stati rilevati i valori relativi ai seguenti parametri:

- argilla (%);
- limo (%);
- sabbia (%);
- sostanza organica (%);
- carbonio organico (%);
- pH.

Per un campione di dieci aziende sono stati inoltre rilevati i dati relativi ai seguenti parametri:

- conducibilità del terreno (microS/cm);
- capacità di campo (% peso);
- punto di appassimento (% peso);
- azoto totale (%);
- calcare (%);
- acqua utile (% peso);
- rapporto C/N.

Sempre per lo stesso campione di aziende sono state effettuate anche le analisi relative alle acque utilizzate nell'irrigazione delle colture ortive.

Per questo tipo di analisi sono stati effettuati tre campionamenti a distanza di circa 30 giorni l'uno dall'altro all'inizio dei mesi di Agosto, Settembre e Ottobre. I parametri misurati nei campioni rilevati sono:

- pH;
- conduttività (microS/cm);
- residuo fisso (mg/l);
- nitrati (ppm).

Per le elaborazioni successive sono stati presi in considerazione i valori medi dei dati misurati.

3.1.1 Elaborazione dati del monitoraggio

Nella prima fase di elaborazione dei dati del monitoraggio aziendale si è provveduto a raggruppare i dati secondo il tipo di coltivazione: in pieno campo e in ambiente protetto.

Per ogni azienda e per ogni tipo di coltura praticata (carciofo, insalata, finocchio, anguria, melone, pomodoro, asparago, carota, cavolo, zucchino e fragola), sia in ambiente protetto che in pieno campo, sono stati riportati i dati relativi alle concimazioni (concimazione, fertirrigazione e concimazione fogliare) (Tabella 1) e quelli relativi alle pratiche di difesa (fungicidi, erbicidi, insetticidi) (Tabella 2).

Al fine di quantificare gli apporti di azoto (N), di anidride fosforica (P_2O_5) e di ossido di potassio (K_2O) è stato necessario individuare i titoli sulla base dei nomi commerciali dei prodotti utilizzati. Moltiplicando tali titoli per le singole quantità di concime sono stati quantificati i chilogrammi ad ettaro (kg/ha) dei tre elementi nutritivi distribuiti con le concimazioni.

Per quanto riguarda la concimazione azotata è stato necessario valutare gli apporti di azoto nitrico (NO_3^-) e di azoto ammoniacale (NH_4^+) a causa del loro differente comportamento nel terreno e del conseguente diverso peso nell'impatto ambientale.

Nei casi in cui le aziende hanno utilizzato più di un concime si è proceduto sommando i quantitativi dei diversi elementi fertilizzanti presenti nei singoli prodotti.

Per quanto riguarda i prodotti utilizzati nelle pratiche di difesa è stata eseguita un'analoga elaborazione: attraverso i nomi commerciali dei fitofarmaci utilizzati è stato individuato il principio attivo presente in ogni prodotto ed è stata calcolata la sua percentuale rispetto al totale.

Tabella 1. Concimazioni applicate per le colture in serra nell'azienda n. 1.

| Coltura | Tipo di concimazione | Tipo di concime | Quantità | Unità di misura | Titoli | | | | | Apporti kg/ha | | |
|----------|-----------------------|----------------------------|----------|-----------------|------------------|----------------------|------------------|----|----|---------------|----|------|
| | | | | | N _{amm} | N _{nitrico} | N _{tot} | P | K | N | P | K |
| Pomodoro | Concimazione | 13/13/21 | 300 | kg/ha | 6 | 7 | 13 | 13 | 21 | 39 | 39 | 63 |
| | Fertirrigazione | 14/22/11 | 200 | kg/ha | 0 | 5 | 14 | 22 | 11 | 28 | 44 | 22 |
| | | 14/11/22 | 300 | kg/ha | 0 | 9.5 | 14 | 11 | 22 | 42 | 33 | 66 |
| | | Solfato di K | 500 | kg/ha | 0 | 0 | - | - | 51 | - | - | 25.5 |
| | Concimazione fogliare | Nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 10 | l/ha | 9 | 0 | 9 | - | - | 0.9 | - | - |
| Insalata | Concimazione | 13/13/21 | 300 | kg/ha | 6 | 7 | 13 | 13 | 21 | 39 | 39 | 63 |
| | Fertirrigazione | 14/22/11 | 400 | kg/ha | 0 | 5 | 14 | 22 | 11 | 56 | 88 | 44 |
| | | Solfoato di K | 50 | kg/ha | 0 | 0 | - | - | 51 | - | - | 25.5 |
| | Concimazione fogliare | Nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 30 | l/ha | 0 | 9 | 9 | - | - | 2.7 | - | - |
| Melone | Concimazione | 13/13/21 | 500 | kg/ha | 6 | 7 | 13 | 13 | 21 | 65 | 65 | 105 |
| | Fertirrigazione | 14/22/11 | 200 | kg/ha | 0 | 5 | 14 | 22 | 11 | 28 | 44 | 22 |
| | | 14/11/2022 | 200 | kg/ha | 0 | 9.5 | 14 | 22 | 11 | 28 | 44 | 22 |
| | | Solfoato di K | 120 | kg/ha | 0 | 0 | - | - | 51 | - | - | 61.2 |
| | Concimazione fogliare | Nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 20 | l/ha | 0 | 9 | 0 | - | - | 1.8 | - | - |

Tabella 2. Fitofarmaci applicati per le colture in serra nell'azienda n. 1.

| Coltura | Tipo di farmaco | Nome commerciale | P.A. | Interventi | Dose | Unità di misura |
|-------------|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------|------|-----------------|
| Pomodoro | Fungicida | Previcur | Propamocarb Hydrochloride | 1 | 1 | l/ha |
| | | Ridomil | Metalaxyl-M | 2 | 3 | l/ha |
| | | Caddy | Ciproconazolo | 1 | 0.05 | kg/ha |
| | | Tiovit jet | Olio minerale | 2 | 1.5 | kg/ha |
| | Erbicida | - | - | - | - | - |
| | Insetticida | Actara | Thiamethoxam | 1 | 0.4 | kg/ha |
| | | Decis | Deltamethrin | 3 | 0.5 | l/ha |
| | | Rufast | Acrinathrin | 1 | 0.5 | l/ha |
| | | Vertimec | Abamectin | 1 | 1 | l/ha |
| | Insalata | Fungicida | Previcur | Propamocarb Hydrochloride | 1 | 1 |
| Coprantol | | | Ossicloruro di rame | 2 | 1.5 | kg/ha |
| Erbicida | | Kerb | Propyzamide | 1 | 4 | kg/ha |
| Insetticida | | Decis | Deltamethrin | 2 | 0.5 | l/ha |
| Melone | Fungicida | Ridomil | Metalaxyl-M | 1 | 4 | l/ha |
| | | Topas 10 | Penconazole | 3 | 0.25 | l/ha |
| | Erbicida | - | - | - | - | - |
| | Insetticida | Confidor | Imidacloprid | 1 | 0.25 | l/ha |

3.1.2 Analisi dell'impatto ambientale dovuto all'uso di fertilizzanti

Per la valutazione dell'impatto derivato dall'uso dei fertilizzanti come prima cosa si è proceduto alla quantificazione degli apporti di elementi nutritivi come sopra esposto, sia per le colture in pieno campo che per le colture in serra. Successivamente è stato effettuato un confronto tra la fertilizzazione reale effettuata dalle aziende e la fertilizzazione teorica per ogni singola coltura.

Il confronto ha riguardato i valori di concimazione in azoto (N), anidride fosforica (P_2O_5) e ossido di potassio (K_2O).

I valori di concimazione teorica utilizzati per il confronto sono stati ricavati tenendo conto delle produttività raggiunte dalle colture e dei quantitativi di fertilizzanti da applicare alle colture sulla base delle produzioni specifiche riportati nel "Nuovo manuale di concimazione" di Perelli M. e Pimpini F. (2003).

3.1.3 Analisi dell'impatto ambientale dovuto all'uso di pesticidi

Da una prima analisi dei dati rilevati nel monitoraggio è emerso che nell'area oggetto di studio, sia per le coltivazioni in pieno campo sia per le coltivazioni in ambiente protetto, viene utilizzata una grande quantità di principi attivi, diversi tra loro e pertanto difficilmente confrontabili.

Al fine di poter confrontare i diversi principi attivi utilizzati e di valutarne gli effetti si è cercato di elaborare degli indici di pericolosità dei fitofarmaci basati sulle seguenti caratteristiche:

- tossicità;
- solubilità;
- persistenza nel terreno.

Per quanto riguarda l'indice di tossicità è stata presa in considerazione la "Classificazione dei prodotti fitosanitari" come riportato nel D.Lgs. n. 194 del 17 marzo 1995, che dà attuazione in Italia della direttiva 91/414/CEE in materia di immissione in commercio di prodotti fitosanitari.

Secondo l'art. 2, lett. A del D.Lgs., i prodotti fitosanitari comprendono tutti i fitofarmaci destinati alla protezione delle piante e sono classificati secondo le normative della Comunità europea in:

- molto tossici;
- tossici;
- nocivi;
- irritanti;
- facilmente infiammabili;
- comburenti.

Ad ognuna di queste classi è stato attribuito un indice variabile da 0.25 a 1.5 come riportato nella tabella 3:

Tabella 3. Indice di pericolosità per classe tossicologica.

| CLASSE TOSSICOLOGICA | INDICE DI PERICOLOSITA' |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Comburenti | 0.25 |
| Facilmente infiammabili | 0.5 |
| Irritanti | 0.75 |
| Nocivi | 1.0 |
| Tossici | 1.25 |
| Molto tossici | 1.5 |

Per la determinazione degli indici di pericolosità sulla base della solubilità in acqua si è proceduto individuando prima l'intervallo che comprende i valori di solubilità dei diversi principi attivi adottati, individuati a loro volta sulla base dei nomi commerciali dei prodotti applicati.

L'intervallo di solubilità così individuato, compreso tra 0.002 g/l e 20 g/l è stato suddiviso in 5 classi ad ognuna delle quali è stato attribuito un indice variabile da 0.5 a 1.5.

I valori attribuiti ad ogni classe di solubilità sono riportati nella tabella 4.

Tabella 4. Indice di pericolosità per classe di solubilità.

| CLASSE DI SOLUBILITA' | INDICE DI PERICOLOSITA' |
|------------------------------|--------------------------------|
| S < 0.002 g/l | 0.5 |
| 0.002 g/l < S < 0.02 g/l | 0.75 |
| 0.02 g/l < S < 2 g/l | 1.0 |
| 2 g/l < S < 20 g/l | 1.25 |
| S > 20 g/l | 1.5 |

Infine, per quanto riguarda la persistenza dei prodotti chimici utilizzati nella difesa si è proceduto come per la determinazione delle classi di solubilità.

Sulla base dei nomi commerciali dei prodotti utilizzati è stato possibile individuare i principi attivi e la relativa persistenza del principio attivo nel terreno (“*mezza vita*” del fitofarmaco).

L’intervallo di dimezzamento dei prodotti utilizzati è risultato compreso tra un minimo di alcune ore e un massimo di 180 giorni ed è stato suddiviso in 5 classi e ad ognuna delle quali è stato attribuito un indice variabile da 0.5 a 1.5 (tabella 5).

Tabella 5. Indice di pericolosità per classe di Persistenza.

| CLASSE DI PERSISTENZA | INDICE DI PERICOLOSITA’ |
|------------------------------|--------------------------------|
| DT50 < 20 gg | 0.5 |
| 21 gg < DT50 < 60 gg | 0.75 |
| 61 gg < DT50 < 100 gg | 1.0 |
| 101 gg < DT50 < 140 gg | 1.25 |
| DT50 > 141 gg | 1.5 |

Le quantità “teoriche” dei prodotti chimici utilizzati sono state calcolate moltiplicando la dose per il numero degli interventi, per la percentuale di p.a. e per ciascuno di questi indici. Tali quantità sono state sommate e sulla base dei valori ottenuti è stato valutato l’uso dei prodotti chimici a livello aziendale per i fungicidi, gli erbicidi e gli insetticidi sia in pieno campo sia in ambiente protetto.

Successivamente si è cercato di raggruppare le informazioni ottenute considerando simultaneamente gli indici di tossicità, di solubilità e di persistenza per i fungicidi, gli erbicidi e gli insetticidi in modo tale da ottenere tre valori per ogni azienda e per ogni singola coltura.

Sommando, infine, i valori ottenuti per coltura e, sulla base della media ponderata con le superfici investite, per azienda è stato ottenuto un indicatore globale finale dell'uso dei prodotti chimici nella difesa delle colture a livello aziendale.

Al fine di approfondire lo studio relativo alla valutazione dell'impatto sull'ambiente dei fitofarmaci è stato utilizzato il modello proposto da Wijnands and Vereijken (Wijnands and Vereijken 1992; Wijnands, 1997).

Il modello si basa sulla determinazione di indici di esposizione dell'ambiente ai pesticidi distinguendo aria, suolo e acqua di falda:

$$\mathbf{EEP-air} = n^{\circ} \text{ interventi} \times \text{dose} \times \% \text{ p.a.} \times \text{VP} \quad [\text{kg mPa/ha}]$$

$$\mathbf{EEP-soil} = n^{\circ} \text{ interventi} \times \text{dose} \times \% \text{ p.a.} \times \text{DT50} \quad [\text{kg days/ha}]$$

$$\mathbf{EEP-groundwater} = n^{\circ} \text{ interventi} \times \text{dose} \times \% \text{ p.a.} \times \text{DT50} \times K_{\text{om}} \quad [\text{l days/ha}]$$

dove:

$$\text{VP} = \text{pressione di vapore} \quad [\text{mPa}]$$

$$\text{DT50} = \text{tempo di degradazione al 50\%} \quad [\text{days}]$$

$$K_{\text{om}} = \text{coefficiente di ripartizione sostanza organica-acqua} \quad [\text{l/kg}]$$

$$K_{om} = \frac{K_{oc} \times \% \text{ c.o.}}{\% \text{ s.o.}}$$

K_{oc} = coefficiente di ripartizione carbonio organico-acqua [l/kg]

Sulla base degli apporti di pesticidi, distinti in fungicidi, erbicidi e insetticidi, per ogni singola coltura e per ogni azienda sono stati calcolati i tre tipi di indici di esposizione dell'ambiente.

La valutazione del rischio ambientale da pesticidi ha richiesto di prendere in considerazione tutte le colture che all'interno dell'anno occupavano la stessa superficie di terreno.

Per valutare in quali aree della zona oggetto di studio l'esposizione ai pesticidi è più marcata sono stati riportati i tre tipi di indici, determinati per ogni coltura e per ogni azienda monitorata, su carte tematiche caratterizzanti il territorio (Regione Lazio, 2002). Le carte tematiche ottenute sono:

1. EEP-air sulla carta geografica;
2. EEP-soil sulla carta idrogeologica;
3. EEP-groundwater sulla carta della vulnerabilità degli acquiferi.

Le aziende sono state classificate e rappresentate in base a questi indici in 3 classi, la prima delle quali è delimitata superiormente dal valore medio dell'indice.

3.2 VALUTAZIONE DELLE TRASFORMAZIONI SUBITE NEL TERRENO DAI NUTRIENTI E DAI PESTICIDI

Per un ulteriore sviluppo dello studio dell'impatto ambientale dell'orticoltura in ambiente protetto, oltre all'analisi dei dati rilevati nel monitoraggio delle aziende orticole, si è ritenuto necessario valutare le trasformazioni nel terreno e le perdite per percolazione dei nutrienti e dei pesticidi apportati durante le coltivazioni.

Le trasformazioni subite nel terreno dai nutrienti e dai pesticidi, sia per le colture in pieno campo sia per quelle in ambiente protetto, sono state determinate mediante l'applicazione del modello di simulazione GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System) (Leonard et al. 1987).

3.2.1 Il modello GLEAMS

Il modello GLEAMS, sviluppato presso l'Università della Georgia in collaborazione con il Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (USDA), consente di quantificare la mobilitazione dei nutrienti e dei fitofarmaci nello strato esplorato delle radici e le quantità asportate per percolazione e per erosione del suolo.

Tale modello, validato già in vari paesi caratterizzati da condizioni edafiche e climatiche diverse (Magliola et al., 1992; Knisel, 1993, Rekolainena et al., 2000; Dukes, 2000; Siimes, 2003; Hashim, 2005; ecc.), tiene conto nella simulazione dei seguenti elementi:

- sviluppo delle piante;
- attività microbica;
- evapotraspirazione;
- apporti delle precipitazioni;
- caratteristiche del terreno;
- pratiche colturali.

L'applicazione del modello, che può essere effettuata per un numero senza limite di anni, richiede dati di input riguardanti le caratteristiche naturali del territorio (meteorologia, pedologia, morfologia, ecc.) e le attività antropiche (pratiche colturali e criteri di gestione del territorio) (figura 3).

I dati richiesti dal software devono essere riportati in sei file di input riguardanti rispettivamente le temperature, gli apporti idrici (piogge e irrigazione), gli elementi che influenzano l'erosione, gli elementi che regolano il ciclo idrologico, gli apporti di nutrienti e gli apporti di pesticidi.

Attraverso l'utilizzo di un comune editor di testo sono stati generati due file di input in formato ASCII riguardanti rispettivamente gli apporti idrici e le temperature. Tali file redatti secondo le esigenze del modello contengono 37 stringhe per anno all'interno delle quali sono presenti 10 campi occupati da valori giornalieri.

Nel file degli apporti idrici in ogni campo è stato riportato il valore in cm di acqua scaturito dalla somma della precipitazione e dell'irrigazione (figura 4), mentre nel file della temperatura per ogni campo è stata riportata la temperatura media giornaliera (°C) (figura 5).

Figura 3. Input ed output della simulazione effettuata con il GLEAMS.

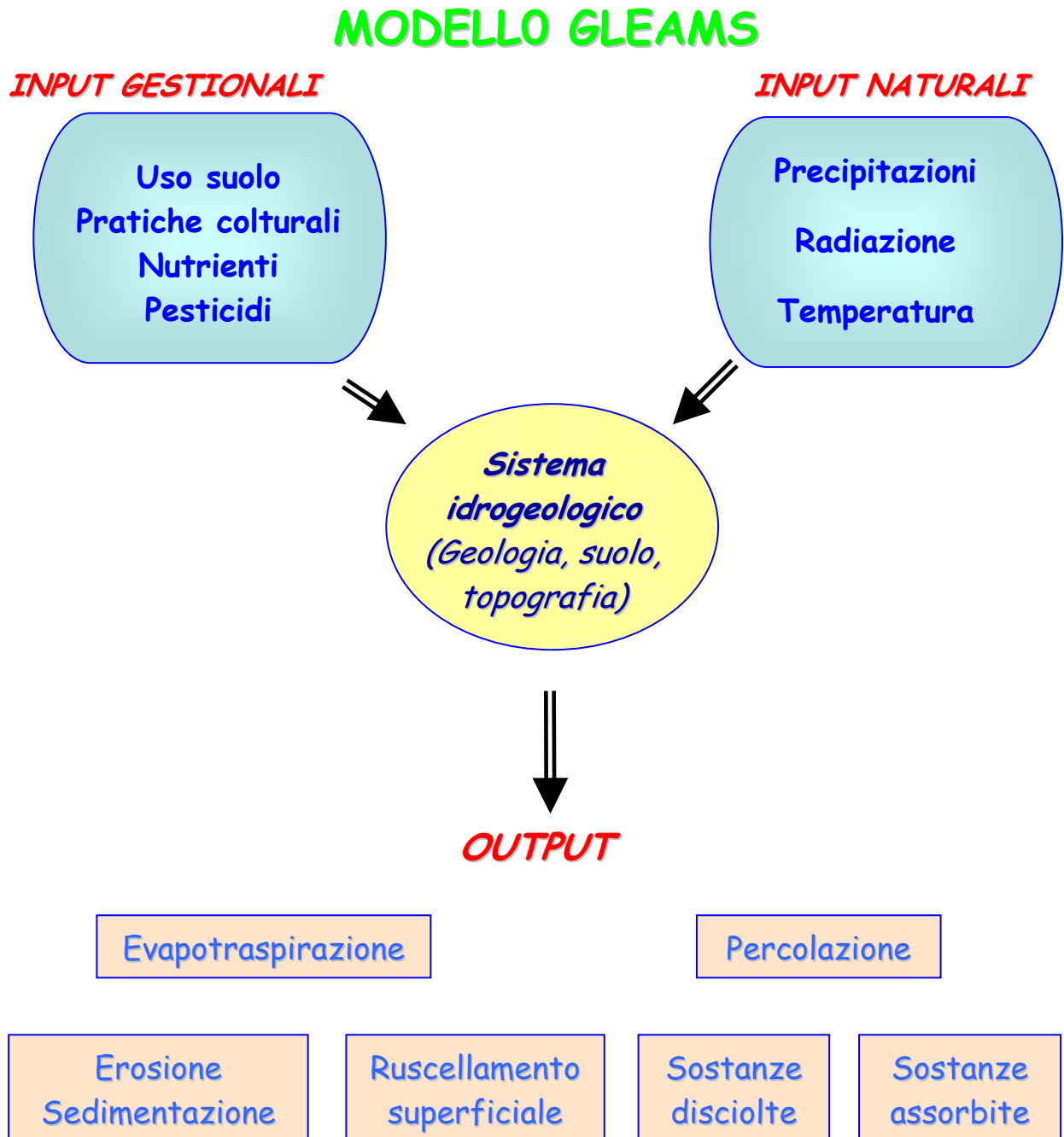


Figura 4. Dati di input relativi agli apporti idrici.

