

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

**DOTTORATO DI RICERCA IN
COLTURE ERBACEE, GENETICA AGRARIA, SISTEMI
AGROTERRITORIALI**

Ciclo XXIII

Settore/i scientifico-disciplinare/i di afferenza: AGR 04

TITOLO TESI

**RISULTATI AGRONOMICI ED APPLICAZIONE DI LCA SU UNA
SUCCESSIONE ORTICOLA IN AMBIENTE PROTETTO**

Presentata da: MIRCO MEZZETTI

Coordinatore Dottorato

**Chiar.mo Prof.
Giovanni Dinelli**

Relatore

**Chiar.mo Prof.
Giorgio Prosdocimi Gianquinto**

Correlatore

Dott. Pere Munoz Odina

Esame finale anno 2011

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE

1.1. La tipologia degli apprestamenti serricoli e la realtà produttiva del Salto di Fondi: evoluzione e contesto attuale

1.1.1. Evoluzione socio-economica

1.1.2. Assetti strutturali

1.1.3. La vocazionalità della zona e l'ordinamento culturale attuale

1.1.4. Le strutture produttive

1.2 Lo Strumento Ambientale: Life Cycle Assessment

1.2.1 Definizione

1.2.2 LCA storia e sviluppi attuali

1.2.3 Metodologia

1.2.3.2 Analisi dell'Inventario

1.2.3.3 Valutazione di Impatto

1.2.3.4 Interpretazione *1.2.4 Benefici e limiti di una LCA*

2. Obiettivo generale del progetto

3. Prove agronomiche

3.1. Materiali e metodi (aspetti generali)

3.1.1. LIFE CYCLE ASSESSMENT

3.1.2. LIFE CYCLE INVENTORY (LCI)

3.2. Materiali e metodi (prova zucchini)

3.3. Materiali e metodi (prova pomodoro)

3.4. Risultati prova zucchini

3.4.1. Interventi e volumi irrigui.

3.4.2. Fertirrigazioni e dosi di azoto.

3.4.3. Stato nutrizionale e di sviluppo della coltura

3.4.4. Produzione e sue componenti

3.4.5. Efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione e dell'azoto

3.4.6. LCA Zucchino

3.5. Risultati prova pomodoro

3.5.1. Interventi e volumi irrigui

3.5.2. Fertirrigazioni e dosi di azoto

3.5.3. Stato nutrizionale e di sviluppo della coltura

3.5.4. Produzione e sue componenti

3.5.5. Efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione e dell'azoto

4. Analisi economica

4.1. Premessa

4.2. Calcolo della Produzione Lorda Vendibile (PLV)

4.3. Calcolo della Reddito Netto (RN)

4.4. Calcolo delle quote di ammortamento

4.5. Calcolo del costo per l'energia elettrica

4.6. Calcolo di altre voci di costo

4.7. Bilancio economico (zucchino)

4.8. Bilancio economico (pomodoro)

4.9 Considerazioni sui risultati agronomici ed economici

5. Conclusioni

Bibliografia

Premessa

Questa tesi di Dottorato è stata sviluppata all'interno del progetto Sustgreenhouse, cofinanziato dall'UE nell'ambito del programma LIFE +, il quale prevede lo studio di pratiche agricole sostenibili applicate all'orticoltura in serra nell'area della Piana di Fondi (LT) con un'azione integrata che contempla l'adozione di diverse tecnologie che riguardano in particolare:

- a) substrati di crescita che favoriscano la fertilità e biodiversità del terreno, aumentino l'efficacia dell'assorbimento radicale, riducano le necessità di somministrazione di sostanze nutritive di sintesi e di apporti idrici, incrementino l'assorbimento e l'immobilizzazione della CO₂;
- b) sistemi previsionali e/o diagnostici, al fine di ottimizzare la gestione di irrigazione e concimazione e ridurre i consumi e sprechi di acqua e nutrienti.
- c) sistemi di protezione delle colture in serra dalle basse temperature invernali, alternativi al tradizionale sistema antibrina diffusamente adottato nelle aree orticole laziali (sud Pontino e piana di Fondi) e denominato "idroterra".

Con idroterra si intende una particolare tipologia di serra che utilizza l'effetto termoregolatore dell'acqua fatta fluire sulle falde del tetto per proteggere o prevenire, nei mesi invernali, le coltivazioni da possibili danni da gelo; in particolare le colture meso- e macro-terme, quali zucchino, fagiolo e pomodoro. L'adozione dell'idroterra nacque circa 30 anni fa e si diffuse in zona, in quanto tecnica "molto economica" rispetto ad altre che prevedevano l'uso di energia ottenuta dalla combustione di gasolio o cherosene. Tale soluzione, tuttavia, presenta un forte impatto ambientale, poiché è attuata a ciclo aperto con prelievo dell'acqua dalle falde profonde senza prevederne il recupero e riciclo. Ciò comporta la dispersione di migliaia di metri cubi di acqua dolce all'anno e l'impoverimento delle falde idriche, che risulta tanto più pericoloso gravando su un territorio fortemente esposto a:

- subsidenza dei suoli
- intrusione salina con progressiva salinizzazione dei pozzi
- depauperamento delle falde idriche

- ruscellamento superficiale e rischi da infiltrazioni di inquinanti
 - erosione dei terreni
 - sovraccarico stagionale degli impianti idrovori costretti simultaneamente al sollevamento di ingenti volumi idrici
 - aumento dei costi della gestione consortile con aggravio sulla pubblica utenza
- Alcune di queste emergenze, in particolare la progressiva intrusione salina delle falde di acqua dolce e la subsidenza, manifestano gravi processi di deterioramento.

1. INTRODUZIONE

Nel prossimo futuro il cambiamento climatico imporrà la implementazione di strategie di adattamento e mitigazione in molti settori dell'attività umana. In agricoltura questa implementazione sarà particolarmente favorita nel settore dell'orticoltura in serra. Infatti la coltivazione in ambiente confinato permette un miglior adattamento ad improvvisi fenomeni meteorologici ed una mitigazione degli effetti negativi di venti, siccità e eccessiva pioggia. Un altro vantaggio della serricoltura rispetto al pieno campo è che la coltivazione può essere portata avanti a ciclo continuo, indipendentemente da stagioni e disponibilità di terreno.

Questo fatto può aiutare a bypassare l'attuale problema della "competizione per il suolo" fra colture ad uso energetico e quelle ad uso alimentare. Il problema è che la tradizionale agricoltura in serra è molto nociva per l'ambiente, richiede notevoli apporti di mezzi chimici, idrici ed energetici e rilascia molte emissioni ad effetto serra ed effluenti inquinanti. L'orticoltura in genere e la serricoltura in particolare, rappresenta un'attività ad elevato impatto ambientale in relazione ai notevoli apporti richiesti per sostenere le produzioni ed al conseguente elevato impatto nel rilascio di gas ad effetto serra dovuto agli alti consumi energetici richiesti sia dall'utilizzazione dei mezzi tecnici utilizzati (strutture protettive, fertilizzanti, fitofarmaci) sia dagli apporti operativi richiesti dalle colture (irrigazioni, lavorazioni, riscaldamento). Il largo impiego di fattori tecnici e agronomici appare necessario per le peculiarità che contraddistinguono il settore e che possono essere sintetizzate dal dinamismo degli avvicendamenti colturali, legati più a logiche di mercato che agronomiche. Circa il 20% delle serre italiane sono

dotate di impianti di riscaldamento. Viene calcolato che per la sola climatizzazione il consumo diretto di energia si aggiri sull'ordine di 140.000 TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio), pari a circa il 95% dell'energia globalmente necessaria alla produzione, con una incidenza sul costo totale di produzione del 20-30%. Per i consumi energetici indiretti, relativi ai materiali di struttura e copertura, si stima che in ogni mq. di plastica e di vetro siano incorporati rispettivamente circa 10-12.000 Kcal e 80.000 Kcal. Si stima comunque che per le colture protette in Italia ogni anno si consumano circa 80.000 tonnellate di plastica; pertanto notevoli sono i problemi legati al materiale di scarto di questo tipo. Si può osservare comunque che l'impiego di materiali plastici a lunga durata è poco diffuso a causa del loro costo elevato.

In particolare questo sistema agricolo è considerato tra quelli a più alto consumo di fitofarmaci. Infatti per la difesa fitosanitaria di queste colture mediamente si interviene con circa 10 trattamenti chimici/coltura, con punte che possono superare i 20 interventi/coltura per certe specie floricole. Nel lungo periodo questi effetti possono causare degradazione dei suoli, con forti decrementi della produttività e della redditività delle coltivazioni, e inquinamento delle falde e dei corsi d'acqua. Il rischio ambientale è accentuato poi dal fatto che, come nel caso dell'area di svolgimento progettuale, l'attività orticola interessa ambienti altamente vulnerabili per localizzazione e condizioni pedologiche e idrologiche (zone litoranee o vicine a corsi d'acqua, terreni sciolti con falde acquifere superficiali) spesso di elevato valore paesaggistico e naturalistico.

Il comprensorio di svolgimento del progetto riguarda appunto la zona litoranea di Salto di Fondi (LT): un'area attualmente a rischio di subsidenza ed intrusione salina, a causa dell'elevato emungimento dell'acqua di falda per uso agricolo. L'intera zona è sotto l'amministrazione della Riserva del Monumento naturale del Lago di Fondi, instauratasi recentemente, che deve risolvere i problemi causati dalla coesistenza di un sistema economico altamente inquinante e dannoso per l'ambiente (250 ettari di serre su di un'estensione territoriale di 1.000 ettari) con la gestione della riserva in un'area molto sensibile. Sintetizzando i risultati emersi dalle analisi fisico-chimiche dei campioni di 25 delle 80 aziende presenti nell'area progettuale, si è messa in luce la presenza nei terreni di una dotazione elevata, spesso eccessiva di micronutrienti (fosforo e potassio,

ma anche magnesio) ed una bassa presenza di calcio. I micronutrienti in molte aziende superano le “soglie di eccesso” dando luogo a possibili effetti fitotossici.

Oltre alla realtà sopra descritta, in cui emerge tutta la problematica correlata alla stesura di corretti ed equilibrati piani di concimazione, si assiste da oltre un decennio ad una progressiva ed irreversibile intrusione di acqua salmastra nelle falde profonde. Dalla situazione esaminata si nota come siano presenti tutte le condizioni per l’instaurarsi di gravi problemi agronomici ed ambientali; l’elevato quantitativo di elementi nutritivi nel terreno associato ad una crescente quantità di sodio, sia nel terreno che nelle fonti di approvvigionamento idrico, induce alla necessità di razionalizzare le pratiche agronomiche della zona rendendo più consapevoli tutti i soggetti della filiera produttiva e della gestione del territorio. La problematica della salinizzazione dovuta ad eccessivo emungimento di acqua dalla falda e intrusione del cuneo salino è peraltro causata in gran parte dalla consuetudine di usare d’inverno l’acqua “calda” delle falde per “riscaldare” le serre.

La tecnica dell’irrigazione antibrina delle serre risale ai primi anni settanta, ideata a Fondi da due ricercatori salernitani (Porcelli, D’Amore). Si è rapidamente diffusa in tutto l’Agro Pontino ove si stima che attualmente le superfici interessate siano più di 1200 -1400 ettari. Il prelievo di acqua dalle falde freatiche non è sottoposto ad alcun fattore limitante e per le aziende agricole, l’unico elemento deterrente, è il solo costo energetico sostenuto per l’attivazione delle pompe sommerse (energia elettrica o gasolio per i motori a trasmissione cardanica). Si calcola che il consumo annuale globale di acqua per lo sbrinamento sia a fine inverno in media di circa 15,7 milioni di litri di acqua ad ettaro. È evidente quindi che tale “sistema” dato il suo enorme impatto ambientale, merita un attento studio risolutivo, sia dal punto di vista tecnico-impiantistico che dal punto di diffusione ed informazione verso i soggetti interessati.

Nel progetto inoltre, si introdurranno tecniche di coltivazione per aumentare l’effetto di assorbimento della CO₂ con prove tese a dimostrare il ruolo della sostanza organica nel suolo come “sink” di carbonio recependo gli obiettivi del protocollo di Kyoto per la lotta all’effetto serra e al cambiamento climatico. Infatti, quello che scaturisce da autorevoli valutazioni (ad esempio il lavoro svolto dall’European Climate Change Programme (ECCP) grazie al Working Group on Sinks Related to Agricultural Soils) è che la fertilizzazione organica provoca nel tempo un accumulo di carbonio nel suolo, il

che potrebbe fungere da meccanismo per la sottrazione, nel bilancio complessivo, di anidride carbonica all'atmosfera. La Comunicazione della Commissione Europea sulla Strategia per il Suolo, inoltre, focalizza in particolare l'importanza della sostanza organica, oltre che per il sequestro di carbonio nei suoli, anche per la lotta alla desertificazione ed all'erosione, l'aumento della biodiversità tellurica e per l'esaltazione del ruolo ambientale dei suoli.

Le azioni progettuali previste rispondono quindi alle seguenti direttive e comunicazioni Europee: La direttiva 2006/32/CE per migliorare l'efficienza energetica negli usi finali; la comunicazione 9.2.2005-35 finale "*Winning the Battle Against Global Climate Change*" che prevedeva, fra l'altro, le raccomandazioni per la diffusione di una maggiore consapevolezza in materia di cambiamento climatico; la Direttiva 91/676/CEE del Consiglio, del 12 dicembre 1991, relativa alla "*Protezione delle acque dell'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*"; la direttiva 2000/60 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque; la comunicazione 16.4.2002-179 "*Verso una strategia tematica per la protezione del suolo*"; le strategie generali di adattamento e mitigazione al cambiamento climatico. Tali documenti individuano in particolare fra le priorità di emergenza: la difesa del suolo da intrusione salina, il mantenimento della sostanza organica ed un uso corretto e sostenibile dell'acqua irrigua.

Lo scopo principale è di dimostrare che il futuro dell'orticoltura intensiva può essere adeguatamente sostenuto da un modello sostenibile di serra che mira strategicamente a:

a) dimostrare che l'agricoltura in serra può essere attuata con modalità più rispettose per l'ambiente in termini di:

- 1) emissione diretta o indiretta di gas ad effetto serra,
- 2) emungimento di acqua dal suolo;
- 3) percolamento nel suolo e diffusione nell'aria di nutrienti ed inquinanti chimici.

Verranno presi in considerazione dei sistemi orticoli integrati che ottimizzino l'uso delle risorse (suolo e acqua), limitino gli apporti idrici e di fertilizzanti, riducano le perdite di nitrati, garantiscano un elevato standard delle produzioni.

E' ben noto il fatto che l'agricoltura intensiva è molto inquinante e dannosa per l'ambiente. Ciò è particolarmente vero nel caso di colture serricole, dove gli elevati

costi di struttura e gli spazi limitati obbligano l'agricoltore a forzare la crescita utilizzando prodotti chimici al posto di sostanza organica; dove l'assenza di un sistema di rotazione soddisfacente impedisce l'utilizzazione di colture miglioratrici del terreno come le Leguminose; dove l'alto valore della produzione e di conseguenza gli elevati rischi economici, spingono l'agricoltore ad utilizzare, tra l'altro, metodi antigelo molto dispendiosi per l'ambiente, quali la nebulizzazione ad acqua;

1.1.La tipologia degli apprestamenti serricoli e la realtà produttiva del Salto di Fondi: evoluzione e contesto attuale

1.1.1Evoluzione socio-economica

Sono trascorsi oltre quattro decenni da quando i primi pionieri dell'orticoltura Fondana iniziarono a sfruttare l'elevata fertilità dei terreni che, al completamento della bonifica, verso la fine degli anni cinquanta, venivano progressivamente resi disponibili ad ogni sorta di investimento. Inizialmente si è passati dalla palude, alla coltivazione di prati e pascoli, cereali, dando inizio inoltre all'espansione del settore zootecnico. Dopo l'insediamento degli abitanti del nord (coloni della numerosa comunità veneta insediata presso la tenuta Bisleti – anni 1930) scesi in occasione della bonifica pontina, la vicinanza con la Campania ha sicuramente giovato al rinnovamento dell'agricoltura sud pontina, dove grazie alla presenza dei primi nuclei di coltivatori-ortolani provenienti dalla provincia di Caserta, si iniziarono a sfruttare le innate potenzialità e vocazionalità del luogo: clima continentale mite-temperato con rari fenomeni di minime termiche invernali, massime estive ben tollerate dalle specie coltivate ed una elevata disponibilità idrica. A questo si associano le differenti tipologie di suolo che passano da un terreno sabbioso presente nelle zone costiere, ad un terreno di medio impasto-argilloso ben dotato di sostanza organica delle zone più interne. Per l'orticoltura di Fondi, è stata quindi una vera opportunità dalla quale già molte famiglie traevano buoni guadagni, che furono poi incrementati con il ricorso alle prime produzioni anticipate o meglio dette "primizie" ottenute con l'ausilio di "protezioni". Queste inizialmente (fine anni 50) venivano ottenute con semplici accorgimenti strutturali: piccole lastre di vetro (trenta – quaranta centimetri per lato) conficcate inclinate nel terreno, in seguito con la

disponibilità dei materiali plastici (anni 60) si passò all'utilizzo dei primi tunnel e tunnellini a protezione delle piantine, che così protette dai pericoli del gelo, venivano messe a dimora con alcune settimane di anticipo. Si trattava di apprestamenti totalmente chiusi dove all'interno, si creavano per effetto serra, condizioni termiche che consentivano alle piantine messe in precedenza a dimora di svilupparsi quando ancora all'esterno la temperatura non aveva raggiunto livelli adeguati. Il lato negativo di questo tipo di protezione, era quello di non offrire una valida difesa ai prolungati abbassamenti di temperatura o alle forti insolazioni, tali da provocare squilibri funzionali, appassimenti o addirittura la morte stessa della pianta. Pochi anni più tardi (inizio anni 70) per la proverbiale dinamicità degli agricoltori, si iniziarono a predisporre nuovi apprestamenti protettivi. Le prime serre in legno, costituite generalmente da una struttura portante, a volte limitata al solo tetto, erano ricoperte totalmente da film plastici che avevano una durata di circa un anno. Da questo momento in poi iniziarono a concentrarsi nella provincia di Latina e più precisamente nei comuni del litorale Pontino: Nettuno, B.go Sabotino, Sabaudia, B.go Montenero, S. Felice Circeo, Terracina, Fondi, Sperlonga e Minturno le prime vere e proprie produzioni di ortaggi in coltura protetta. Dopo alcuni anni (fine anni 70) si iniziarono a vedere le prime serre in ferro-vetro, costruite da industrie specializzate che provvedevano al montaggio e alla messa in opera, ma non si affermarono a causa dell'alto costo e della facile vulnerabilità del vetro agli agenti atmosferici (vento e grandine), assai frequenti nella zona. Dalle tradizionali serre singole in legno, dell'ampiezza massima di 1000 mq circa, ci si è orientati negli ultimi anni alla realizzazione di strutture d'acciaio zincato multiple, con un'ampiezza che varia dai 2000 ai 5000 mq di superficie e portanti al colmo una finestra ad apertura computerizzata per il controllo delle condizioni climatiche interne, con delle aperture laterali semoventi poste a 70-80 cm dal terreno che interessano tutta la lunghezza delle serre. Il materiale di copertura più diffuso è il polietilene a bassa densità con spessore che varia da 0,14 a 0,20 mm utilizzato come film singolo o in coestrusione o con altri prodotti compatibili (es. E.V.A.). Di norma si scelgono film trattati precedentemente con additivi antigoccia in modo da aiutare lo scivolamento della condensa sulla superficie del film, diminuendo la virulenza di malattie. Ottenendo inoltre così più trasparenza e di conseguenza maggiore luminosità .

1.1.2. Assetti strutturali

Le condizioni climatiche generalmente miti che caratterizzano questo areale consentono la coltivazione durante i mesi invernali in assenza di interventi di riscaldamento, anche se le strutture serricole sono corredate di sistemi antibrina, localizzati nella parte esterna delle serre, e da impianti di soccorso interno che vengono attivati in concomitanza con pericolosi abbassamenti della temperatura. Lo stretto dialogo tra tecnici, progettisti di serre e utilizzatori, ha fatto sì di prendere accorgimenti e soluzioni ad hoc per ogni singolo aspetto della produzione. La svolta innovativa è stata proprio quella di passare da serra fredda a serra calda, e da serra singola a gruppo comunicante sfruttando al massimo la resa termica dei materiali di copertura nell'unità di volume, infatti le realtà aziendali più professionalizzate hanno già optato per tipologie strutturali monocamerali con superficie lavorabile che supererà i 3.000 – 4.000 m².

Le sempre maggiori richieste della grande distribuzione organizzata ed il consumatore, sempre più esigente in fatto di alimentazione, fanno sì che il mercato sia sempre in continua evoluzione, sempre attento alle novità tecnologiche, ma anche e soprattutto alla qualità e salubrità del prodotto. A fronte dell'ampia diffusione registrata negli ultimi anni delle tipologie di serre in ferro-plastica che interessano ormai l'80-85% dell'intera superficie serricola marginalizzando le serre in legno al restante 15-20%, a conferma della validità tecnologica e funzionale di questa tipologia, si lamenta l'assenza di strumentazione e apparecchiature tecnologiche in grado di fornire un adeguato supporto alle pratiche della irrigazione e fertirrigazione. Una netta minoranza di produttori si è dotato di unità fertirriganti automatiche (banchi di controllo) in grado di apportare in modo uniforme ed omogeneo le giuste quantità di unità fertilizzanti alle colture, intervenendo inoltre sulla correzione della reazione dell'acqua (pH), così da modularlo in funzione delle fasi fenologiche della colture. La quasi totalità delle aziende procede, in fertirrigazione alla somministrazione dei sali chimici idrosolubili (semplici o complessi) con l'ausilio dell'iniettore tipo Venturi, noto per la sua conclamata irregolarità sul risultato della uniformità degli interventi. Così come anche la gestione delle condizioni microclimatiche delle serre (apertura/chiusura dei laterali e delle finestre di colmo – se presenti) viene effettuata manualmente e per più volte nel corso della giornata qualora il variare delle condizioni climatiche esterne le richieda. Oggi il mercato offre diverse soluzioni d'avanguardia nella tecnica costruttiva delle strutture in

grado di controllare e regolare i principali fattori del microclima, quali temperatura, umidità dell'aria, ventilazione, intensità della radiazione. Risulta semplice trovare i più svariati sistemi di controllo basati su sensori e regolatori automatici che oltre a rilevare, hanno la capacità di registrare giornalmente tutti i parametri. Di fatto, a causa di alcuni fattori quali l'eccessiva frammentazione delle unità produttive, la accentuata precarietà economica del particolare momento storico di tutto il settore orticolo specializzato, associati ad altre emergenze (stanchezza dei terreni, aggravarsi della qualità dell'acqua), hanno seriamente demotivato l'evoluzione tecnologica di tutto il comparto. Attualmente la superficie delle coltivazioni orticole in coltivazione protetta (serre fisse in ferro-plastica o legno-plastica) risulta essere di circa 85 ettari pari al 10 % dell'intera SAU, suddivisi in circa 240 imprese; anche le orticole in pieno campo occupano la stessa superficie e pertanto le colture orticole specializzate hanno un peso determinante per l'economia agricola in generale ed inevitabilmente condizionano l'evoluzione della qualità ambientale strettamente interfacciata con tutte le pratiche agricole attuate: lavorazioni, concimazioni, irrigazioni, difesa fito-sanitaria etc. La superficie media aziendale delle colture protette non supera i 3.000-4000 m². Ciò sta a testimoniare l'elevata frammentazione poderale e la conduzione diretta quale forma di conduzione predominante nell'intera area.

1.1.3. La vocazionalità della zona e l'ordinamento culturale attuale

Inizialmente, la coltivazione di questi terreni si caratterizzò per effetto della “ cultura” dei coloni veneti i quali impostarono i piani culturali, dei poderi a loro assegnati, importando dalle zone di provenienza la coltivazione del mais, dalla pianta veniva raccolta a mano la pannocchia ben asciutta mentre quando ancora verde veniva cimata per ottenere foraggio. Al mais si avvicendavano altri cereali: frumento tenero, orzo. Successivamente alle colture estensive, gli stessi bonificatori iniziarono la coltivazione di orticole estensive: cocomero, meloni, carciofo.

Negli anni 60 I terreni più fertili vengono acquistati da agricoltori provenienti da zone limitrofe (Terracina, Gaeta) che impiantarono vigneti spinti dalle ottime rese economiche dei vitigni tipici della zona: il moscato di Terracina (zona S. Antonio), apprezzato sia come uva da tavola che per il vino e la cv. Regina Italia (zone dune

litoranee). Successivamente, per le mutate realtà economiche di redditività delle colture arboree si assiste ad una progressiva ed irreversibile diffusione delle colture orticole.

L'arboricoltura, all'interno del comprensorio si riduce sensibilmente con le specie tipiche della zona: oliveto e vigneto con piccole superfici, alberature e filari presenti in quasi tutte le aziende con i prodotti destinati all'auto consumo. Una importante realtà imprenditoriale privata, è presente a sud del comprensorio, zona Falascosa – Tenuta del Salto, prevalentemente impiantata ad Actinidia allevata a tendone con irrigazione a goccia. Tutto l'assetto agricolo della zona venne ad essere fortemente interessato all'introduzione di coltivazioni orticole specializzate, grazie al forte contributo di orticoltori provenienti da comprensori limitrofi (provincia di Caserta). Attualmente le coltivazioni maggiormente praticate sono il pomodoro da mensa, nelle varie tipologie (insalatato verde, rosso a grappolo, costoluto, ciliegino), lo zucchini (raccolto con il fiore, prerogativa tipica della zona), la melanzana, il peperone, in minor misure la fragola e altre orticole (fagiolo, lattuga, cipolla, aromatiche etc..)

Le colture estensive praticate sono prevalentemente foraggere: mais, cereali da foraggio, prati polifiti, prati naturali.

La presenza di serre è diffusa in tutto il territorio (cfr. cartografia riportata in seguito), ad esclusione di alcune zone: le zone a forte limitazione idromorfica (zona del serbatoio), le zone a ridosso dell'abitato di Sant. Antonio ed all'interno del tenuta del Salto (importante realtà podereale estesa per oltre 100 ettari). Le serre insistono su terreni con diversa origine geopedologica,

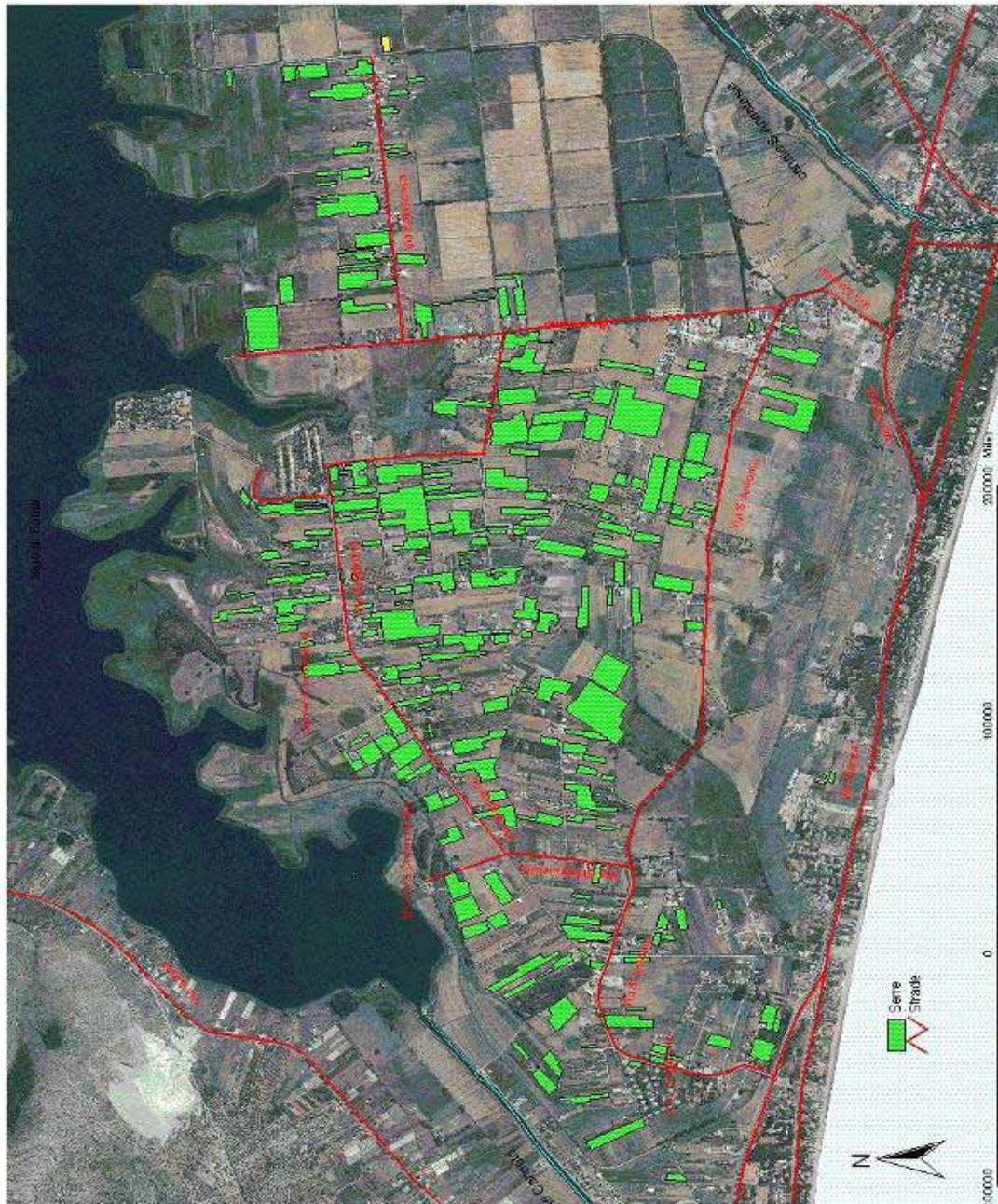
Anche le colture orticole a pieno campo, le coltivazioni cerealicole e le foraggere sono presenti in modo puntiforme ed irregolare, interessano sempre superfici modeste : 0,5 – 1 ettaro per i cereali, più estese le superfici delle foraggere: 1-2 ettari.

Gli agricoltori sono sempre più costretti, per motivi economici (ammortamento degli investimenti, valorizzazione del capitale terra, minor redditività delle colture rispetto al passato) ad intensificare lo sfruttamento delle risorse disponibili praticando più cicli colturali nello stesso anno, disattendendo ai principi della corretta agronomia (riposo periodico) e mantenendo permanentemente coperti gli apprestamenti serricoli, impedendo così anche l'azione di lavaggio e lisciviazione dei sali accumulati nel profilo per azione delle precipitazioni piovose. L'intensa attività di sfruttamento dei terreni porta inevitabilmente all'acuirsi di problematiche già ampiamente dibattute tra gli

agricoltori stessi: per ottenere le alte produzioni raggiunte negli ultimi anni si è di fatto sostituita alla fertilità naturale dei suoli (valorizzata dalle importanti opere di bonifica idraulica) una fertilità “artificiale” mantenuta attiva grazie a continui, ripetuti e ingenti apporti di fertilizzanti chimici di sintesi e organici industriali. L’uso smodato ed eccessivo di sali nutrienti che si accumulano nel profilo, porta come conseguenza diretta una accentuazione dei danni derivati dall’impiego di acque anche moderatamente salmastre, prelevate dai tanti pozzi aziendali attivati in questi ultimi anni.

1.1.4. Le strutture produttive

Il territorio del Salto di Fondi comprende circa 634 ha di superficie utile agraria (SAU). Sottratte le tare, pari a circa 60 ha, la SAU complessiva servita dal comprensorio è di circa 570 ha, dei quali ben 85 ha sono attualmente utilizzati per colture intensive in serra. Sono state individuate, in totale, n. 881 aziende, 228 delle quali coltivano gli 85 ha allestiti a serra.



Salto di Fondi – cartografia a mosaico delle serre esistenti (elaborazione GIS da foto da satellite)

1.2. Lo Strumento Ambientale: Life Cycle Assessment

Le seguenti righe introdurranno e spiegheranno la metodica del Life Cycle Assessment o Analisi del Ciclo di Vita. In modo da definire lo strumento ambientale applicato a questa tesi.

Il Life Cycle Assessment, in relazione agli altri strumenti ambientali

Per sostenere gli obiettivi degli aspetti della sostenibilità ambientale, diversi strumenti di supporto decisionale sono stati sviluppati. Strumenti come l'Environmental Impact Assessment (EIA), Environmental Risk Assessment (ERA), Input-Output Analysis (IOA), Life Cycle Assessment (LCA), Material Flow Accounting/Substance Flow Analysis or Material Intensity Analysis (MIA) (Leiden University, 2009).

Alcuni di questi strumenti contengono al loro interno il concetto di ciclo di vita nella loro stessa definizione. La semplicistica prospettiva del controllare le fonti di emissione (end-of-pipe technologies), come un modo per sviluppare il senso di benessere ambientale a livello industriale o a livello di attività umana, è stato sostituito dall'idea che si può salvaguardare l'ambiente nel suo insieme se si adotta un approccio sistematico che consideri l'intero ciclo di vita di un'attività, di un prodotto o un servizio.

Questo è conosciuto come "life cycle approach" anche chiamato approccio "dalla culla alla tomba", in quanto segue un'attività dall'estrazione delle materie prime (culla) fino al ritorno dei rifiuti al suolo (tomba).

Gli impatti di tutti i cicli di vita di ogni fase inclusa nel processo produttivo necessitano di essere considerati, in maniera tale da consentire decisioni ragionate riguardo all'intero processo produttivo e al consumo e alle eventuali strategie gestionali da adottare (Hospido, 2005)

Per considerare sistematicamente gli impatti ambientali del ciclo di vita di un prodotto o un servizio, la metodologia Life Cycle Assessment è quella maggiormente accettata e condivisa, essendo il solo strumento che presenta un processo di armonizzazione (Sonnemann, 2005).

1.2.1 Definizione

Il Life Cycle Assessment (LCA), o Analisi del Ciclo di Vita, è uno strumento di gestione che permette di valutare gli impatti sull'ambiente derivanti da tutto il ciclo di vita di un prodotto, dall'estrazione delle risorse fino alla gestione dei residui, includendo tutti gli stadi di produzione, trasporto ed uso dello stesso.

Fondamentalmente, l'LCA è un bilancio di materiali ed energia applicato a un prodotto (o sistema prodotto), combinato con una valutazione degli impatti ambientali relazionati con gli inputs e outputs da e verso il sistema, o prodotto stesso.

Da questa analisi, l'LCA indica i criteri per il decision-making in questioni riguardanti lo sviluppo di prodotto, pianificazione strategica, linee politiche di intervento, ecc. La prima definizione ufficiale della metodologia LCA fu fatta dalla Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) dopo sette workshop e conferenze internazionali tra il 1990 ed il 1993, attraverso un documento che rappresenta una delle fonti più citate in questo settore Consoli *et al*, 1993)

In questo documento si afferma che “ il Life-Cycle Assessment è un processo obiettivo per valutare i carichi ambientali associati a un prodotto, processo o un'attività mediante l'identificazione e la quantificazione di energia e materiali utilizzati e i rifiuti rilasciati nell'ambiente, per valutare l'impatto di questi usi e rilasci di energia e materiali nell'ambiente e per valutare ed implementare opportunità per influire su miglioramenti ambientali.

La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto, processo o attività, comprendendo i processi di estrazione e lavorazione delle materie prime, lavorazioni intermedie, trasporti e distribuzione, usi, ri-usi, manutenzione, riciclaggio e smaltimento finale.”

La ISO (Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione) ha provveduto a dare un grosso input al processo per la definizione dell'LCA. Seguendo gli standard della ISO 14040, l'LCA è (ISO 14040:1997) una tecnica per valutare gli aspetti ambientali e i potenziali impatti associati a un prodotto mediante:

- Compilazione di un inventario di rilevanti inputs e outputs del prodotto.
- Valutazione dei potenziali impatti ambientali derivanti dagli inputs e outputs stessi.

- Interpretazione dei risultati dell'analisi dell'inventario e valutazione dell'impatto ambientale di ogni singola fase in relazione agli obiettivi dello studio.

L'LCA studia gli aspetti ambientali e i potenziali impatti lungo tutto il ciclo di vita del prodotto (dalla culla alla tomba), dall'acquisizione delle materie prime alla produzione, uso e destino finale. Come si può vedere, entrambe le definizioni sono piuttosto simili, sottolineando che l'analisi deve tenere in considerazione l'intera catena di produzione e le potenziali conseguenze sull'ambiente. In entrambi i casi l' LCA si basa sulla compilazione di un bilancio di massa ed energia del prodotto e/o del sistema produttivo (Muñoz, 2006)

1.2.2 LCA storia e sviluppi attuali

L'LCA ha origine durante la crisi energetica tra la fine degli anni '60 e i primi anni '70, che forzò l'industria a cercare soluzioni per i propri prodotti sempre più efficienti dal punto di vista energetico. Come conseguenza nacque il concetto di "ciclo di vita", che si rese necessario per ridurre il consumo di energia in tutti gli stadi di lavorazione implicati nel prodotto stesso: dall'estrazione delle materie prime fino alla gestione dei rifiuti. Il primo studio, paragonabile agli attuali studi sull' LCA, fu un progetto commissionato dalla Coca-Cola Company al Midwest Research Institute nel 1969 che permise di comparare differenti alternative di sistemi di impacchettamento dal punto di vista delle emissioni, dei materiali e del consumo energetico. Questo progetto fu chiamato REPA: Resource and Environmental Profile Analysis (Fullana & Puig, 1997). Molti altri studi come quello descritto furono eseguiti durante gli anni settanta, ma verso la fine del decennio e fino a metà degli anni ottanta l'interesse verso questa analisi calò, probabilmente in seguito al forte sviluppo economico (Fullana & Puig, 1997) che si verificò in quegli anni.

Dalla metà degli anni ottanta, comunque, l'interesse nel minimizzare il consumo di risorse e le emissioni crebbe ancora e, in istituti come l'EMPA e BUWAL in Svizzera e il CML in Olanda si svilupparono metodi per l'aggregazione delle sostanze in "categorie di impatto".

Negli anni novanta l'uso dell'LCA come strumento di supporto decisionale sia nell'industria che nel settore pubblico iniziò ad essere alquanto generalizzato; in questa direzione, la pubblicazione di numerose guide alla metodologia LCA da differenti

istituti quali U.S. Environmental Protection Agency, BUWAL, CML, Nordic Council of Ministers, SETAC, ecc, fu cruciale, in quanto questi iniziarono a fornire i primi database (Milà i Canals, 2003).

Nel 1992 fu fondata da 20 compagnie europee la Società per la Promozione dello Sviluppo dell'LCA (SPOLD), con l'obiettivo di incoraggiare e standardizzare l'uso dell'LCA. Nel 1993 il Comitato Tecnico 207 della ISO lavorò sullo sviluppo degli standard internazionali dell'LCA, con in testa la redazione della serie di norme 14.04X
Figura II.1 The ISO 14.04X series on LCA.

- ISO 14040:1997 Environmental Management – LCA – Principles and Framework
- ISO 14041:1998 Environmental Management – LCA – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis
- ISO 14042:1999 Environmental Management – LCA – Life Cycle Assessment
- ISO 14043:2000 Environmental Management – LCA – Life Cycle Interpretation
- ISO/TR 14047:2003 Environmental Management – LCA – Esempi di applicazione del ISO 14042
- ISO/TR 14049:2000 Environmental Management – LCA – Esempi di Applicazione del ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis

Fonte: (Hospido, 2005)

Più di recente, nel 2006, la serie di norme 14.04X è stata aggiornata per aumentarne la leggibilità mentre i principi base ed il contenuto tecnico rimanevano invariati.

Figura II.2 The ISO 14,04X updated series on LCA.

- ISO 14040:2006 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework provides a clear overview of the practice, application and limitations of LCA to a broad range of potential uses and stakeholders, including those with a limited knowledge of Life Cycle Assessment.
- ISO 14044:2006 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines, is designed for the preparation of, conduct of, and critical review of, life cycle inventory analysis. It also provides guidance on the impact assessment phase of LCA and on the interpretation of LCA results, as well as the nature and quality of the data collected.

Fonte: www.iso.org

ISO 14040: 2006 e ISO 14044:2006 sostituiscono le precedenti (ISO 14040:1997, ISO 14041:1999, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000). I nuovi standard sono stati fissati dal lavoro dell'ISO technical committee ISO/TC 207, Environmental management, subcommittee SC 5, Life Cycle Assessment (www.iso.org)

1.2.3 Metodologia

Gli standard ISO 14040 prevedono quattro stadi principali per lo studio dell'LCA, schematicamente rappresentati in Figura II.3, e brevemente descritti in questa sezione

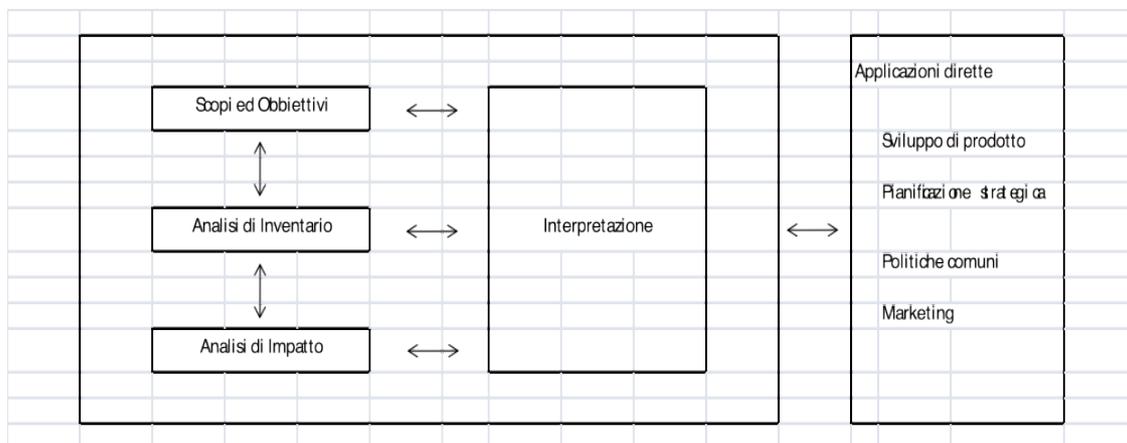


Figura II.3 Fasi di una Life Cycle Assessment

Fonte: (ISO 14040:2006)

1.2.3.1 Definizione scopo ed obiettivi

Questo è il primo stadio dello studio e probabilmente il più importante, già da qui sono definiti lo scopo, le possibilità e le ipotesi principali che si intendono perseguire nello studio. L'obiettivo dello studio è il primo punto che deve essere definito, la ragione per cui si fa e se i risultati ottenuti sono per scopo uso interno (per aziende, per esempio) o per uso esterno (per divulgazione) (Muñoz, 2006).

Successivamente c'è la definizione dello scopo, questo implica, tra le altre cose, la definizione del sistema, i suoi limiti (concettuali, geografici e temporali), la qualità dei dati utilizzati, l'ipotesi oggetto di studio e le limitazioni dello studio stesso. Punto fondamentale dello scopo è la definizione dell'unità funzionale (ISO 14040:2006);

questa è l'unità di prodotto o servizio sul quale gli impatti ambientali verranno valutati e comparati. L'unità funzionale è spesso espressa in termini di quantità di prodotto, ma potrebbe essere relazionata anche alla quantità di prodotto necessario per ottenere una data funzione (Muñoz, 2006).

1.2.3.2 Analisi dell'Inventario

L'analisi di inventario è un processo tecnico di raccolta dati in maniera tale da quantificare gli inputs e gli outputs del sistema come definite nello scopo (ISO 14040:2006,, ISO 14041:1998).

L'energia e le materie prime consumate, le emissioni nell'aria, nell'acqua, e al suolo e i residui solidi prodotti dal sistema oggetto di studio sono suddivisi in numerosi sub sistemi ed unità di processo ed i dati ottenuti sono raggruppati in differenti categorie nella tabella del Life Cycle Inventory (LCI) (Muñoz, 2006).

1.2.3.3 Valutazione di Impatto

La Valutazione di Impatto di ciclo di vita o Life Cycle Impact Assessment (LCIA) è un processo per identificare e caratterizzare i potenziali effetti prodotti nell'ambiente dal sistema oggetto di studio (ISO 14040:2006,,ISO 14042:1999).

Il punto di partenza dell'LCIA sono le informazioni ottenute nella fase di inventario: ne consegue che la qualità dei dati ottenuti da quest'ultimo sono il punto fondamentale per questo tipo di valutazione.

Si considera che l'LCIA consista di quattro fasi fondamentali brevemente descritte qui sotto

Prima fase **Classificazione:** le risorse consumate e cioè le emissioni nell'ambiente, identificate nella fase di analisi d'inventario, vengono raggruppate in differenti categorie d'impatto o indicatori d'impatto, secondo l'effetto ambientale che ci si attenda che producano. Per esempio, le emissioni di CO₂ e CH₄ vengono classificate sotto la categoria Global Warming Potential.

Tutte le metodologie esistenti per la redazione di un LCIA fanno capo a due approcci fondamentali:

Metodo Problem-oriented

Metodo Damage-oriented

Nel metodo problem-oriented tutti i carichi ambientali determinati dai dati dell'LCIA vengono associati ad una o più categorie di impatto sulla base di meccanismi ambientali nei quali sono coinvolti. Questo metodo, detto anche "midpoint" si limita quindi a determinare e quantificare i carichi di ogni categoria di impatto (ad esempio il quantitativo di CO₂ emesso in atmosfera e non il potenziale aumento di temperatura che ne deriva). Il metodo damage-oriented punta invece ad aggregare le varie categorie di impatto in base agli effetti che esse hanno sulla salute umana, sull'ecosistema e sull'esaurimento delle risorse. Questi tre grandi gruppi sono definiti indicatori "endpoint" in quanto sono centrati sui danni che i risultati della fase LCIA possono determinare in ambiti da tutelare.

Gli indicatori endpoint possono essere combinati secondo criteri predefiniti per dare un unico indicatore globale; in questa fase però entra una componente soggettiva di "ponderazione" dei diversi indicatori. L'analisi degli impatti ambientali ha come obiettivo fondamentale l'imputare i consumi e le emissioni ottenuti nella fase di inventario a specifiche categorie di impatto riferibili ad effetti ambientali conosciuti: tentano di quantificare, con opportuni metodi di standardizzazione, l'entità del contributo complessivo che il processo o il prodotto arreca al comparto ambientale potenzialmente danneggiato. In questo modo l'impatto risulta rappresentato da valori numerici ottenuti elaborando i risultati dell'LCIA con operazioni di raggruppamento e classificazione.

Per costituire le categorie d'impatto sono stati utilizzati i seguenti principali endpoints:

- 1) Ecologia (ecological effects), effetti sulla popolazione vegetale ed animale dell'ecosistema
- 2) Salute (human health and safety effects), effetti sulla sicurezza e salute dell'uomo
- 3) Risorse (resource depletion), esaurimento di risorse di energie e di materiali.