| | | | | |
|-----|----|----|---|----|
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.00 | 01 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0800.0200.0000.0000.0000.9001.7600.00 | 02 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.9600.0400.1400.0000.2800.0000.0000.00 | 03 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.00 | 04 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0000.0000.0000.0600.0000.0000.0000.50 | 05 |
| PCP | P2 | 05 | 00.8800.3400.0801.0801.8000.0000.0000.2800.0000.00 | 06 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0002.7200.4200.7400.1000.0000.0000.0000.0000.00 | 07 |
| PCP | P2 | 05 | 00.2800.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.00 | 08 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0800.1200.0000.4000.0000.0000.0000.28 | 09 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0000.0000.0000.0000.0000.2200.1801.7001.16 | 10 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.6400.0000.0001.4200.1400.0400.0400.00 | 11 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.1400.0800.0200.0400.0000.0000.0000.0000.00 | 12 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.6000.0000.0000.0000.0000.0000.0002.4000.00 | 13 |
| PCP | P2 | 05 | 02.4000.0002.4000.0000.0000.0000.7600.8402.4000.0002.40 | 14 |
| PCP | P2 | 05 | 02.4000.0002.4000.0002.4000.0002.4000.0000.0002.40 | 15 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0002.4000.0002.4000.0000.0002.4000.0002.4000.00 | 16 |
| PCP | P2 | 05 | 02.4000.0000.0000.0004.8000.0005.1800.0000.0200.00 | 17 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0004.8000.0004.8000.0000.0000.0000.0004.8000.00 | 18 |
| PCP | P2 | 05 | 04.8000.0000.0000.0000.0004.8000.0004.8000.0000.00 | 19 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0004.8000.0004.8000.0000.0000.0000.0002.40 | 20 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0000.0000.0000.0002.4000.0000.0000.00 | 21 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0002.4001.0200.0000.0000.0000.0000.00 | 22 |
| PCP | P2 | 05 | 02.4000.0000.0000.0000.0000.1000.1600.0400.0000.0000.60 | 23 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0601.2200.5400.0000.1000.0000.1000.0000.1000.22 | 24 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0000.0000.0001.0000.0001.0000.0001.0000.0002.70 | 25 |
| PCP | P2 | 05 | 00.0006.3600.0001.0000.0001.0000.0001.0000.0000.24 | 26 |

Figura 5. Dati di input relativi alla temperatura media giornaliera

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|
| TEMP | A | 05 | 08.4 | 07.9 | 08.7 | 08.1 | 07.6 | 08.0 | 08.3 | 08.6 | 08.4 | 08.1 | C* | 01 |
| TEMP | A | 05 | 08.4 | 08.4 | 08.4 | 08.6 | 08.2 | 07.6 | 07.6 | 08.0 | 08.2 | 08.1 | C* | 02 |
| TEMP | A | 05 | 08.0 | 08.7 | 09.0 | 08.5 | 08.2 | 08.5 | 08.1 | 08.0 | 08.7 | 07.8 | C* | 03 |
| TEMP | A | 05 | 07.8 | 08.0 | 07.6 | 08.4 | 09.1 | 08.2 | 08.6 | 08.4 | 09.2 | 09.4 | C* | 04 |
| TEMP | A | 05 | 09.0 | 08.5 | 08.1 | 08.1 | 07.8 | 08.6 | 08.3 | 08.8 | 08.4 | 08.4 | C* | 05 |
| TEMP | A | 05 | 08.3 | 08.1 | 08.5 | 08.2 | 08.5 | 08.7 | 09.1 | 09.4 | 09.7 | 10.1 | C* | 06 |
| TEMP | A | 05 | 10.3 | 09.8 | 09.8 | 09.9 | 09.5 | 09.7 | 09.8 | 10.3 | 09.8 | 09.7 | C* | 07 |
| TEMP | A | 05 | 09.5 | 09.7 | 10.2 | 10.4 | 10.8 | 10.2 | 10.3 | 10.1 | 10.6 | 10.3 | C* | 08 |
| TEMP | A | 05 | 10.7 | 11.1 | 10.7 | 10.9 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 11.4 | C* | 09 |
| TEMP | A | 05 | 11.9 | 11.8 | 12.0 | 12.3 | 12.3 | 12.3 | 12.7 | 12.6 | 12.8 | 12.3 | C* | 10 |
| TEMP | A | 05 | 12.0 | 12.1 | 12.0 | 11.5 | 12.2 | 13.6 | 12.4 | 11.6 | 11.6 | 11.8 | C* | 11 |
| TEMP | A | 05 | 12.1 | 12.5 | 13.0 | 12.9 | 13.2 | 13.1 | 13.8 | 14.1 | 13.5 | 13.5 | C* | 12 |
| TEMP | A | 05 | 14.5 | 15.1 | 15.8 | 15.7 | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 15.8 | 16.0 | 15.7 | C* | 13 |
| TEMP | A | 05 | 16.0 | 16.1 | 17.0 | 16.8 | 16.5 | 16.9 | 16.7 | 17.0 | 17.4 | 17.3 | C* | 14 |
| TEMP | A | 05 | 17.0 | 17.3 | 17.9 | 17.8 | 17.9 | 18.5 | 18.3 | 18.3 | 18.4 | 18.4 | C* | 15 |
| TEMP | A | 05 | 18.6 | 18.8 | 18.9 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.9 | 19.4 | 19.4 | 19.6 | C* | 16 |
| TEMP | A | 05 | 18.9 | 19.8 | 19.9 | 19.8 | 20.2 | 20.5 | 20.1 | 20.2 | 20.2 | 20.3 | C* | 17 |
| TEMP | A | 05 | 20.9 | 20.6 | 20.5 | 21.0 | 20.9 | 21.1 | 22.0 | 21.8 | 22.0 | 22.2 | C* | 18 |
| TEMP | A | 05 | 22.4 | 22.4 | 22.8 | 23.1 | 23.2 | 22.6 | 23.1 | 23.1 | 22.7 | 22.5 | C* | 19 |
| TEMP | A | 05 | 22.7 | 22.4 | 22.3 | 22.7 | 22.6 | 22.9 | 23.3 | 22.9 | 23.3 | 23.5 | C* | 20 |
| TEMP | A | 05 | 23.1 | 23.0 | 23.5 | 23.5 | 23.9 | 23.9 | 24.2 | 24.3 | 23.9 | 24.2 | C* | 21 |
| TEMP | A | 05 | 24.2 | 24.3 | 24.3 | 24.4 | 24.7 | 25.3 | 25.2 | 24.9 | 24.7 | 24.5 | C* | 22 |
| TEMP | A | 05 | 24.7 | 24.4 | 24.6 | 24.5 | 24.2 | 24.2 | 24.6 | 24.7 | 24.3 | 24.5 | C* | 23 |
| TEMP | A | 05 | 24.7 | 24.7 | 24.5 | 24.3 | 24.0 | 23.9 | 23.8 | 23.6 | 23.5 | 23.3 | C* | 24 |
| TEMP | A | 05 | 22.8 | 22.7 | 22.0 | 21.7 | 22.2 | 22.3 | 22.5 | 21.9 | 21.8 | 21.8 | C* | 25 |
| TEMP | A | 05 | 21.7 | 22.3 | 22.0 | 21.4 | 21.4 | 21.6 | 21.2 | 21.2 | 20.8 | 21.2 | C* | 26 |

I dati di precipitazione e di temperatura applicati nella simulazione in pieno campo sono stati estrapolati da dati rilevati presso la stazione meteorologica dell'ARSIAL di Tarquinia mentre i dati climatici per la simulazione riguardante l'ambiente protetto sono stati determinati sulla base di serie storiche di dati registrati in serre tipiche dell'area di studio.

I quantitativi di acqua apportati mediante irrigazione, sia per la coltivazione in ambiente protetto sia in pieno campo, sono stati determinati sulla base dei dati rilevati nel monitoraggio delle aziende.

Attraverso l'utilizzo di software correlati al modello di simulazione (ERO.EXE, IDRO.EXE, NUT.EXE e PST.EXE) (esempio riportato in figura 6) è stato possibile generare, per ogni sistema di coltivazione, altri quattro file di input (*.par):

- *EROSIONE.par*;
- *IDROLOGIA.par*;
- *NUTRIENTI.par*;
- *PESTICIDI.par*.

Nel file *EROSIONE.par* oltre ad indicare gli anni della simulazione sono stati inseriti i dati relativi alle caratteristiche morfologiche, topografiche e di suscettibilità all'erosione del campo (la superficie delle particelle di argilla, la lunghezza e la pendenza delle superfici ecc).

Il file riguardante l'idrologia, *IDROLOGIA.par*, riporta i dati climatici medi mensili del sito (temperatura massima, temperatura minima, radiazione solare) e le informazioni relative alle pratiche colturali adottate per ogni singola coltura (periodo di coltivazione, tipo di irrigazione, lavorazioni e raccolta) secondo la rotazione colturale adottata.

I dati necessari alla simulazione e diversi da quelli inseriti nel file dell'idrologia, come le caratteristiche colturali di ogni singola coltura, sono contenuti in un data base incluso nel software.

Nel file dell'idrologia c'è inoltre la possibilità di indicare, attraverso identificativo, sino a venti variabili che individuano i risultati, mensili o annuali, ottenibili dai file di output che vengono riportati in un ulteriore file di output.

Figura 6. Interfaccia software IDRO.EXE

The screenshot shows a DOS-style window titled 'C:\DOCUMENTI\ppoooi\Desktop\DOTTOR-1\GLMC1\HYD.EXE'. The menu includes 'File', 'Climate', 'Setup', 'Utilities', and 'Help'. Below the menu, the path 'c:\glmc1\succ\pc\ir\h.par' is shown. The main content displays 'PARAMETRI IDROLOGICI Simulazione Zona Litoranea Alto LAZIO - Pieno Campo UITERBO ITALY' followed by a table of 15 parameters (Card no. 4-15) with values for various categories. At the bottom, there is a prompt for 'HBDATE' (Beginning date) with a range of 0 to 2099365.

| Card no. | Climate | Hydrology | Parameter | Worksheet | Utilities | Help |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 4 | 2005000 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 3001 | 3002 | 3003 | 3004 | 3006 | 3008 |
| 5 | 3003 | 3904 | 3915 | 3916 | 3917 | 3918 |
| 6 | 1.0 | 0.5 | 0.8 | 3.5 | 30 | 0.03 |
| 7 | 2 | 1 | 30.0 | | | |
| 8 | 0.40 | | | | | |
| 9 | 0.22 | | | | | |
| 10 | 0.08 | | | | | |
| 11 | 0.5 | | | | | |
| 12 | 1.8 | | | | | |
| 13 | 15.0 | | | | | |
| 14 | 25.0 | | | | | |
| 15 | 7.8 | | | | | |

HBDATE Beginning date <year and Julian day> for hydrology simulation.
Range : 0 - 2099365

Nel file dei nutrienti, *NUTRIENTI.par*, devono essere riportati per ogni singola coltura e sulla base della successione colturale adottata, le date relative alla semina e alla raccolta, le date dei diversi interventi colturali, il giorno in cui si eseguono la fertilizzazione specificando il tipo di intervento e il quantitativo di nutrienti (azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo) apportati.

Nel file dei pesticidi, *PESTICIDI.par*, sono stati riportati i principi attivi apportati per ogni coltura, le date in cui si eseguono i singoli interventi specificando le modalità e le quantità di sostanze utilizzate.

Per i p.a. utilizzati e non presenti nel data base si è provveduto al loro inserimento e dei relativi dati richiesti nello stesso.

Durante la simulazione vengono calcolati dati relativi al bilancio idrico, all'erosione, alle trasformazioni e alle perdite dei nutrienti (azoto e fosforo) e dei pesticidi per percolazione, ruscellamento ed erosione superficiali.

I risultati della simulazione vengono riportati in quattro file di output:

- *EROSIONE.out*;
- *IDROLOGIA.out*;
- *NUTRIENTI.out*;
- *PESTICIDI.out*.

ed in un file *VAR.out* che contiene solo venti delle variabili di output opportunamente scelte dall'utente e presenti nei file sopra indicati.

3.2.2 Applicazione del modello GLEAMS

Al fine di confrontare le trasformazioni subite nel terreno dai nutrienti e dei pesticidi in pieno campo e in ambiente protetto sono state eseguite le simulazioni di seguito descritte.

In primo luogo è stata simulata la coltura di pomodoro da mensa, rappresentativa dell'orticoltura nell'area oggetto di studio, sia in serra che in

pien'aria facendo riferimento ai dati del monitoraggio e ai dati climatici relativi al 2005.

La simulazione della coltura del pomodoro in ambiente protetto è stata eseguita tenendo conto che il periodo di coltivazione è anticipato rispetto a quello della coltivazione in pien'aria.

In particolare, dal monitoraggio delle aziende, è emerso che nell'area oggetto di studio la coltivazione del pomodoro in pieno campo, generalmente, va dal mese di maggio al mese di agosto mentre in ambiente protetto viene anticipata al mese di aprile e termina nel mese di luglio.

Nelle tabelle 6, 7, 8 e 9 sono riportati gli apporti di fertilizzanti e di pesticidi applicati sia in ambiente protetto sia in pieno campo per la coltura di pomodoro, tutti dati di input della simulazione.

Tabella 6. Concimazioni per coltura di pomodoro in pieno campo.

| | Tipo concime | Quantità kg/ha | Titoli | | | | | Quantità nutrienti kg/ha | | | | | |
|----------|-----------------|-------------------|--------|-----------|----------|----|----|--------------------------|--------------|-----------|--------------|------------|------------|
| | | | N amm. | N nitrico | N totale | P | K | Tot. Amm. | Tot. Nitrico | N | P | K | |
| Pomodoro | Concimazione | 8/16/24 | 600 | 7 | 1 | 8 | 16 | 24 | 42 | 6 | 48 | 96 | 144 |
| | | 18/46 | 400 | 18 | 0 | 18 | 46 | 0 | 72 | 0 | 72 | 184 | 0 |
| | Fertirrigazione | 12//60 | 30 | 12 | 0 | 12 | 60 | 0 | 3.6 | 0 | 3.6 | 18 | 0 |
| | | solfato ammonico | 300 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| | | nitrato di calcio | 300 | 0 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 | 45 | 45 | 0 | 0 |
| | Totale | | | | | | | | 177.6 | 51 | 228.6 | 298 | 144 |

Tabella 7. Concimazioni per coltura di pomodoro in ambiente protetto.

| | Tipo concime | Quantità kg/ha | Titoli | | | | | Quantità nutrienti kg/ha | | | | | |
|----------|-----------------|-------------------------------|--------|-----------|----------|------|----|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | N amm | N nitrico | N totale | P | K | Tot. Amm. | Tot. Nitrico | N | P | K | |
| Pomodoro | Concimazione | pollina | 250 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | biotec 5N 27Ca | 300 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 |
| | | nutrileaf 9/15/30 | 600 | 6 | 3 | 9 | 15 | 30 | 36 | 18.0 | 54.0 | 90.0 | 180.0 |
| | | 6/21/36 | 200 | 2 | 4 | 6 | 21 | 36 | 4 | 8.0 | 12.0 | 42.0 | 72.0 |
| | Fertirrigazione | nitrophoska blu 12/12/17 | 600 | 6.5 | 5.5 | 12 | 12 | 17 | 39 | 33.0 | 72.0 | 72.0 | 102.0 |
| | | fosfato monopotassico 0/52/34 | 200 | 0 | 14 | 14 | 52 | 34 | 0 | 28.0 | 28.0 | 104.0 | 68.0 |
| | | nitrato di calcio 15.5/0/26.5 | 200 | 0 | 15.5 | 15.5 | 0 | 26.5 | 0 | 31.0 | 31.0 | 0.0 | 53.0 |
| | Totale | | | | | | | | 79.0 | 118.0 | 202.0 | 313.0 | 475.0 |

Tabella 8. Fitofarmaci utilizzati per il pomodoro in pieno campo.

| | Nome commerciale | P. A. | Solubilità in acqua (mg/l) | DT50 (giorni) | Koc (ml/g) | N. interventi | Apporti (kg/ha) |
|-----------------|------------------|--------------|----------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------|
| Pomodoro | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 3 | 4 |
| | Sencor | Metribuzin | 1220 | 40 | 60 | 2 | 0.4 |
| | Confidor | Imidalcoprid | 510 | 191 | 189 | 1 | 0.5 |
| | Actara | thiamethoxam | 4100 | 50 | 70 | 1 | 0.5 |
| | timet | Forate | 50 | 63 | 1660 | 1 | 20 |

Tabella 9. Fitofarmaci utilizzati per il pomodoro in ambiente protetto.

| | Nome commerciale | P. A. | Solubilità in acqua (mg/l) | DT50 (giorni) | Koc (ml/g) | N. interventi | Apporti (kg/ha) |
|-----------------|-------------------|---------------|----------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------|
| Pomodoro | Previcur | Propamocarb | 1005000 | 39 | 535 | 1 | 0.72 |
| | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 2 | 0.12 |
| | Caddy | Ciproconazolo | 93 | 114 | 390 | 1 | 0.05 |
| | Tiovit jet | Zolfo | 0.001 | 1000 | 1000 | 2 | 1.50 |
| | Actara | Thiamethoxam | 4100 | 50 | 70 | 1 | 0.40 |
| | Decis | Deltametrina | 0.0002 | 13 | 460000 | 3 | 0.01 |
| | Rufast | Acrinatrina | 0.02 | 52 | 73960 | 1 | 0.04 |
| | Vertimec | Abamectina | 0.008 | 30 | 14000 | 1 | 0.02 |

Successivamente, la simulazione della trasformazione dei nutrienti e pesticidi è stata svolta considerando gli avvicendamenti colturali tipici dell'area oggetto di studio così come sono emersi dal monitoraggio delle aziende (tabella 10).

Tabella 10. Avvicendamenti colturali tipici del litorale dell'alto Lazio.

| PIENO CAMPO | | |
|--------------------|----------------|---------------------------|
| Anno | Coltura | Periodo |
| 2005 | Pomodoro | 1 Maggio - 15 Agosto |
| | Cavolo | 20 Agosto - 31 Dicembre |
| 2006 | Melone | 1 Maggio - 31 Luglio |
| | Finocchio | 10 Agosto - 20 Dicembre |
| SERRA | | |
| Anno | Coltura | Periodo |
| 2005 | Melone | 20 Marzo - 30 Giugno |
| | Pomodoro | 20 Luglio - 31 Dicembre |
| 2006 | Melone | 20 Marzo - 30 Giugno |
| | Zucchino | 10 Agosto - 31 Ottobre |
| | Lattuga | 10 Novembre - 31 Dicembre |

Nelle tabelle 11 e 12 sono riportati il tipo di concimazione adottata e gli elementi nutritivi apportati per ogni singola coltura in successione rispettivamente in pien'aria e in ambiente protetto.

Per quanto riguarda i fitofarmaci, nelle tabelle 13 e 14, sono stati indicati gli apporti e i rispettivi principi attivi adottati nelle pratiche di difesa per ogni singola coltura sia in pieno campo che in ambiente protetto.

Tabella 11. Concimazioni per coltura dell'avvicendamento tipo in pieno campo.

| Anno | Coltura | Tipo di concimazione | Tipo concime | Quantità kg/ha | Titoli | | | | | Quantità nutrienti kg/ha | | | | |
|-----------------|---------------|----------------------|-------------------|----------------|--------|-----------|----------|----|--------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | | | | | N amm. | N nitrico | N totale | P | K | Tot. Amm. | Tot. Nitrico | N | P | K |
| 2005 | Pomodoro | Concimazione | 8/16/24 | 600 | 7 | 1 | 8 | 16 | 24 | 42.0 | 6.0 | 48.0 | 96.0 | 144.0 |
| | | | 18/46 | 400 | 18 | 0 | 18 | 46 | 0 | 72.0 | 0.0 | 72.0 | 184.0 | 0.0 |
| | | Fertirrigazione | 12//60 | 30 | 12 | 0 | 12 | 60 | 0 | 3.6 | 0.0 | 3.6 | 18.0 | 0.0 |
| | | | solfato ammonico | 300 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 60.0 | 0.0 | 60.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | | nitrato di calcio | 300 | 0 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0.0 | 45.0 | 45.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Totale | | | | | | | | 177.6 | 51 | 228.6 | 298 | 144 | |
| | Cavolo | Concimazione | solfato ammonico | 300 | 20 | 0 | 20 | 0 | 0 | 60.0 | 0.0 | 60.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | | biammonico | 400 | 18 | 0 | 18 | 46 | 0 | 70.0 | 0.0 | 70.0 | 184.0 | 0.0 |
| | | Totale | | | | | | | | 130 | 0 | 130 | 184 | 0 |
| | 2006 | Melone | Concimazione | 18/46 | 400 | 18 | 0 | 18 | 46 | 0 | 72.0 | 0.0 | 72.0 | 184.0 |
| 5/12//25 | | | | 200 | 2 | 3 | 5 | 12 | 25 | 4.0 | 6.0 | 10.0 | 24.0 | 50.0 |
| Fertirrigazione | | | 12//61 | 50 | 12 | 0 | 12 | 61 | 0 | 6.0 | 0.0 | 6.0 | 30.5 | 0.0 |
| | | | 20/20//20 | 50 | 2.4 | 3.4 | 20 | 20 | 20 | 1.2 | 1.7 | 2.9 | 10.0 | 10.0 |
| | | | k | 50 | 0 | 0 | | 0 | 51 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 25.5 |
| | | | nitrato di calcio | 50 | 0 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0.0 | 7.5 | 7.5 | 0.0 | 0.0 |
| Totale | | | | | | | | | 83.2 | 15.2 | 98.4 | 248.5 | 85.5 | |
| Finocchio | | Concimazione | 18/46 | 400 | 18 | 0 | 18 | 46 | 0 | 72.0 | 0.0 | 72.0 | 184.0 | 0.0 |
| | | | nitrato di calcio | 400 | 0 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0.0 | 60.0 | 60.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | Totale | | | | | | | | 72.0 | 60.0 | 132.0 | 184.0 | 0.0 |

Tabella 12: Concimazioni per coltura dell'avvicendamento tipo in ambiente protetto.