Su questa base vengono scelti gli specifici effetti caratterizzanti le varie categorie d'impatto (midpoint), che risultano definite come segue:

- 1) C1- Riscaldamento Globale (Global Warming)
- 2) C2- Assottigliamento della fascia di ozono (Stratospheric ozone depletion)
- 3) C3- Acidificazione delle acque (Acidification)

- 4) C4- Eutrofizzazione delle acque (Nutrient Enrichment)
- 5) C5- Formazione di smog fotochimico (Photosmog formation)
- 6) C6- Tossicità per l'uomo e per l'ambiente (Human and Eco-Toxicology)
- 7) C7- Consumo di risorse non rinnovabili (Resource depletion)

Operativamente la classificazione consiste nell'organizzare i dati dell'inventario, ovvero tutti i valori delle emissioni provocate direttamente ed indirettamente dalle operazioni considerate, distribuendoli nelle varie categorie di impatto. Il problema però non è semplice, poiché una stessa sostanza costituente un'emissione può contribuire a più fenomeni di impatto, provocando effetti a catena sovente di difficile interpretazione.

Gli effetti ambientali sono inoltre caratterizzati da una diversa sfera di influenza, che può essere locale, regionale oppure globale.

Seconda fase, **Caratterizzazione**: consiste nel pesare il differente contributo delle sostanze appartenenti alla medesima categoria di impatto. Per ogni categoria di impatto incluse nell'LCIA, viene prodotto un risultato aggregato, in una determinata unità di misura. Per esempio, il Global Warming Potential viene espresso come kg equivalenti di CO₂, provenienti dalle emissioni di CO₂, CH₄ ed altri gas serra. A questo punto, si ottiene il cosiddetto profilo ambientale del sistema costituito da un set di punteggi.

Facendo riferimento all'uso dei midpoints, i dati dell'inventario vengono moltiplicati per fattori di standardizzazione (characterization factor, CF), che rappresentano il potenziale che ogni singola emissione o risorsa utilizzata ha nel contribuire all'incremento della specifica categoria di impatto. Questo permette di ottenere indicatori da inserire nella relativa categoria di impatto ambientale, come si evince nell'equazione generale:

$$\text{indicatore}_i \text{ della categoria di impatto} = \sum (E_j) \times CF_{i,j}$$

indicatore_i della categoria di impatto = valore dell'indicatore per unità funzionale della categoria di impatto *i*;

E_j = rilascio di emissioni *j* o consumo di risorsa *j* per unità funzionale;

CF_{i,j} = fattore di standardizzazione per l'emissione *j* o risorsa *j* che incide sulla categoria di impatto *i*.

I fattori di caratterizzazione sono specifici per ogni categoria, ad esempio, per GWP, che esprime l'effetto serra di una sostanza, la CO₂ è pari a 1, mentre il metano è 21. Pertanto un grammo di metano emesso ha effetto equivalente a 21 grammi di CO₂.

Terza fase, la **Normalizzazione**: mette in relazione il profilo ambientale del sistema con un sistema più ampio e generico, ad esempio relaziona il Global Warming Potential del sistema con il Global Warming Potential annuo di una nazione.

L'ultima fase è il **Weighting** (pesatura): in questa fase il profilo ambientale è ridotto, da una serie di indicatori, a singoli punteggi di impatto, usando fattori di ponderazione basati su valori arbitrari soggettivi. Per questo un panel di esperti o membri delle amministrazioni pubbliche potrebbe essere costituito per dare indicazioni di ponderazione delle categorie di impatto. Il vantaggio di questa fase è che differenti classi di valori (categorie di impatto) possono essere convertite in valori numerici, rendendo più chiaro il peso che ognuna di esse comporta e agevolare gli utilizzatori della metodologia nel fare valutazioni e azioni sui processi considerati a rischio o pericolosi.

1.2.3.4 Interpretazione

Questo è l'ultima fase in uno studio di LCA, dove i risultati ottenuti sono presentati in una maniera sintetica, mostrando le fonti critiche di impatto e le opzioni per ridurle. L'interpretazione coinvolge un riesame di tutte le fasi di un processo di LCA, in modo da comprovare la veridicità dei dati ottenuti e la qualità dei dati utilizzati, in relazione agli obiettivi e agli scopi dello studio [8,16].

1.2.4 Benefici e limiti di una LCA

L'LCA comprende un approccio olistico; tutti gli input necessari e le emissioni nelle fasi e nelle operazioni del ciclo di vita vengono considerate all'interno dei limiti del sistema. Questo non solo comprende gli inputs e le emissioni dirette per produrre, distribuire, usare e smaltire, ma anche tutti gli input ed emissioni indirette (riguardanti

ad esempio la produzione di energia usata nel processo produttivo) senza considerare come e quando avvengano. Se un vero miglioramento ambientale deve essere fatto mediante dei cambiamenti al processo produttivo o dei servizi è importante non causare grandi alterazioni ambientali delle condizioni al contorno in contesti differenti in luogo e tempo nello studio del ciclo di vita.

La forza di questo strumento è che il dibattito sui temi ambientali si può allargare da un singolo punto o una singola problematica fino ad un numero elevato di problematiche usando una metodologia quantitativa fondata su basi oggettive.

In accordo con Guinée *et al.* 2002, quindi, la caratteristica fondamentale dell'LCA è la sua natura olistica che, oltre ad essere la sua forza, rappresenta anche la sua principale limitazione. Infatti, la possibilità di analizzare l'intero ciclo di vita di prodotti e processi con una visione olistica, può solo essere realizzata mediante la semplificazione di molte delle fasi proprie del ciclo produttivo e di altri aspetti.

Particolari limiti dell'LCA possono essere riassunti così (Muñoz, 2006):

- 1) La metodica si focalizza particolarmente su tematiche ambientali associate a prodotti o processi, escludendo tematiche di tipo economico e sociale.
- 2) La disponibilità di dati è una grossa limitazione. Sono stati sviluppati, e vengono tutt'ora sviluppati, database messi a punto in diversi paesi, ma in pratica, i dati sono spesso obsoleti, incomparabili e di qualità sconosciuta.

2. Obiettivo generale del progetto

Evidenziare e dimostrare come l'impiego integrato di tecnologie alternative e a basso impatto ambientale possa permettere l'ottenimento di produzioni di qualità senza un ulteriore aggravio delle spese, consentendo nella maggior parte dei casi minori costi colturali e risparmi di energia, acqua e fertilizzanti.

Le prove agronomiche si sono svolte presso l'Azienda agricola di Amedeo Nogarotto sita a Salto di Fondi in provincia di Latina (41°18'N, 13°19'E, 4 m s.l.m.).

3. Prove agronomiche

Le prove sono state condotte in una serra monocamera con tre navate di circa 1500 m² di superficie e rapporto volume:superficie di circa 2,9 m³ m⁻², le cui principali caratteristiche sono riportate in tabella 1

Tab. 1. Principali caratteristiche della serra utilizzata per le prove agronomiche.

Orientamento asse maggiore	nord-sud
Struttura portante	ferro zincato, 50 mm di diametro e arcate con passo di 2 m
Materiale di copertura	film PE tristrato dello spessore di 0,20 mm
Lunghezza	66 m
Larghezza totale	22,5 m
Larghezza singola navata	7,50 m
Altezza in gronda	2,00 m
Altezza al colmo	3,60 m
Superficie totale	1484 m ²
Volume totale serra	4306,5 m ³
Aerazione	naturale con aperture al colmo, laterali e in testata

Il terreno sul quale si è operato presenta granulometria franco sabbiosa con una componente limosa significativa, non calcareo, debolmente alcalino, con un elevato contenuto di sostanza organica e rapporto C/N medio. Elevato è il contenuto di N totale e di Mg scambiabile, mentre molto elevato (eccessivamente elevato) è il contenuto in K

scambiabile e P assimilabile. Il contenuto di micro-elementi è medio, medio-elevato (Tab. 2). L'impiego del software SPAW "Soil water characteristics" dell' USDA Agricultural Research Service (Saxton e Rawls, 2006) ha permesso di calcolare dai dati della granulometria e del contenuto di sostanza organica, i principali parametri idrologici del terreno: Coefficiente di appassimento = 12,8 % vol, Capacità di campo = 23,2 % vol, Capacità idrica massima = 44,2 % vol, Acqua disponibile = 0,10 cm/cm, Conducibilità idraulica a saturazione = 22.93 mm/hr, Peso specifico = 1,48 g/cm³.

Tab. 2. Caratteristiche del terreno interessato dalle prove (analisi effettuate secondo la normativa ufficiale vigente).

Caratteristiche del terreno	Unità di misura	
Tessitura		
sabbia	%	59,32
limo	%	22,6
argilla	%	18,08
pH		8,07
Carbonati totali	% Ca CO ₃	0,33
C organico	%	1,8
S. organica	%	3,1
C/N		10,47
CSC	Meq/100 gr	17,19
SAR		0,41
Mg/K		1,39
salinità	mS/cm	1,09
N totale	‰	1,72
P ass	ppm P ₂ O ₅	435
K scamb	ppm K ₂ O	1494
Mg scamb	ppm MgO	896
Ca scamb	ppm CaO	2394
Na scamb	ppm Na	238
Fe ass.	ppm Fe	54
Mn ass	ppm Mn	257
Zn ass	ppm Zn	5
Cu ass	ppm Cu	6
B sol	ppm B	1,26

3.1. Materiali e metodi (aspetti generali)

L'impianto dimostrativo prevedeva la coltivazione su diversi tipi di substrato:

terreno tal quale (tal quale)

terreno + compost + micorrize (compost)

terreno + zeoliti (zeolite)

su ognuno dei quali erano previsti 2 diversi metodi di gestione dell'irrigazione (Imax e Irid) combinati fattorialmente con 2 diversi metodi di gestione della concimazione (Cmax e Crid):

Imax-Cmax: irrigazione massima e concimazione massima

Imax-Crid: irrigazione massima e concimazione ridotta

Irid-Cmax: irrigazione ridotta e concimazione massima

Irid-Crid: irrigazione ridotta e concimazione ridotta.

L'impianto è stato allestito nell'estate del 2009, presso l'Azienda agricola di Amedeo Nogarotto sita a Salto di Fondi in provincia di Latina (41°18'N, 13°19'E, 4 m s.l.m.), con una prima lavorazione del terreno (erpicoltura) seguita da una letamazione che prevedeva l'apporto di 100 t ha⁻¹ di letame maturo. A seguire si è eseguita la solarizzazione del suolo, come avviene comunemente nella zona, applicando un film plastico trasparente (PE, 0,05 mm) a coprire integralmente il terreno della serra e permettere la disinfezione del terreno in seguito all'aumento di temperatura dei primi centimetri. La solarizzazione è durata 45 giorni, dopodiché il film plastico è stato rimosso e si è eseguita la preparazione dei diversi substrati di coltivazione oggetto di studio.

Il compost, fornito da una piattaforma di compostaggio che produce ammendanti certificati ed autorizzati nel biologico, presentava le caratteristiche riportate in tabella 3 ed è stato apportato in quantità pari a 3 kg m⁻², uniformemente distribuite sul terreno e interrate con fresatura nei primi 15 cm di profondità.

Tab. 3. Composizione del compost impiegato nelle prove agronomiche.

Umidità	12%
pH	7,8
Carbonio (C) organico di origine biologica sul secco	30%
Carbonio (C) umico e fulvico sul secco	7%
Azoto (N) organico	2%
Rapporto C/N	15
Rame (Cu) totale sul secco	<150 mg kg ⁻¹
Zinco (Zn) totale sul secco	<500 mg kg ⁻¹
Salinità	4,4 dS m ⁻¹

L'inoculo micorrizico è stato reperito sul mercato ed era composto da spore e micelio del genere *Glomus* spp. (*G. intraradices*, *G. coronator* e altri) con aggiunta di batteri simbiotici radicali del genere *Bacillus subtilis* e *Bacillus pseudomonas* entrambi supportati da materiale organico. Il prodotto è stato utilizzato al momento della preparazione del substrato (torba) per la preparazione delle piantine in vivaio addizionandolo, miscelandolo ed omogeneizzandolo a questo nella quantità di g 300 di prodotto per 1000 piante.

Le zeoliti, di granulometria mista (≤ 6 mm), erano di provenienza italiana, composte principalmente da cabasite (oltre il 60 % in peso) e caratterizzate da CSC e capacità di ritenzione idrica pari a 2,4 meq g⁻¹ e 37,4% (v:v), rispettivamente. Sono state apportate in una quantità pari a 15 kg m⁻², uniformemente distribuite sul terreno e interrate con fresatura nei primi 15 cm di profondità.

La gestione dell'irrigazione prevedeva momenti di intervento sulla base della determinazione dell'umidità del suolo tramite sonde FDR (Decagon Devices Inc.) collocate all'interno delle parcelle alla profondità di 5 e 15 cm. Il momento dell'irrigazione veniva stabilito ogni qualvolta le sonde evidenziavano un contenuto medio d'umidità pari a circa il 50% della riserva idrica utile (RU). Dato lo scopo prevalentemente dimostrativo del progetto LIFE+, i volumi di adacquamento nelle diverse tesi è stato così stabilito: per la tesi I_{max} (irrigazione massima), la distribuzione dell'acqua irrigua avveniva con i volumi normalmente adottati dall'azienda ospite (determinati dalle durate di erogazione normalmente adottate dal produttore); per la tesi I_{rid} (irrigazione ridotta), i volumi d'adacquamento sono stati fissati pari al 70% di quelli utilizzati nella tesi I_{max}. Questo valore è stato adottato in quanto, da osservazioni preliminari, tali volumi si sono dimostrati sufficienti per riportare l'umidità del suolo a valori prossimi alla capacità di campo.

La gestione della concimazione prevedeva la distribuzione di N, P e K sulla base di un bilancio semplificato stilato sulla base delle indicazioni riportate nei protocolli di produzione integrata delle regioni Emilia-Romagna e Campania (non essendo presenti al momento indicazioni in merito da parte della regione Lazio). Le tesi C_{max} (concimazione massima) e C_{rid} (concimazione ridotta) si differenziavano per la gestione dell'azoto. In C_{max} la dose complessiva di azoto veniva stimata dai suddetti bilanci senza tener conto dell'azoto apportato con l'acqua d'irrigazione, mentre nella tesi C_{rid} si teneva conto della stima di N apportato con l'irrigazione. I quantitativi distribuiti durante il ciclo venivano differenziati indicativamente sulla base delle percentuali d'asportazione riportati in bibliografia per le diverse fasi fenologiche. L'azoto è stato distribuito con impianto di fertirrigazione.

Tutte le altre pratiche colturali sono state condotte seguendo le normali tecniche in uso nell'azienda ospite.

Per l'esecuzione della prova si è adottato uno schema sperimentale a split-split-plot con 3 ripetizioni, in cui i substrati di coltivazione (tal quale, compost, zeolite) rappresentavano le parcelle principali (area = 165 m²), i 2 diversi metodi di gestione dell'irrigazione (I_{max} e I_{rid}) le sub-parcelle (area = 82,50 m²) e i 2 diversi metodi di gestione della concimazione (C_{max} e C_{rid}) le sub-sub-parcelle (area = 41,25 m²).

3.1.1.LIFE CYCLE ASSESSMENT

Obiettivi dello studio

Le finalità di questo studio di LCA sono di valutare le differenze a livello ambientale che a livello agronomico di diversi sistemi colturali caratterizzati principalmente dall'utilizzo di diversi substrati (compost, terreno tal quale e terreno con zeolite) e gestioni di acqua (Imax e Irid) e azoto (Cmax e Crid) in una rotazione orticola tipo (zucchino-pomodoro) nella piana di Fondi (LT).

Considerato che a fine ciclo colturale (almeno per lo zucchino) i quantitativi di acqua e di fertilizzanti apportati durante la coltivazione sono stati piuttosto contenuti (come riportato nei risultati agronomici) lo studio di LCA è stato effettuato solo per i tre tipi di substrato di coltivazione.

Descrizione del sistema

La figura mostra gli stadi e i sottostadi presi in considerazione nella coltivazione.

L'intero sistema, dall'ottenimento delle materie prime utilizzate per manufatti e attrezzi, fino alla gestione dei rifiuti prodotti, è stato considerato in ogni stadio.

La commercializzazione del prodotto non è inclusa nello studio.

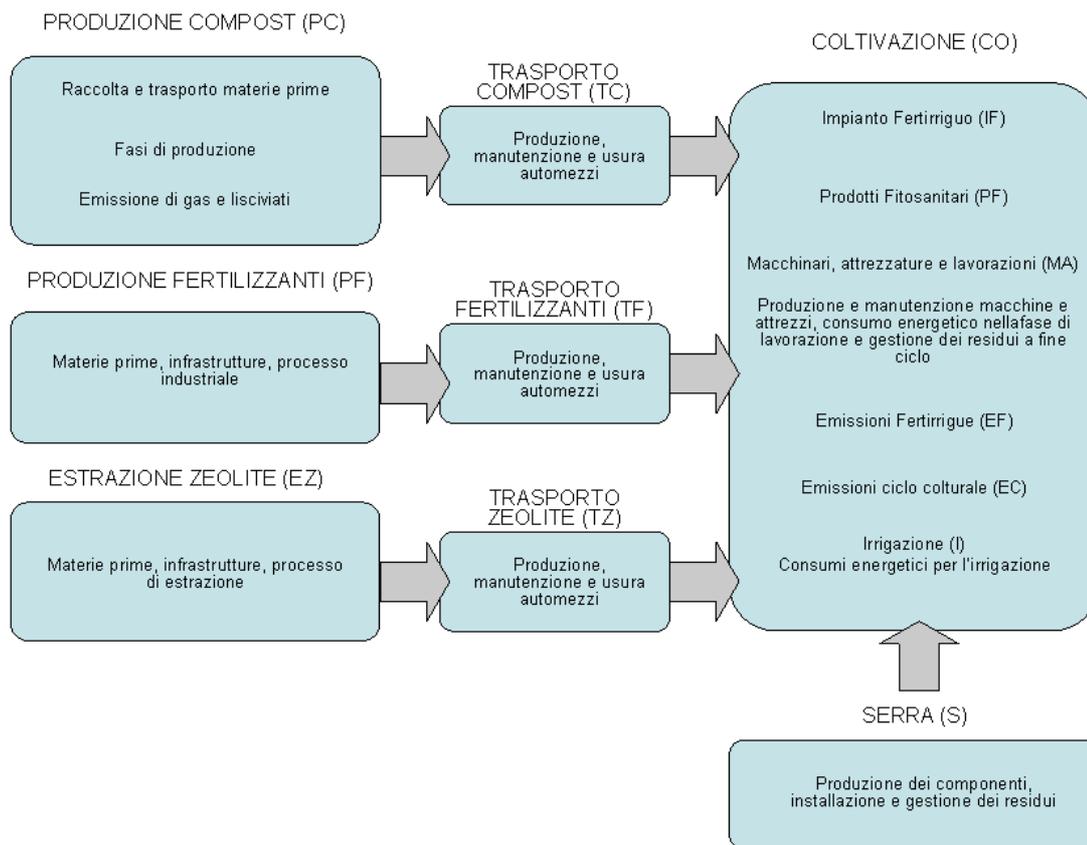


Figura 1. Processi presi in considerazione e limiti del sistema

Più in particolare, per le tre tesi a confronto sono presi in considerazione gli specifici processi produttivi

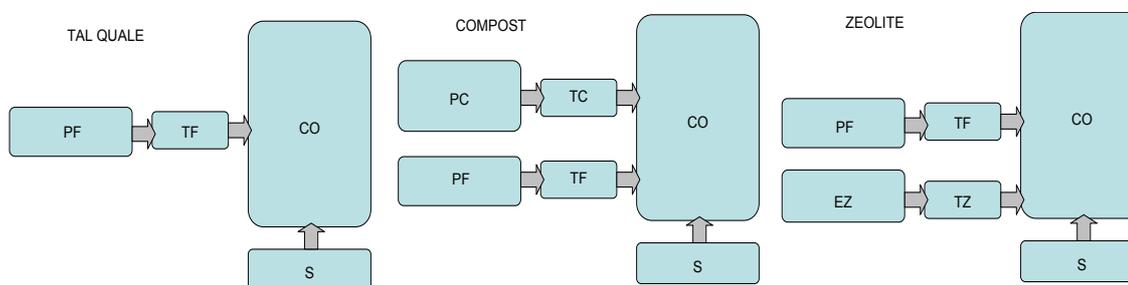


Figura 2. Processi specifici di ogni sistema colturale a confronto

Unità funzionale

Come unità funzionale è stata scelta la tonnellata di prodotto finale, come riferimento per la normalizzazione dei flussi in entrata e in uscita dal sistema produttivo (International Organisation for Standardisation, 2006). In un sistema agricolo, infatti, come fattore principale dello studio deve essere considerata la produzione (Audsley, 1997).

Qualità e origine dei dati dell'inventario

L'intero sistema oggetto di studio richiede un processo di raccolta dati dettagliato.

La maggior parte di questi dati sono stati ottenuti sperimentalmente e direttamente in campo. Quando non erano presenti informazioni locali, si sono utilizzati dati da bibliografia o il database Ecoinvent v2.0 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007), il quale è stato usato per completare la fase di inventario della LCA.

Dati della produzione di compost e trasporto. L'impianto di compostaggio da cui proveniva il compost utilizzato era situato a Ozzano dell'Emilia, provincia di Bologna. L'impianto ha una capacità di 4000t di materiale organico lavorato l'anno (frazione organica da residui solidi urbani e frazioni vegetali in genere) il quale prevede una prima preselezione e vagliatura del prodotto, una miscelazione dei materiali di partenza, poi una fase di produzione del compost mediante rivoltamento costante della massa all'aria aperta, per tutta la durata del periodo di maturazione. Non avendo a disposizione dati specifici dell'impianto di compostaggio di Ozzano, le emissioni relative alla produzione di compost sono state desunte utilizzando dati da bibliografia e dati non pubblicati, ma gentilmente offerti dall'Università Autonoma di Barcellona, relativi a impianti con stesso procedimento industriale di produzione, riadattati ai volumi reali lavorati dallo stabilimento di Ozzano (Colón *et al* 2010 (ES&T), Huerta *et al* 2008 (ESAB), Martínez-Blanco *et al* 2010 (WM), Cadena *et al* 2009 (IJLCA) Cisneros *et al* 2006, Antoni Sánchez).

Le caratteristiche del compost sono già state descritte in precedenza.

Produzione concimi chimici e trasporto. I dati di produzione dei concimi chimici e del trasporto del compost provengono dai processi inventariati nel database ecoinvent v2.0 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories., 2007).

Dati della struttura. I dati riguardanti la serra sono stati ottenuti mediante misure dirette sul campo e interviste ai costruttori. La serra è un multitunnel a tre navate con pareti

verticali; è costruita in archi di ferro zincato piantati direttamente a terra senza l'utilizzo di cemento; presenta finestre laterali su tutti e quattro i lati ad apertura manuale ed una finestra sul tetto nella sola navata centrale ad apertura elettrica. La superficie coperta è di circa 1500 m² e la copertura è costituita da film plastico di polietilene a bassa densità. I dati mancanti, soprattutto per i processi di estrazione e produzione dei materiali, sono stati estrapolati dal database ecoinvent v2.0 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories., 2007).

Dati dell'impianto di fertirrigazione. I dati relativi all'impianto fertirriguo sono stati rilevati direttamente in campo. L'impianto consta di pompa elettrica sommersa, filtri, aspiratore venturi per la fertirrigazione, tubazioni principali, tubazioni secondarie, impianto di distribuzione a manichetta ed impianto di irrigazione per aspersione con microaspersori. Per quanto riguarda i dati riguardanti l'estrazione delle materie prime e i processi di produzione dei materiali utilizzati si è fatto riferimento al database ecoinvent v2.0 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007).

Dati del ciclo colturale. I dati di emissione di CO₂ del ciclo colturale sono stati rilevati direttamente in campo, mediante campionature e determinazione del C organico in suolo e piante .

Categorie d'impatto e metodologia LCA

Sono state considerate sei categorie di impatto, più specificatamente, Potenziale Riscaldamento Globale (Global Warming), Assottigliamento della fascia di ozono (Ozone Deplation), Acidificazione delle acque (Acidification), Eutrofizzazione delle acque (Eutrophication), Formazione di smog fotochimico (Photosmog formation), Consumo di risorse non rinnovabili (Abiotic Deplation) definite dal CML 2001 (Guinée, 2001).

Per l'analisi di impatto ed elaborazione dati è stato utilizzato il SimaPro v. 7.1.8 (PRé Consultants, 2008) con la classificazione e fase di caratterizzazione obbligatoria definita dalle norme ISO 14040 (International Organisation for Standardisation, 2006).

3.1.2.LIFE CYCLE INVENTORY (LCI)

Considerazioni preliminari

I valori di produzione ottenuti dalla prova sperimentale sono stati riferiti all'ettaro, così come tutti i fattori della produzione. Per quanto riguarda la struttura serra (superficie coperta 1500 m²), riferire il valore dei materiali della serra oggetto di studio all'ettaro, porta di fatto a un sovradimensionamento del valore in quanto i valori riguardanti le testate vanno a incidere notevolmente sulle quantità finali di materiale utilizzato. La zona di Fondi però è caratterizzata prevalentemente da strutture di questo tipo e per questo motivo si è deciso di mantenere questo *modus operandi* anche per la struttura.

Compost. Il compost è normalmente applicato in cicli di 2 anni. Di conseguenza, con il proposito di distribuire i carichi ambientali dei trasporti e dello spandimento, ad ogni coltura della successione (zucchino-pomodoro) è stata attribuita metà della quota di compost totale.

Trasporti. In quasi tutte le fasi, per i trasporti è stato considerato il doppio della distanza tra la sorgente e il la destinazione del prodotto. Questo, ovviamente, per tener in considerazione anche il viaggio di ritorno a vuoto.

Produzione compost

Questa fase include la produzione di rifiuti organici, gli input e gli output del processo industriale di compostaggio dell'impianto di Ozzano dell'Emilia (BO).

Raccolta e trasporto. Le materie prime per la produzione di compost sono state ottenute dalla raccolta differenziata della città di Bologna e dai comuni adiacenti, in un'area di 30 km di raggio dalla struttura. Il trasporto del materiale avviene mediante camion di 21t di portata massima. In questa fase è stata considerata anche il processo di produzione dei cassonetti di raccolta e la loro pulizia (Martínez-Blanco et al., 2009; Martínez-Blanco et al., 2010).

Processo di compostaggio. I dati di emissioni e consumi del processo di compostaggio sono stati ottenuti adattando i dati sperimentali di un impianto di compostaggio (Torrellas de Llobregat, Barcellona, Spagna) con caratteristiche, sia di processo che di prodotto finale, simili a quelle dell'impianto di Ozzano .

Il prodotto in entrata viene pesato, tritato e vagliato una prima volta per eliminare i materiali non compostabili. Successivamente, vengono mescolati i residui organici urbani con materiale vegetale fresco (ramaglie, foglie, ecc), in rapporti ottimali per il

processo di compostaggio. La massa viene poi inumidita, secondo necessità. La fase successiva prevede la formazione dei cumuli di compostaggio, in un capannone aperto lateralmente, i quali vengono periodicamente rimescolati, dapprima 1 volta al giorno, poi man mano che il processo prosegue con frequenza ridotta (fino a 1 volta la settimana). In questo tipo di impianti, non è previsto il trattamento dei gas emessi durante il processo. Dopo sei settimane si passa alla fase di maturazione che avviene sempre rivoltando la massa, senza più aggiungere acqua, ottenendo una temperatura di 40°C circa al centro dei cumuli; questa fase dura circa 14 settimane. Alla fine della fase di maturazione, il materiale viene vagliato in un setaccio cilindrico, o trommel, per separare la frazione organica da eventuali inerti e da materiali non compostati, i quali andranno in discarica. Il materiale vagliato viene poi compresso per la produzione dei pellets.

Dall'intero processo si emetterebbero 0,25 kg di N₂O, 4,37 kg di CH₄, 8,63 kg di NH₃ e 5,70 kg di VOC (Volatile Organic Compounds) per ogni tonnellata di residuo organico urbano e residuo verde compostato.

Produzione fertilizzanti minerali

I dati di produzione dei fertilizzanti minerali provengono dal database ecoinvent v2.0 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories., 2007), i quali includono infrastrutture, trasporto della materia prima, sintesi dei composti chimici necessari, deposito e trattamento dei rifiuti generati (Nemecek et al., 2004).

Estrazione Zeoliti

I dati di estrazione delle zeoliti provengono dal database ecoinvent. Non essendo presente il processo vero e proprio, si è utilizzato il processo di estrazione della bentonite il quale è molto simile; per la giusta ponderazione dei dati di emissioni e consumi, essendo la zeolite un materiale inerte, si è considerata una vita utile di 100 anni, come avviene per le sabbie e ghiaie.

Trasporto compost

Il compost è stato trasportato dall'impianto di compostaggio (Ozzano Emilia, Bologna) al luogo di utilizzo (Salto di Fondi, Latina) mediante camion 16t per una distanza di 330 km.

Trasporto concimi

I concimi azotati utilizzati provenivano tutti dalla ditta Yara, con stabilimento di produzione a Ferrara, è stato ipotizzato un trasporto con camion 16t per una distanza di 400 km; per tutti gli altri, non sapendone la provenienza, si è considerato come punto di partenza la sede legale della ditta produttrice.

Trasporto Zeolite

Per il trasporto della zeolite è stato considerato con camion di 28t di portata, con partenza dal luogo della cava (Pitigliano,AR), per un totale di km 280.

Coltivazione

La gestione della coltura è stata condotta utilizzando le normali pratiche agricole della zona già descritte precedentemente.

Impianto di fertirrigazione. La somministrazione di acqua e fertilizzanti è stata effettuata mediante l'utilizzo di un impianto di fertirrigazione standard con pompa elettrica sommersa, filtro, tubo Venturi, manometri, condotte principali, secondarie, manichetta per la distribuzione microirrigua dell'acqua ed impianto ad aspersione con miscoaspersori. Sono stati considerati la produzione di questi elementi, il loro trasporto e la gestione dei rifiuti, in rapporto alla vita utile ed al ciclo produttivo della coltivazione.

Prodotti fitosanitari. I prodotti fitosanitari utilizzati sono tutti prodotti ammessi e registrati per la coltura e le dosi sono quelle riportate in etichetta. Il calcolo delle emissioni ha fatto riferimento non solo alla fase di produzione (database ecoinvent) ma anche alla distribuzione dei prodotti nei diversi comparti ambientali, in funzione della grandezza delle piante (LAI) e tempo di degradazione delle molecole utilizzate. Menzione particolare la merita il Rame, il quale pur essendo utilizzato come antiperonosporico di copertura anche in regimi di produzione biologica, a livello di tossicità ambientale è piuttosto dannoso in quanto chimicamente è considerato un metallo pesante con tempi di degradazione superiori agli 8000 anni. Questo porta, durante la fase di elaborazione dei dati, ad essere l'esclusivo responsabile e fattore maggiormente impattante di tutto il sistema; per questo motivo e per poter analizzare al meglio il sistema produttivo in tutte le sue fasi si è deciso di non considerarlo nell'elaborazione.

Macchinari, attrezzature e lavorazioni. Sono stati presi in considerazione la produzione, la manutenzione, il trasporto e la gestione dei rifiuti di trattori ed attrezzature per la

lavorazione. Sono state considerate le lavorazioni comuni ai tre substrati di coltivazione ed anche quelle specifiche per le tesi Compost e Zeolite.

Irrigazione e fertirrigazione. Per queste due pratiche, sono state conteggiate le ore di funzionamento ed i consumi di energia elettrica della pompa durante tutto il ciclo di coltivazione.

Emissioni da concimazione e fertirrigazione. Per il calcolo delle emissioni dei concimi distribuiti in fertirrigazione sono state considerate le diverse forme di azoto contenute in essi secondo la metodica proposta da Audsley (Audsley, 1997) e da Bentrup e Küesters (Bentrup, 2000). Le emissioni in atmosfera sono state conteggiate come NH_3 , N_2O , NO_x ed N_2 , mentre le emissioni nelle acque come NO_3 .

Emissioni dal ciclo colturale. Le emissioni di CO_2 del ciclo colturale sono state effettuate mediante misura diretta a fine ciclo. Il valore utilizzato proviene dal differenziale di C del suolo a fine ciclo rispetto a quello a inizio ciclo, epurato della quota organicata dalla pianta e allocata nelle parti vegetative (pianta e frutti in formazione) e nella produzione.

Gestione dei residui dal sistema. Non sono stati tenuti in considerazione gli smaltimenti e la gestione dei residui dal sistema alla fine della propria durata tecnica.

Serra

Per lo studio di LCA, sono stati considerati per la serra la produzione, il trasporto, l'installazione e la gestione dei residui dei componenti.

Per il ferro della struttura degli archi è stato considerato il 90% della materia prima proveniente dal riciclo e solo il 10% da nuove materie prime di estrazione in accordo con le dichiarazioni dei produttori delle strutture. Tutti i componenti metallici sono stati galvanizzati e rivestiti di uno strato di zinco per la protezione dall'ossidazione. Si è assunta una durata di venti anni della struttura, mentre per il materiale di copertura tre anni. Per quanto riguarda la struttura sono stati tenuti in considerazione anche i fili di ferro passanti sopra le piante e il filo di rafia per il tutoraggio delle piante.

Tutte le finestre laterali sono ad apertura manuale, quindi non conteggiate, mentre la finestra al colmo della navata centrale è a comando elettrico, con associato consumo elettrico, per un utilizzo medio di 5 minuti al giorno.

Carica ambientale evitata, relativa ai residui organici urbani e alla materia vegetale fresca smaltiti in discarica

L'utilizzo del compost per la coltivazione non può essere considerato come semplice surrogato di una concimazione minerale o di un ammendante in genere, al compost bisogna comunque riconoscere una funzione in più: la riduzione dei volumi dei residui ed una minore quantità di materiale destinato alle discariche. Per questo, all'impatto ambientale della tesi compost viene sottratto l'impatto ambientale che avrebbe avuto la quantità di residui organici urbani e materia vegetale fresca utilizzati per la produzione di compost se fossero stati smaltiti in discarica (Martínez-Blanco et al., 2010).

3.2. Materiali e metodi (prova zucchini)

Lo zucchini cv Ortano, adatto ai cicli autunno-invernali dell'area centro-meridionale, è stato seminato il 19 settembre 2009 in contenitori di polistirolo da 60 alveoli su torba. Per le piantine destinate al trapianto sul terreno addizionato di compost, si è utilizzato substrato torboso miscelato con inoculo micorrizico in quantità pari a g 300 di prodotto per 1000 piante.

Il trapianto in serra, coltivata precedentemente a pomodoro, è stato effettuato il 30 settembre 2009 con piantine allo stadio di 2^a foglia vera, disposte alla distanza di 1,26 m tra le file e 0.60 m sulla fila, per una densità di circa 1,23 piante m⁻².

Nei primi 20 giorni dopo il trapianto, per superare il periodo di stress da trapianto e uniformare la coltura, la gestione dell'irrigazione è stata la stessa per tutte le tesi a confronto. Successivamente questa è stata differenziata modificando tuttavia lo schema sperimentale previsto dal progetto. Difficoltà emerse nella taratura delle sonde FDR, infatti, non hanno permesso di gestire l'irrigazione delle tesi Irid sulla base dell'umidità rilevata dalle sonde stesse. Si è quindi deciso di diversificare l'irrigazione solo sulla base dei volumi d'adacquamento (Irid = 70% I_{max}) intervenendo nello stesso momento in tutte le tesi a confronto.

Per l'irrigazione e la fertirrigazione si è adottato un impianto con manichetta a doppia camera, con punti goccia ogni 20 cm e portata teorica 5 litri h⁻¹ m⁻¹ (1 litro h⁻¹ per gocciolatore).

Durante il ciclo colturale, come è pratica comune della zona, si sono effettuate applicazioni fogliari di nutrienti secondo lo schema riportato in tabella 4.

Tab. 4. Calendario interventi di concimazione fogliare, valori in g di elementi nutritivi per ha

Data	Prodotto commerciale	Titolo N-P-K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
28/10/09	Green Sap + Special Zucchini	(20-20-20)+(9-14-19)	211,1	216,2	221,2
13/11/09	Special Zucchini + Phyto's K	(9-14-19)+(0-30-20)	9,1	367,7	254,9
20/11/09	Special Zucchini + Phyto's K	(9-14-19)+(0-30-20)	9,1	923,2	625,2
04/12/09	Special Zucchini + Phyto's K	(9-14-19)+(0-30-20)	9,1	620,2	423,2
10/12/09	Special Zucchini + Phyto's K	(9-14-19)+(0-30-20)	9,1	620,2	423,2
17/12/09	Special Zucchini + Kappa G	(9-14-19)+(8-20-30)	72	163	240,4
TOTALE			319,5	2910,5	2188,1

La difesa fitosanitaria è stata effettuata principalmente mediante la prevenzione, ponendo particolare cura alla gestione del microclima in serra, per evitare il più possibile eccessi di umidità e sviluppo di malattie.

Altra particolare attenzione è stata posta al monitoraggio e al controllo della mosca bianca (*Trialeurodes vaporariorum* West.) sia per i danni diretti che può causare alla coltura sia a quelli indiretti essendo un pericoloso vettore di virus. Il calendario dei trattamenti fitosanitari è riportato in tabella 5.

Tab. 5. Calendario trattamenti fitosanitari

Data	Volume irrorato	Peso prodotto	Prodotto commerciale	Principio attivo
	l/ha	kg o l/ha		
06/10/09	100	0,2	Laser	Spinosad 44,2%, 480 g/l
14/10/09	100	0,4	Cuprosat	Solfato tribasico di rame 15,2%
03/11/09	100	0,4	Cuprosat	Solfato tribasico di rame 15,2%
10/11/09	100	0,4	Cuprosat	Solfato tribasico di rame 15,2%
17/11/09	100	0,5	Cuprosat + Laser	Solfato tribasico di rame 15,2% + Spinosad 44,2%

Tutti i trattamenti sono stati effettuati seguendo le normative vigenti le quali prevedono il rispetto di dosi e tempi di carenza.

Il controllo delle infestanti è stato effettuato tramite scerbatura.

Durante il ciclo colturale è stato monitorato lo stato nutrizionale e di sviluppo delle piante, con cadenza settimanale, mediante un radiometro multispettro MSR 87 (Cropscan) il quale ha permesso di analizzare lo spettro della radiazione emessa dalla pianta in funzione di quella ricevuta. Sulla base delle letture alle lunghezze d'onda di 810 e 560 nm è stato calcolato l'indice vegetazionale NIR/Green, strettamente correlato con il contenuto di azoto della coltura e la sua biomassa.

La raccolta è iniziata il 31 ottobre e si è conclusa il 6 gennaio 2010. Gli interventi di raccolta sono stati eseguiti 2-3 volte alla settimana in funzione dell'andamento climatico, su un'area di saggio comprendente cinque piante per ogni parcella. I frutti sono stati raccolti con fiore, contati, pesati, suddivisi in produzione di scarto (danneggiati, deformati e fuori calibro) e commerciabile. Inoltre, i frutti sono stati misurati (lunghezza e diametro) e valutati, tramite punteggio, per forma (5=curva, 3=leggermente curva, 1=dritta), aspetto (10=perfetto, 7=qualche segno, 5=molti segni, 0=non commerciabile) e stato di freschezza del fiore (1=fresco, 2=poco fresco, 3=caduto, 4=marcio).

3.3. Materiali e metodi (prova pomodoro)

Il pomodoro cv Caramba, adatto alla coltura in serra nell'area centro-meridionale con raccolta dei frutti allo stadio di maturazione verde, è stato seminato il 3 dicembre 2009 in contenitori di polistirolo da 90 alveoli su torba. Per le piantine destinate al trapianto sul terreno addizionato di compost, si è utilizzato substrato torboso miscelato con inoculo micorrizico in quantità pari a g 300 di prodotto per 1000 piante.

Nella serra, coltivata precedentemente a zucchini, la preparazione del terreno ha previsto la trinciatura dei residui colturali, ripuntatura a circa 40 cm di profondità e fresatura per la preparazione del letto di semina.

Il trapianto è stato effettuato il 20 gennaio 2010, con piantine allo stadio di 2^a - 3^a foglia vera, disposte in fila singola alla distanza di 0,95 m tra le file e 0.40 m sulla fila, per una densità teorica di circa 2,63 piante m⁻² e una densità colturale effettiva di 2,50 piante m⁻². Non è stata considerata alcuna concimazione di fondo e non è stata effettuata pacciamatura del terreno.

La coltura, dopo la messa a dimora, a fini della protezione di danni da gelo, è stata protetta con la posa di un tessuto non tessuto a grammatura leggera posizionato direttamente sulle piante (pacciamatura soffice) per un periodo di circa 20 giorni. Successivamente è stata eseguita la posa dei tutori formati da spago in polietilene.

Nei primi 30 giorni dopo il trapianto, per superare il periodo di stress da trapianto e uniformare la coltura, la gestione dell'irrigazione è stata la stessa per tutte le tesi a confronto. Successivamente questa è stata differenziata seguendo lo schema sperimentale previsto dal progetto. Nelle tesi Imax (irrigazione massima), infatti, la distribuzione dell'acqua avveniva nei momenti e volumi normalmente adottati dall'azienda ospite, mentre nelle tesi Irid (irrigazione ridotta) il momento dell'irrigazione veniva stabilito ogni qualvolta le sonde FDR (Decagon Devices Inc.) poste alla profondità di 5 e 15 cm evidenziavano un contenuto medio d'umidità pari a circa il 50% della riserva idrica utile (RU), con volumi d'adacquamento pari al 70% di quelli utilizzati nelle tesi Imax.

Per l'irrigazione e la fertirrigazione si è adottato un impianto con manichetta a doppia camera, con punti goccia ogni 20 cm e portata teorica 5 litri h⁻¹ m⁻¹ (1 litro h⁻¹ per gocciolatore).

Su tutte le tesi, durante il ciclo colturale, sono state effettuate applicazioni di: Blackjack (N org. 0,6%) alla dose di circa 5, 5 kg ha⁻¹, il 4 febbraio 2010; chelato di ferro EDDHA (ferro solubile in acqua 6%) alla dose di circa 2 kg ha⁻¹, il 7 aprile 2010; macro- e micro-nutrienti con Green Sap 20-20-20 per via fogliare alla dose di circa 500 g ha⁻¹, il 12 maggio 2010.

La difesa fitosanitaria è stata effettuata principalmente mediante la prevenzione, ponendo particolare cura alla gestione del microclima in serra, per evitare il più possibile eccessi di umidità e sviluppo di malattie. Nonostante queste precauzioni,

all'inizio del ciclo si è verificato un forte attacco di peronospora che ha causato una consistente moria delle giovani piante e per il quale si sono resi necessari diversi interventi fungicidi e la sostituzione delle piantine morte.

Altra particolare attenzione è stata posta al monitoraggio e al controllo della tignola del pomodoro o Tuta (Tuta absoluta, Meyrick, Povolny) diffusa in Italia dal 2008 e che, nei casi più gravi, i danni prodotti dalle larve possono interessare l'intera vegetazione e rendere non commerciabile la totalità dei frutti. Il calendario dei trattamenti fitosanitari é riportato in tabella 6.

Tutti i trattamenti sono stati effettuati seguendo le normative vigenti le quali prevedono il rispetto di dosi e tempi di carenza.

Il controllo delle infestanti è stato effettuato tramite scerbatura.

Durante il ciclo colturale è stato monitorato lo stato nutrizionale e di sviluppo delle piante, con cadenza settimanale, mediante un radiometro multispettro MSR 87 (Cropscan) il quale ha permesso di analizzare lo spettro della radiazione emessa dalla pianta in funzione di quella ricevuta. Sulla base delle letture alle lunghezze d'onda di 810 e 560 nm è stato calcolato l'indice vegetazionale NIR/Green, strettamente correlato con il contenuto di azoto della coltura e la sua biomassa. La raccolta è iniziata il 4 maggio e si è conclusa il 26 giugno 2010. Gli interventi di raccolta sono stati eseguiti 2-4 volte alla settimana in funzione dell'andamento climatico, su un'area di saggio comprendente tre piante per ogni parcella. I frutti di ogni grappolo sono stati contati, pesati, suddivisi in produzione di scarto e nelle varie classi commerciali (in base al calibro).

Tab. 6. Calendario trattamenti fitosanitari

Data	Tipologia	Nome commerciale	Dosi kg ha-1	Principio attivo
29/01/10	Fungicida	Forum R	0,50	dimetamorf 6% + Cu ossicloruro 40%
		Signum	0,25	boscalid 267 g/l, piraclostrobin 67 g/l
04/02/10	Fungicida	Curzate R WG	0,67	cimoxanil 42 g/l, ossicloruro di Cu 397,5 g/l
13/02/10	Fungicida	Forum 50 WP	0,23	dimetamorf 50%
		Laser (spinosad)	0,07	spinosad
18/02/10	Fungicida	Curzate R WG	2,40	cimoxanil 42 g/l, ossicloruro di Cu 397,5 g/l
23/02/10	Fungicida	Curzate R WG	2,17	cimoxanil 42 g/l, ossicloruro di Cu 397,5 g/l
13/03/2010	Insetticida, Tuta	Ridomilgold R	4,00	metalaxil-m 24 g/l, ossicloruro 400 g/l
		Rapax BT	1,50	b. thuringiensis ceppo EG 2348; 71,25 g/L
20/03/2010	Insetticida, Tuta	Xentari	0,50	b. thuringiensis aizawai h7 10%
27/03/2010	Insetticida, Tuta	Xentari	1,00	b. thuringiensis aizawai h7 10%

	Fungicida	Cuposat	4,00	rame metallico 195 g/l
03/04/2010	Insetticida, Tuta	Curzate RWG	2,17	cimoxanil 42 g/l, ossicloruro di Cu 397,5 g/l
	Fungicida	Rapax BT	1,50	b. thuringiensis ceppo EG 2348; 71,25 g/L
24/04/2010	Insetticida, Tuta	Rapax BT	1,50	b. thuringiensis ceppo EG 2348; 71,25 g/L
	Fungicida	Cruposat	3,00	rame metallico 195 g/l
	Fungicida, Botrite	Heliosoufre	2,00	zolfo 51,1%
				Pymetrozine 50%
17/04/2010	Insetticida	Plenum 50 WG	0,50	
	Insetticida, Tuta	Laser	0,30	spinosad 480 g/l
	Fungicida	Curzate R	2,00	cimoxanil 42 g/l, ossicloruro di Cu 397,5 g/l
01/05/2010	Insetticida, Tuta	Rapax BT	1,50	Ceppo EG 2348; 71,25 g/L
	Fungicida	Cruposat	3,00	rame metallico 195 g/l
08/05/10	Fungicida	Cruposat	3,00	rame metallico 195 g/l
12/05/10	Insetticida, coccinilia e mosca bianca	Juvinal 10EC	0,50	Pyriproxyfen 100g/L
	Insetticida, afidi	Epik	1,33	Acetamiprid 5g/L
17/05/10	Trattamento fungicida	Serenade	3,00	B. subtilis ceppo QST713 gr 15,67/L

3.4. Risultati agronomici (zucchino)

3.4.1. Interventi e volumi irrigui

Come precedentemente illustrato, la differenziazione dell'irrigazione è avvenuta dopo 20 giorni dal trapianto e dopo avere effettuato 5 interventi con lo stesso volume d'adacquamento in tutte le tesi, in modo da uniformare la coltivazione e superare il periodo di stress da trapianto; dopo questo primo periodo si è provveduto alla riduzione dell'apporto idrico nelle tesi Irid-Cmax e Irid-Crid, in misura del 30% rispetto alle due tesi con irrigazione massima (Imax-Cmax e Imax-Crid). Come si può osservare dalla tabella 7, alla fine del ciclo, i volumi irrigui totali sono stati pari a 609,4 m³ ha⁻¹ nelle due tesi che prevedevano la gestione dell'irrigazione con i criteri adottati dal produttore (Imax-Cmax e Imax-Crid) e 536,7 m³ ha⁻¹ nelle tesi in cui era prevista una riduzione delle quantità d'acqua (Irid-Cmax e Irid-Crid), con un risparmio quindi del 12% circa.