| Anno | Coltura | Tipo di concimazione | Tipo concime | Quantità kg/ha | Titoli | | | | | Quantità nutrienti kg/ha | | | | |
|----------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|--------|-----------|----------|------|-------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | N amm. | N nitrico | N totale | P | K | Tot. amm. | Tot. nitrico | N | P | K |
| 2005 | Melone | Concimazione | 11/22/16 | 600 | 11 | 0 | 11 | 22 | 16 | 66.0 | 0.0 | 66.0 | 132.0 | 96.0 |
| | | | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | Fertirrigazione | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | | Solfato di k (51%) | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 61.2 |
| | | Fogliare | nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 20 | 0 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0.0 | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.0 |
| | | Totale | | | | | | | | 66.0 | 57.8 | 123.8 | 220.0 | 201.2 |
| | Pomodoro | Concimazione | pollina | 250 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | | biotec 5N 27Ca | 300 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 |
| | | | nutrileaf 9/15/30 | 600 | 6 | 3 | 9 | 15 | 30 | 36.0 | 18.0 | 54.0 | 90.0 | 180.0 |
| | | | 6/21/36 | 200 | 2 | 4 | 6 | 21 | 36 | 4.0 | 8.0 | 12.0 | 42.0 | 72.0 |
| | | Fertirrigazione | nitrophoska blu 12/12/17 | 600 | 6.5 | 5.5 | 12 | 12 | 17 | 39.0 | 33.0 | 72.0 | 72.0 | 102.0 |
| | | | fosfato monopotassico 0/52/34 | 200 | 0 | 14 | 14 | 52 | 34 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 104.0 | 68.0 |
| | | nitrate di calcio 15.5/0/26.5 | 200 | 0 | 15.5 | 15.5 | 0 | 26.5 | 0.0 | 31.0 | 31.0 | 0.0 | 53.0 | |
| | Totale | | | | | | | | 79.0 | 118.0 | 202.0 | 313.0 | 475.0 | |
| 2006 | Melone | Concimazione | 11/22/16 | 600 | 11 | 0 | 11 | 22 | 16 | 66.0 | 0.0 | 66.0 | 132.0 | 96.0 |
| | | | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | Fertirrigazione | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | | Solfato di k (51%) | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 61.2 |
| | | Fogliare | nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 20 | 0 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0.0 | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.0 |
| | | Totale | | | | | | | | 66.0 | 57.8 | 123.8 | 220.0 | 201.2 |
| | Zucchini | Concimazione | 11/22/16 | 500 | 11 | 0 | 11 | 22 | 16 | 55.0 | 0.0 | 55.0 | 110.0 | 80.0 |
| | | Fertirrigazione | fosfato ammonico | 30 | 12 | 0 | 12 | 61 | 0 | 3.6 | 0.0 | 3.6 | 18.3 | 0.0 |
| | | | 20/20/20 | 30 | 2.4 | 3.4 | 20 | 20 | 20 | 0.7 | 1.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 |
| | | | nitrophoska blu 12/12/17 | 300 | 6.5 | 5.5 | 12 | 12 | 17 | 19.5 | 16.5 | 36.0 | 36.0 | 51.0 |
| | | Totale | | | | | | | | 78.8 | 17.5 | 100.6 | 170.3 | 137.0 |
| | Lattuga | Concimazione | 11/22/16 | 300 | 6 | 7 | 13 | 13 | 21 | 18.0 | 21.0 | 39.0 | 39.0 | 63.0 |
| | | | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | Fertirrigazione | 14/22/11 | 200 | 0 | 14 | 14 | 22 | 11 | 0.0 | 28.0 | 28.0 | 44.0 | 22.0 |
| | | | Solfato di k (51%) | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 61.2 |
| Fogliare | | nitrocam (9N 5Mg 10 Ca) | 20 | 0 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0.0 | 1.8 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | |
| | Totale | | | | | | | | 18.0 | 78.8 | 96.8 | 127.0 | 168.2 | |

Tabella 13. Fitofarmaci applicati per coltura per l'avvicendamento tipo in pieno campo.

| Anno | Coltura | Nome commerciale | P. A. | Solubilità in acqua (mg/l) | DT50 (giorni) | Koc (ml/g) | N. interventi | Apporti (kg/ha) |
|------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------|
| 2005 | Pomodoro | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 3 | 4 |
| | | Sencor | Metribuzin | 1220 | 40 | 60 | 2 | 0.4 |
| | | Confidor | Imidalcoprid | 510 | 191 | 189 | 1 | 0.5 |
| | | Actara | Thiamethoxam | 4100 | 50 | 70 | 1 | 0.5 |
| | | Timet | Forate | 50 | 63 | 1660 | 1 | 20 |
| | Cavolo | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 3 | 0.12 |
| 2006 | Melone | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 2 | 0.08 |
| | | Topas | Penconazolo | 73 | 197 | 2205 | 2 | 0.01 |
| | | Confidor | Imidalcoprid | 510 | 191 | 189 | 2 | 0.0125 |
| | Finocchio | Linuron | Linuron | 63.8 | 48 | 620 | 2 | 0.3 |
| | | Gallant | Haloxypop-metile | 7.9 | 0.5 | 70 | 1 | 0.5 |
| | | Stomp 330 | Pendimetalin | 0.33 | 90 | 15744 | 1 | 0.3 |

Tabella 14. Fitofarmaci applicati per coltura per l'avvicendamento tipo in ambiente protetto.

| Anno | Coltura | Nome commerciale | P. A. | Solubilità in acqua (mg/l) | DT50 (giorni) | Koc (ml/g) | N. interventi | Apporti (kg/ha) |
|----------|----------|------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|---------------|------------------|--------------------|
| 2005 | Melone | Curzate | Cymoxanil | 780 | 0.7 | 44 | 1 | 0.50 |
| | | Fosatile | Fosetil | 110000 | 0.1 | 1703 | 1 | 1.60 |
| | | Confidor | Imidacloprid | 610 | 191 | 225 | 1 | 0.60 |
| | | Metacar | Exitiazox | 0.1 | 30 | 6188 | 1 | 0.30 |
| | | Mocap | Ethoprop | 750 | 25 | 70 | 1 | 0.30 |
| | Pomodoro | Previcur | Propamocarb | 1005000 | 39 | 535 | 1 | 0.72 |
| | | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 2 | 0.12 |
| | | Caddy | Ciproconazolo | 93 | 114 | 390 | 1 | 0.05 |
| | | Tiovit jet | Zolfo | 0.001 | 1000 | 1000 | 2 | 1.50 |
| | | Actara | Thiamethoxam | 4100 | 50 | 70 | 1 | 0.40 |
| | | Decis | Deltametrina | 0.0002 | 13 | 460000 | 3 | 0.01 |
| | | Rufast | Acrinatrina | 0.02 | 52 | 73960 | 1 | 0.04 |
| | | Vertimec | Abamectina | 0.008 | 30 | 14000 | 1 | 0.02 |
| | 2006 | Melone | Curzate | Cymoxanil | 780 | 0.7 | 44 | 1 |
| Fosatile | | | Fosetil | 110000 | 0.1 | 1703 | 1 | 1.60 |
| Confidor | | | Imidacloprid | 610 | 191 | 225 | 1 | 0.60 |
| Metacar | | | Exitiazox | 0.1 | 30 | 6188 | 1 | 0.30 |
| Mocap | | | Ethoprop | 750 | 25 | 70 | 1 | 0.30 |
| Zucchino | | Ridomil | Metalaxil | 26000 | 39 | 660 | 2 | 0.08 |
| | | Topas | Penconazolo | 73 | 197 | 2205 | 2 | 0.02 |
| | | Confidor | Imidacloprid | 510 | 191 | 189 | 2 | 0.10 |
| | | karete | Lambda-cialotrina | 0.005 | 30 | 180000 | 1 | 0.02 |
| Lattuga | | Previcur | Propamocarb | 1005000 | 39 | 535 | 1 | 0.72 |
| | | Coprantol | Ossicloruro di rame | 0.506 | 10000 | 12000 | 2 | 1.50 |
| | | Kerb | Pronamide | 9 | 47 | 800 | 1 | 0.40 |
| | | Decis | Deltametrina | 0.0002 | 13 | 460000 | 2 | 0.01 |

3.3 ANALISI TECNICO – ECONOMICA DI SISTEMI DI COLTIVAZIONE FUORI SUOLO

Nonostante i maggiori vantaggi produttivi e gestionali della tecnica di coltivazione fuori suolo rispetto alle tradizionali tecniche di coltivazione in ambiente protetto, la diffusione di tale tecnica di coltivazione è ostacolata dalla necessità di soluzioni impiantistiche e gestionali non del tutto semplici e che richiedono maggiori costi rispetto alle tecniche di coltivazioni tradizionali.

Data l'esigua diffusione in Italia di tali sistemi di coltivazione per le colture orticole è stato condotto uno studio della redditività di alcuni tipi di coltivazioni fuori suolo a ciclo chiuso per le seguenti colture: pomodoro, lattuga e zucchini.

La valutazione tecnico-economica delle tecniche colturali fuori suolo è stata condotta con riferimento ad un sistema fuori suolo studiato per una serra coperta con film plastico a lunga durata e anticondensa, costituita da un unico corpo a tre campate larghe 8 m e lunghe 40 m.

Il sistema definito è costituito da tre settori irrigui indipendenti ed è fornito di una centrale di fertirrigazione automatica. Il fertirrigatore è dotato di un gruppo di miscelazione in continuo per le soluzioni nutritive e di sistemi di controllo Ec e pH in tempo reale.

Il riscaldamento della struttura avviene mediante un impianto costituito da generatori pensili ad aria calda ad alto rendimento, aventi una potenza termica cadauno di 70 000 kcal/h e collegati ad un bruciatore a gasolio.

Oltre agli aspetti tecnici, affrontati in sede di progettazione dei sistemi, sono stati analizzati anche gli aspetti economici in termini di redditività dell'investimento.

Il reddito stimato è quello netto:

$$R_n = PLV - (\text{Costi fissi} + \text{Costi variabili})$$

I costi fissi sono costituiti dalle spese per la realizzazione dell'apprestamento, dell'impianto di riscaldamento, del sistema di fertirrigazione e degli elementi necessari per la coltivazione in fuori suolo.

I costi variabili comprendono:

- manodopera,
- materiale vegetale d'impianto;
- energia elettrica;
- gasolio per il riscaldamento;
- acqua per l'irrigazione;
- fertilizzanti;
- antiparassitari;
- trasporti;
- smaltimento del materiale non riciclabile.

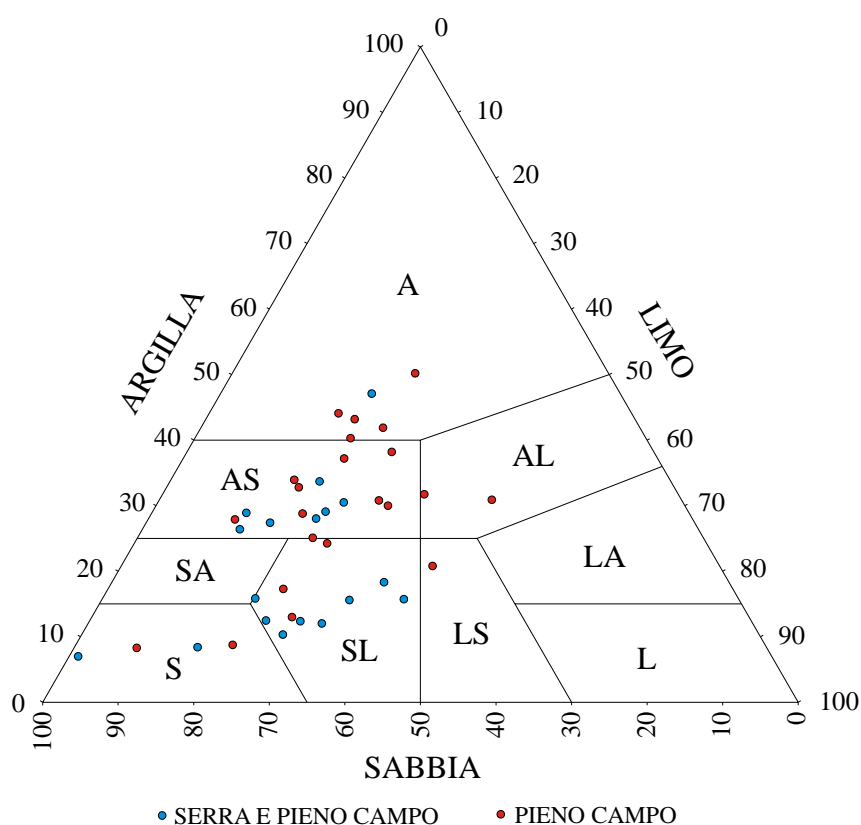
I prezzi attribuiti ai prodotti sono quelli alla produzione e i costi sono quelli effettivamente sostenuti dall'imprenditore, con riferimento per entrambi all'anno 2006.

4. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

4.1 RISULTATI DELL'ANALISI GRANULOMETRICA DEL TERRENO E DELL'ANALISI DELLE ACQUE DI IRRIGAZIONE DELLE AZIENDE MONITORATE

Per tutte le aziende monitorate è stata effettuata l'analisi granulometrica del terreno ed in figura 7 è stato riportato il diagramma a coordinate triangolari secondo la classificazione ISSS con i risultati di ogni singola azienda.

Figura. 7. *Caratteristiche granulometriche del terreno nelle aziende monitorate.*



Per quanto riguarda la frazione argillosa dei campioni di terreno prelevati dalle aziende monitorate il valore medio è pari al 26%, ma il dato presenta un forte variabilità oscillando tra il 7.1% ed il 50.1%.

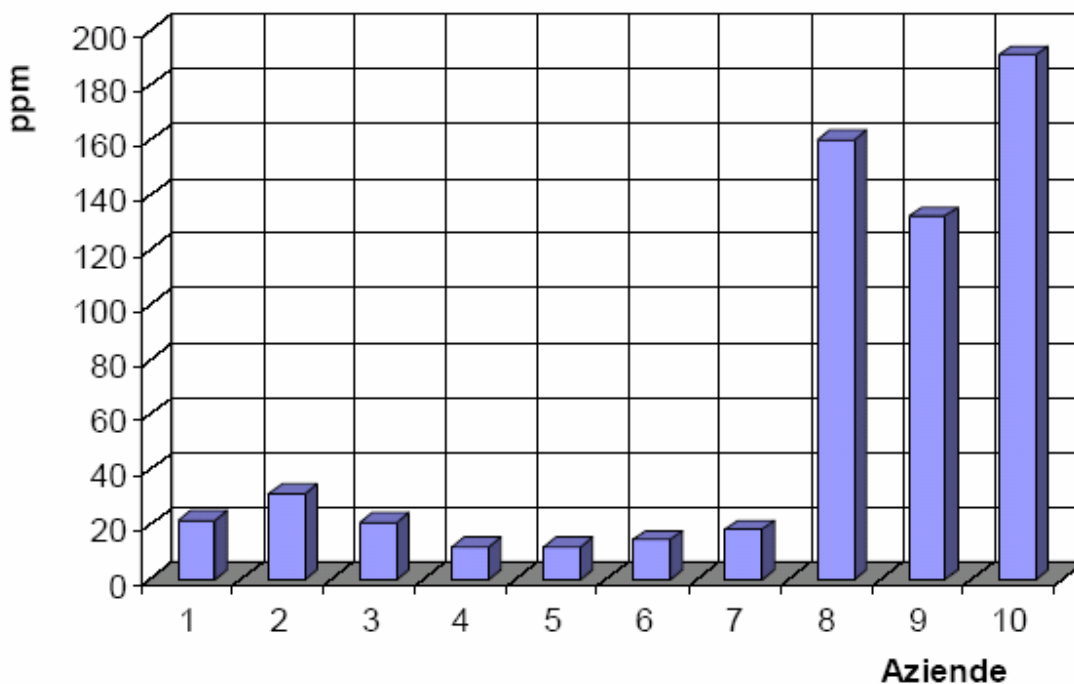
Analogo andamento presenta la frazione limosa con un valore medio del 23.3%, un valore minimo di 1.2% ed un valore massimo del 44%. A livello di frazione sabbiosa, invece, si registra un dato medio del 50.7% con un valore minimo del 25.1% ed un valore massimo del 91.8% (nella zona di Maccarese dove molto diffusa è la produzione della carota).

Confrontando la composizione granulometrica del terreno delle aziende che presentano solo orticoltura in pien'aria e quelle con coltivazione anche in ambiente protetto, emerge che in queste ultime il terreno è caratterizzato da una maggiore quantità di sabbia (56.3 % contro 46.1 %) a scapito dell'argilla (21.1 % invece di 30 %), il limo si mantiene invece sugli stessi valori (22.6 % nel terreno in serra e 23.9 % in pieno campo).

Dall'analisi delle acque di irrigazione di 10 aziende rappresentative delle 40 monitorate è emerso quanto segue:

- sette delle dieci aziende utilizzano le acque distribuite dal consorzio di bonifica (acque provenienti dai fiumi Tevere e Marta) ed in queste acque il contenuto di nitrati si mantiene inferiore a 20 ppm (in media 18.2 ppm);
- tre aziende, invece, utilizzano acque che provengono dalla falda idrica superficiale (pozzi profondi circa 7-8 m) ed in questo caso il contenuto di nitrati supera 160 ppm, valore ben superiore al limite di potabilità.

Figura 8. Contenuto di azoto nitrico nelle acque di irrigazione [ppm].



Questo ultimo dato conferma, a nostro avviso, che i quantitativi di fertilizzanti apportati non sono stabiliti tenendo conto delle dotazioni del terreno e dalle effettive esigenze della coltura. Gli eccessi di elementi fertilizzanti nel terreno si perdono in profondità per lisciviazione ed oltre a rappresentare un inutile costo per l'agricoltore, che vede erodersi i già esigui guadagni, generano un grosso danno per l'ambiente.

La coltivazione in ambiente protetto può risultare fondamentale per limitare l'inquinamento delle falde da N-NO_3^- sia per la quasi totale assenza dei fenomeni di percolazione sia per la possibilità di svincolare la coltura dal terreno con le tecniche fuori suolo.

4.2 RISULTATI DELL'ANALISI DELL'IMPATTO AMBIENTALE DOVUTO ALL'USO DI FERTILIZZANTI

In questa fase della ricerca sono stati individuati e messi a confronto gli apporti di elementi fertilizzanti sia per le coltivazioni in ambiente protetto sia quelle in pieno campo.

I risultati degli apporti totali di elementi fertilizzanti per le colture in ambiente protetto e per quelle in pien'aria sono riportati rispettivamente nelle tabelle 15 e 16.

Tabella 15. Apporto di fertilizzanti in ambiente protetto [kg/ha].

| COLTURA | N-NH₄⁺ | N-NO₃⁻ | N- totale | P₂O₅ | K₂O |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <i>Insalata</i> | 18.0 | 43.7 | 100.0 | 97.7 | 127.0 |
| <i>Melone</i> | 31.0 | 20.8 | 103.3 | 144.5 | 133.3 |
| <i>Pomodoro da mensa</i> | 13.5 | 27.7 | 97.2 | 163.4 | 139.1 |
| <i>Prezzemolo</i> | 30.0 | 35.0 | 65.0 | 65.0 | 105.0 |
| <i>Fragola</i> | 80.5 | 54.0 | 186.1 | 271.0 | 403.0 |
| <i>Zucchino</i> | 41.8 | 17.6 | 84.9 | 178.6 | 106.1 |
| Media | 35.8 | 33.1 | 106.1 | 153.3 | 168.9 |

Dai dati riportati per le coltivazioni in ambiente protetto emerge che la coltura alla quale sono stati somministrati i maggiori quantitativi di elementi fertilizzanti è la fragola per tutti gli elementi.

Nelle coltivazioni in pien'aria i maggiori apporti di N-totale sono stati registrati per il cavolo, quelli di P₂O₅ per il pomodoro da mensa e quelli di K₂O per lo zucchino.

Tabella 16. Apporto di fertilizzanti in pieno campo [kg/ha].

| COLTURA | N-NH₄⁺ | N-NO₃⁻ | N- totale | P₂O₅ | K₂O |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <i>Carciofo</i> | 143.4 | 38.3 | 192.7 | 123.8 | 132.9 |
| <i>Insalata</i> | 18.0 | 37.0 | 97.7 | 127.0 | 132.5 |
| <i>Finocchio</i> | 78.2 | 42.9 | 185.9 | 123.2 | 125.2 |
| <i>Anguria</i> | 58.3 | 32.4 | 131.3 | 142.4 | 172.6 |
| <i>Melone</i> | 41.9 | 26.4 | 90.8 | 102.8 | 146.7 |
| <i>Pomodoro ind.</i> | 103.1 | 26.9 | 155.1 | 160.9 | 125.5 |
| <i>Asparago</i> | 182.1 | 0.9 | 210.1 | 150.4 | 42.6 |
| <i>Carota</i> | 30.0 | 73.5 | 109.0 | 119.0 | 138.0 |
| <i>Cavolo</i> | 116.7 | 21.7 | 226.00 | 83.0 | 35.0 |
| <i>Zucchino</i> | 92.3 | 75.1 | 210.2 | 150.8 | 247.7 |
| Media | 86.4 | 37.5 | 160.9 | 128.3 | 129.9 |

Per quanto riguarda gli apporti di azoto in serra e in pieno campo è evidente come gli apporti in serra (106.1 kg/ha) sono inferiori a quelli registrati in pieno campo (160.9 kg/ha) ed in percentuale tale riduzione è pari al 34.1%.

Analizzando gli apporti di N-totale nelle due forme di somministrazione, N-NO₃⁻ ed N-NH₄⁺, si nota una riduzione delle somministrazioni di azoto soprattutto della forma ammoniacale (- 58.6%) mentre l'azoto nitrico presenta una riduzione notevolmente inferiore (-11.7%).

Questi dati, a nostro avviso, trovano giustificazione nell'assenza del rischio di lisciviazione dei nitrati in ambiente protetto e ciò porta ad un maggiore ricorso all'azoto sotto forma nitrica negli ambienti confinati.

Il confronto tra le coltivazioni in ambiente protetto e in pien'aria, per quanto riguarda gli apporti di P₂O₅ e K₂O, mette in evidenza che in serra gli apporti sono maggiori rispetto al pieno campo rispettivamente del 19.5% e 30.1%.

Dopo aver valutato gli apporti di elementi nutritivi per ogni singola coltura, sia nelle coltivazioni in ambiente protetto sia in per quelle in pieno campo, sono state messe a confronto le concimazioni eseguite per le sole colture presenti in entrambe i tipi di coltivazione (tabella 17). In particolare nella tabella 17 sono riportati gli apporti di N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-totale, P₂O₅ e K₂O in ambiente protetto ed in pieno campo per l'insalata, le zucchine ed il melone.

Tabella 17. Apporto di fertilizzanti: confronto ambiente protetto-pieno campo [kg/ha].

| COLTURA | | N-NH₄⁺ | N-NO₃⁻ | N- totale | P₂O₅ | K₂O |
|-----------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Insalata | <i>Serra</i> | 18.0 | 43.7 | 100 | 97.7 | 127.0 |
| | <i>Pieno campo</i> | 18.0 | 37.0 | 97.7 | 127.0 | 132.5 |
| | <i>Differenza %</i> | 0.0 | 18.0 | 2.4 | -23.1 | -4.2 |
| Zucchini | <i>Serra</i> | 41.8 | 17.6 | 84.9 | 178.6 | 106.1 |
| | <i>Pieno campo</i> | 92.3 | 75.1 | 210.2 | 150.8 | 247.7 |
| | <i>Differenza %</i> | -54.8 | -76.6 | -59.6 | 18.4 | -57.2 |
| Melone | <i>Serra</i> | 31.0 | 20.8 | 103.3 | 144.5 | 133.3 |
| | <i>Pieno campo</i> | 41.9 | 26.4 | 90.8 | 102.8 | 146.7 |
| | <i>Differenza %</i> | -26.1 | -21.5 | 13.8 | 40.6 | -9.1 |

Per quanto riguarda l'insalata, dai dati riportati in tabella, emerge che gli apporti di azoto in ambiente protetto sono pressoché uguali a quelli in pien'aria, con un sensibile aumento (+ 18%) dell'N-NO₃⁻.

Per quanto concerne la coltivazione dello zucchini in ambiente protetto si registrano apporti nettamente inferiori di azoto (-59.6% di N-totale rispetto

al pieno campo). Si registrano riduzioni anche in termini di N-NH_4^+ (-54.8%) e di N-NO_3^- (-76.6%).

Dal confronto degli apporti di elementi nutritivi per la coltura del melone in ambiente protetto e in pien'aria si registra un aumento del 13.8% degli apporti di N-totale mentre si assiste ad una riduzione sia della forma N-NH_4^+ (-26.1%), sia della forma N-NO_3^- (-21.5%).

Anche per quanto riguarda il P_2O_5 ed il K_2O i risultati del confronto variano sensibilmente con la coltura considerata:

Dal confronto emerge che in serra si ha una diminuzione dell'apporto di P_2O_5 per l'insalata (-23.1%) mentre per lo zucchini e per il melone si ha un aumento rispettivamente del 18.4% e del 40.6%.

Per quanto riguarda l'apporto di K_2O si registrano apporti minori in serra rispetto al pieno campo per tutte e tre le colture. In particolare tale diminuzione per l'insalata è pari al -4.2%, nel melone -9.1% mentre per la coltivazione dello zucchini raggiunge -57.2%.

4.3 RISULTATI DELL'ANALISI DELL' IMPATTO AMBIENTALE DOVUTO ALL'USO DI PESTICIDI

Per valutare l'impatto ambientale dell'uso dei pesticidi la prima analisi effettuata ha riguardato il confronto fra l'uso di fitofarmaci in generale in ambiente protetto ed in pieno campo come riportato in tabella 18.

Al fine di rendere il più possibile significativo il confronto, l'analisi è stata effettuata considerando soltanto le aziende che presentavano colture sia in ambiente protetto che in pieno campo.

Tabella. 18. Confronto tra gli apporti di fitofarmaci in ambiente protetto e in pieno campo [kg p.a./ha].

| Fitofarmaci | Ambiente protetto | Pieno campo | Differenza % |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|
| Fungicidi | 2.47 | 2.01 | 22.8 |
| Erbicidi | 0.01 | 0.07 | -82.5 |
| Insetticidi | 0.16 | 0.15 | 2.9 |
| <i>Totale fitofarmaci</i> | 2.64 | 2.23 | 18.3 |

In ambiente protetto si registra un uso maggiore di fungicidi rispetto al pieno campo (22.8%), mentre l'uso degli erbicidi risulta inferiore ed è pari al 17.5 % di quelli utilizzati in pien'aria.

Per quanto riguarda l'uso di insetticidi non sono emersi valori molto diversi tra pieno campo ed ambiente protetto con una leggera prevalenza di quest'ultimo (2.9%).

Complessivamente l'uso di fitofarmaci è maggiore in ambiente protetto dove si raggiungono valori di 2.64 kg/ha di p.a., superiori del 18.3 % di quello registrato in pieno campo.

La successiva elaborazione dei dati riguardanti l'uso dei fitofarmaci ha avuto come oggetto le singole colture.

Nelle tabelle 19 e 20 sono riportati gli apporti di fitofarmaci per ogni singola coltura, sempre distinti in fungicidi, erbicidi ed insetticidi, rispettivamente in ambiente protetto e in pieno campo.

Tabella 19. Apporto di fitofarmaci per coltura in ambiente protetto [kg p.a./ha].

| Coltura | Fungicidi | Erbicidi | Insetticidi | Totale fitofarmaci |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| <i>Insalata</i> | 0.71 | 0.8 | 0.01 | 1.52 |
| <i>Melone</i> | 2.1 | 0.0 | 0.23 | 2.44 |
| <i>Pomodoro da mensa</i> | 4.54 | 0.0 | 0.2 | 4.73 |
| <i>Zucchino</i> | 0.78 | 0.0 | 0.8 | 0.86 |
| <i>Fragola</i> | 4.53 | 0.0 | 0.05 | 4.58 |
| <i>Prezzemolo</i> | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| Media | 2.13 | 0.13 | 0.09 | 2.36 |

Dai risultati riportati in tabella 19 emerge che in ambiente protetto la coltura che presenta il maggior input di fitofarmaci è il pomodoro con oltre 4.7 kg/ha di p.a..

A tale coltura segue la fragola con un valore analogo (4.58 kg/ha di p.a.) mentre valori nettamente inferiori sono stati registrati nella coltura del melone (2.44 kg/ha di p.a.) e dell'insalata (1.52 kg/ha di p.a.).

In ambiente protetto, in media, è stato registrato un maggiore impiego di fungicidi (2.13 kg/ha) rispetto agli altri fitofarmaci (insetticidi ed erbicidi che ammontano mediamente a 0.22 kg/ha).

Tabella 20. Apporto di fitofarmaci per coltura in pieno campo [kg p.a./ha].

| Coltura | Fungicidi | Erbicidi | Insetticidi | Totale fitofarmaci |
|------------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| <i>Carciofo</i> | 0.08 | 0.8 | 0.01 | 0.89 |
| <i>Insalata</i> | 0.71 | 0.8 | 0.01 | 1.52 |
| <i>Finocchio</i> | 0.4 | 0.44 | 0.00 | 0.84 |
| <i>Anguria</i> | 3.1 | 0.0 | 0.47 | 3.58 |
| <i>Melone</i> | 2.83 | 0.01 | 0.06 | 2.90 |
| <i>Pomodoro</i> | 5 | 0.25 | 0.47 | 5.71 |
| <i>Asparago</i> | 0.0 | 0.61 | 0.04 | 0.65 |
| <i>Carota</i> | 6.14 | 0.0 | 0.00 | 6.14 |
| <i>Zucchini</i> | 0.43 | 0.0 | 0.11 | 0.54 |
| Media | 2.08 | 0.32 | 0.13 | 2.53 |

Per quanto riguarda il pieno campo la coltura ortiva più trattata con fungicidi è la carota (6.14 kg/ha di p.a.). tale coltura è seguita in ordine di uso di fungicidi dal pomodoro da industria (5 kg/ha di p.a.).

Sempre in pieno campo, per quanto riguarda gli erbicidi, si registra un maggiore utilizzo per carciofo, insalata, asparago e finocchio, mentre per gli insetticidi i maggiori apporti si hanno su pomodoro da industria ed anguria.

Al fine di approfondire ulteriormente il confronto tra ambiente protetto e pieno campo anche per l'uso dei fitofarmaci, come già fatto per i fertilizzanti, è stata eseguito il confronto tra gli apporti di fitofarmaci per le stesse colture allevate nelle due diverse condizioni: insalata, melone e zucchini (tabella 21).

Tabella 21. Confronto degli apporto di fitofarmaci per coltura in serra e in pieno campo [kg p.a./ha].

| Coltura | | Fungicidi | Erbicidi | Insetticidi | Totale fitofarmaci |
|-----------------|--------------|------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| | Serra | 0.71 | 0.8 | 0.01 | 1.52 |
| Insalata | Pieno campo | 0.71 | 0.8 | 0.01 | 1.52 |
| | Differenza % | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Serra | 2.21 | 0.0 | 0.23 | 2.44 |
| Melone | Pieno campo | 2.83 | 0.0 | 0.06 | 2.90 |
| | Differenza % | -21.9 | -100 | 266.0 | -15.8 |
| | Serra | 0.78 | 0.0 | 0.08 | 0.86 |
| Zucchini | Pieno campo | 0.43 | 0.00 | 0.11 | 0.54 |
| | Differenza % | 82.3 | 0.0 | -26.1 | 59.4 |

Dal confronto degli apporti di fitofarmaci apportati per le colture presenti sia in ambiente protetto sia in pieno campo emerge quanto riportato di seguito.

La coltura dell'insalata non presenta differenze tra le applicazioni di fitofarmaci in ambiente protetto e in pieno campo.

Per la coltivazione del melone in ambiente protetto si ha un minore apporto di fungicidi (-21.9%) e un maggiore apporto di insetticidi rispetto agli apporti registrati in pieno campo.

Per quanto concerne la coltura dello zucchini l'uso totale di fitofarmaci in ambiente protetto supera il pieno campo del 59.4%. In particolare dal confronto per la coltura dello zucchini è emerso che in ambiente protetto sono superiori gli apporti di fungicidi (+82.3%) mentre inferiori sono gli apporti di insetticidi (-26.1%).

Al fine di determinare gli indici di esposizione dell'ambiente ai pesticidi distinguendo aria, suolo e acqua di falda secondo il modello di Wijnands and Vereijken è stato necessario quantificare gli input complessivi di pesticidi rilevati nel monitoraggio delle aziende rappresentative dell'area oggetto di studio (tabelle 22 e 23).

Tabella 22. Incidenza delle colture e input di pesticidi in serra

| Colture | Incidenza % | INPUT DI PESTICIDI | | | |
|---------------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Fungicidi | Erbicidi | Insetticidi | Tot. pesticidi |
| | | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ |
| Insalata | 2.8 | 1.57 | 1.42 | 0.03 | 3.01 |
| Melone | 45.3 | 2.56 | 0.00 | 0.30 | 2.86 |
| Pomodoro | 12.6 | 3.37 | 0.00 | 0.47 | 3.84 |
| Zucchini | 38.6 | 1.56 | 0.00 | 0.16 | 1.72 |
| Fragola | 0.7 | 3.44 | 0.00 | 0.14 | 3.58 |
| <i>MEDIA</i> | | 2.50 | 0.28 | 0.22 | 3.00 |

Tabella 23. Incidenza delle colture e input di pesticidi in pieno campo.

| Colture | Incidenza % | INPUT DI PESTICIDI | | | |
|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | Fungicidi | Erbicidi | Insetticidi | Tot. pesticidi |
| | | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ |
| Carciofo | 9.6 | 0.43 | 0.72 | 0.02 | 1.17 |
| Insalata | 15.4 | 1.57 | 1.42 | 0.03 | 3.01 |
| Finocchio | 10.9 | 1.03 | 0.92 | 0.00 | 1.95 |
| Anguria | 21.8 | 2.68 | 0.00 | 0.26 | 2.95 |
| Melone | 11.7 | 2.70 | 0.02 | 0.22 | 2.94 |
| Pomodoro | 15.2 | 4.45 | 0.33 | 0.45 | 5.23 |
| Asparago | 2.2 | 0.00 | 0.88 | 0.11 | 0.99 |
| Carota | 8.8 | 3.71 | 0.95 | 0.43 | 5.09 |
| Cavolo | 4.0 | 3.51 | 0.00 | 0.03 | 3.54 |
| Zucchino | 0.5 | 1.34 | 0.00 | 0.19 | 1.53 |
| <i>MEDIA</i> | | <i>2.14</i> | <i>0.52</i> | <i>0.17</i> | <i>2.84</i> |

Da queste tabelle emerge innanzitutto che i quantitativi di fitofarmaci somministrati alle colture in ambiente protetto sono generalmente superiori a quelli del pieno campo, ad eccezione degli erbicidi che sono più utilizzati in pieno campo.

Nelle tabelle 24 e 25 sono riportati gli indici di esposizione dell'ambiente ai pesticidi distinti sia per comparti (aria, suolo e acqua di falda) sia per gruppo di pesticidi (fungicidi, erbicidi e insetticidi) rispettivamente per ogni coltura allevata in ambiente protetto e in pieno campo.

Dalle elaborazioni eseguite è emerso che l'indice di esposizione ambientale dell'aria a tutti i pesticidi è molto più elevato in ambiente protetto (+217%) mentre quello del suolo e dell'acqua di falda sono più elevati in pieno campo che in serra (- 52%).

Relativamente ai singoli gruppi di pesticidi si osserva che l'indice di esposizione dell'aria risulta sempre superiore in ambiente protetto, mentre quelli di esposizione del suolo e dell'acqua di falda sono superiori in ambiente protetto per quanto riguarda i fungicidi e gli erbicidi e in pieno campo nel caso degli insetticidi.

Alle stesse considerazioni si perviene confrontando le colture allevate sia in pieno campo che in ambiente protetto (insalata, melone, pomodoro e zucchini).

Per un migliore confronto tra ambiente protetto e pieno campo occorre tuttavia considerare tutte le colture che all'interno dell'anno occupano la stessa superficie di terreno e l'incidenza delle singole colture sul totale della superficie monitorata.

Le sequenze colturali di durata annuale più diffuse in ambiente protetto sono: la doppia coltura di melone-zucchini (44.9%) e zucchini-pomodoro (16.7%); la monocoltura di melone (18.8%). In pieno campo prevalgono le monocolture di pomodoro (21.2%), anguria (16.3%) e carciofo (15.5%) segite dalle sequenze colturali di finocchio-melone (10.2%) e insalata-anguria-carota (9.2%).

In tabella 26 sono riportati i valori medi annui degli indici di esposizione dell'ambiente ai pesticidi nelle aziende monitorate calcolati tenendo conto delle effettive sequenze colturali e dell'estensione effettiva di ogni singola coltura (media ponderata con la superficie).

Per quanto riguarda l'uso di fungicidi, l'indice di esposizione dell'aria in ambiente protetto supera del 30% quello in pieno campo, l'indice di esposizione del suolo in serra è inferiore del 60% a quello in campo aperto mentre l'indice di esposizione dell'acqua di falda è pressoché analogo nelle due condizioni a confronto.

Come già evidenziato in tabella 22 l'uso degli erbicidi risulta sensibilmente inferiore in ambiente protetto e ciò porta ad indici di esposizione pressoché nulli con l'eccezione di quello riguardante l'aria.

Risultati diversi si ottengono per gli insetticidi dove gli indici di esposizione del suolo e dell'acqua di falda sono notevolmente superiori in serra mentre quello dell'aria è superiore in pieno campo.

Nel complesso gli indici riferiti a tutti i pesticidi ripropongono quanto emerso per i fungicidi anche in considerazione del fatto che questo gruppo di fitofarmaci costituisce la maggior parte dei pesticidi utilizzati sia in serra (83%) che in pieno campo (75%).

Tabella 24. Indici di esposizione dell'ambiente ai fitofarmaci per coltura in serra.

| COLTURA | FUNGICIDI | | | ERBICIDI | | | INSETTICIDI | | | TOTALE PESTICIDI | | |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | EEP air | EEP Soil | EEP Ground water | EEP air | EEP Soil | EEP Ground water | EEP air | EEP soil | EEP Ground water | EEP air | EEP soil | EEP Ground water |
| | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] |
| Insalata | 0.6 | 1826 | 54886 | 66.7 | 56 | 1 | 0.0 | 0 | 96833 | 67.3 | 1882 | 151720 |
| Melone | 4.4 | 70 | 34591 | 0.0 | 0 | 0 | 6.0 | 42 | 37232 | 10.4 | 111 | 71822 |
| Pomodoro | 7.3 | 433 | 480995 | 0.0 | 0 | 0 | 18.9 | 53 | 65793 | 26.2 | 486 | 546788 |
| Zucchini | 4.7 | 77 | 44765 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 29 | 21566 | 4.8 | 107 | 66331 |
| Fragola | 9.7 | 134 | 49431 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 6 | 145692 | 9.7 | 140 | 195123 |
| MEDIA | 5.4 | 508 | 132934 | 13.3 | 11 | 0 | 5.0 | 26 | 73423 | 23.7 | 545 | 206357 |

Tabella 25. Indici di esposizione dell'ambiente ai fitofarmaci per coltura in pieno campo.

| COLTURA | FUNGICIDI | | | ERBICIDI | | | INSETTICIDI | | | TOTALE PESTICIDI | | |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | EEP air | EEP soil | EEP Ground water | EEP air | EEP soil | EEP- Ground water | EEP air | EEP soil | EEP Ground water | EEP air | EEP soil | EEP Ground water |
| | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] | [kg mPa ha ⁻¹] | [kg days ha ⁻¹] | [l days ha ⁻¹] |
| Carciofo | 0.1 | 2 | 383 | 1.0 | 42 | 221905 | 0.0 | 1 | 19481 | 1.1 | 44 | 241769 |
| Insalata | 0.6 | 1826 | 35202 | 0.0 | 67 | 30922 | 0.0 | 0 | 96974 | 0.6 | 1893 | 163098 |
| finocchio | 0.3 | 1782 | 212601 | 1.8 | 83 | 750211 | 0.0 | 0 | 0 | 2.1 | 1865 | 962812 |
| Anguria | 7.3 | 154 | 121295 | 0.0 | 0 | 2 | 3.0 | 27 | 12074 | 10.3 | 182 | 133371 |
| Melone | 6.0 | 248 | 256309 | 1.2 | 0 | 27 | 2.5 | 32 | 20074 | 9.7 | 280 | 276410 |
| Pomodoro | 9.3 | 613 | 127008 | 0.0 | 7 | 15562 | 28.2 | 37 | 51534 | 37.5 | 657 | 194104 |
| Asparago | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 11 | 120535 | 0.0 | 17 | 66670 | 0.0 | 28 | 187205 |
| Carota | 0.0 | 3829 | 552231 | 1.8 | 86 | 779294 | 1.0 | 20 | 176929 | 2.8 | 3935 | 1508454 |
| Cavolo | 10.2 | 801 | 178301 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 6 | 612 | 10.2 | 807 | 178913 |
| Zucchino | 0.2 | 1663 | 411793 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 34 | 36040 | 0.2 | 1697 | 447833 |
| MEDIA | 3.4 | 1092 | 189512 | 0.6 | 29 | 191846 | 3.5 | 17 | 48039 | 7.5 | 1139 | 429397 |

Tabella 26. Esposizione dell'ambiente ai pesticidi.

| PESTICIDI | INDICI | u.m. | SERRA | CAMPO |
|------------------|-----------------|-----------------------------|--------|--------|
| FUNGICIDI | EEP-air | [kg mPa ha ⁻¹] | 8.1 | 6.2 |
| | EEP-soil | [kg days ha ⁻¹] | 238 | 600 |
| | EEP-groundwater | [l days ha ⁻¹] | 147632 | 143632 |
| ERBICIDI | EEP-air | [kg mPa ha ⁻¹] | 1.9 | 0.5 |
| | EEP-soil | [kg days ha ⁻¹] | 2 | 20 |
| | EEP-groundwater | [l days ha ⁻¹] | 0 | 123335 |
| INSETTECIDI | EEP-air | [kg mPa ha ⁻¹] | 7.5 | 8.4 |
| | EEP-soil | [kg days ha ⁻¹] | 60 | 27 |
| | EEP-groundwater | [l days ha ⁻¹] | 52022 | 34111 |
| TOTALE PESTICIDI | EEP-air | [kg mPa ha ⁻¹] | 17.4 | 15.1 |
| | EEP-soil | [kg days ha ⁻¹] | 299 | 647 |
| | EEP-groundwater | [l days ha ⁻¹] | 199655 | 301079 |

Un ulteriore approfondimento della ricerca ha riguardato la collocazione territoriale del rischio d'uso dei pesticidi, a tal fine sono stati determinati gli indici a livello aziendale mediante media ponderata con le superfici occupate dalle colture in pieno campo ed in ambiente protetto.

Per valutare su quali aree l'esposizione ai pesticidi è più marcata gli indici determinati per ogni azienda monitorata ed ogni coltura sono stati riportati su carte tematiche caratterizzanti il territorio (Piano di tutela delle acque - Regione Lazio, 2002).

In particolare l'EEP-air sulla carta geografica, l'EEP-soil sulla carta idrogeologica e l'EEP-groundwater sulla carta della vulnerabilità degli acquiferi.

In figura 9, nella quale è riportata la distribuzione geografica delle aziende classificate in base all'indice di esposizione dell'aria ai pesticidi (EEP-air), si evidenzia che l'area del comune di Tarquinia è quella con l'EEP-air più elevato. Probabilmente ciò è dovuto all'alta percentuale di colture protette presenti nell'area. In ogni caso si rileva che il 72.5% di tutte le aziende monitorate presenta un valore di EEP-air inferiore al valore medio dell'intero campione ($17.5 \text{ kg mPa ha}^{-1}$).

La classificazione delle aziende in base all'indice EEP-soil [kg days ha^{-1}], riportata sulla carta geologica (figura 10), mostra che quelle con l'indice più elevato sono situate su suoli sabbiosi e su complessi di depositi alluvionali facilmente erodibili.

Questo comporta uno stato di rischio elevato soprattutto per l'orticoltura di pieno campo dove il fenomeno erosivo può disperdere nell'ambiente attraverso il trasporto solido i pesticidi accumulati.

Delle aziende monitorate 33 (82.5%) ricadono nella prima classe di EEP-soil, delimitata superiormente dal valore medio di 3000 [kg days ha^{-1}].

La classificazione delle aziende in base all'indice EEP-groundwater [l days ha^{-1}], riportata sulla carta della vulnerabilità degli acquiferi redatta dalla Regione Lazio in figura 11, è probabilmente quella di maggiore interesse dal punto di vista ambientale in quanto riguarda le falde idriche spesso utilizzate per l'uso potabile.

Delle 40 aziende monitorate 29 (72.5%) ricadono nella classe compresa tra 4610 e 288000, 8 (20%) in quella tra 288001 e 670000 e 3 aziende nella classe con indice superiore a 670000.

Le aziende a più elevato indice EEP-groundwater ricadono nelle zone a vulnerabilità molto elevata e estremamente elevata evidenziando un forte rischio di contaminazione delle acque di falda.

Si potrebbero pertanto ipotizzare in queste aziende interventi mirati riguardo un uso più razionale dei pesticidi privilegiando i principi attivi a minore diffusione nella soluzione circolante.

In ogni caso dai dati rilevati per i singoli principi attivi si osserva che gli indici di esposizione ambientale ai pesticidi del suolo e dell'acqua di falda assumono valori elevati per il frequente ricorso, nelle aziende a maggiore esposizione ambientale, a prodotti dotati di elevata persistenza quali quelli a base di rame e di zolfo (DT50 100000 e 1000 giorni rispettivamente per ossicloruro di rame e zolfo).