Tab. 7. Calendario interventi irrigui e volumi di acqua (m³ ha⁻¹) apportati nelle tesi a confronto

Data	Intervento	Imax-Cmax	Imax-Crid	Irid-Cmax	Irid-Crid
30/09/09	Irrigazione trapianto	6,7	6,7	6,7	6,7
01/10/09	Irrig. Aspersione	269,4	269,4	269,4	269,4
03/10/09	Irrig.	10,1	10,1	10,1	10,1
12/10/09	Irrig.	13,5	13,5	13,5	13,5
14/10/09	Irrig.	67,3	67,3	67,3	67,3

19/10/09	Irrig. Differenziata	26,9	26,9	18,9	18,9
26/10/09	Irrig. Differenziata	26,9	26,9	18,9	18,9
29/10/09	Irrig. Differenziata	53,9	53,9	37,7	37,7
05/11/09	Irrig. Diff. + concimazione	26,9	26,9	18,9	18,9
16/11/09	Irrig. Differenziata	26,9	26,9	18,9	18,9
30/11/09	Irrig. Diff. + concimazione	26,9	26,9	18,9	18,9
07/12/09	Irrig. Differenziata	26,9	26,9	18,9	18,9
10/12/09	Irrig. Differenziata	26,9	26,9	18,9	18,9
TOTALE		609,4	609,4	536,7	536,7

3.4.2. Fertirrigazioni e dosi di azoto

A causa dell'elevata dotazione d'azoto del terreno nonché del breve ciclo fuori stagione dello zucchini, sono stati programmati solo 2 interventi fertirrigui (tab. 8) con i quali sono stati distribuiti 72,2 e 50,3 kg ha⁻¹ di N, rispettivamente nelle tesi che prevedevano la dose massima (Imax-Cmax e Irid-Cmax) e quella ridotta (Imax-Crid e Irid-Crid) di azoto. L'azoto è stato apportato sotto forma di nitrato ammonico 34% N.

Tab. 8. Calendario interventi di fertirrigazione e quantitativi di N (kg ha⁻¹) applicati nelle tesi a confronto

Data	Intervento	Imax-Cmax	Imax-Crid	Irid-Cmax	Irid-Crid
05/11/09	Irrig. Diff. + concimazione	36,1	25,2	36,1	25,2
30/11/09	Irrig. Diff. + concimazione	36,1	25,2	36,1	25,2
TOTALE		72,2	50,3	72,2	50,3

Considerando anche l'azoto distribuito con l'acqua di irrigazione che presentava un tenore in nitrati pari a 62,7 mg/L, l'azoto totale distribuito alle tesi a confronto è stato il seguente:

$$\text{Imax-Cmax} = 82,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$$

$$\text{Imax-Crid} = 60,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$$

$$\text{Irid-Cmax} = 81,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$$

$$\text{Irid-Crid} = 59,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$$

con un risparmio medio di azoto nelle tesi Crid del 27% rispetto alle tesi Cmax.

3.4.3. Stato nutrizionale e di sviluppo della coltura

Lo stato nutrizionale e di sviluppo della coltura, indicato dai valori dell'indice NIR/GREEN, non ha evidenziato differenze significative tra le tesi a confronto per gran parte del ciclo colturale, mostrando l'andamento medio riportato in figura 1.

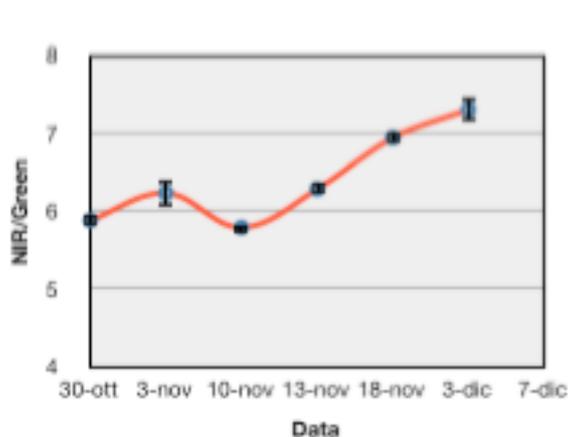


Fig. 1. Andamento dell'indice NIR/Green dal 30 ottobre a 3 dicembre 2009 (valori medi delle tesi a confronto). Ogni punto è la media di 108 misure. Le barre verticali rappresentano l'errore standard della media (E.S.).

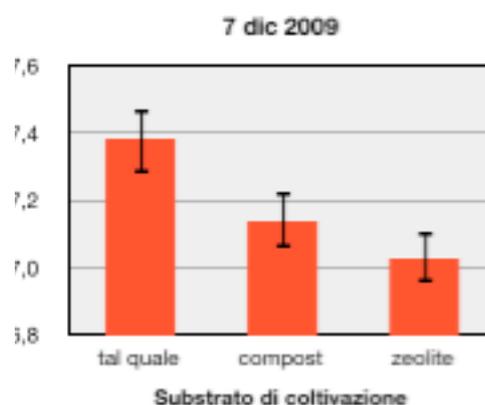


Fig. 2. Andamento dell'indice NIR/Green nei diversi substrati di coltivazione al 7 dicembre 2009. Ogni punto è la media di 36 misure. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "substrato" significativo per $P=0,037$.

Solamente in corrispondenza dell'ultima osservazione (7 dicembre 2009), i valori si sono differenziati evidenziando un effetto significativo determinato dal substrato di coltivazione. Dalla figura 2 si può infatti osservare l'indice NIR/Green più elevato in corrispondenza del substrato tal quale, mentre sul compost e sulla zeolite i valori sono apparsi inferiori e non diversi fra di loro.

3.4.4. Produzione e sue componenti

La produzione totale non si è diversificata tra le tesi a confronto e nella media è risultata pari a $17,2 \text{ t ha}^{-1}$ ($\pm 0,42$ E.S.). Una diversa incidenza dello scarto, seppure non significativa, ha però permesso di evidenziare un effetto di interazione “Substrato x Gestione della Concimazione” sulla produzione commerciabile. In figura 3, si può infatti osservare che la riduzione dell’apporto di azoto ha permesso di incrementare la produzione commerciabile della coltura coltivata sul substrato tal quale, mentre sugli altri substrati le tesi non si sono differenziate fra loro.

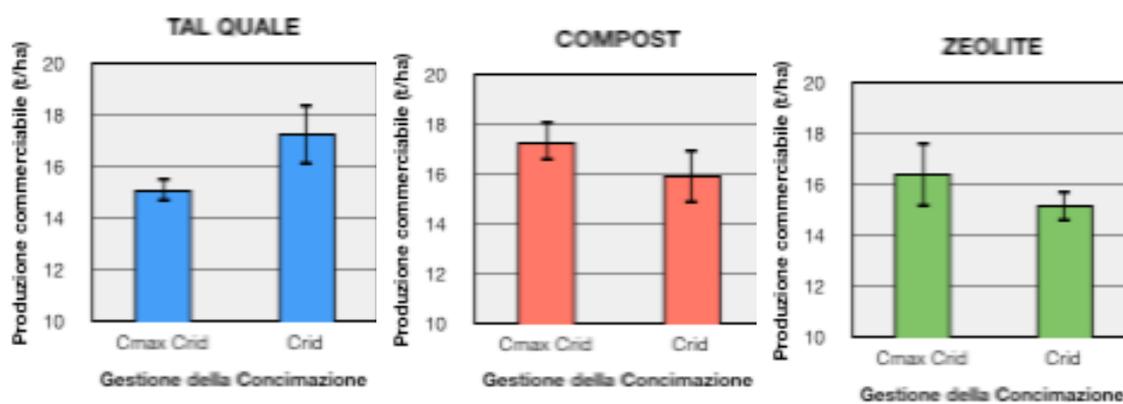


Fig. 3. Effetto della gestione della concimazione sulla produzione commerciabile ottenuta con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione “Substrato x Gestione della Concimazione” significativo per $P=0,046$.

Dall’esame delle produzioni commerciabili cumulate (Fig. 4) si può osservare che la differenza tra le tesi Cmax e Crid sul substrato tal quale si è resa evidente fin dalle prime raccolte ed è andata accentuandosi lungo il ciclo colturale. Sugli altri due substrati le due tesi di concimazione non hanno mai evidenziato differenze significative.

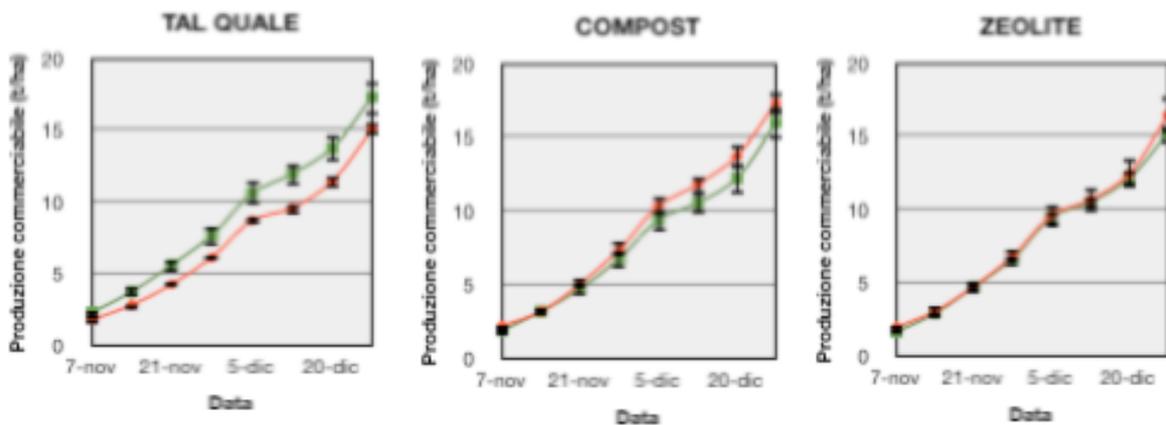


Fig. 4. Effetto della gestione della concimazione sull'andamento delle produzioni commerciabili cumulate nei diversi substrati di coltivazione. Linea rossa = Cmax, Linea verde = Crid. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media.

Dall'esame della figura 5, si può osservare che la differenziazione produttiva sul substrato tal quale è stata determinata dal differente numero di frutti per pianta prodotto con i due sistemi di gestione della concimazione.

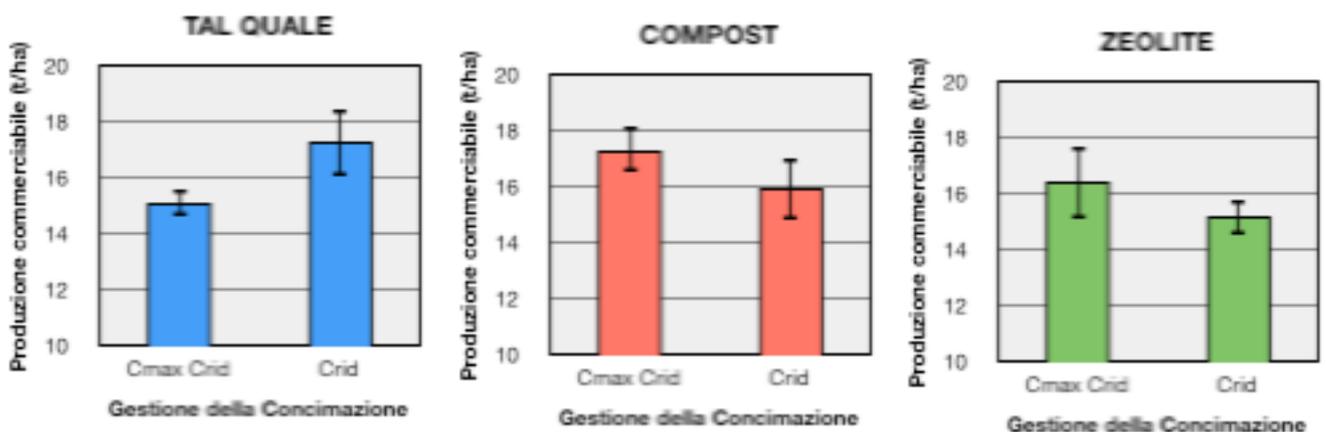
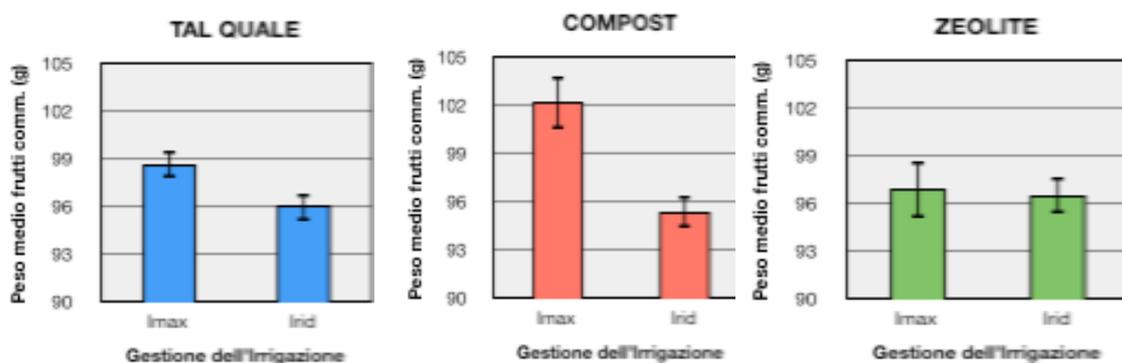


Fig. 5. Effetto della gestione della concimazione sul numero di frutti commerciabili per pianta ottenuto con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" significativo per $P=0,048$.

Nessun effetto significativo della concimazione è stato osservato sul peso medio dei frutti. Questa caratteristica è stata invece influenzata dall'irrigazione, come evidenziato sia dall'effetto principale (Fig. 6) che dall'interazione "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" (Fig. 7). La figura 6 mette in evidenza, nella media, il maggior peso unitario permesso dal trattamento Imax, mentre la figura 7 permette di osservare come questo effetto sia risultato più evidente per lo zucchini coltivato su compost piuttosto che per quello coltivato sul substrato tal quale; su zeolite, le tesi Imax e Irid non si sono



differenziate significativamente.

Fig. 6. Effetto della gestione dell'irrigazione sul peso medio dei frutti commerciabili. Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,001$.

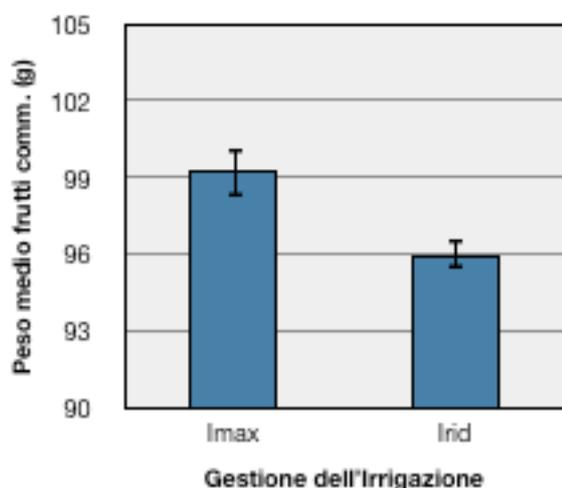


Fig. 7. Effetto della gestione dell'irrigazione sul peso medio dei frutti commerciabili ottenuto con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,025$.

Il maggior peso unitario dei frutti ottenuti nelle tesi Imax è, almeno in parte, da attribuire al significativo, seppur modesto, incremento in lunghezza come evidenziato nella figura 8.

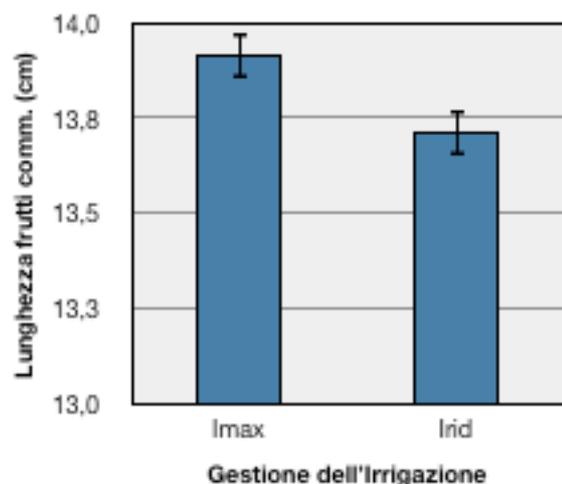


Fig. 8. Effetto della gestione dell'irrigazione sulla lunghezza media dei frutti commerciabili. Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,027$.

I parametri qualitativi valutati tramite punteggio (forma, aspetto, stato di freschezza del fiore) non hanno evidenziato differenze di rilievo, se si esclude un leggero effetto dell'irrigazione sullo stato di freschezza del fiore (dati non riportati).

Infine, per quanto riguarda la precocità di produzione, i fattori "Gestione dell'Irrigazione" e "Gestione della Concimazione" sono apparsi gli unici in grado di influenzare l'indice medio di raccolta, con anticipi di circa un giorno per la raccolta effettuata sulle tesi in cui erano previste dosi ridotte (Irid e Crid) rispetto alle tesi di riferimento (Imax e Cmax) (Fig. 9). Nessuna interazione significativa si è osservata tra i fattori allo studio.

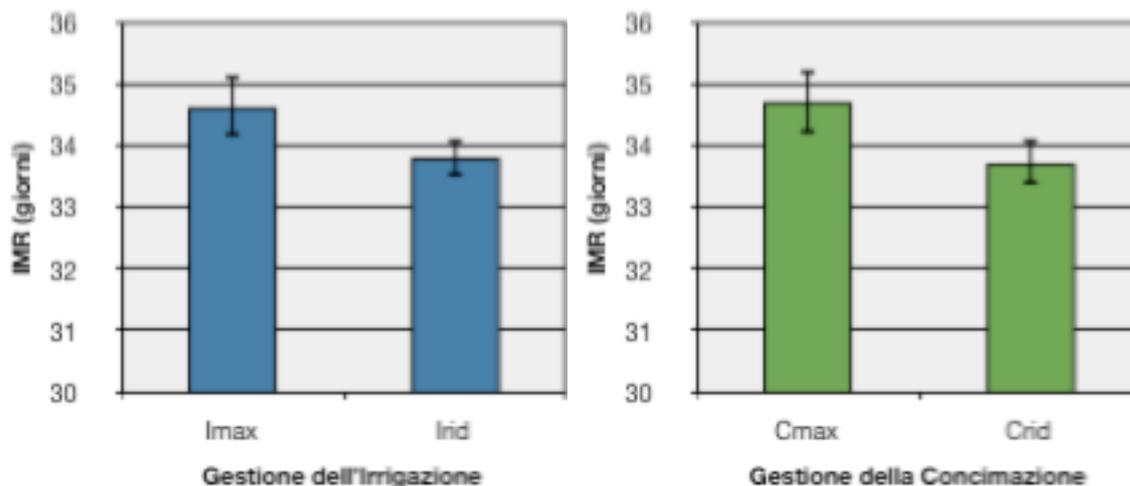


Fig. 9. Effetto della gestione dell'irrigazione (sinistra) e della concimazione (destra) sull'Indice Medio di Raccolta (IMR). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,029$; fattore "Gestione della Concimazione" significativo per $P=0,027$.

3.4.5. Efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione e dell'azoto

L'efficienza dell'uso dell'acqua di irrigazione è stata valutata per mezzo dell'indice WUE (Water Use Efficiency) che è stato calcolato come rapporto tra il peso dei frutti prodotti (in grammi) e la quantità d'acqua distribuita con l'irrigazione (in litri). Questo indice permette di determinare quanti grammi di prodotto si sono ottenuti somministrando 1 litro di acqua d'irrigazione. In linea generale valori bassi di WUE stanno ad indicare che una certa frazione di acqua irrigua non è stata utilizzata dalla pianta e quindi può essere soggetta a perdite di vario tipo (es. percolazione, evaporazione). Al contrario, valori elevati stanno a significare una sua maggiore utilizzazione con minori perdite e sprechi. La WUE è stata calcolata in riferimento alla produzione totale di frutti (WUE tot) e alla produzione di frutti commerciabili (WUE comm).

Nella prova oggetto di studio, come c'era da attendersi, l'unico fattore che si dimostrato influire sulla WUE è stata la gestione dell'Irrigazione. Nei riguardi sia della WUE tot sia della WUE comm (Fig. 10), la tesi Irid si è dimostrata la più efficiente permettendo di produrre 2,1 g di frutti totali (WUE tot) e 2,3 g di frutti commerciabili (WUE comm) in più per ogni litro d'acqua distribuito, rispetto alla tesi I_{max}. A fronte della riduzione

del 12% di acqua distribuita, quindi, con la tesi Irid si è avuto un incremento dell'efficienza irrigua pari al 7,1% e 8,4% nei confronti della tesi Imax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile.

Per questi indici non si sono osservati effetti di interazione con gli altri fattori allo studio.

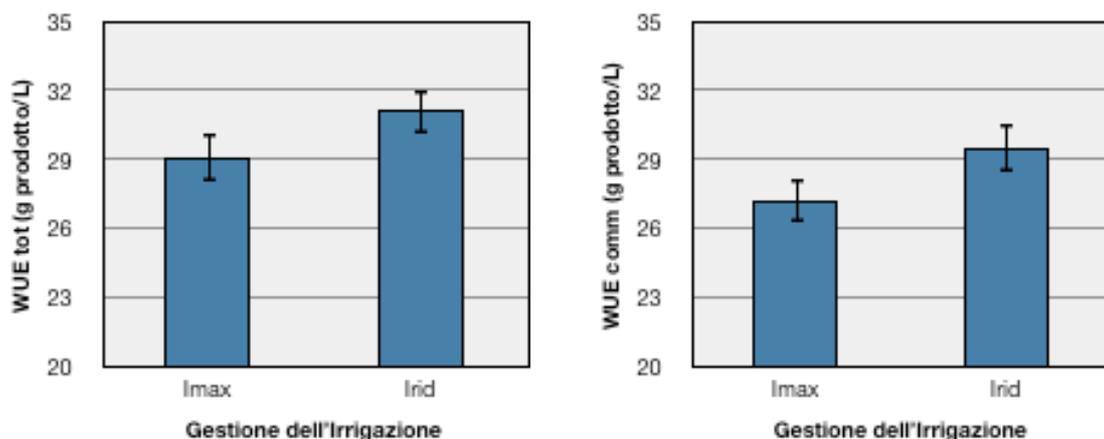


Fig. 10. Effetto della gestione dell'irrigazione sull'efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione (WUE) rispetto alla produzione totale (WUE tot) e alla produzione commerciabile (WUE comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,047$ (WUE tot) e $P=0,044$ (WUE comm).