Figura 9. EEP_Air

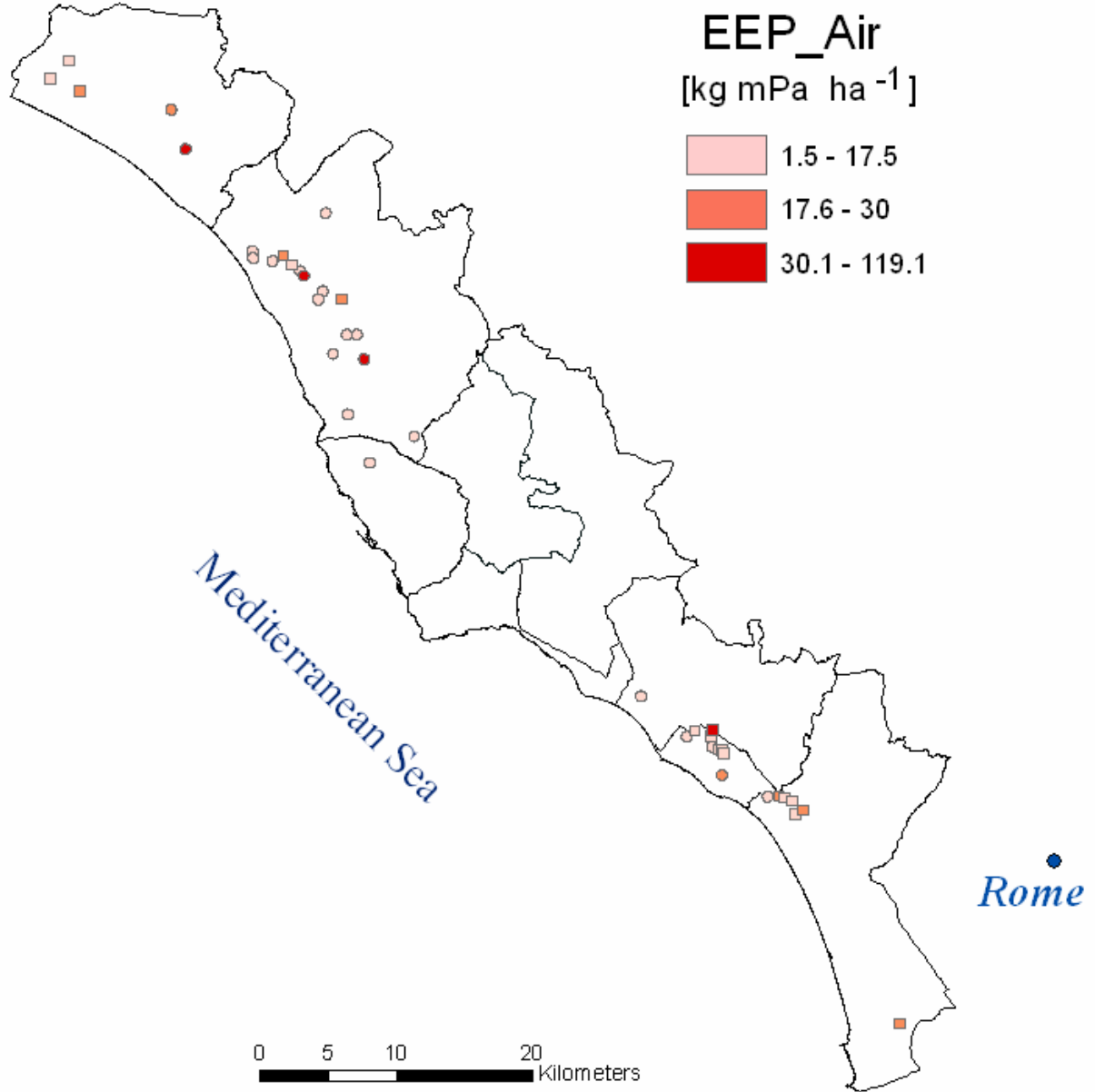


Figura 10. EEP_Soil.

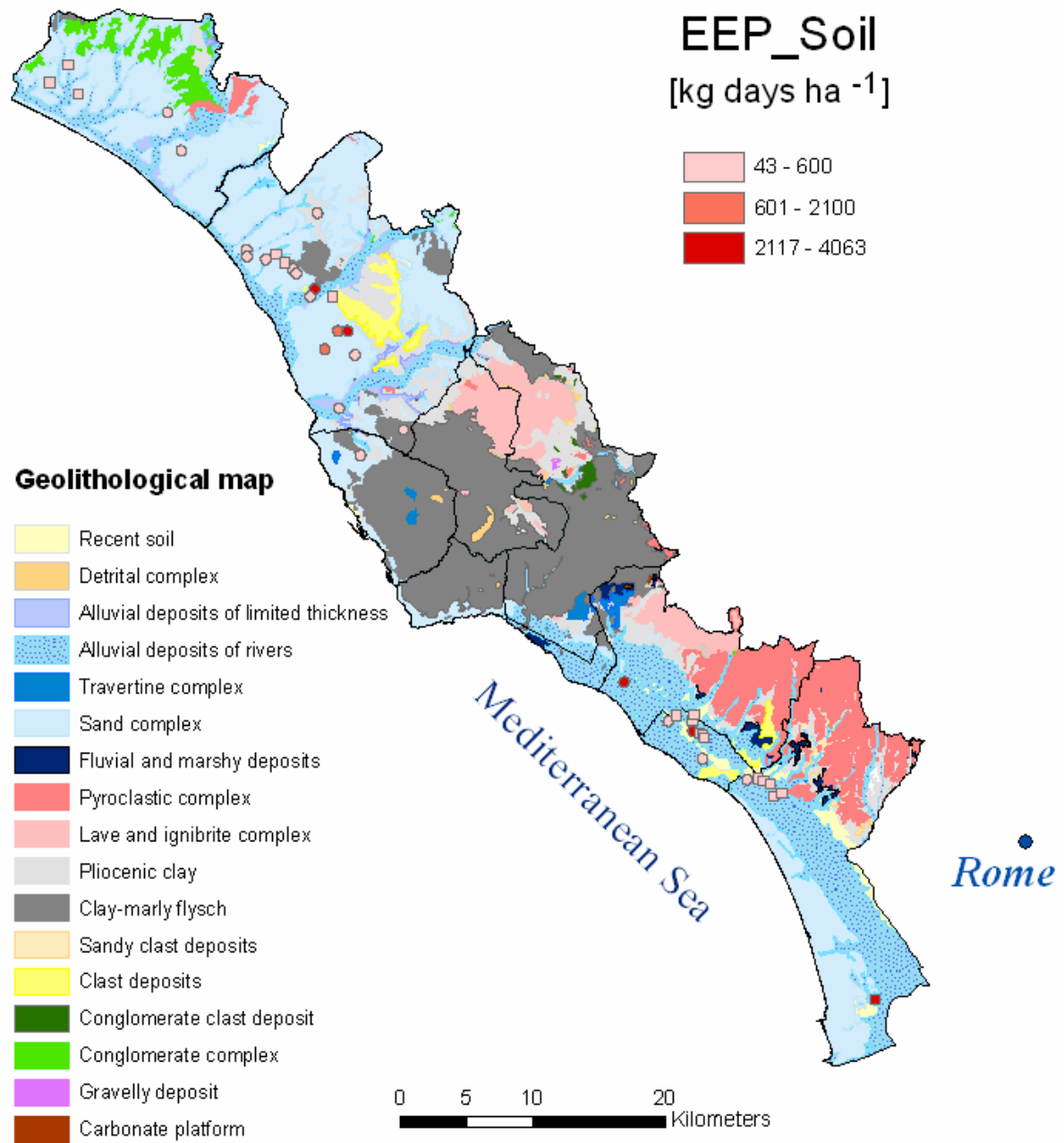
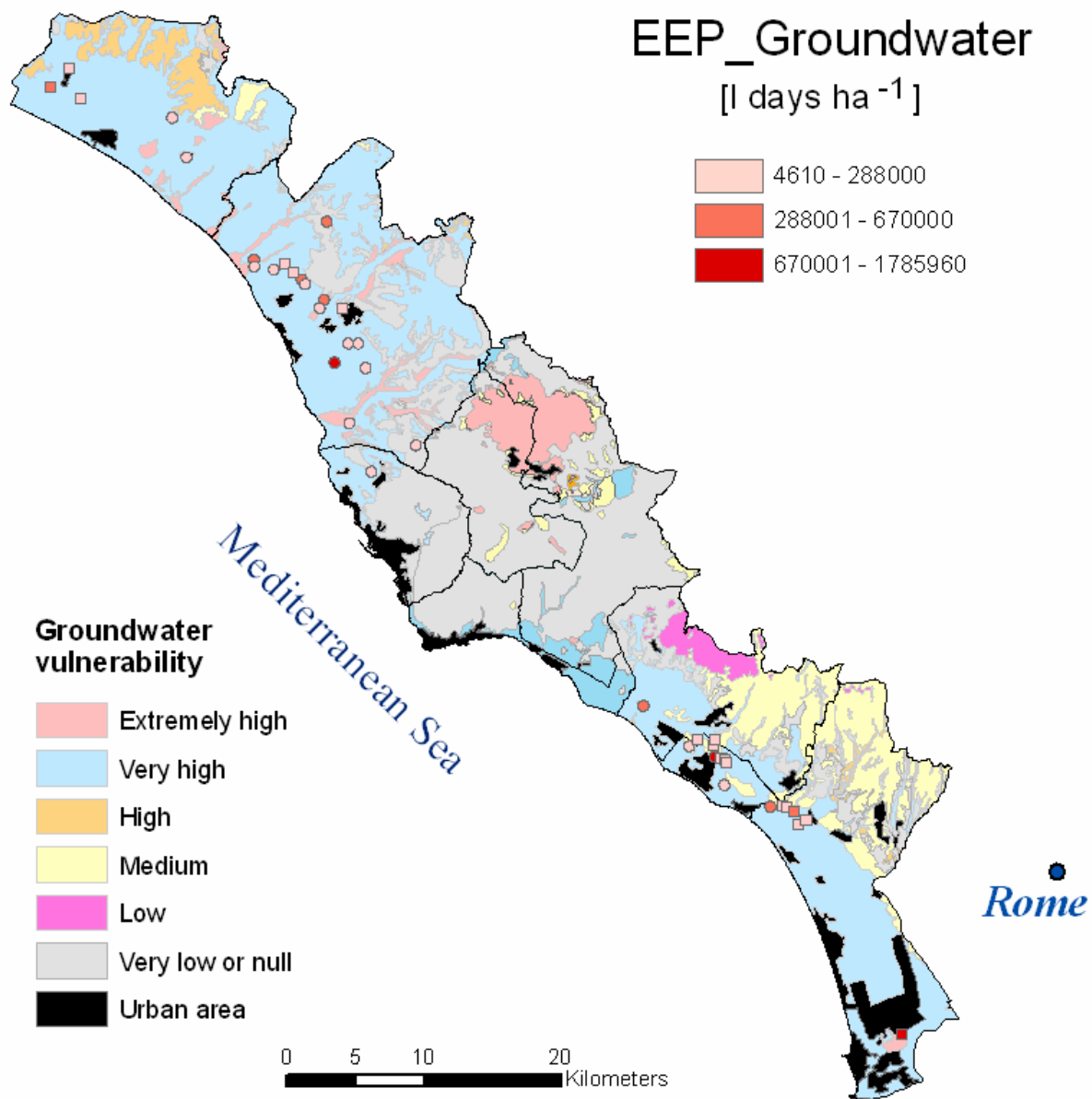


Figura 11. EEP_Groundwater.



4.4 SIMULAZIONE MEDIANTE IL MODELLO GLEAMS

4.4.1 Risultati ottenuti con la simulazione in presenza di pomodoro sia in pieno campo sia in ambiente protetto.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalla simulazione della sola coltura del pomodoro emerge che, per entrambe le condizioni, non si verificano fenomeni erosivi probabilmente a causa della scarsa pendenza delle aree coltivate.

In figura 12 è riportato il bilancio idrico tra gli apporti per precipitazioni e irrigazioni e le perdite per percolazione, traspirazione ed evaporazione nella coltura di pomodoro in serra ed in pieno campo.

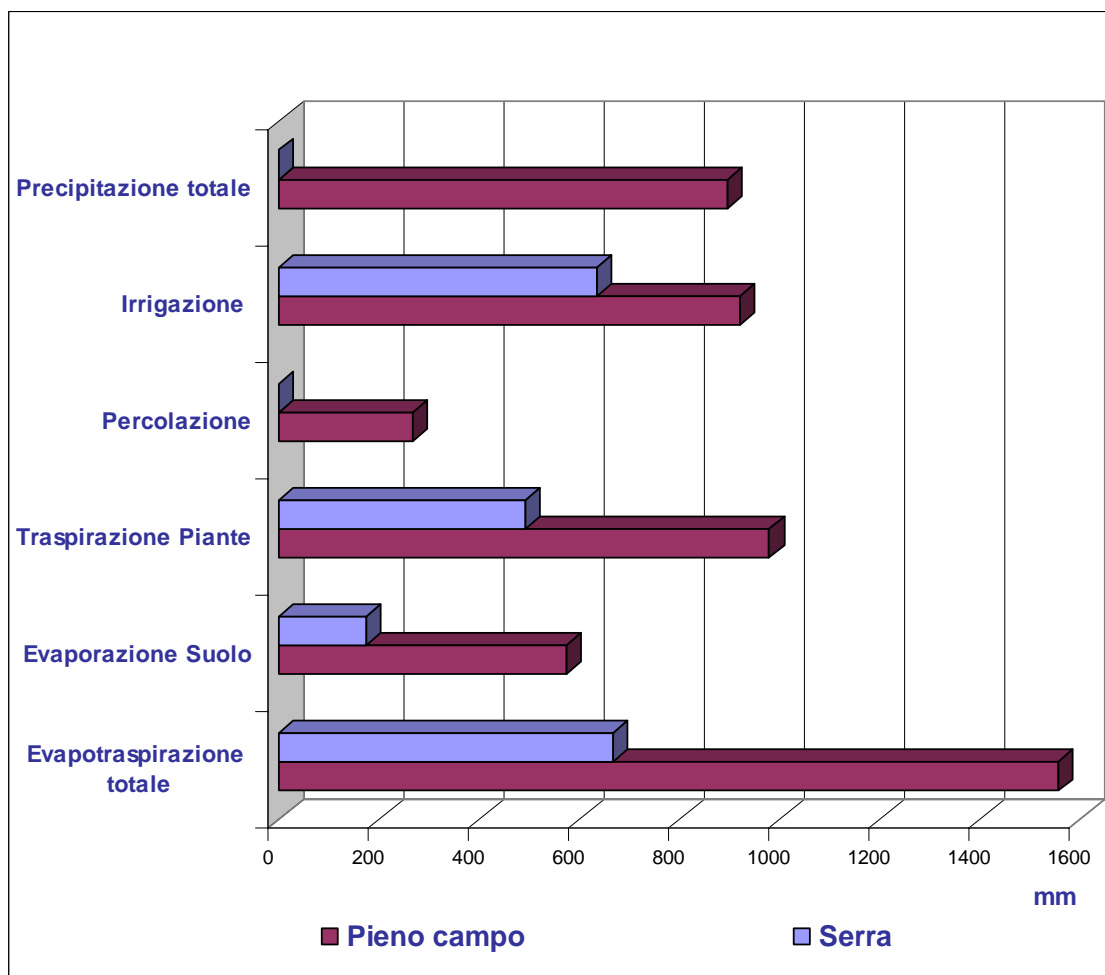
In ambiente protetto l'apporto idrico, che avviene solo per irrigazione, è pari a 635 mm mentre in pieno campo l'apporto idrico rilevato è pari a 1818 mm (895 mm per precipitazioni e 923 mm per irrigazione).

In pieno campo si ha una percolazione di 267 mm pari al 14.8% dell'apporto idrico complessivo, mentre 980 mm (53.9%) vengono traspirati dalle piante e 576 mm (31.7%) sono evaporati dal suolo.

In ambiente protetto non si verifica alcuna percolazione, probabilmente per l'assenza delle piogge, la traspirazione delle piante è di 493 mm, inferiore del 50% di quella che si verifica in pieno campo.

Anche l'evaporazione del suolo risulta inferiore in ambiente protetto dove raggiunge 175 mm.

Figura 12. Bilancio idrico per la coltura di pomodoro in serra ed in pieno campo nel 2005.



Nelle tabelle 27 e 28 sono riportati gli apporti e le trasformazioni dei nutrienti somministrati con le concimazioni.

Gli apporti in pieno campo registrati durante il monitoraggio sono 228.6 kg/ha di N (nitrico e ammoniacale) e 298 kg/ha di P_2O_5 , in serra sono 197 kg/ha di N e 313 kg/ha di P_2O_5 .

Le concimazioni azotate sono risultate di poco superiori al fabbisogno della coltura (l'assimilazione totale di azoto è pari a circa 162 kg/ha in pieno campo e 165 kg/ha in serra) mentre molto eccessivi rispetto ai fabbisogni

sembrano gli apporti di fosforo (assimilazione di P_2O_5 pari a 18.7 kg/ha in pieno campo e 18.9 kg/ha in serra).

In ambiente protetto, sempre per l'assenza di percolazione idrica, non si verificano fenomeni di lisciviazione dell'azoto (tabella 27).

In pieno campo, invece, sembra verificarsi una forte lisciviazione di N (tabella 27 e figura 13) che raggiunge valori di circa 204 kg/ha dei quali il 38% in presenza della coltura ed il rimanente 62% dopo il termine della coltivazione.

Le maggiori perdite per lisciviazione (figura 13) si verificano, durante la coltivazione, nel periodo in cui diminuiscono gli assorbimenti da parte delle piante e successivamente alla coltivazione in corrispondenza dei maggiori apporti idrici.

Per quanto riguarda la percolazione dei pesticidi, per le ragioni sopra dette, nonostante in ambiente protetto vi sia un maggior uso di fitofarmaci, prevalentemente anticrittogamici, non si assiste a fenomeni di percolazione (tabella 29) al contrario del pieno campo.

Il p.a. che presenta la maggiore percolazione in pieno campo è il Metalaxil-m con circa 1280 g/ha, pari al 10.7% del prodotto somministrato.

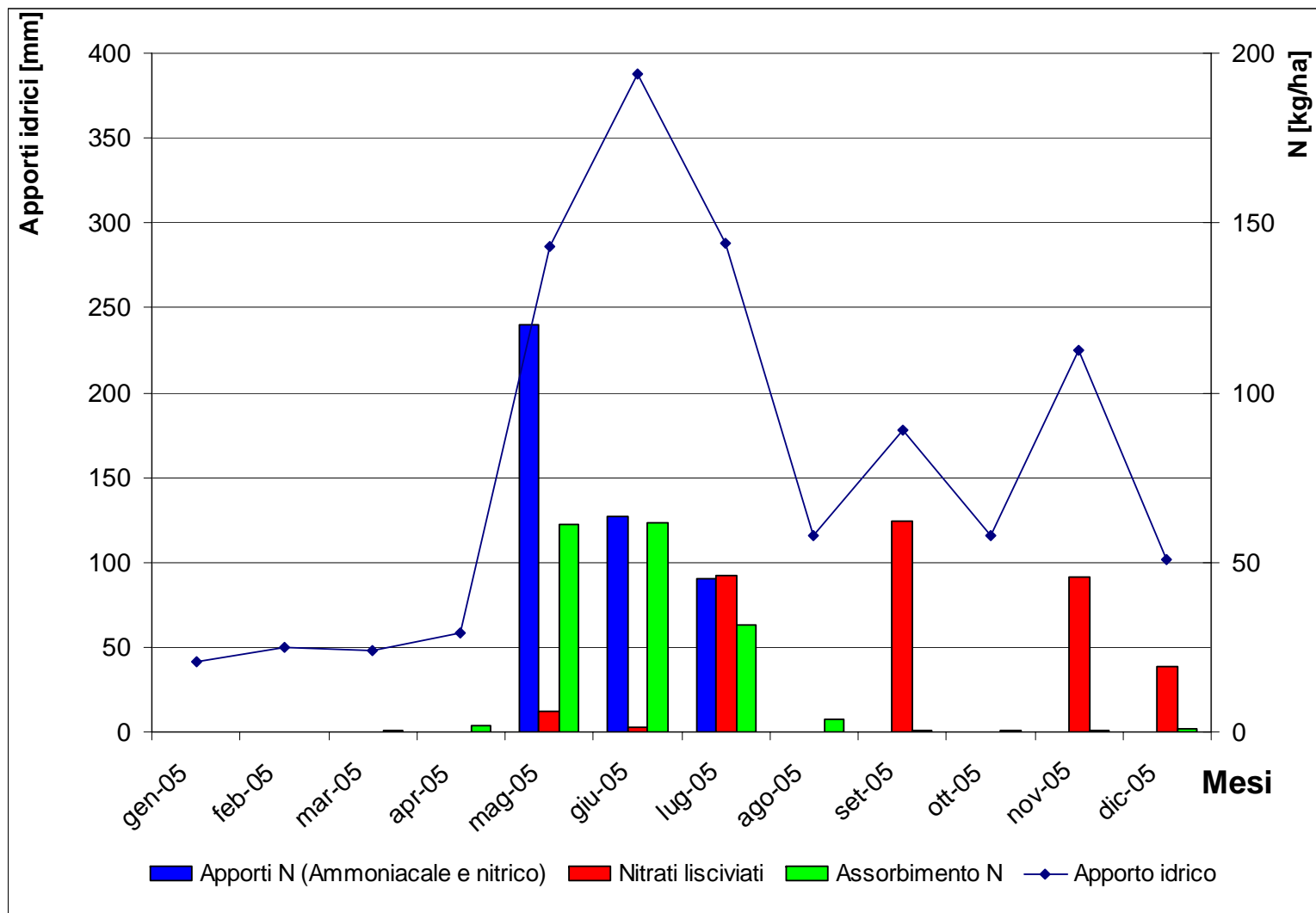
Tabella 27. Perdite e trasformazioni dell'azoto per la coltura del pomodoro in serra e in pieno campo nel 2005.