L'efficienza dell'uso dell'azoto distribuito durante la coltura è stata valutata per mezzo dell'indice NUE (Nitrogen Use Efficiency) che è stato calcolato come rapporto tra il peso dei frutti prodotti (in kg) e la quantità di azoto distribuito (in kg). Questo indice permette di determinare quanti kg di prodotto si sono ottenuti per ogni chilogrammo di azoto distribuito. In linea generale valori bassi di NUE stanno ad indicare che una certa frazione di azoto non è stata utilizzata dalla pianta e quindi può essere soggetta a perdite di vario tipo (es. lisciviazione, volatilizzazione). Al contrario, valori elevati stanno a significare una sua maggiore utilizzazione con minori perdite e sprechi. Sono stati calcolati 2 indici NUE: NUE_1 prende in considerazione solo l'azoto distribuito con i fertilizzanti ed è stata calcolata in riferimento alla produzione totale di frutti (NUE_1 tot) e alla produzione di frutti commerciabili (NUE_1 comm); NUE_2, oltre all'azoto distribuito con i fertilizzanti, tiene conto anche del nitrato presente nell'acqua irrigua e quindi dell'azoto totale distribuito con irrigazione e fertirrigazione. Anche in questo

caso l'indice è stato calcolato in riferimento alla produzione totale di frutti (NUE_2 tot) e alla produzione di frutti commerciabili (NUE_2 comm).

Il fattore di variazione che si è dimostrato influire maggiormente sulla NUE, come c'era da attendersi, è stata la gestione della concimazione, ma interessanti effetti di interazione su alcuni indici sono stati messi in luce tra questo fattore e i substrati di coltivazione. Nei riguardi sia della NUE_1 tot sia della NUE_1 comm (Fig. 11), la tesi Crid si è dimostrata la più efficiente permettendo di produrre circa 105 kg di frutti totali (NUE-1 tot) e 96 kg di frutti commerciabili (NUE-1 comm) in più per ogni kg di azoto distribuito con i fertilizzanti, rispetto alla tesi Cmax. In questo caso, quindi, a fronte della riduzione del 30% di azoto distribuito con i fertilizzanti, con la tesi Crid si è avuto un incremento dell'efficienza d'uso dell'azoto pari al 44,4% e 42,5% nei confronti della tesi Cmax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile. Dalla figura 12, si può osservare, inoltre, che l'incremento di efficienza nella tesi Crid si è avuto su tutti i substrati di coltivazione ma l'effetto è risultato più evidente sul substrato tal quale.

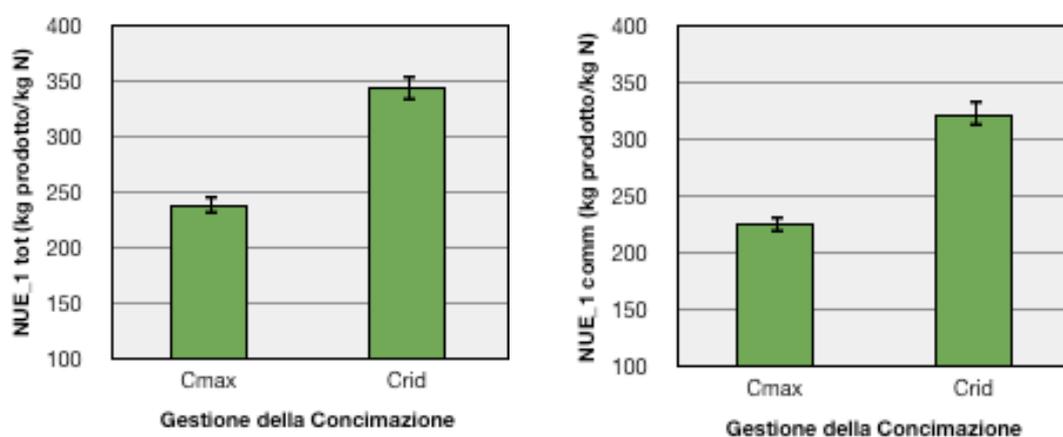


Fig. 11. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto distribuito con i fertilizzanti (NUE_1) rispetto alla produzione totale (NUE_1 tot) e alla produzione commerciabile (NUE_1 comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione della Concimazione" significativo per $P < 0,001$ (NUE_1 tot e NUE_1 comm).

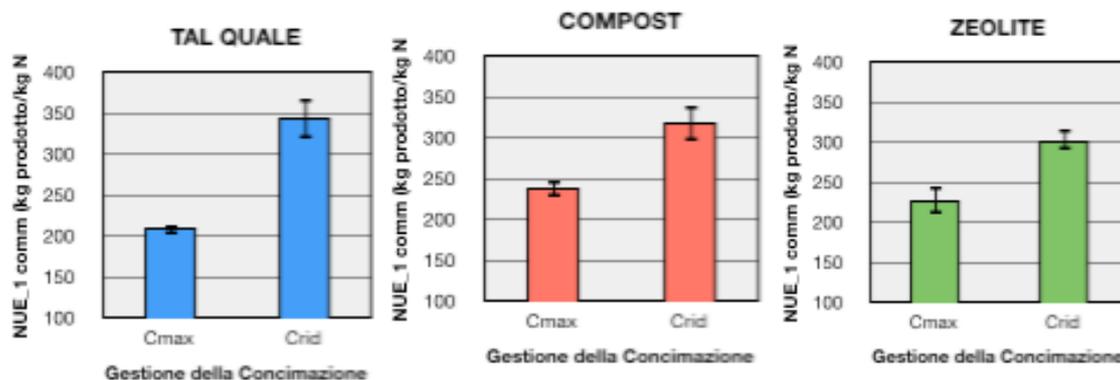


Fig. 12. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto distribuito con i fertilizzanti rispetto alla produzione commerciabile (NUE_1 comm) ottenuta sui differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" significativo per $P=0,046$.

Nei riguardi sia della NUE_2 tot sia della NUE_2 comm (Fig. 13), la tesi Crid si è dimostrata ancora una volta la più efficiente permettendo di produrre circa 78 kg di frutti totali (NUE-2 tot) e 70 kg di frutti commerciabili (NUE-2 comm) in più per ogni kg di azoto distribuito con i fertilizzanti, rispetto alla tesi Cmax. In questo caso, quindi, a fronte della riduzione del 27% di azoto distribuito sia con i fertilizzanti che con l'acqua di irrigazione, con la tesi Crid si è avuto un incremento dell'efficienza d'uso dell'azoto pari al 37,3% e 35,5% nei confronti della tesi Cmax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile. Dalla figura 14, si può osservare che anche in questo caso l'incremento di efficienza nella tesi Crid si è avuto su tutti i substrati di coltivazione ma l'effetto è risultato più evidente sul substrato tal quale.

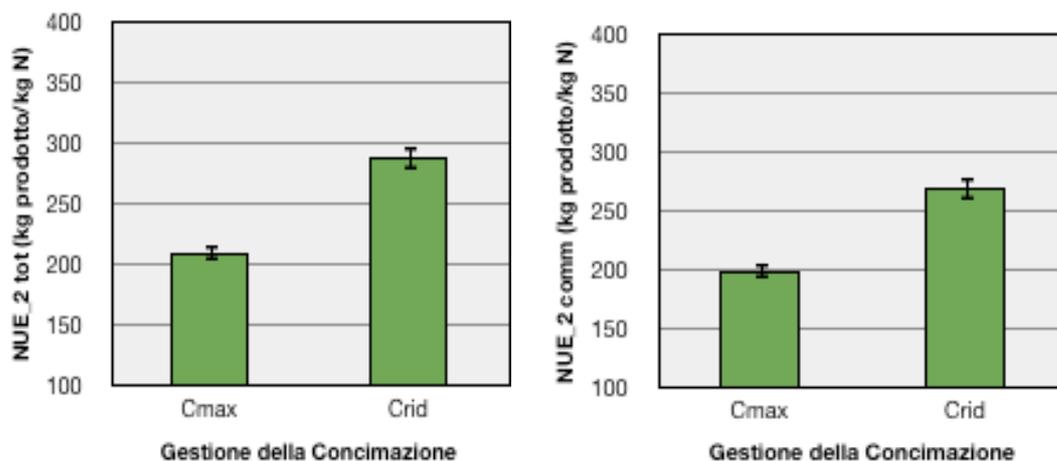


Fig. 13. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto totale distribuito (fertilizzanti + acqua d'irrigazione) (NUE_2) rispetto alla produzione totale (NUE_2 tot) e alla produzione commerciabile (NUE_2 comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione della Concimazione" significativo per $P < 0,001$ (NUE_2 tot e NUE_2 comm).

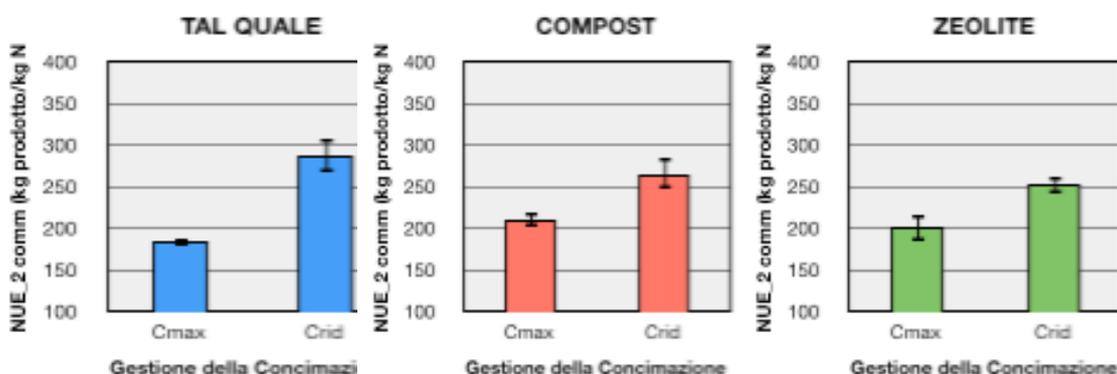


Fig. 14. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto totale distribuito (fertilizzanti + acqua d'irrigazione) rispetto alla produzione commerciabile (NUE_2 comm) ottenuta sui differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le barre verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" significativo per $P = 0,049$

3.4.6 LCA Zucchini

Contributo ambientale delle varie fasi del sistema

E' stato valutato il contributo ambientale delle varie fasi del sistema all'impatto totale delle tre tesi a confronto.

I risultati ottenuti in figura e in tabella sono dati già riferiti all'unità funzionale (tonnellata di prodotto).

Per meglio descrivere i risultati ottenuti è bene dividere i sistemi a confronto in Tal Quale e Zeolite e separatamente Compost, questo perché la fase di estrazione della zeolite incide per ben poca cosa sull'impatto totale, quindi i due sistemi producono impatti piuttosto simili.

Considerando la Figura 3, nelle tesi Tal Quale e Zeolite, in tutte le categorie di impatto, eccetto per il "Riscaldamento Globale Potenziale" (Global Warming Potential, GW), la struttura ha l'incidenza maggiore, spesso superiore al 50%. Questi risultati provengono principalmente dalle materie prime utilizzate, le quali vanno a incidere in maniera considerevole sulla categoria "Utilizzo delle Risorse" (Abiotic Depletion –AD) - ben oltre il 60% - e per valori molto alti anche per le altre categorie di impatto. Questo è da imputare principalmente al processo di lavorazione e galvanizzazione dei materiali.

Il processo maggiormente impattante, successivo per ordine d'importanza, sono le operazioni colturali, soprattutto per quanto riguarda le categorie "Potere Acidificante" (AC), con circa 20%, "Potere Eutrofizzante" (EU), con circa 25% e "Diminuzione Strato di Ozono" (OD), con circa 30%. In contrapposizione alle operazioni colturali, si può notare come nelle categorie "Utilizzo delle Risorse" (AD) e "Ossidazione Fotochimica" (PO), siano più elevati i valori provenienti dall'impianto di fertirrigazione - rispettivamente 20% e 15% circa - dove l'utilizzo di materie prime non rinnovabili e il processo di lavorazione portano un contributo significativo.

Per quanto riguarda la categoria "Riscaldamento Globale Potenziale" (GW) le emissioni preponderanti, in questo caso di CO₂, derivano dal ciclo di produzione, inteso prevalentemente come respirazione del terreno, il tutto rapportato ovviamente alla produzione ottenuta.

Nel Tal Quale abbiamo un'incidenza pari al 52%, mentre per la zeolite circa il 56%; questi valori, nonostante il tasso di respirazione sia stato simile nei due substrati per

tutto il ciclo colturale, differiscono per il fatto che la produzione è stata leggermente inferiore nel terreno ammendato con zeolite, anche se non differente significativamente. Per quanto riguarda il compost possiamo notare l'effetto del sistema della carica ambientale evitata. Da un lato possiamo vedere come in certe categorie di impatto ci sia una riduzione più o meno marcata degli impatti come in AD, GW, OD e PO, mentre ci sia un aumento in altre categorie di impatto (AC e EU), dovute principalmente al processo di produzione di compost e più in particolare all'elevato dispendio energetico, alla produzione di composti volatili e ai colaticci, che vanno ad interessare principalmente queste categorie di impatto.

Più in particolare: nella categoria AD abbiamo una riduzione del 12%, nella categoria GW del 20%, nella categoria OD del 30% ed infine, una riduzione del 50% nella categoria PO. Per contro, nella categoria AC abbiamo un 85% da attribuire alla produzione di compost mentre nella categoria EU un 70%.

La struttura è preponderante nella categoria AD per un 58% e nella categoria OD per un 45%; rimane di notevole entità anche nella categoria PO con un 35%.

Elevata rimane l'importanza relativa del ciclo di coltivazione con compost nella categoria GW (45% circa).

Prendendo in esame la Tabella 1 vediamo numericamente i risultati dell'elaborazione.

Come già si poteva intuire dalla figura 3, la tesi Compost ha valori più bassi rispetto sia alla coltivazione normale (Tal Quale) che su zeolite in quasi tutte le categorie, eccetto che per le due precedentemente descritte (AC e EU).

Possiamo notare come ci sia una riduzione di circa il 20% per il consumo di risorse (categoria AD), una lieve riduzione di emissione di CO₂ - non tanto rispetto alla coltivazione normale ma rispetto alla zeolite -, un dimezzamento delle emissioni che riducono lo strato di ozono (OD) e una mancata produzione di agenti provocanti ossidazione fotochimica (PO).

Per contro si ha un notevole aumento del potere acidificante (fino a dieci volte) e del potere eutrofizzante (fino a 4 volte).

Discussione.

La struttura (serra), nelle tre tesi a confronto, occupa uno spazio predominante a livello di impatto; i valori ottenuti in questo studio sono generalmente elevati rispetto a valori riscontrati in bibliografia in quanto la serra utilizzata, rispetto a quelle descritte in altre

ricerche (Antón, 2004; Antón *et al.*, 2005), è una serra quasi totalmente priva di automazioni, con bassi consumi energetici e di dimensione (superficie coperta) piccola, il che porta a una sovrastima dei materiali impiegati se rapportati all'ettaro. L'alto valore percentuale deriva anche dal fatto che il ciclo in considerazione è tardivo invernale, con scarso uso delle irrigazioni, bassi livelli di fertilizzazione (e quindi ridotti consumi energetici) oltre che alle basse produzioni ottenute, il che porta ad imputare la maggior parte dei carichi ambientali a questo processo.

Le emissioni del ciclo produttivo nelle varie tesi sono state circa le stesse tranne che per il compost, dove sono risultate più alte. Tuttavia, la produzione maggiore ottenuta proprio su quest'ultimo substrato, ha permesso di mitigare l'effetto se rapportato all'unità funzionale. L'utilizzo di compost, come abbiamo visto, ha apportato una serie di benefici a carattere ambientale ma in alcune categorie di impatto è aumentato a dismisura; la possibile riduzione dell'impatto del compost non è da ricercarsi nella coltivazione o nella distribuzione, ma nel processo produttivo; questa tecnologia di produzione porta a un eccessivo uso di energie e produzione di sostanze volatili senza il recupero e il riuso, quindi l'utilizzo di impianti a livello tecnologico superiore, a maggior efficienza e con recupero e filtrazione dei gas emessi permetterebbe di abbattere i valori negativi ottenuti.

Impact category	Unità	TAL QUALE	COMPOST	ZEOLITE
Abiotic Depletion	kg Sb eq	4.141	3.382	4.429
Acidification	kg SO2 eq	2.517	22.319	2.729
Eutrophication	kg PO4 ⁻⁻⁻ eq	0.376	1.741	0.413
Global Warming Potential	kg CO2 eq	942.224	913.327	1125.861
Ozone Layer Depletion	kg CFC-11 eq	3.16128E-05	1.73808E-05	3.48376E-05
Photochemical Oxydation	kg C2H4	0.107	-0.020	0.114

Tabella 1. Valori totali nelle varie categorie di impatto nelle tre tesi a confronto.

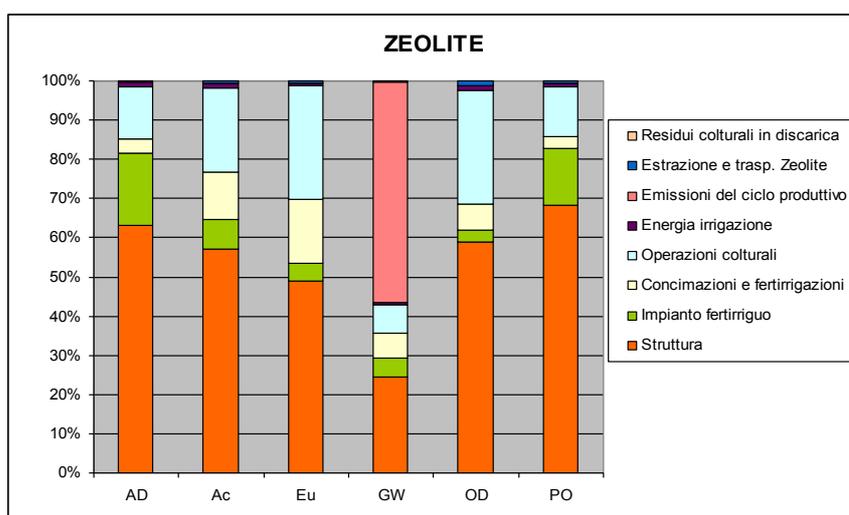
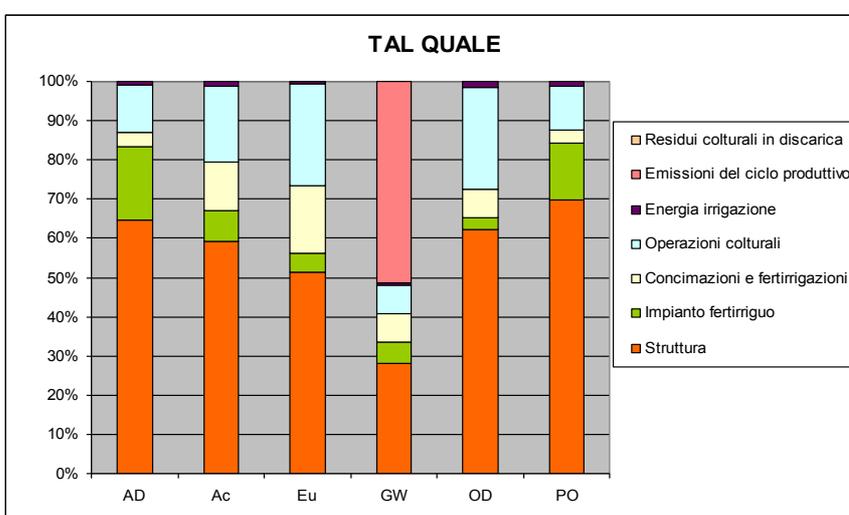
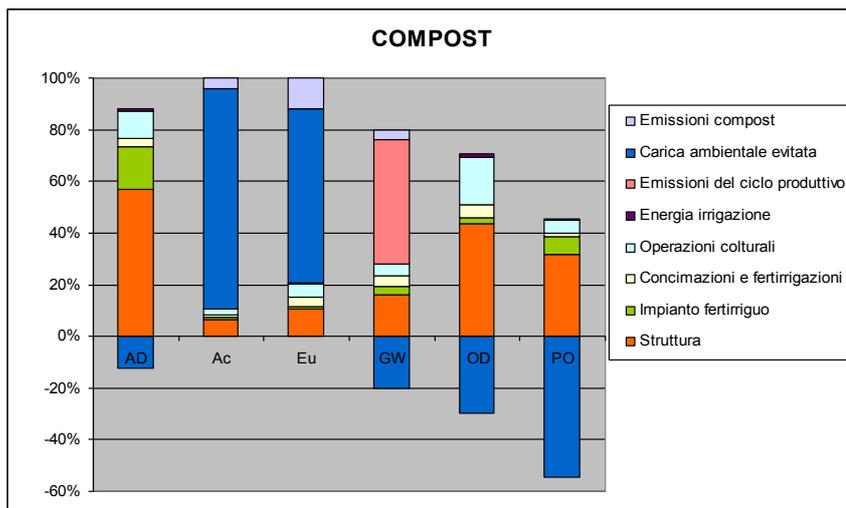


Figura 3. Distribuzione percentuale dei processi per categoria di impatto.

3.5. Risultati agronomici (pomodoro)

3.5.1. Interventi e volumi irrigui

Come precedentemente illustrato, la differenziazione dell'irrigazione è avvenuta dopo 30 giorni dal trapianto e dopo avere effettuato 4 interventi con lo stesso volume d'adacquamento in tutte le tesi, in modo da uniformare la coltivazione e superare il periodo di stress da trapianto; dopo questo primo periodo si è provveduto alla riduzione dell'apporto idrico nelle tesi Irid-Cmax e Irid-Crid, in misura del 30% rispetto alle due tesi con irrigazione massima (Imax-Cmax e Imax-Crid). Nelle nelle tesi Irid (irrigazione ridotta), inoltre, il momento dell'irrigazione veniva stabilito ogni qualvolta le sonde FDR (Decagon Devices Inc.) poste alla profondità di 5 e 15 cm evidenziavano un contenuto medio d'umidità pari a circa il 50% della riserva idrica utile (RU). Come si può osservare dalla tabella 9, alla fine del ciclo, i volumi irrigui totali sono stati pari a 2566 m³ ha⁻¹ nelle due tesi che prevedevano la gestione dell'irrigazione con i criteri adottati dal produttore (Imax-Cmax e Imax-Crid) e 1821 m³ ha⁻¹ nelle tesi in cui era prevista una riduzione delle quantità d'acqua (Irid-Cmax e Irid-Crid), con un risparmio quindi del 29% circa.