| PIENO CAMPO - Azoto | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|------------------|----------------|---------------|------------------|---------------|---------------|-------------|------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|
| Mesi | Apporti | | Scorrimento sup. | Sedimentazione | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati | | | N Precipitazione | N Irrigazione | Denitrificazione | Volatilizz. Amm. | Fissazione nitrati |
| | Nitrico | Amm. | | | | | totali | Nitrici | Amm. | | | | | |
| | Kg/ha | Kg/ha | | | | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | | | | | |
| Gennaio | | | 0 | 0 | 0 | 3.78 | 0 | 0 | 0 | 0.63 | 0 | 0.51 | 0 | 0 |
| Febbraio | | | 0 | 0 | 0 | 2.97 | 0 | 0 | 0 | 0.75 | 0 | 0.81 | 0 | 0 |
| Marzo | | | 0 | 0 | 0.41 | 2.42 | 0 | 0 | 0 | 0.77 | 0 | 0.67 | 0 | 0 |
| Aprile | | | 0 | 0 | 1.66 | 0.92 | 0 | 0 | 0 | 0.87 | 0 | 0.36 | 0 | 0 |
| Maggio | | | 0 | 0 | 61.36 | 3.01 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.24 | 3.69 | 1.17 | 0 | 0 |
| Giugno | 51.00 | 177.60 | 0 | 0 | 61.85 | 0.27 | 60.64 | 60.64 | 0 | 0.36 | 5.82 | 2.28 | 0 | 0 |
| Luglio | | | 0 | 0 | 31.55 | 0.99 | 16.15 | 16.12 | 0.03 | 0 | 3.6 | 1.24 | 0 | 0 |
| Agosto | | | 0 | 0 | 3.65 | 18.91 | 0.00 | 0 | 0 | 0.5 | 0.72 | 1.64 | 0 | 0 |
| Settembre | | | 0 | 0 | 0.25 | 5.25 | 62.29 | 62.29 | 0 | 2.67 | 0 | 2.56 | 0 | 0 |
| Ottobre | | | 0 | 0 | 0.26 | 1.57 | 0.00 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0.39 | 0 | 0 |
| Novembre | | | 0 | 0 | 0.52 | 1.84 | 45.47 | 45.47 | 0 | 3.41 | 0 | 1.24 | 0 | 0 |
| Dicembre | | | 0 | 0 | 0.71 | 1.59 | 19.30 | 19.3 | 0 | 1.53 | 0 | 0.74 | 0 | 0 |
| TOT | 51.00 | 177.60 | 0.00 | 0.00 | 162.22 | 43.52 | 203.85 | 203.82 | 0.03 | 13.43 | 13.83 | 13.61 | 0.00 | 0.00 |
| SERRA - Azoto | | | | | | | | | | | | | | |
| Mesi | Apporti | | Scorrimento sup. | Sedimentazione | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati | | | N Precipitazione | N Irrigazione | Denitrificazione | Volatilizz. Amm. | Fissazione nitrati |
| | Nitrico | Amm. | | | | | totali | Nitrici | Amm. | | | | | |
| | Kg/ha | Kg/ha | | | | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | | | | | |
| Gennaio | | | 0 | 0 | 0.73 | 0.36 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Febbraio | | | 0 | 0 | 0 | 0.11 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | | | 0 | 0 | 10.27 | 0.25 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aprile | | | 0 | 0 | 59.35 | 13.83 | 0 | 0 | 0 | - | 0.53 | 0.6 | 3.72 | 0 |
| Maggio | 118.00 | 79.00 | 0 | 0 | 65.27 | 3.11 | 0 | 0 | 0 | - | 1.82 | 1.4 | 0 | 0 |
| Giugno | | | 0 | 0 | 29.58 | 16.5 | 0 | 0 | 0 | - | 1.73 | 2.25 | 0 | 0 |
| Luglio | | | 0 | 0 | 0.03 | 12.94 | 0 | 0 | 0 | - | 0.86 | 2.85 | 0 | 0 |
| Agosto | | | 0 | 0 | 0.06 | 0.31 | 0 | 0 | 0 | - | 0.02 | 0 | 0 | 0 |
| Settembre | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ottobre | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Novembre | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dicembre | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOT | 118.00 | 79.00 | 0.00 | 0.00 | 165.29 | 47.41 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | 4.96 | 7.1 | 3.72 | 0.00 |

Tabella 28. Perdite e trasformazioni del Fosforo per la coltura del pomodoro in pieno campo e in serra nel 2005.

| PIENO CAMPO - Fosforo | | | | | | |
|------------------------------|------------|------------------|----------------|--------------|------------------|--------------|
| Mesi | Apporti | Scorrimento sup. | Sedimentazione | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati |
| | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha |
| Gennaio | | 0 | 0 | 0 | 0.92 | 0 |
| Febbraio | | 0 | 0 | 0 | 0.71 | 0 |
| Marzo | | 0 | 0 | 0.06 | 0.54 | 0 |
| Aprile | | 0 | 0 | 0.24 | 0.19 | 0 |
| Maggio | | 0 | 0 | 6.84 | 0.73 | 0 |
| Giugno | 298 | 0 | 0 | 7.19 | 0.02 | 1.49 |
| Luglio | | 0 | 0 | 3.67 | 0.13 | 0.9 |
| Agosto | | 0 | 0 | 0.43 | 2.77 | 0 |
| Settembre | | 0 | 0 | 0.04 | 0.4 | 2.8 |
| Ottobre | | 0 | 0 | 0.04 | 0.16 | 0 |
| Novembre | | 0 | 0 | 0.07 | 0.18 | 3.47 |
| Dicembre | | 0 | 0 | 0.1 | 0.27 | 2.34 |
| TOT | 298 | 0.00 | 0.00 | 18.68 | 7.02 | 11.00 |
| SERRA - Fosforo | | | | | | |
| Mesi | Apporti | Scorrimento sup. | Sedimentazione | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati |
| | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha |
| Gennaio | | 0 | 0 | 0.1 | 0.06 | 0 |
| Febbraio | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | | 0 | 0 | 1.47 | 0 | 0 |
| Aprile | | 0 | 0 | 6.15 | 3.59 | 0 |
| Maggio | 313 | 0 | 0 | 7.59 | 0.64 | 0 |
| Giugno | | 0 | 0 | 3.44 | 2.41 | 0 |
| Luglio | | 0 | 0 | 0 | 4.8 | 0 |
| Agosto | | 0 | 0 | 0.1 | 0.7 | 0 |
| Settembre | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ottobre | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Novembre | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dicembre | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOT | 313 | 0.00 | 0.00 | 18.85 | 12.2 | 0.00 |

Figura 13. Apporti, assorbimento colturale e lisciviazione dell'azoto per la coltura del pomodoro in pieno campo nel 2005.



4.4.2 Risultati ottenuti con la simulazione per gli avvicendamenti tipo dell'area oggetto di studio in pieno campo e in ambiente protetto

La simulazione eseguita per due anni di successioni tipo ha dato i seguenti risultati.

Nel 2005 l'apporto idrico complessivo in pieno campo è risultato di 1937 mm (figura 14), il 54% per irrigazione e il 46% per precipitazione.

A causa degli elevati apporti idrici, per effetto delle precipitazioni, in pieno campo risulta una percolazione di acqua di 284 mm, la traspirazione delle piante risulta pari a 1036 mm mentre l'evaporazione dal suolo è pari a 634 mm.

In pieno campo nel 2006 (figura 15) gli apporti idrici sono diminuiti sensibilmente rispetto al 2005 e precisamente le piogge misurate risultano pari a 420 mm (- 47% rispetto al 2005) e l'irrigazione è stata di 527 mm (- 51% rispetto all'anno precedente). Conseguentemente la percolazione idrica è scesa a 56 mm (- 80% rispetto al 2006).

In serra nel 2005 (figura 16) sono stati apportati mediante irrigazione 1182 mm, si è registrata una percolazione di circa 70 mm, una traspirazione di 858 mm e un'evaporazione del suolo pari a 247 mm. Nel 2006 (figura 17) sono stati apportati 830 mm di acqua (apporto inferiore del 30% rispetto al 2005) e non si è avuta alcuna percolazione.

In serra, nel complesso, non si verificano significative perdite per percolazione.

Figura 14. Bilancio idrico per avvicendamenti tipo in pieno campo nel 2005.

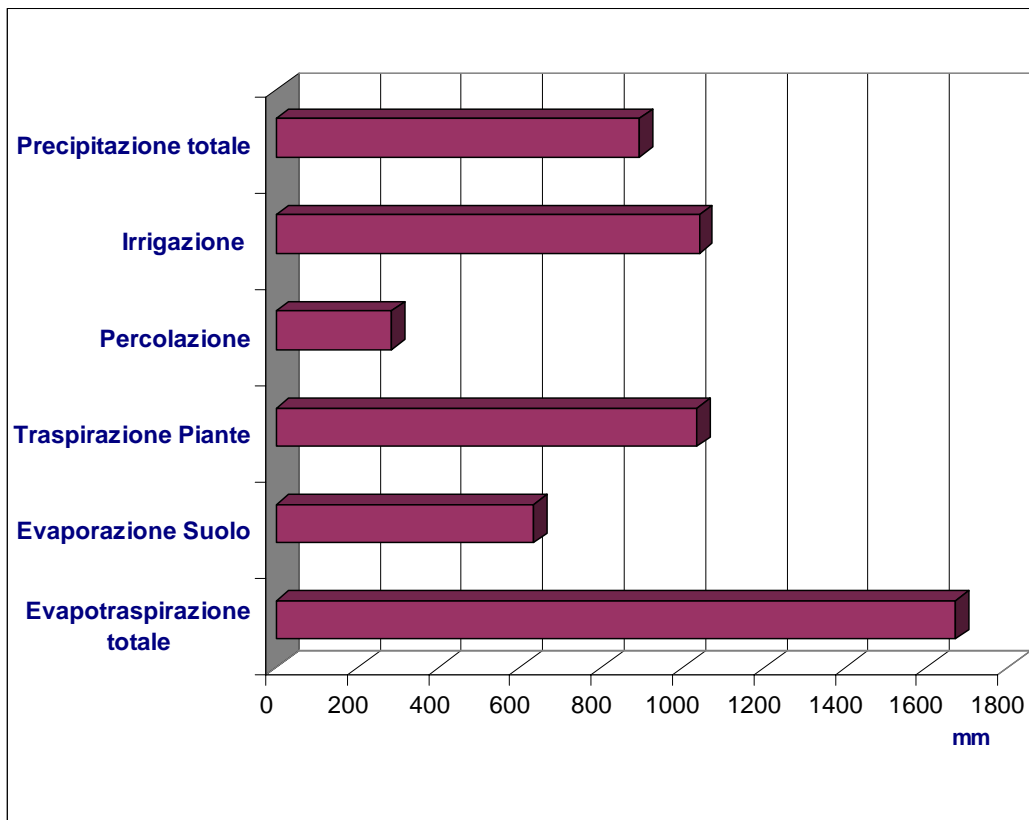


Figura 15. Bilancio idrico per avvicendamenti tipo in pieno campo nel 2006.

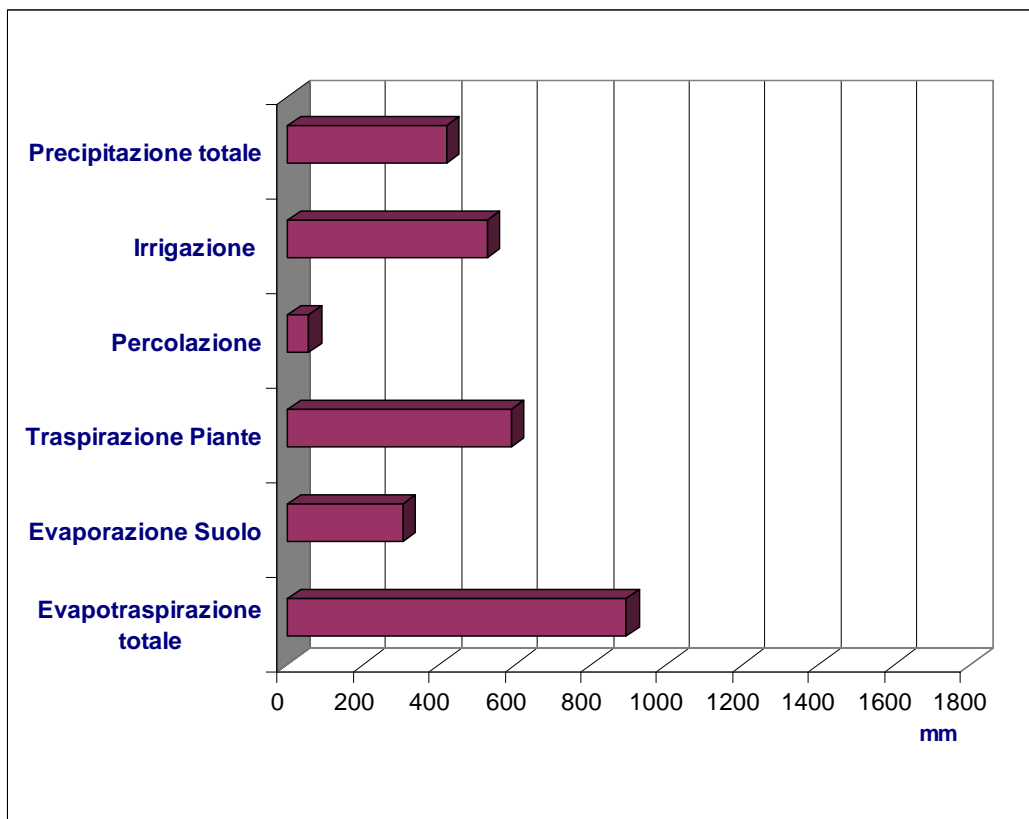


Figura 16. Bilancio idrico per avvicendamenti tipo in serra nel 2005.

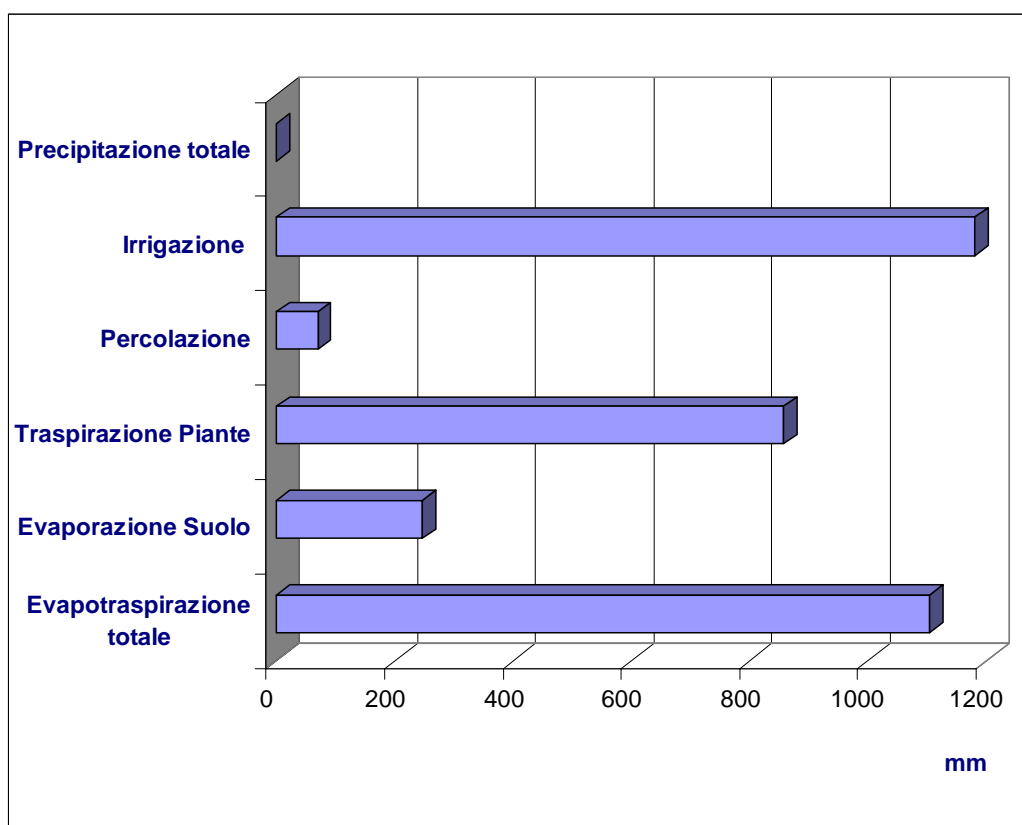
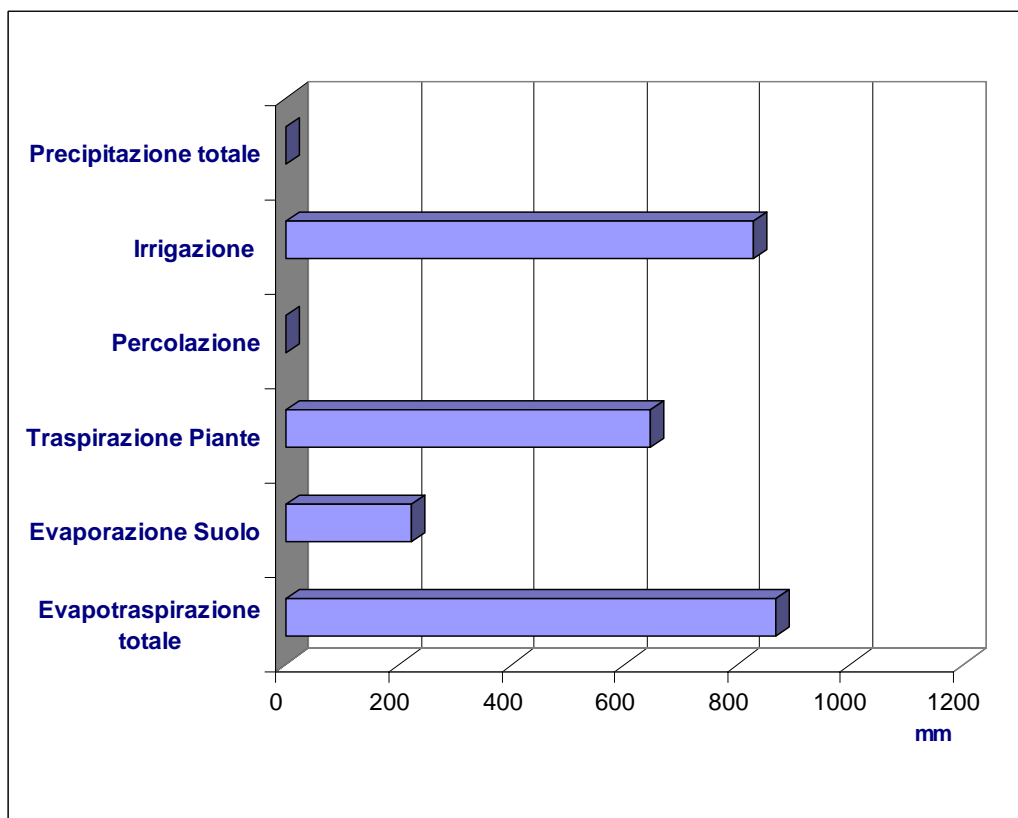


Figura 17. Bilancio idrico per avvicendamenti tipo in serra nel 2006.



Gli apporti di azoto totale nei due anni di simulazione, sia in pieno campo (630.8 kg/ha) sia in ambiente protetto (636 kg/ha) sono risultati maggiori del fabbisogno delle colture in successione (tabelle 30 e 31).

In pieno campo infatti, in media per i due anni di successione, circa il 70% dell'apporto totale di azoto viene assorbito dalle piante mentre in serra tale quota ammonta a circa l'87%.

Per quanto riguarda gli apporti di fosforo, come già esposto per la simulazione della sola coltura del pomodoro, sia per le colture adottate in pieno campo sia per quelle in ambiente protetto si registrano apporti notevolmente superiori rispetto al fabbisogno delle colture (tabelle 32 e 33).

In ambiente protetto (tabelle 31) per i due anni di simulazione non si sono verificate lisciviazioni di azoto.

Per quanto riguarda la lisciviazione dell'azoto in pieno campo nel 2005 (tabella 30) si registrano i più elevati valori pari a 253.3 kg/ha.

Nel 2006 la lisciviazione di azoto risulta pari a 41.4 kg/ha, inferiore del 83.6 % rispetto al 2005 probabilmente a causa del minor apporto idrico e del minor apporto di fertilizzanti azotati (-43%).

Per le successioni colturali le maggiori perdite per lisciviazione di azoto sono concentrate nei mesi successivi alle concimazioni e in corrispondenza dei maggiori apporti idrici.

I risultati della simulazione relativi ai pesticidi (tabella 34 e 35) evidenziano che in pieno campo le maggiori perdite per percolazione si verificano nel primo anno e che i prodotti più vulnerabili sono gli anticrittogamici: metalaxil-m (10.3% degli apporti nel 2005 e 31.2% nel 2006).