Tab. 9. Calendario interventi irrigui e volumi di acqua (m³ ha⁻¹) apportati nelle tesi a confronto

Data	Intervento	Imax-Cmax	Imax-Crid	Irid-Cmax	Irid-Crid
20/01/10	Irrigazione trapianto	27	27	27	27
04/02/10	Irrig.	16	16	16	16
09/02/10	Irrig.	27	27	27	27
23/02/10	Irrig.	13	13	13	13
01/03/10	Irrig. Differenziata	24	24	16	16
15/03/10	Irrig. Differenziata	13	13	9	9
16/03/10	Irrig. Differenziata	13	13	9	9
17/03/10	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
20/03/10	Irrig. Differenziata	54	54	38	38
23/03/10	Irrig. Differenziata	27	27	19	19
24/03/10	Irrigazione	7	7	7	7
29/03/10	Irrig. Differenziata	20	20	14	14
30/03/10	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
02/04/10	Irrig. Differenziata	27	27	19	19
07/04/10	Irrig. Differenziata	37	37	26	26
	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
09/04/10	Irrig. Diff. + concimazione	40	40	28	28
13/04/10	Irrig. Differenziata	30	30	20	20
16/04/10	Irrig. Differenziata	30	30	20	20

Data	Intervento	Imax-Cmax	Imax-Crid	Irid-Cmax	Irid-Crid
17/04/10	Irrig. Differenziata	40	40	28	28
19/04/10	Irrig. Differenziata	34	34	24	24
20/04/10	Irrig. Differenziata	47	47	33	33
	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
22/04/10	Irrig. Differenziata	0	0	40	40
24/04/10	Irrig. Differenziata	57	57	0	0
25/04/10	Irrig. Differenziata	27	27	19	19
26/04/10	Irrig. Differenziata	34	34	24	24
28/04/10	Irrig. Differenziata	67	67	47	47
	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
01/05/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
03/05/10	Irrig. Differenziata	47	47	33	33
07/05/10	Irrig. Differenziata	88	88	61	61
	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
11/05/10	Irrig. Differenziata	81	81	57	57
14/05/10	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
14/05/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
19/05/10	Irrig. Differenziata	61	61	42	42
21/05/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
	Irrig. Diff. + concimazione	27	27	19	19
24/05/10	Irrig. Differenziata	40	40	28	28
26/05/10	Irrig. Differenziata	61	61	42	42
28/05/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
01/06/10	Irrig. Diff. + concimazione	61	61	42	42
04/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
07/06/10	Irrig. Differenziata	40	40	28	28
08/06/10	Irrig. Diff. + concimazione	88	88	61	61
11/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
14/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
16/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
19/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
24/06/10	Irrig. Differenziata	101	101	71	71
26/06/10	Irrig. Differenziata	40	40	28	28
28/06/10	Irrig. Differenziata	20	20	14	14
TOTALE		2566	2566	1821	1821

3.5.2. Fertirrigazioni e dosi di azoto

Sulla base del bilancio semplificato si è stimato che le dosi di azoto da distribuire dovevano essere pari a circa 105 kg ha⁻¹ di N per le tesi Cmax e 75 kg ha⁻¹ per le tesi Crid e le dosi sono state frazionate tenendo conto del fabbisogno della coltura durante il ciclo colturale, seguendo le indicazioni della bibliografia (Tab. 10). Dal quadro completo riportato in tabella 11, si può osservare che con le fertirrigazioni si sono

apportate complessivamente le dosi di circa 105, 69, 112 e 69 kg ha⁻¹, rispettivamente nelle tesi Imax-Cmax, Imax-Crid, Irid-Cmax e Irid-Crid, con un risparmio medio di azoto nelle tesi Crid del 36%. Tenendo conto anche l'azoto distribuito con l'acqua di irrigazione che presentava un tenore in nitrati pari a 62,7 mg L⁻¹, l'azoto complessivamente distribuito alla coltura è risultato pertanto di 142, 105, 138, 94 kg ha⁻¹, rispettivamente nelle tesi Imax-Cmax, Imax-Crid, Irid-Cmax e Irid-Crid, con un risparmio medio di azoto nelle tesi Crid del 28%.

Tab. 10. Stima del fabbisogno di N (totale e nelle diverse fasi fenologiche) per le tesi Cmax e Crid

Fase fenologica (orientativa)	GdT	Fabbisogno N (%)	Dosi N (kg ha ⁻¹)	
			Cmax	Crid
inizio fioritura (1° grappolo)	40	15	16	11
fioritura (3° grappolo)	60	38	40	28
fioritura (6° grappolo)	80	23	24	17
maturazione (1° grappolo)	100	20	21	15
maturazione (2° grappolo)	120	4	4	3
TOTALE			105	75

Tab. 11. Calendario interventi di fertirrigazione e quantitativi di N (kg ha⁻¹) applicati nelle tesi a confronto

Data	Intervento	Imax-Cmax	Imax-Crid	Irid-Cmax	Irid-Crid
17/03/10	Irrig. Diff. + concimazione	3,5	2,5	3,5	2,5
30/03/10	Irrig. Diff. + concimazione	9,1	6,2	9,1	6,2
07/04/10	Irrig. Diff. + concimazione	15,8	8,8	15,8	8,8
09/04/10	Irrig. Diff. + concimazione	15,8	10,5	15,8	10,5
20/04/10	Irrig. Diff. + concimazione	12,9	9,1	12,9	9,1
28/04/10	Irrig. Diff. + concimazione	15,4		15,4	
07/05/10	Irrig. Diff. + concimazione	11,2	7,8	11,2	7,8
14/05/10	Irrig. Diff. + concimazione	8,8	6,1	8,8	6,1
21/05/10	Irrig. Diff. + concimazione	10,5	7,4	10,5	7,4
01/06/10	Irrig. Diff. + concimazione	1,8	-	1,8	-
08/06/10	Irrig. Diff. + concimazione	-	-	7,0	-
TOTALE		104,7	69,1	111,7	69,1

3.5.3. Stato nutrizionale e di sviluppo della coltura

Lo stato nutrizionale e di sviluppo della coltura, indicato dai valori dell'indice NIR/Green, ha evidenziato differenze significative per il fattore substrato per buona parte del ciclo colturale. Dalla figura 15 si può infatti osservare che l'indice NIR/Green si è mantenuto più basso in corrispondenza del substrato addizionato di zeolite, mentre i valori più elevati si sono riscontrati su substrato tal quale e sul compost, senza differenze di rilievo tra questi due mezzi di coltura. Solamente verso fine ciclo le piante allevate su zeolite hanno evidenziato uno stato nutrizionale e di sviluppo non diverso rispetto a quello delle altre tesi. Gli altri fattori allo studio non hanno influenzato in modo apprezzabile questa caratteristica.

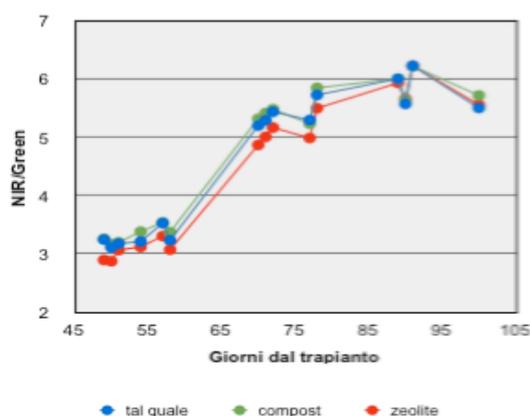


Fig. 15. Andamento dell'indice NIR/Green nei diversi substrati di coltivazione durante il ciclo colturale. Ogni punto è la media di 36 misure. Fattore "substrato" significativo per $P \leq 0,05$ nelle seguenti osservazioni: 49, 50, 51, 58, 70, 71 e 78 giorni dal trapianto.

3.5.4. Produzione e sue componenti

La produzione, nel suo complesso, non si è diversificata tra le tesi a confronto e nella media è risultata pari a 148 t ha^{-1} ($\pm 17,1 \text{ S.D.}$) e 143 t ha^{-1} ($\pm 16,8 \text{ S.D.}$) per i quantitativi totali e commerciabili, rispettivamente. L'incidenza della produzione di scarto è stata mediamente del 3,5%.

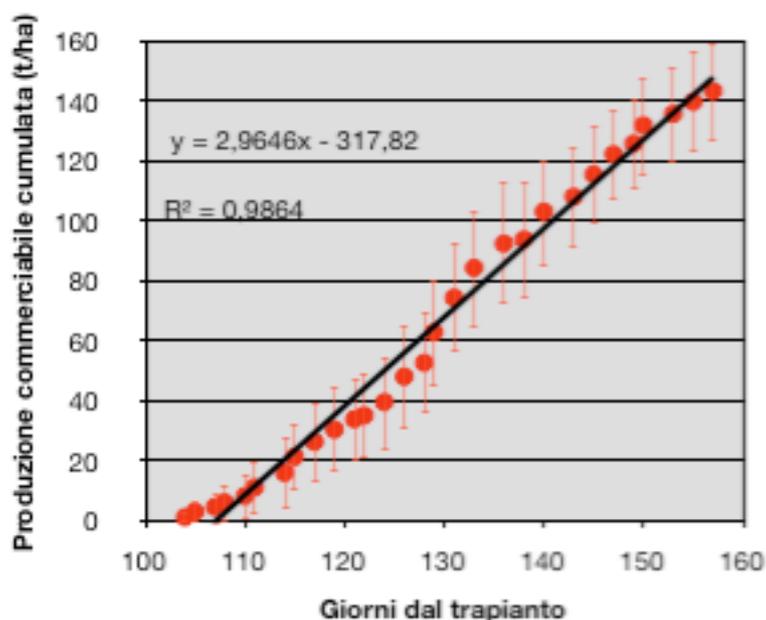


Fig. 16. Valori medi tra le tesi a confronto delle produzioni commerciabili cumulate. Ogni punto è la media di 36 parcelle. Le barre verticali rappresentano la Deviazione Standard (S.D.) dalla media. La linea nera è la retta di regressione.

Le diverse tesi a confronto non hanno nemmeno differenziato significativamente i valori delle produzioni commerciabili cumulate che, nella media, hanno evidenziato l'andamento riportato in figura 16. Il coefficiente angolare della retta di regressione sta ad indicare che mediamente si sono raccolte circa 3 t ha^{-1} di bacche al giorno.

Nonostante non siano state osservate differenze sulle produzioni nel loro complesso, i fattori allo studio hanno influenzato in modo diverso le produzioni e la precocità di produzione a livello di alcuni palchi fiorali. In figura 17 vengono riportati gli andamenti medi relativamente alle produzioni e all'Indice Medio di Raccolta (IMR) per singolo palco. Come si può osservare, in tutte le tesi la produzione più consistente si è verificata in corrispondenza del primo palco, che è risultata circa il doppio dei quantitativi ottenuti nel secondo, terzo o quarto. Le quantità di bacche raccolte sono poi diminuite ulteriormente nei palchi di ordine superiore.

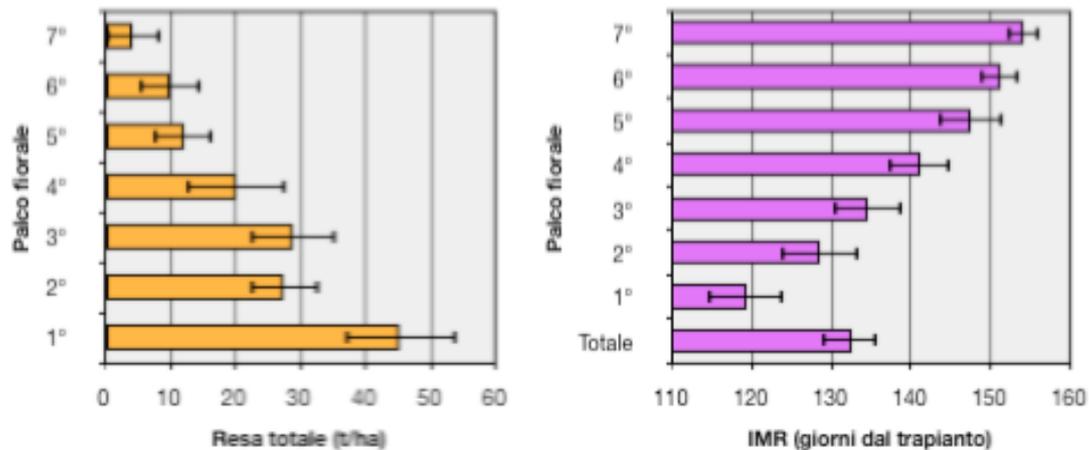


Fig. 17. Valori medi tra le tesi a confronto delle rese totali e dell'Indice Medio di Raccolta (IMR), per i singoli palchi fiorali. Ogni punto è la media di 36 parcelle. Le linee orizzontali rappresentano la Deviazione Standard (S.D.) dalla media.

Per quanto riguarda la produttività del primo palco, è da segnalare che la gestione ridotta dell'irrigazione (Irid) ha permesso di anticipare di circa 3 giorni la raccolta (Fig. 18).

Nel terzo palco tale caratteristica è stata influenzata dal substrato di coltivazione con anticipi significativi su zeolite rispetto agli altri due substrati (Fig. 19).

Sempre sul terzo palco si sono osservati effetti significativi di interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" e "Substrato x Gestione della Irrigazione" per quanto riguarda la resa. Nel primo caso (Fig. 20) e in corrispondenza della coltivazione su compost, a differenza degli altri substrati dove le produzioni non si sono diversificate tra i diversi livelli di concimazione, i valori più elevati sono stati ottenuti con la tesi Cmax. Nel secondo caso (Fig. 21) i livelli produttivi più elevati sono stati ottenuti in corrispondenza di di Imax sul substrato tal quale e Irid sulla zeolite, mentre su compost i due livelli di irrigazione non sono apparsi diversi. Tale differenziazione è stata determinata da una diversa numerosità di frutti (Fig. 22).

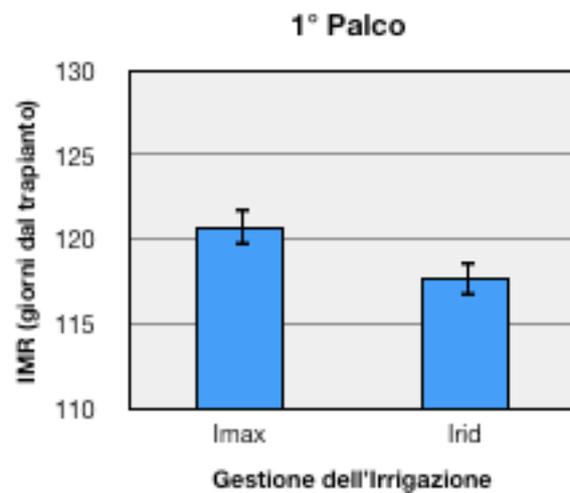


Fig. 18. Effetto della gestione dell'irrigazione sull'Indice Medio di Raccolta (IMR) del primo palco. Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,030$.

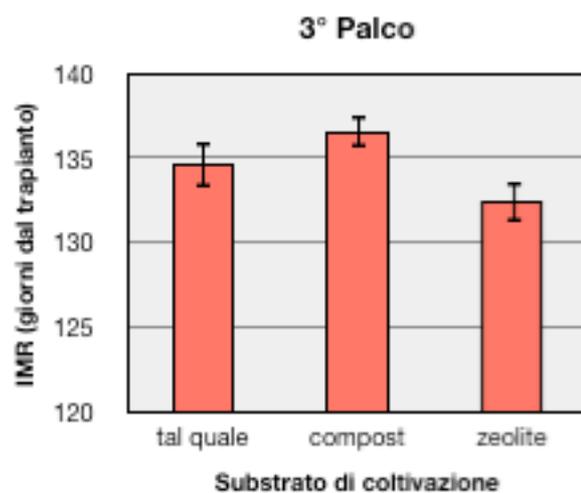


Fig. 19. Effetto del substrato di coltivazione sull'Indice Medio di Raccolta (IMR) del terzo palco. Ogni punto è la media di 12 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Substrato" significativo per $P=0,040$.

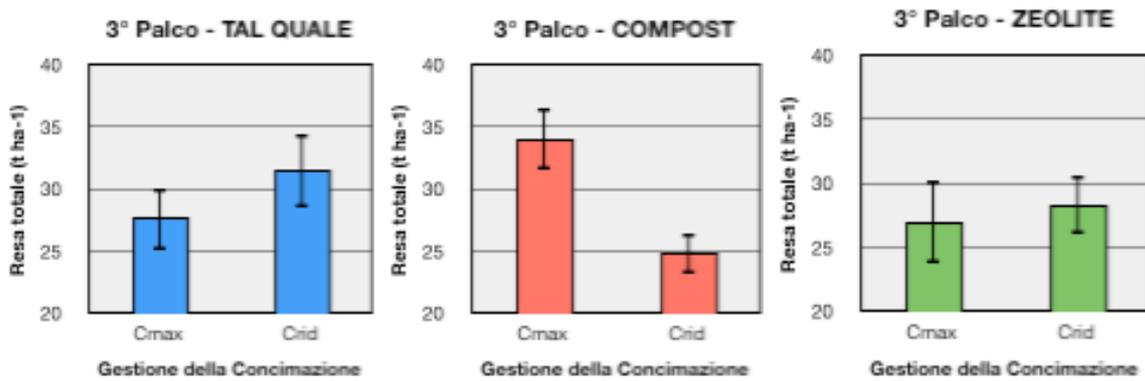


Fig. 20. Effetto della gestione della concimazione sulla produzione del terzo palco ottenuta con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" significativo per $P=0,010$.

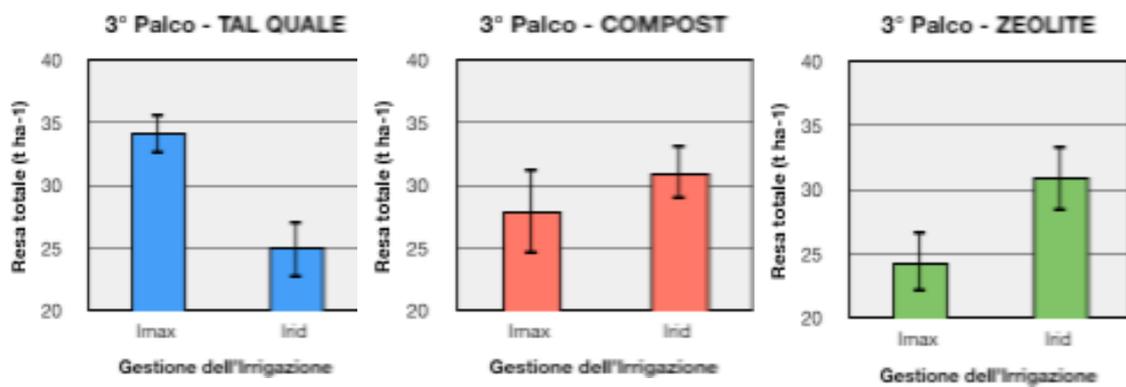


Fig. 21. Effetto della gestione dell'irrigazione sulla produzione del terzo palco ottenuta con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,002$.

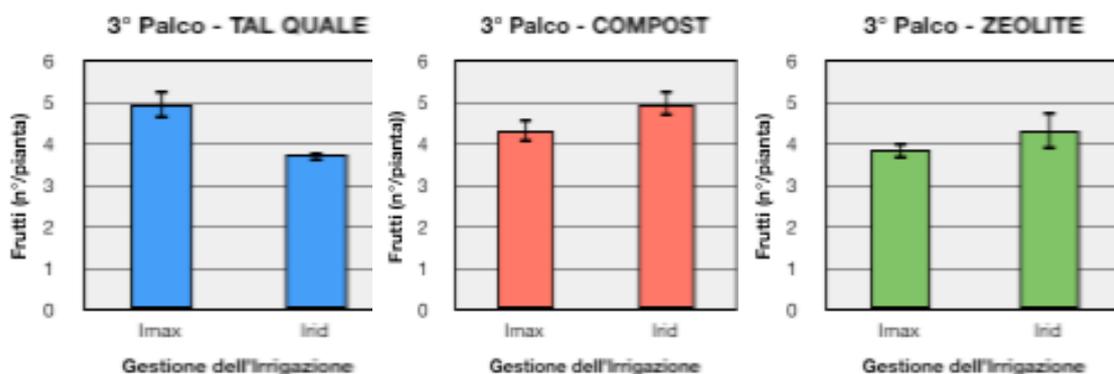


Fig. 22. Effetto della gestione dell'irrigazione sul numero di frutti del terzo palco ottenuto con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,011$.

Nel sesto palco si è osservato un effetto significativo determinato dal substrato di coltivazione con rese più contenute in corrispondenza della zeolite (Fig. 23).

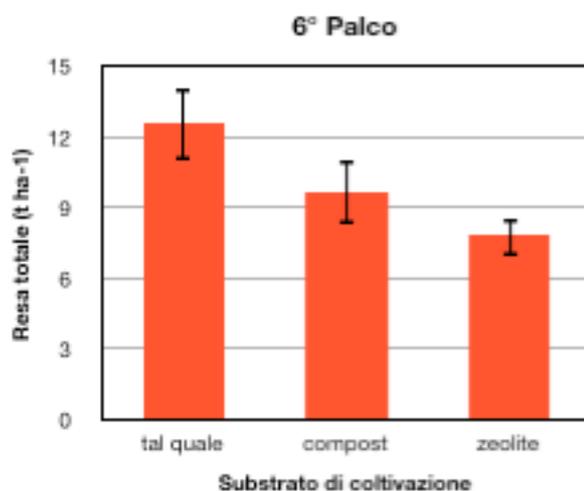


Fig. 23. Effetto dell'substrato di coltivazione sulla produzione del sesto palco. Ogni punto è la media di 12 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Substrato" significativo per $P=0,050$.

Nel settimo palco è stata evidenziata un'interazione significativa "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" (Fig. 24) con la tesi Irid che ha fornito le più elevate produzioni su

zeolite, mentre sugli altri substrati i due livelli irrigui non hanno determinato variazioni di rilievo.

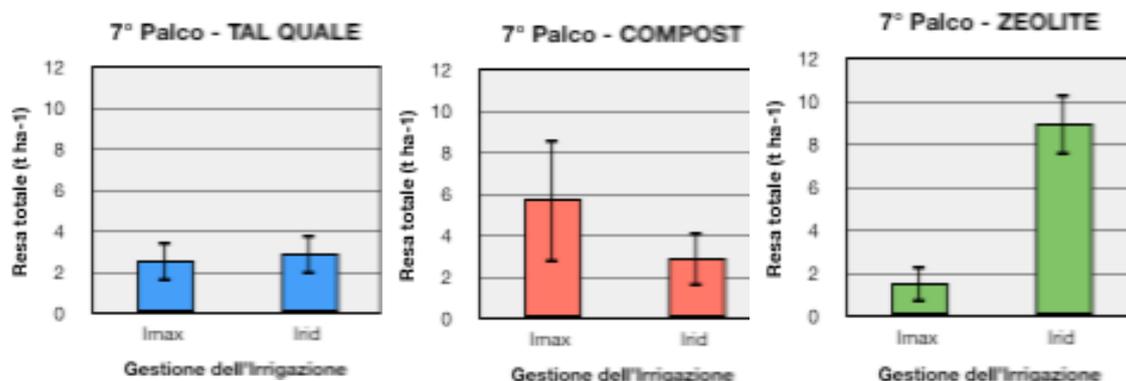


Fig. 24. Effetto della gestione dell'irrigazione sulla produzione del settimo palco ottenuta con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,015$.

Nonostante le produzioni cumulate non si siano differenziate statisticamente, come precedentemente illustrato, in alcune delle otto settimane di raccolta sono stati evidenziati effetti determinati dai fattori allo studio. In particolare, durante la 4 settimana si è avuta un'interazione "Substrato x Gestione della Concimazione" che ha messo in luce una più elevata produzione in corrispondenza della tesi Cmax sul substrato addizionato con compost (Fig. 25), mentre sugli altri substrati le due modalità di concimazione non hanno permesso di ottenere quantitativi diversi.