Tabella 30: Perdite e trasformazioni dell'azoto per avvicendamenti colturali tipo in pieno campo.

| PIENO CAMPO – Azoto | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------|--------------|-------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Mesi | Coltura | Apporti | | Scorrimento sup. kg/ha | Sedimentazione kg/ha | Assorbimento kg/ha | Mineralizzazione kg/ha | Lisciviati | | | N Precipitazione kg/ha | N Irrigazione kg/ha | Denitrificazione kg/ha | Volatilizz. Amm. kg/ha | Fissazione nitrati kg/ha |
| | | Nitrico | Amm. | | | | | totali | Nitrici | Amm. | | | | | |
| | | Kg/ha | Kg/ha | | | | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | | | | | |
| gen-05 | | | | 0 | 0 | 0.2 | 5.76 | 14.27 | 14.27 | 0 | 0.63 | 0 | 1.08 | 0 | 0 |
| feb-05 | | | | 0 | 0 | 0.32 | 1.5 | 2.37 | 2.37 | 0 | 0.74 | 0 | 0.49 | 0 | 0 |
| mar-05 | | | | 0 | 0 | 0.59 | 2.49 | 6.2 | 6.2 | 0 | 0.77 | 0 | 0.56 | 0 | 0 |
| apr-05 | | | | 0 | 0 | 1.04 | 0.78 | 0 | 0 | 0 | 0.87 | 0 | 0.11 | 0 | 0 |
| mag-05 | POMODORO | 51.00 | 177.60 | 0 | 0 | 61.37 | 3.07 | 0 | 0 | 0 | 0.24 | 3.69 | 1.16 | 0 | 0 |
| giu-05 | | | | 0 | 0 | 49.51 | 0.27 | 53.33 | 53.33 | 0 | 0.36 | 5.82 | 4.03 | 0 | 0 |
| lug-05 | | | | 0 | 0 | 25.62 | 2.55 | 15.81 | 15.79 | 0.02 | 0 | 3.6 | 1.24 | 0 | 0 |
| ago-05 | POM-CAV. | | | 0 | 0 | 17.91 | 15.1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.86 | 1.86 | 0 | 0 |
| set-05 | CAVOLO | 0.00 | 172.00 | 0 | 0 | 24.41 | 8.31 | 80.8 | 80.78 | 0.02 | 4.43 | 0 | 4.23 | 0 | 0 |
| ott-05 | | | | 0 | 0 | 24.89 | 1.21 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0 | 0.84 | 0 | 0 |
| nov-05 | | | | 0 | 0 | 34.34 | 1.26 | 58.87 | 58.87 | 0 | 3.41 | 0 | 1.44 | 0 | 0 |
| dic-05 | | | | 0 | 0 | 22.92 | 1.07 | 21.63 | 21.63 | 0 | 1.53 | 0 | 0.51 | 0 | 0 |
| TOT 2005 | | 51.00 | 349.60 | 0 | 0 | 263.12 | 43.37 | 253.28 | 253.2 | 0.04 | 15.18 | 13.97 | 17.55 | 0 | 0 |
| gen-06 | | | | 0 | 0 | 0.2 | 3.46 | 0 | 0 | 0 | 0.29 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| feb-06 | | | | 0 | 0 | 0.32 | 1.72 | 0 | 0 | 0 | 0.76 | 0 | 0.01 | 0 | 0 |
| mar-06 | | | | 0 | 0 | 0.56 | 2.42 | 0 | 0 | 0 | 0.77 | 0 | 0.01 | 0 | 0 |
| apr-06 | | | | 0 | 0 | 1.06 | 1.93 | 0 | 0 | 0 | 0.41 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| mag-06 | MELONE | 15.20 | 83.20 | 0 | 0 | 25.13 | 16.43 | 0 | 0 | 0 | 1.18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| giu-06 | | | | 0 | 0 | 27.99 | 2.68 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 2.78 | 0.79 | 0 | 0 |
| lug-06 | | | | 0 | 0 | 16.15 | 2.19 | 0 | 0 | 0 | 0.14 | 1.28 | 0.15 | 0 | 0 |
| ago-06 | FINOCCHIO | 60.00 | 72.00 | 0 | 0 | 10.86 | 21.11 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 1.06 | 0 | 0 | 0 |
| set-06 | | | | 0 | 0 | 16.49 | 13.01 | 41.38 | 41.38 | 0 | 4.14 | 0 | 2.97 | 0 | 0 |
| ott-06 | | | | 0 | 0 | 28.06 | 2.51 | 0 | 0 | 0 | 0.6 | 0 | 0.35 | 0 | 0 |
| nov-06 | | | | 0 | 0 | 23.12 | 0.32 | 0 | 0 | 0 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| dic-06 | 0 | 0 | 16.95 | 0.83 | 0 | 0 | 0 | 0.55 | 0 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | | |
| TOT 2006 | | 75.20 | 155.20 | 0 | 0 | 166.89 | 68.61 | 41.38 | 41.38 | 0 | 9.11 | 5.12 | 4.31 | 0 | 0 |

Tabella 31: Perdite e trasformazioni dell'azoto per avvicendamenti colturali tipo in serra.

| SERRA – Azoto | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|---------------|---------------|------------------|----------------|---------------|------------------|------------|----------|----------|------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|---|
| Mesi | Coltura | Apporti | | Scorrimento sup. | Sedimentazione | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati | | | N Precipitazione | N Irrigazione | Denitrificazione | Volatilizz. Amm. | Fissazione nitrati | |
| | | Nitrico | Amm. | | | | | totali | Nitrici | Amm. | | | | | | |
| | | Kg/ha | Kg/ha | | | | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | | | | | | |
| gen-05 | | | | 0 | 0 | 0.18 | 0.35 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| feb-05 | | | | 0 | 0 | 0 | 0.11 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| mar-05 | MELONE | 57.80 | 66.00 | 0 | 0 | 20.51 | 2.46 | 0 | 0 | 0 | - | 0.26 | 0.02 | 0 | 0 | |
| apr-05 | | | | 0 | 0 | 60.88 | 2.63 | 0 | 0 | 0 | - | 0.72 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| mag-05 | | | | 0 | 0 | 85.69 | 3.03 | 0 | 0 | 0 | - | 0.84 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| giu-05 | | | | 0 | 0 | 8.2 | 2.78 | 0 | 0 | 0 | - | 0.78 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| lug-05 | POMODORO | 118.00 | 79.00 | 0 | | 19.26 | 22.85 | 0 | 0 | 0 | - | 0.34 | 0 | 0 | 4.43 | |
| ago-05 | | | | 0 | 0 | 31.51 | 17.53 | 0 | 0 | 0 | - | 1.25 | 0 | 0 | 0 | |
| set-05 | | | | 0 | 0 | 21.6 | 6.69 | 0 | 0 | 0 | - | 1.25 | 0.62 | 0 | 0 | |
| ott-05 | | | | 0 | 0 | 21.88 | 3.43 | 0 | 0 | 0 | - | 1.25 | 0 | 0 | 0 | |
| nov-05 | | | | 0 | 0 | 8.9 | 2.06 | 0 | 0 | 0 | - | 1.25 | 3.57 | 0 | 0 | |
| dic-05 | | | | 0 | 0 | 1.34 | 0.26 | 0 | 0 | 0 | - | 1.33 | 8.22 | 0 | 0 | |
| TOT 2005 | | 175.80 | 145.00 | 0 | 0 | 279.95 | 64.18 | 0 | 0 | 0 | - | 9.27 | 12.43 | 0 | 4.43 | |
| gen-06 | | | | 0 | 0 | 0.29 | 1.54 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| feb-06 | | | | 0 | 0 | 0 | 0.32 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| mar-06 | MELONE | 57.80 | 66.00 | 0 | 0 | 9.67 | 3.18 | 0 | 0 | 0 | - | 0.18 | 0 | 0 | 0 | |
| apr-06 | | | | 0 | 0 | 55.51 | 4.39 | 0 | 0 | 0 | - | 0.72 | 0 | 0 | 0 | |
| mag-06 | | | | 0 | 0 | 34.94 | 6.32 | 0 | 0 | 0 | - | 0.84 | 0 | 0 | 0 | |
| giu-06 | | | | 0 | 0 | 12.08 | 18.74 | 0 | 0 | 0 | - | 0.78 | 0 | 0 | 0 | |
| lug-06 | | | | 0 | 0 | 0.1 | 6.68 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| ago-06 | ZUCCHINO | 17.52 | 78.82 | 0 | 0 | 30.94 | 34.59 | 0 | 0 | 0 | - | 1.11 | 0.88 | 0 | 0 | |
| set-06 | | | | 0 | 0 | 65.46 | 5.18 | 0 | 0 | 0 | - | 1.24 | 1.42 | 0 | 0 | |
| ott-06 | | | | 0 | 0 | 29.98 | 0.62 | 0 | 0 | 0 | - | 0.8 | 0.3 | 0 | 0 | |
| nov-06 | LATTUGA | 78.80 | 18.00 | 0 | 0 | 25.45 | 3.85 | 0 | 0 | 0 | - | 0.43 | 0 | 0 | 0 | |
| dic-06 | | | | 0 | 0 | 9.08 | 0.59 | 0 | 0 | 0 | - | 0.26 | 0 | 0 | 0 | |
| TOT 2006 | | 154.12 | 162.82 | 0 | 0 | 273.5 | 86 | 0 | 0 | 0 | - | 6.36 | 2.6 | 0 | 0 | |

Figura 18. Apporti, assorbimento colturale e lisciviazione dell'azoto per avvicendamenti colturali tipo in pieno campo.

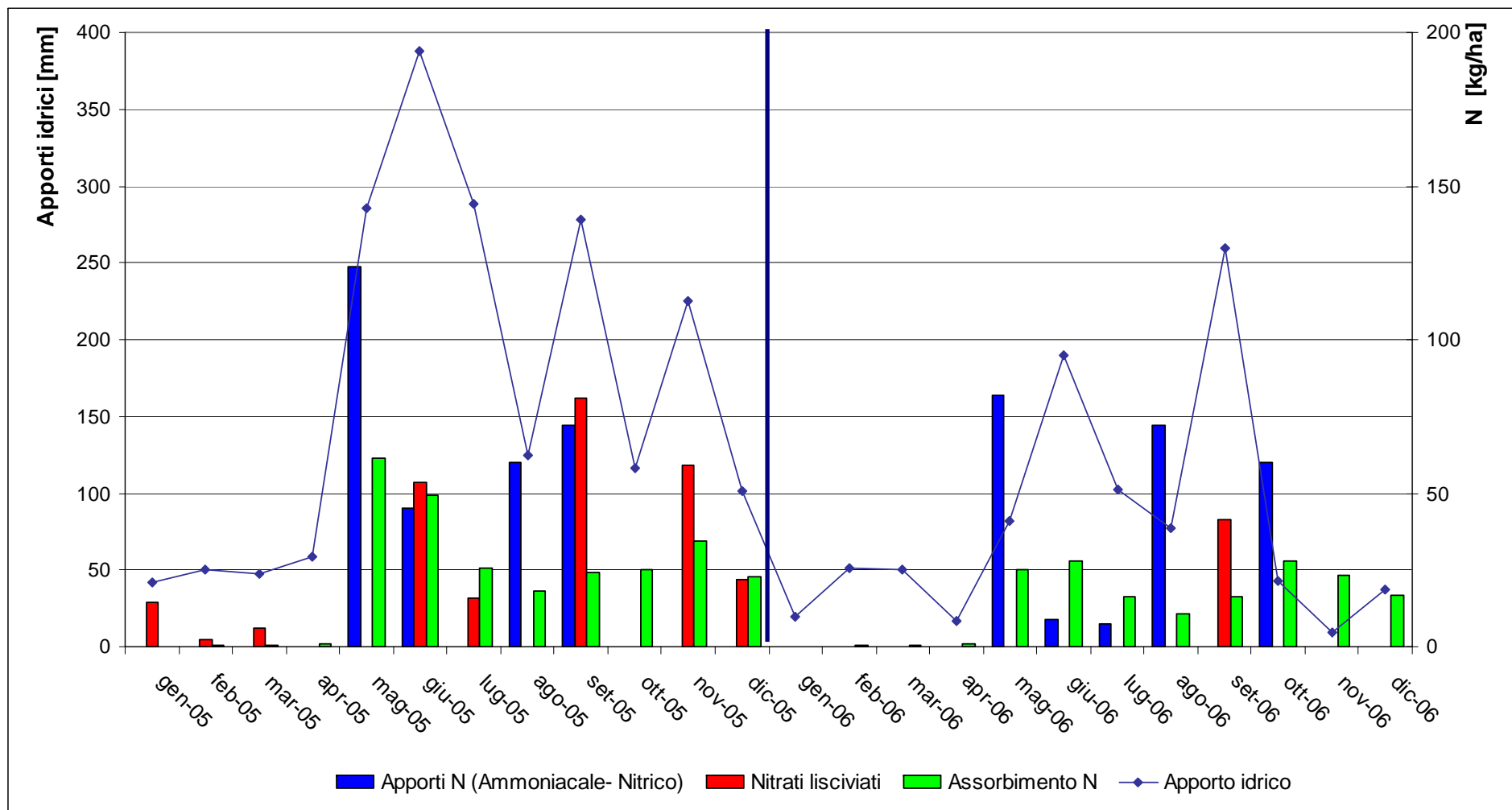


Tabella 32. Perdite e trasformazioni del Fosforo per avvicendamenti colturali tipo in pieno campo.

| PIENO CAMPO – Fosforo | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|--------------|--------------------------|-----------|--------------|------------------|-------------------|-------------|
| Mesi | Coltura | Apporti | Scorrimento superficiale | Sedimento | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati totali | Irrigazione |
| | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha |
| gen-05 | | | 0 | 0 | 0.03 | 1.41 | 0.24 | 0 |
| feb-05 | | | 0 | 0 | 0.05 | 0.33 | 0.09 | 0 |
| mar-05 | | | 0 | 0 | 0.08 | 0.59 | 0.25 | 0 |
| apr-05 | | | 0 | 0 | 0.15 | 0.15 | 0 | 0 |
| mag-05 | POMODORO | 298 | 0 | 0 | 6.82 | 0.76 | 0 | 0 |
| giu-05 | | | 0 | 0 | 5.76 | 0.07 | 1.51 | 0 |
| lug-05 | | | 0 | 0 | 2.98 | 0.51 | 0.92 | 0 |
| ago-05 | POM-CAV. | | 0 | 0 | 1.33 | 2.32 | 0 | 0 |
| set-05 | CAVOLO | 184 | 0 | 0 | 2.63 | 0.72 | 2.73 | 0 |
| ott-05 | | | 0 | 0 | 2.68 | 0.15 | 0 | 0 |
| nov-05 | | | 0 | 0 | 3.7 | 0.13 | 2.93 | 0 |
| dic-05 | | | 0 | 0 | 3.05 | 0.1 | 2.11 | 0 |
| TOT 2005 | | 482 | 0 | 0 | 29.26 | 7.24 | 10.78 | 0 |
| gen-06 | | | 0 | 0 | 0.03 | 0.16 | 0 | 0 |
| feb-06 | | | 0 | 0 | 0.05 | 0.07 | 0 | 0 |
| mar-06 | | | 0 | 0 | 0.08 | 0.16 | 0 | 0 |
| apr-06 | | | 0 | 0 | 0.15 | 0.03 | 0 | 0 |
| mag-06 | MELONE | 248.5 | 0 | 0 | 4.1 | 2.24 | 0 | 0 |
| giu-06 | | | 0 | 0 | 4.66 | 0.32 | 0 | 0 |
| lug-06 | | | 0 | 0 | 2.69 | 0.23 | 0 | 0 |
| ago-06 | FINOCCHIO | 148 | 0 | 0 | 1.76 | 3.13 | 0 | 0 |
| set-06 | | | 0 | 0 | 2.84 | 1.86 | 2.6 | 0 |
| ott-06 | | | 0 | 0 | 4.84 | 0.07 | 0 | 0 |
| nov-06 | | | 0 | 0 | 3.99 | 0.03 | 0 | 0 |
| dic-06 | | | 0 | 0 | 2.92 | 0.1 | 0 | 0 |
| TOT 2006 | | 396.5 | 0 | 0 | 28.11 | 8.4 | 2.6 | 0 |

Tabella 33. Perdite e trasformazioni del Fosforo per avvicendamenti colturali tipo in serra.

| SERRA – Fosforo | | | | | | | | |
|------------------------|----------|------------|-----------------------------|-----------|--------------|------------------|----------------------|-------------|
| Mesi | Coltura | Apporti | Scorrimento superficiale | Sedimento | Assorbimento | Mineralizzazione | Lisciviati totali | Irrigazione |
| | | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha | kg/ha |
| gen-05 | | | 0 | 0 | 0.03 | 0.06 | 0 | 0 |
| feb-05 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| mar-05 | MELONE | 220 | 0 | 0 | 3.06 | 0.57 | 0 | 0 |
| apr-05 | | | 0 | 0 | 10.15 | 0.65 | 0 | 0 |
| mag-05 | | | 0 | 0 | 14.28 | 0.74 | 0 | 0 |
| giu-05 | | | 0 | 0 | 6.91 | 0.65 | 0 | 0 |
| lug-05 | | | POMODORO | 313 | 0 | 0 | 13.13 | 3.27 |
| ago-05 | 0 | 0 | | | 3.66 | 3.31 | 0 | 0 |
| set-05 | 0 | 0 | | | 2.51 | 1.26 | 0 | 0 |
| ott-05 | 0 | 0 | | | 2.54 | 0.64 | 0 | 0 |
| nov-05 | 0 | 0 | | | 1.03 | 0.39 | 0 | 0 |
| dic-05 | 0 | 0 | | | 0 | 0.17 | 0 | 0 |
| TOT 2005 | | 533 | 0 | 0 | 57.3 | 11.71 | 0 | 0 |
| gen-06 | | | 0 | 0 | 0.04 | 0.18 | 0 | 0 |
| feb-06 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| mar-06 | MELONE | 220 | 0 | 0 | 1.25 | 1.08 | 0 | 0 |
| apr-06 | | | 0 | 0 | 9.25 | 0.81 | 0 | 0 |
| mag-06 | | | 0 | 0 | 5.82 | 1.11 | 0 | 0 |
| giu-06 | | | 0 | 0 | 2.01 | 3.56 | 0 | 0 |
| lug-06 | | | 0 | 0 | 0.01 | 1.81 | 0 | 0 |
| ago-06 | ZUCCHINO | 170 | 0 | 0 | 5.09 | 6.86 | 0 | 0 |
| set-06 | | | 0 | 0 | 10.91 | 0.95 | 0 | 0 |
| ott-06 | | | 0 | 0 | 5 | 0.12 | 0 | 0 |
| nov-06 | LATTUGA | 127 | 0 | 0 | 2.55 | 0.61 | 0 | 0 |
| dic-06 | | | 0 | 0 | 1.15 | 0.1 | 0 | 0 |
| TOT 2006 | | 517 | 0 | 0 | 43.08 | 17.19 | 0 | 0 |

Tabella 34. Perdita e trasformazione dei p.a. utilizzati per avvicendamenti colturali tipo in pieno campo.

| PIENO CAMPO – 2005 | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|----------------------|---------|--------------|------------------|--------|----------------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| Principio attivo | Azione | Classe tossicologica | DT 50 d | Apporti g/ha | Scorrimento sup. | | Sedimentazione | | Percolazione | | Totale | |
| | | | | | g/ha | % appl | g/ha | % appl | g/ha | % appl | g/ha | % appl |
| Metalaxil-m | Anticritt. | Nocivo (Xn) | 39 | 12240 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1278.1 | 10.3 | 1278.1 | 10.3 |
| Metribuzin | Diserbante | Nocivo (Xn) | 11.5 | 800 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.4 | 3.8 | 30.4 | 3.8 |
| Imidalcoprid | Insetticida | Non class. | 191 | 100 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 |
| Thiamethoxam | Insetticida | Non class. | 50 | 250 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.7 | 7.5 | 18.7 | 7.5 |
| Forate | Insetticida | - | | 20000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.6 | 0.0 | 3.6 | 0.0 |
| PIENO CAMPO - 2006 | | | | | | | | | | | | |
| Principio attivo | Azione | Classe tossicologica | DT 50 d | Apporti g/ha | Scorrimento sup. | | Sedimentazione | | Percolazione | | Totale | |
| | | | | | g/ha | % appl | g/ha | % appl | g/ha | % appl | g/ha | % appl |
| Metalaxil-m | Anticritt. | Nocivo (Xn) | 39 | 160 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 49.70 | 31.2 | 49.7 | 31.2 |
| Imidalcoprid | Insetticida | Non class. | 191 | 24 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.21 | 5.0 | 1.2 | 5.0 |
| Penconazolo | Anticritt. | Irritante (Xi) | 197 | 200 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Linuron | Diserbante | Tossico (T) | 48 | 600 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Haloxypop-R methyl | Diserbante | - | 0.5 | 500 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.85 | 0.8 | 3.9 | 0.8 |
| Pendimethalin | Diserbante | Nocivo (Xn) | 90 | 300 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

4.5 RISULTATI DELL'ANALISI TECNICO – ECONOMICA DELLE COLTIVAZIONI FUORI SUOLO

4.5.1 Analisi tecnico-economica dei sistemi di coltivazione in fuori suolo del pomodoro.

Per il pomodoro da mensa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sono stati analizzati due sistemi di coltivazione:

1. Fuori suolo in sacchi di perlite (figura 18).
2. NFT (Nutrient Film Technique)

Tabella 36: Valutazione del Reddito Netto della coltivazione di pomodoro in fuori suolo in sacchi di perlite per una superficie di 1000 m²

| | | |
|------------------------------|---|--------------------|
| PLV | | € 15 592.50 |
| COSTI TOTALI all'anno | | € 13 899.57 |
| Costi fissi annui | <i>Struttura, impianto elettrico, impianto di riscaldamento</i> | € 2 053.33 |
| | <i>Impianti specifici (Gestione soluzione nutritiva, serbatoi per la soluzione)</i> | € 1 738.33 |
| Costi variabili annui | <i>Substrato in sacchi</i> | € 1 712.50 |
| | <i>Manodopera</i> | € 1 610.00 |
| | <i>Piantine</i> | € 525.00 |
| | <i>Energia elettrica</i> | € 500.00 |
| | <i>Riscaldamento</i> | € 1 587.60 |
| | <i>Acqua</i> | € 135.00 |
| | <i>Fertilizzanti</i> | € 118.35 |
| | <i>Antiparassitari</i> | € 40.71 |
| | <i>Trasporti</i> | € 500.00 |
| | <i>Smaltimento soluzione nutritiva</i> | € 1 350.00 |
| | <i>Smaltimento substrato</i> | € 1 828.75 |
| <i>Consulenze</i> | € 200.00 | |
| REDDITO NETTO annuo | | € 1 692.93 |

Figura 18. Particolare della coltivazione di pomodoro in fuori suolo su sacchi di perlite.



Figura 19. Piante di pomodoro in fioritura coltivate in fuori suolo.



Tabella 37: Valutazione del Reddito Netto della coltivazione di pomodoro in sistema NFT una superficie di 1000 m².

| | | |
|------------------------------|--|--------------------|
| PLV | | € 15 592.50 |
| COSTI TOTALI all'anno | | € 13 387.41 |
| Costi fissi annui | <i>Struttura, impianto elettrico, impianto di riscaldamento</i> | € 2 053.33 |
| | <i>Impianti specifici (Gestione soluzione nutritiva, serbatoi per soluzione e struttura per NFT)</i> | € 3 942.42 |
| Costi variabili annui | <i>Manodopera</i> | € 1 610.00 |
| | <i>Piantine</i> | € 525.00 |
| | <i>Energia elettrica</i> | € 600.00 |
| | <i>Riscaldamento</i> | € 1 587.60 |
| | <i>Acqua</i> | € 210.00 |
| | <i>Fertilizzanti</i> | € 118.35 |
| | <i>Antiparassitari</i> | € 40.71 |
| | <i>Trasporti</i> | € 500.00 |
| | <i>Smaltimento soluzione nutritiva</i> | € 2 000.00 |
| | <i>Smaltimento substrato</i> | - |
| | <i>Consulenze</i> | € 200.00 |
| REDDITO NETTO annuo | | € 2 205.09 |

La valutazione economica è stata eseguita per due cicli produttivi all'anno con una densità delle piante di 2.1 piante/m² in grado di fornire una produzione annua di circa 25 kg/m².

Per quanto riguarda i prezzi alla produzione per il primo ciclo (giugno 2006) il prezzo medio alla produzione adottato è di 0.45 €/kg mentre per il secondo ciclo (novembre 2006) si è passati da 0.75 €/kg.

Dalle valutazioni economiche sopra riportate è emerso che per la coltivazione di pomodoro da mensa in sacchi di perlite il reddito netto ammonta a 1692.93 €, pari al 10.9% della produzione lorda vendibile.

Le spese più rilevanti, oltre quelle relative all'ammortamento degli impianti specifici, sono rappresentate dall'acquisto e dallo smaltimento del

substrato di coltivazione (25.5% dei costi totali), dalla manodopera (11.6% dei costi totali) e dal riscaldamento (11.4% dei costi totali).

Il reddito netto nel sistema NFT (2205.09 €1000 m²), a causa dell'assenza dei costi di acquisto e smaltimento del substrato, risulta superiore a quello del sistema fuori suolo in sacchi di perlite, nonostante i maggiori costi fissi per la realizzazione del sistema di coltivazione.

4.5.2 Analisi tecnico-economica delle coltivazioni fuori suolo di lattuga e zucchini.

Analoghe analisi tecnico-economiche sono state eseguite anche per la lattuga (*Lactuca sativa L.*) e lo zucchini (*Cucurbita pepo L.*).

I risultati della valutazione economica eseguita per la lattuga, su sistema N.F.T. e sulla base di prezzi alla produzione del 2006, portano ad una stima negativa del reddito netto.

Ciò induce a ritenere difficilmente utilizzabile su larga scala il fuori suolo per la lattuga a meno di non inserire la coltivazione in un ciclo produttivo comprendente la vendita diretta del prodotto finale (es. IV gamma).

Gli stessi risultati negativi sono stati ottenuti per lo zucchini, ipotizzato in fuori suolo su substrato in sacchi di perlite.

5. CONCLUSIONI

Obbiettivo principale della ricerca, svolta durante l'attività di dottorato e riportata nella presente tesi, è stato quello di valutare l'impatto sull'ambiente dell'orticoltura in serre tipiche dell'ambiente mediterraneo sia in termini assoluti sia in confronto con l'orticoltura di pieno campo.

La ricerca è stata svolta sulla base di un monitoraggio di 40 aziende orticole rappresentative del litorale nord della regione Lazio presso le quali sono stati rilevati una serie di dati relativi alla fertilizzazione, alla difesa chimica delle colture, alle tecniche agronomiche, ecc...

Dalle elaborazioni dei dati sulla fertilizzazione è emerso che, per quanto riguarda le concimazioni azotate, nelle aziende monitorate gli apporti in serra sono notevolmente inferiori (34.1%) di quelli registrati in pieno campo.

Per quanto concerne gli apporti di P_2O_5 e di K_2O in ambiente protetto si ha un valore maggiore rispetto a quello del pieno campo rispettivamente del 19.5% e del 30.1%.

L'analisi dei dati relativi ai fitofarmaci ha messo in evidenza che i quantitativi di principi attivi complessivamente somministrati alle colture in ambiente protetto sono generalmente superiori a quelli del pieno campo.

Relativamente ai diversi tipi di fitofarmaci utilizzati è emerso che l'uso di fungicidi in serra è, in genere, superiore a quello in pieno campo (22.8%), mentre l'uso di erbicidi è inferiore a quello in pieno campo (17.5%).

A livello di insetticidi non sono emersi valori molto diversi tra pieno campo ed ambiente protetto.

Dall'elaborazione eseguita per individuare il rischio di esposizione dovuto all'uso dei fitofarmaci sia in ambiente protetto che in pien'aria è emerso che l'indice di esposizione ambientale dell'aria a tutti i pesticidi è

molto più elevato in ambiente protetto (+217%) mentre quello del suolo e dell'acqua di falda sono più elevati in pieno campo (- 52% in serra).

Dall'analisi della correlazione degli indici di esposizione con le carte tematiche relative al tipo di suolo e alla vulnerabilità della falda freatica è risultato che gli indici EEP-soil e EEP-groundwater sono molto elevati per effetto dei prodotti a base di rame e zolfo, a causa dell'elevato tempo di degradazione DT50, e che le aziende a più elevato indice EEP-groundwater ricadono nelle zone a vulnerabilità molto elevata e estremamente elevata evidenziando un forte rischio di contaminazione delle acque di falda.

La mobilitazione dei nutrienti e dei fitofarmaci nello strato esplorato delle radici è stata studiata mediante il noto modello *GLEAMS*, i risultati hanno messo in evidenza che, sia in pieno campo che in ambiente protetto, gli apporti di azoto dovuti alle concimazioni sono di poco superiori ai fabbisogni delle colture mentre quelli di fosforo sono in notevole eccesso rispetto al fabbisogno.

A causa della scarsa pendenza del terreno, che contraddistingue l'area oggetto di studio, non si verificano fenomeni di erosione e scorrimento superficiale.

La simulazione eseguita, inoltre, ha messo in evidenza che in ambiente protetto non si sono verificati fenomeni di lisciviazione dell'azoto al contrario di quanto accade in pieno campo dove si verifica un maggior apporto idrico a causa delle precipitazioni.

In pieno campo, poi, le maggiori lisciviazioni di azoto si verificano subito dopo le concimazioni e in corrispondenza dei maggiori eventi pluviometrici.

La presenza di fenomeni di lisciviazione in pieno campo e l'elevato valore di nitrati registrato nelle acque di falda mette in evidenza, ancora una

volta, l'importanza della serricoltura, e soprattutto delle moderne tecniche fuori suolo, per ridurre l'impatto sull'ambiente dell'orticoltura intensiva.

A tale proposito, però, dall'analisi tecnico-economica, svolta su alcuni sistemi di coltivazione fuori suolo, è emerso che i costi di produzione sono ancora elevati a causa dei costi ancora proibitivi di questa tecnica di coltivazione.

I costi che risultano più elevati sono quelli per la realizzazione dell'impianto del fuori suolo e quelli per lo smaltimento della soluzione nutritiva, del substrato e dei film di copertura.

Delle colture esaminate solo il pomodoro consente di ottenere un reddito netto positivo (11-14% della PLV), mentre la lattuga in NFT e lo zucchini in sacchi di perlite danno redditi netti negativi.

Appare quindi necessario intensificare la ricerca sperimentale al fine di individuare sistemi di coltivazione in fuori suolo più efficienti e al tempo stesso più economici, nonché più adatti alle serre tipiche dell'ambiente mediterraneo, solo così si potrà assistere alla loro definitiva affermazione anche in queste aree.

BIBLIOGRAFIA

1. Alpi A., Tognoni F. (1990). *Coltivazioni in serra: attuali orientamenti scientifici e tecnici*. Edizione agricole, Bologna.
2. APATA (2004) *Fertilizzanti*. www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Suolo_e_Territorio/Agricoltura/Fertilizzanti/
3. APATA (2004) *Fitofarmaci*. www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Suolo_e_Territorio/Agricoltura/Fitofarmaci/
4. Bettini V., Falqui E., Alberti M., (1984). *Il bilancio di impatto ambientale*. CLUP, Milano.
5. Candela L., Wallis K. J., Mateos R. M., (2007). *Non-point pollution of groundwater from agricultural activities*. Environ. Geol. 54: 587–595.
6. Cariglia A., Stanghellini C. (2001). *Un ambiente umido limita il danno di irrigazione salina nel pomodoro fuori suolo*. Colture protette 11: 77–84.
7. Carpenter S.R., Caraco N.R., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N., Smith V.H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen*. Ecological Applications 8 (3): 559–568.
8. Cartia G., Romano G., Barbera N., Barbera S., Geraci D. (2003). *Impatto tossicologico dell'1,3-dicloropropene nei terreni e nei vegetali*. Colture protette 7: 55–59.
9. Chatupote W., Kamnalrut A., Pipithsangchan S. Choto S. (2005). *An assessment of management practices to control nutrient and pesticide levels in vegetable production area in the Rattaphum catchment, Thailand*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 5: 175–189.
10. Civita M. (1994). *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Ed. Pitagora.

11. Civita M., De Maio M., Fiorucci A., Rancurello S., Vigna B. (2003). *Valutazione del rischio d'inquinamento da nitrati: approccio e valutazione su test-site*. *Ingegneria e Geologia degli acquiferi* 18: 25–44.
12. Civita M., Fiorucci A., Vigna B. (2007) *The Spatial-Temporal Variability of Nitrates in a Section of the Cuneo Plain (North West Italy)*. *American Journal of Environmental Sciences* 3 (3): 111–116.
13. Correll D.L. (1998) *The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A Review*. *J Environ Qual* 27: 261–266.
14. David M. B., Del Grosso S. J., Hu X., Marshall E. P. , McIsaac G.F., Parton W.J., Tonitto C., Youssef M. A. (2008). *Modeling denitrification in a tile-drained, corn and soybean agroecosystem of Illinois, USA*. *Biogeochemistry*.
15. Decreto Legislativo del 17 marzo 1995, n. 194. G. U. n. 1 del 27 maggio 1995 – S.O. n. 60.
16. Decreto legislativo del 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale*. G.U. n. 88 del 14 aprile 2006 – S.O. n. 96.
17. Dowd B. M., Press D., Los Huertos M. (2008). *Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of California's Central Coast*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128 (2008) 151–161.
18. Dukes M.D., Ritter W. F. (2000). *Validation of GLEAMS nutrient component for wastewater application in the Mid-Atlantic region*. *Bioresouce Technology* 74: 89–102.
19. Ford D. A., Kruzic A.P., Doneker R. L. (1993). *Using GLEAMS to evaluate the agricultural waste application rule-based decision support (AWARDS) computer program*. *Wat. Sci. Tech.* 28(3-5): 625–634.

20. Gullino L. M., Garibaldi A., (1992). *Strategie per la riduzione dell'impiego di fungicidi nell'ambiente protetto*, Colture Protette, 12: 45–52.
21. Gullino L. M., (1996). *Miglioramento della qualità nella difesa delle colture*, Colture Protette, 2: 93–98.
22. Gullo M. (2006). *E gli orticoltori scommettono sul fuori suolo*. Colture protette n. 8; pp 35–42.
23. Hashim G. M., Wan Abdullah W. Y. (2005). *Prediction of soil and nutrient losses in a highland catchment*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 5, 103–113.
24. INEA, *Annuario dell'agricoltura italiana* –volume 2006- 2007 Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.
25. ISTAT – Censimento dell'Agricoltura 1970–1982–1990/1991–2000.
26. Kersebaum K. C., Wurbs A., de Jong R., Campbell C. A., J. Yang, Zentner R. P., (2008). *Long-term simulation of soil–crop interactions in semiarid southwestern Saskatchewan, Canada*. Europ. J. Agronomy 29: 1–12.
27. Knisel, 1993 In: W.G. Knisel, Editor, *GLEAMS-Groundwater Leaching Effects of Agricultural Management Systems*. Version 3.10, University of Georgia, Coastal Plain Experimental Station, Tifton, USA (1993) 260 pp.
28. Leonard R. A., Knisel W. G., D. A. Still (1987). *GLEAMS: Groundwater Loading effects of Agricultural Management System*. Amer. Soc. of Agric. Engrs. 30: 1403–1418.
29. Magliola, C., and W.G. Knisel. 1992. *Impact of agriculture on water quality in Circeo National Park, Italy: A model study*. I--Pesticides. In: S. Balducci, G. Crema, G. di Bartolomeo, G. Formigoni, and C. Merlo (Eds). *Aquater 1972-1992, Venti Anni per le Risorse Naturali, Aquater, San Lorenzo in Campo (PS), Italy*. Vol. I pp. 293–301.

30. Malone R. W., Ma L., Karlen D.L., Meade T., Meek D. (2007). *Empirical analysis and prediction of nitrate loading and crop yield for corn–soybean rotations*. *Geoderma* 140: 223–234
31. Marucci A., Boccia L., (1997). *Tunnel coperti con film plastico : la solarizzazione del terreno*, *Culture protette*, 1: 69–74.
32. Marucci A., Boccia L., (1997). *Aspetti energetici della solarizzazione in serra*, *Culture protette*, 2: 85–91.
33. Marucci A., Boccia L., (1997). *Le strutture per le colture protette in un'agricoltura sostenibile*. VI Convegno nazionale di Ingegneria Agraria "Ingegneria per una agricoltura sostenibile" Ancona 10-12 settembre 1997.
34. Milroy S.P., Asseng S., Poole M. L. (2008). *Systems analysis of wheat production on low water-holding soils in a Mediterranean-type environment II. Drainage and nitrate leaching*. *Field crop Research* 107, 211–220.
35. Muccinelli M., (2000). *Prontuario dei fitofarmaci*. Calderini Edagricole, nona edizione, Bologna.
36. Muhametolu A., Yardimci A. (2006). *A fuzzy logic approach to assess groundwater pollution levels below agricultural fields*. *Environmental Monitoring and Assessment* 118: 337–354
37. Novotny V. (1999). *Diffuse pollution from agriculture-a world wide outlook*. *Water Sci. Technol.* 39(3), 1–13.
38. Novotny V. (2002). *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. J.Wiley and Sons, New York, NY.
39. Owens L.B., Malone R.W., Shipitalo M.J., Edwards W.M., Bonta, J.V. 2000. *Lysimeter study of nitrate leaching from a corn–soybean rotation*. *Journal of Environmental Quality* 29 (2): 467–474.
40. Panno S. V., Kelly W.R. (2004). *Nitrate and herbicide loading in two groundwater basins of Illinois' sinkhole plain*. *Journal of Hydrology* 290: 229–242

41. Pardossi A. (2005). *Le colture fuori suolo in Italia: Stato attuale e prospettive di sviluppo*. Atti del convegno “I sistemi di coltivazione fuori suolo a ciclo chiuso” Pisa 21 Ottobre 2005.
42. Perelli M., Pimpini F. (2003). *Il nuovo manuale di concimazione*. Arvan, Mira (VE).
43. Randall, G.W., Mulla, D.J. (2001). *Nitrate nitrogen in surface waters as influenced by climatic conditions and agricultural practices*. Journal of Environmental Quality 30: 337–344.
44. Regione Lazio (2007) *Piano di tutela delle acque*. Supplemento ordinario al “Bollettino Ufficiale” n. 3 n. 34 del 10 dicembre 2007
45. Rekolainen S., Gouyb V., Francavigliac R., Eklo O.-M., Barlund I., (2000). *Simulation of soil water, bromide and pesticide behaviour in soil with the GLEAMS model*. Agricultural Water Management 44: 201–224.
46. Ritter A., Munoz-Carpena R., Bosch D. D., Schaffer B., Potter T.L. (2007). *Agricultural land use and hydrology affect variability of shallow groundwater nitrate concentration in South Florida*. Hydrological processes 21: 2464–2473.
47. Scarascia Mugnozza G. (1995). *Quali strutture per il serricoltore italiano*, Colture protette, 9: 95-105 e 10: 61-65.
48. Schulz R. (2004). *Field Studies on Exposure, Effects, and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution: A Review*. J. Eeviron. Qual., vol. 33, 419–447.
49. Sequi P. (1989). *Chimica del suolo*. Patron editore, Bologna
50. Shirmohammadi A., Ulen B., Bergstrom L.F., Knisel W.G.(1998). *Simulation of nitrogen and phosphorus leaching in a structured soil using GLEAMS and a new submodel, APARTLE@*. Transactions of ASAE, Vol. 41(2):353–360.

51. Siimes K., Kamari j. (2003). *A review of available pesticide leaching models: selection of models for simulation of herbicide fate in Finnish sugar beet cultivation..* Boreal Environment Research 8: 31–51.
52. Soldat D.J., Petrovic M. *The Fate and Transport of Phosphorus in Turfgrass Ecosystems.* Crop Science 48: 2051–2065.
53. Sportelli G. F. (2001). *Pomodoro fuori suolo, in Basilicata Funziona.* Colture protette n. 8: 23–28.
54. Sportelli G. F. (2002). *Pomodoro, il fuori suolo si può ottimizzare.* Colture protette n. 8 : 15–21.
55. Sportelli G. F. (2004). *Orticoltura protetta, il futuro è roseo.* Colture protette 2: 49–55.
56. Stanghellini C., Paradossi A., Tognoni F. (2004)- *Il valore dell'acqua nelle produzioni intensive: Ciclo chiuso o ciclo aperto: Atti Convegno Nazionale "La gestione delle risorse idriche nel florovivaismo"* Pescia (PT). Italus Hortus vol. II, n. 6
57. Tesi R. (2003). *Colture fuori suolo in orticoltura e floricoltura.* Il sole 24 ore.
58. Tognoni F.; Incrocci L. (2003). *Le colture fuori suolo: situazione in Italia e prospettive per il futuro.* Informatore fitopatologico 2: 7–12.
59. Trentini L., Sitta G. (2001). *Orticoltura specializzata.* Calderini Edagricole.
60. Venezia A., Piro F., Apicella A., Di Cesare C., Stipic M., Chiancone I., Bacco A., Conelli L. (2008). *Coltivare pomodoro fuori suolo con bassi costi e buone rese.* Informatore Agrario 6: pp 57–60.
61. Vereijken P. (1992). *A methodic way to more sustainable farming systems,* Netherlands Journal of Agricultural Science 40: 209–223.

62. Violante P. (1996). *Chimica del suolo e nutrizione delle piante*. Ed agricole, Bologna
63. Vuorenmaa J., Rekolainen S., Lepisto A., Kenttamies K., Kauppila P. (2002). *Losses of Nitrogen and Phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s*. Environmental Monitoring and Assessment 76: 213–248.
64. Wauchope R.D. (1978). *The pesticide content of surface water draining from agricultural fields—A review*. J. Environ. Qual. 7:459–472.
65. Welles G.W.H. (1992). *Integrated production system for glasshouse horticulture*, Netherlands Journal of Agricultural Science 40: 277–284.
66. Wijnands F.G., Vereijken P. (1992). *Region-wise development of prototypes of Integrated arable farming and outdoor horticulture.*, Netherlands Journal of Agricultural Science 40: 225–238.
67. Wijnands F.G. (1997). *Integrated crop protection and environment exposure to pesticides: methods to reduce use and impact of pesticides in arable farming*. European Journal of Agronomy 7: 251–260.

Riassunto

Con la ricerca svolta durante l'attività di dottorato si è cercato di valutare l'impatto sull'ambiente dall'orticoltura in serre tipiche dell'ambiente mediterraneo. La valutazione è stata effettuata sulla base di dati rilevati nel monitoraggio di un campione rappresentativo di aziende dell'orticoltura litoranea dell'Alto Lazio. Nella prima fase della ricerca sono stati individuati i quantitativi di fertilizzanti e di fitofarmaci apportati alle diverse colture ortive che si sono susseguite in ambiente protetto ed in pieno campo. Per quanto riguarda l'apporto di fertilizzanti, dalle elaborazioni eseguite, è emerso che in serra gli apporti di N-totale sono inferiori a quelli in pieno campo (- 34.1%) e la riduzione riguarda soprattutto la forma ammoniacale (- 58.6%) mentre l'azoto nitrico fa registrare una riduzione notevolmente inferiore (-11.7%). Per quanto concerne gli apporti di P_2O_5 e K_2O , in serra si hanno apporti superiori rispetto al pieno campo e rispettivamente del 19.5% e 30.1%. In serra inoltre si registra un uso superiore di fungicidi rispetto al pieno campo, l'uso di erbicidi è maggiore in campo aperto, mentre l'impiego di insetticidi non sembra manifestare sensibili differenze tra serra e pieno campo.

Al fine di approfondire le conoscenze sull'impatto dovuto all'uso di fitofarmaci sono stati calcolati indici di esposizione dell'ambiente ai pesticidi distinguendo aria, suolo e acqua di falda. Dai valori ottenuti è emerso che l'esposizione dell'aria a tutti i pesticidi è più elevata in ambiente protetto mentre quella del suolo e dell'acqua di falda sono più elevate in pieno campo.

Per valutare le trasformazioni dei nutrienti e dei fitofarmaci nello strato esplorato delle radici e per valutare le quantità asportate per percolazione e per erosione del suolo, sia per le coltivazioni in ambiente protetto sia per quelle in pien'aria, è stato impiegato il modello di simulazione *GLEAMS*. I risultati delle simulazioni eseguite hanno messo in evidenza che in ambiente protetto non si verificano fenomeni di lisciviazione di elementi nutritivi di fitofarmaci. Al contrario in pieno campo le maggiori perdite di tali sostanze si registrano subito dopo i periodi di applicazione e in corrispondenza di abbondanti eventi pluviometrici.

L'applicazione dei sistemi di coltivazione fuori suolo pertanto può ridurre l'impatto ambientale derivato dall'uso di tali sostanze ma ad oggi la loro diffusione è ostacolata soprattutto dagli alti costi specifici del sistema colturale. Infatti, da apposite analisi tecnico-economiche è emerso che solo per le colture orticole più remunerative, come il pomodoro, è possibile ottenere redditi netti positivi.

Abstract

The aim of this research, carried out during the Doctorate Degree activity, is to assess the environmental impact of greenhouse cultivation system in the Mediterranean area. The evaluation is based on data collected by monitoring samples of vegetable cropping system farms in the coast of North-Lazio.

The first research phase was to quantify fertilizer(s) and pesticide products used in the productive horticultural process in greenhouses and open-field.

As far as the fertilizer, the performed processing showed that the inputs in greenhouse of N-total were lower than in open-field (- 34.1%), and the reduction mainly concerned the $N-NH_4^+$ (- 58.6%), while concerning the $N-NO_3^-$ there was a remarkable

smaller reduction (-11.7%). The P_2O_5 and K_2O inputs were upper in greenhouse than in open-field, 19.5% and 30.1% respectively.

Moreover, the use of fungicide was higher in greenhouse than in open-field, while the use of herbicide was higher in the open-field than in greenhouses, whereas there was no difference in the use of insecticide in greenhouse and in open-field.

Environment exposure to pesticide indices were calculated by making a distinction among air (EEP-air), soil(EEP-soil) and water (EEP-Groundwater) in order to increase knowledge of environmental impact due to the pesticide use. The results showed that the EEP-air to all pesticide was higher in vegetables grown under protected cultivation than in those recorded open-field, then again the EEP-soil and EEP-groundwater were higher in open-field than in the other protected cultivation case.

The valuation of nutrient and pesticide transformations in the root zone and the quantification of the removed by leaching and soil erosion amounts - both for crops in greenhouse and in open-field - was simulated by GLEAMS model.

The results of these performed simulations showed that there was no nutrient and pesticide leaching in the protected environment. The highest losses of nutrient and pesticide were concentrated in open-field, immediately afterwards application periods and when there were copious rainfalls.

Therefore, the application of soilless systems can reduce the environmental impact due to the use of such substances, but to date, their spread is mainly hampered by the high costs peculiar to this crop system. In fact, technical-economic analysis of soilless systems highlight that positive net income can be achieved only through the most profitable horticultural crops, such as tomatoes.