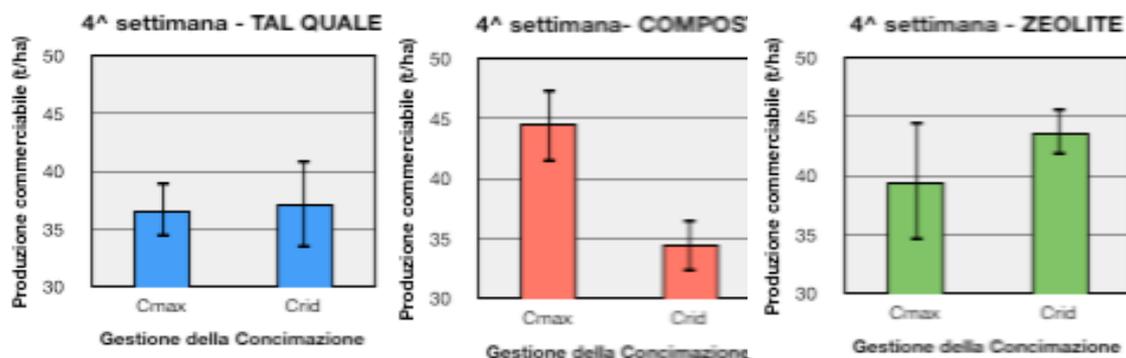


Fig. 25. Effetto della gestione della concimazione sulla produzione ottenuta durante la quarta settimana di raccolta con i differenti substrati di coltivazione. Ogni punto è la media di 6 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Interazione "Substrato x Gestione della concimazione" significativo per $P=0,038$.

Nella quinta e sesta settimana è stato osservato un effetto del fattore principale "Substrato" con valori significativamente più ridotti in corrispondenza della zeolite (Fig. 26).

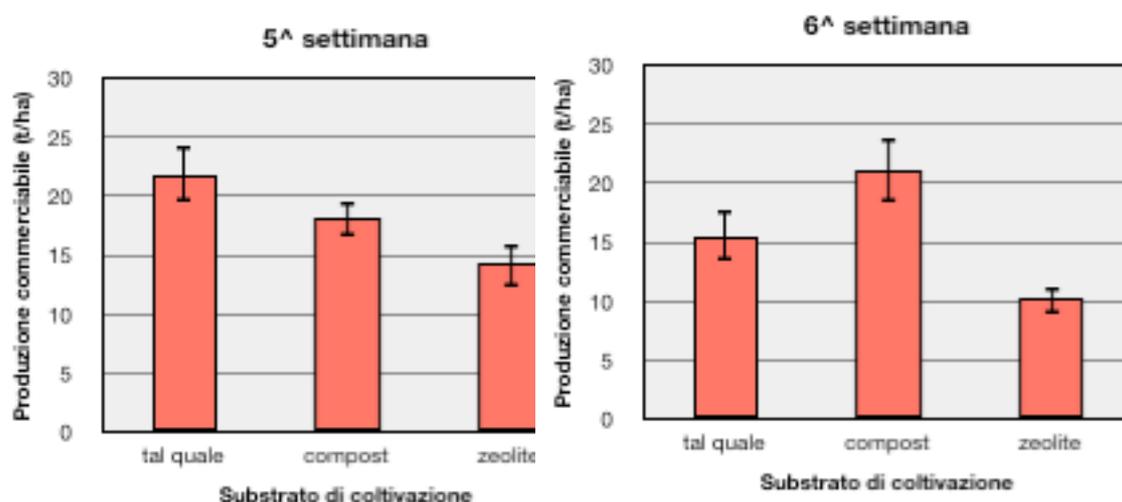


Fig. 26. Effetto dell substrato di coltivazione sulla produzione ottenuta durante la quinta (sinistra) e sesta settimana di raccolta. Ogni punto è la media di 12 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Substrato" significativo per $P=0,042$ e $P=0,004$, rispettivamente per la quinta e sesta settimana.

Nella ottava settimana è stato osservato un effetto del fattore principale "Gestione dell'irrigazione" con valori significativamente più elevati in corrispondenza di Irid (Fig. 27).

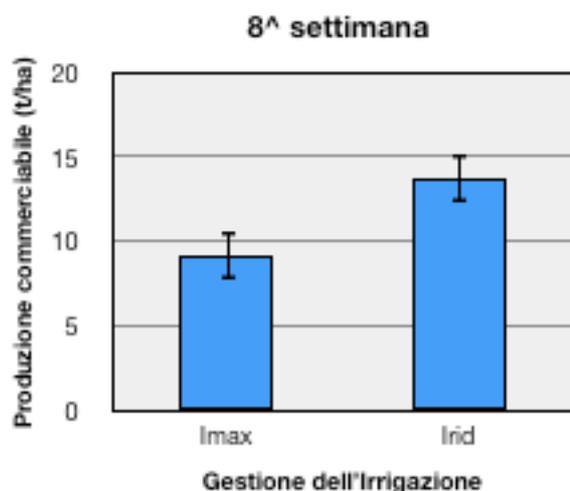


Fig. 27. Effetto della gestione dell'irrigazione sulla produzione ottenuta durante la ottava settimana di raccolta. Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,028$.

I fattori allo studio non hanno evidenziato differenze di rilievo per quanto riguarda i pesi unitari delle bacche e la suddivisione nelle diverse classi di calibro della produzione commerciabile.

3.5.5. Efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione e dell'azoto

L'efficienza dell'uso dell'acqua di irrigazione è stata valutata per mezzo dell'indice WUE (Water Use Efficiency) che è stato calcolato come rapporto tra il peso dei frutti prodotti (in grammi) e la quantità d'acqua distribuita con l'irrigazione (in litri). Questo indice permette di determinare quanti grammi di prodotto si sono ottenuti in corrispondenza di 1 litro di acqua d'irrigazione somministrata. In linea generale valori bassi di WUE stanno ad indicare che una certa frazione di acqua irrigua non è stata utilizzata dalla pianta e quindi può essere soggetta a perdite di vario tipo (es. percolazione, evaporazione). Al contrario, valori elevati stanno a significare una sua maggiore utilizzazione con minori perdite e sprechi. La WUE è stata calcolata in riferimento alla produzione totale di frutti (WUE tot) e alla produzione di frutti commerciabili (WUE comm).

Nella prova oggetto di studio, come c'era da attendersi, l'unico fattore che si dimostrato influire sulla WUE è stata la gestione dell'Irrigazione. Nei riguardi sia della WUE tot sia della WUE comm (Fig. 28), la tesi Irid si è dimostrata la più efficiente permettendo di produrre circa 25 g di frutti totali (WUE tot) e commerciabili (WUE comm) in più per ogni litro d'acqua distribuito, rispetto alla tesi Imax. A fronte della riduzione del 29% di acqua distribuita, quindi, con la tesi Irid si è avuto un incremento dell'efficienza irrigua pari al 41% e 42% nei confronti della tesi Imax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile.

Per questi indici non si sono osservati effetti di interazione con gli altri fattori allo studio.

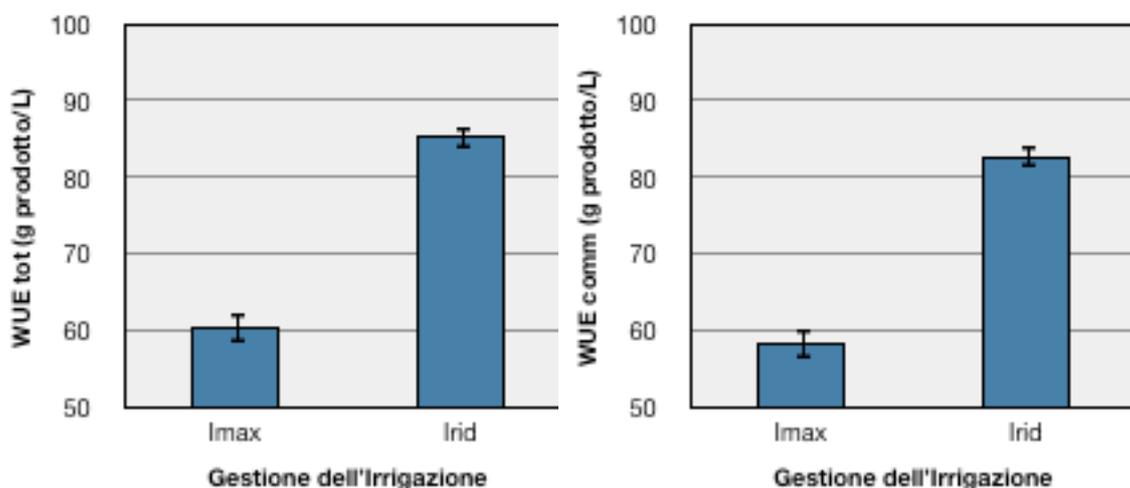


Fig. 28. Effetto della gestione dell'irrigazione sull'efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione (WUE) rispetto alla produzione totale (WUE tot) e alla produzione commerciabile (WUE comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P < 0,001$ (WUE tot) e $P < 0,001$ (WUE comm).

L'efficienza dell'uso dell'azoto distribuito durante la coltura è stata valutata per mezzo dell'indice NUE (Nitrogen Use Efficiency) che è stato calcolato come rapporto tra il peso dei frutti prodotti (in kg) e la quantità di azoto distribuito (in kg). Questo indice permette di determinare quanti kg di prodotto si sono ottenuti in corrispondenza di 1 chilogrammo di azoto distribuito. In linea generale valori bassi di NUE stanno ad indicare che una certa frazione di azoto non è stata utilizzata dalla pianta e quindi può

essere soggetta a perdite di vario tipo (es. lisciviazione, volatilizzazione). Al contrario, valori elevati stanno a significare una sua maggiore utilizzazione con minori perdite e sprechi. Sono stati calcolati 2 indici NUE: NUE_1 prende in considerazione solo l'azoto distribuito con i fertilizzanti ed è stata calcolata in riferimento alla produzione totale di frutti (NUE_1 tot) e alla produzione di frutti commerciabili (NUE_1 comm); NUE_2, oltre all'azoto distribuito con i fertilizzanti, tiene conto anche del nitrato presente nell'acqua irrigua e quindi dell'azoto distribuito con l'irrigazione. Anche in questo caso l'indice è stato calcolato in riferimento alla produzione totale di frutti (NUE_2 tot) e alla produzione di frutti commerciabili (NUE_2 comm).

Il fattore di variazione che si dimostrato influire maggiormente sulla NUE, come c'era da attendersi, è stata la gestione della concimazione, ma un interessante effetto della gestione dell'irrigazione è stato messo in luce sulla NUE_2. Nei riguardi sia della NUE_1 tot sia della NUE_1 comm (Fig. 29), la tesi Crid si è dimostrata la più efficiente permettendo di produrre circa 786 kg di frutti totali (NUE-1 tot) e 745 kg di frutti commerciabili (NUE-1 comm) in più per ogni kg di azoto distribuito con i fertilizzanti, rispetto alla tesi Cmax. In questo caso, quindi, a fronte della riduzione del 36% di azoto distribuito con i fertilizzanti, con la tesi Crid si è avuto un incremento dell'efficienza d'uso dell'azoto pari al 54,7% e 53,5% nei confronti della tesi Cmax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile.

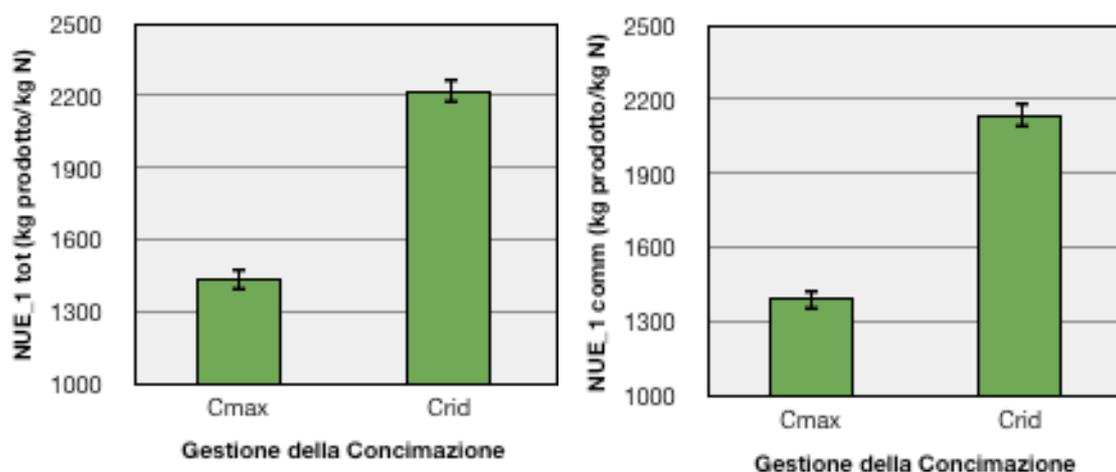


Fig. 29. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto distribuito con i fertilizzanti (NUE_1) rispetto alla produzione totale (NUE_1 tot) e alla produzione commerciabile (NUE_1 comm). Ogni punto è

la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione della Concimazione" significativo per $P < 0,001$ (NUE_1 tot e NUE_1 comm).

Nei riguardi sia della NUE_2 tot sia della NUE_2 comm (Fig. 30), la tesi Crid si è dimostrata ancora una volta la più efficiente permettendo di produrre circa 382 kg di frutti totali (NUE-2 tot) e 359 kg di frutti commerciabili (NUE-2 comm) in più per ogni kg di azoto distribuito con i fertilizzanti, rispetto alla tesi Cmax. In questo caso, quindi, a fronte della riduzione del 28% di azoto distribuito sia con i fertilizzanti che con l'acqua di irrigazione, con la tesi Crid si è avuto un incremento dell'efficienza d'uso dell'azoto pari al 35,8% e 34,8% nei confronti della tesi Cmax, rispettivamente per la produzione totale e per quella commerciabile.

Come precedentemente affermato, un interessante effetto della gestione dell'irrigazione è stato messo in luce sulla NUE_2. Infatti, nei riguardi sia della NUE_2 tot sia della NUE_2 comm (Fig. 31), la tesi Irid si è dimostrata più efficiente permettendo di produrre circa 113 kg di frutti totali (NUE-2 tot) e commerciabili (NUE-2 comm) in più per ogni kg di azoto distribuito (fertilizzanti + azoto nell'acqua d'irrigazione), rispetto alla tesi Imax, con un incremento dell'efficienza d'uso dell'azoto, rispetto a quest'ultima tesi di circa il 10%.

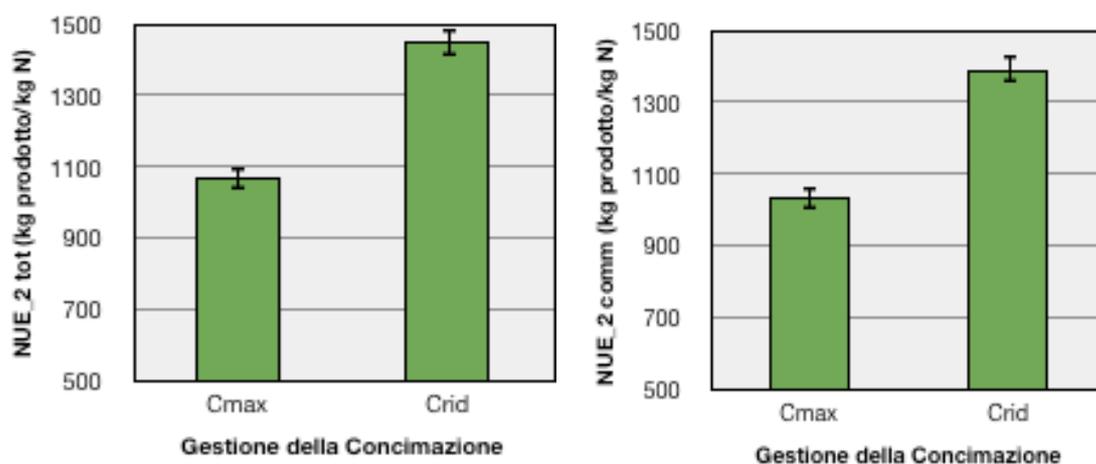


Fig. 30. Effetto della gestione della concimazione sull'efficienza d'uso dell'azoto totale distribuito (fertilizzanti + acqua d'irrigazione) (NUE_2) rispetto alla produzione totale (NUE_2 tot) e alla produzione commerciabile (NUE_2 comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione della Concimazione" significativo per $P < 0,001$ (NUE_2 tot e NUE_2 comm).

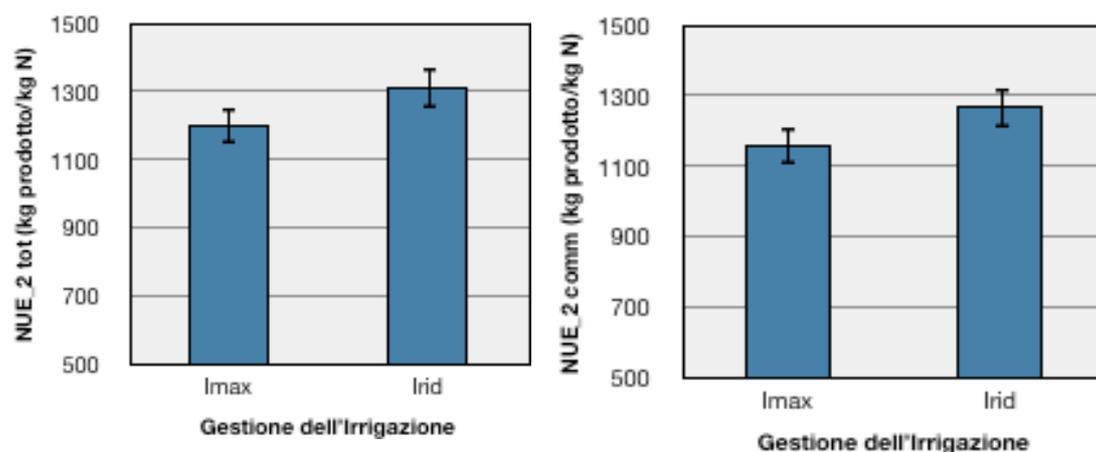


Fig. 31. Effetto della gestione dell'irrigazione sull'efficienza d'uso dell'azoto totale distribuito (fertilizzanti + acqua d'irrigazione) (NUE_2) rispetto alla produzione totale (NUE_2 tot) e alla produzione commerciabile (NUE_2 comm). Ogni punto è la media di 18 parcelle. Le linee verticali rappresentano l'E.S. della media. Fattore "Gestione dell'Irrigazione" significativo per $P=0,023$ (NUE_2 tot) e $P=0,018$ (NUE_2 comm).

4. Analisi economica (zucchino)

4.1. Premessa

Il bilancio economico della coltura di zucchino (raccolto con fiore), di seguito formulato, è riferito ad una coltura condotta con le tecniche di coltivazione applicate nella serra del progetto "Sustgreenhouse", situata nell'areale agricolo di Fondi (LT), con conferimento del prodotto presso la Cooperativa Salto di Fondi. Pertanto, tariffe, listini dei mezzi tecnici, salari e prezzi al mercato riportati nel procedimento di calcolo, per definire i costi colturali e la Produzione Lorda Vendibile (PLV), sono quelli praticati e di uso corrente nella zona.

Nella rassegna che segue viene preso in esame ogni singolo fattore che entra a formare il bilancio economico delle singole tesi (Imax-Cmax, Irid-Crid, Irid-Cmax, Irid-Crid) poste a confronto nei diversi substrati di coltivazione allo studio (tal quale, compost, zeolite).

4.2. Calcolo della Produzione Lorda Vendibile (PLV)

Per le singole tesi a confronto, oltre alla PLV media (PLV_{med}), è stata calcolata anche una PLV minima (PLV_{min}) e una PLV massima (PLV_{max}) ottenute, rispettivamente, sottraendo o sommando ai valori medi della produzione commerciabile (PRcomm) le relative Deviazioni Standard (SD). Per il calcolo della PLV si è inoltre preso in considerazione il prezzo medio (€) dello zucchini e del pomodoro raccolto nella prova dimostrativa e conferito alla Cooperativa Salto di Fondi:

$$3) PLV_{med} = PR_{comm} \times \text{€}$$

$$4) PLV_{min} = (PR_{comm} - SD) \times \text{€}$$

$$5) PLV_{max} = (PR_{comm} + SD) \times \text{€}$$

4.3. Calcolo della Reddito Netto (RN)

Dall'applicazione di PLV_{med} , PLV_{min} e PLV_{max} , si sono calcolati i rispettivi reddito netto medio (RN_{med}), minimo (RN_{min}) e massimo (RN_{max}) conseguibili con i sistemi colturali proposti. Si sono inoltre valutate le due ipotesi:

- 1) reddito netto dell'imprenditore puro,

$$RN_{1(med, min, max)} = PLV_{(med, min, max)} - (Sv + Sm + Q + Imp + Sa + St + I + Bf) = \pm T$$

- 2) reddito netto dell'imprenditore reale, tipico della zona (imprenditore-proprietario-coltivatore) che utilizza anche manodopera esterna per alcune operazioni colturali (trapianto, tutoraggio delle piante, raccolta),

$$RN_{2(med, min, max)} = PLV_{(med, min, max)} - (Sv + Sm + Q + Imp + \Delta_1 Sa + I) = \Delta_2 Sa + St + Bf \pm T$$

dove,

Sv = spese varie (materiale per la solarizzazione, fertilizzanti, micorrize, antiparassitari, acqua per irrigazione e per protezione antibrina, piantine, manichette per l'irrigazione, materiale per il tutoraggio delle piante, energia per il funzionamento delle pompe)

S_m = spese per le macchine calcolate sulla base delle tariffe conto terzi applicate nella zona (valore aggregato di costo carburante, salari, quote di assicurazione, manutenzione ed ammortamento, interessi)

Q = quote di assicurazione, manutenzione ed ammortamento (escluse Q per l'utilizzo delle macchine)

Imp = Imposte, tasse e contributi

S_a = salari (esclusi S_a per l'utilizzo delle macchine). Poiché nell'azienda oggetto di studio l'imprenditore si è avvalso di 2 operai per le operazioni di trapianto, tutoraggio delle piante e raccolta, nel caso dell'ipotesi 2 per il calcolo del RN (imprenditore-proprietario-coltivatore), $\Delta_1 S_a$ rappresenta il monte salari per 2/3 della manodopera utilizzata per le suddette operazioni, mentre $\Delta_2 S_a$ è la restante parte di S_a . Nel calcolo di $\Delta_2 S_a$ si è tenuto conto anche del 30% del costo delle macchine (tale si è ritenuta l'incidenza del salario dell'autista).

S_t = stipendi per amministrazione e sorveglianza

I = interessi (4%) su capitale di anticipazione, serra e impianti fissi

B_f = beneficio fondiario

T = tornaconto o profitto

4.4. Calcolo delle quote di ammortamento

Per calcolare l'ammortamento degli ammendanti impiegati, della serra, degli impianti e del pozzo artesiano si è proceduto nel rispetto dei principi dettati dalla prassi estimativa normalmente adottati in casi simili.

Per quanto riguarda l'ammendante minerale tufaceo contenente le zeolite si è tenuto conto delle caratteristiche mineralogiche di queste sostanze appartenenti alla famiglia dei tectosilicati e delle loro proprietà fisico-chimiche (ritenzione idrica, capacità di scambio cationico). Infatti, come viene ampiamente confermato nella bibliografia scientifica, questi materiali sono da considerarsi "ammendanti permanenti" in quanto, una volta inseriti e amalgamati nel terreno, non esauriscono il loro effetto nell'arco di

uno o più anni. La loro presenza e quindi la loro azione permane inalterata per un lungo arco temporale che possiamo considerare “ illimitato”.

Questo aspetto, sul piano economico-estimativo, può essere affrontato in due modi:

- 1) considerare il costo dell'ammendante come incremento del capitale fondiario, in quanto capitale comprensivo del valore della terra nuda e dei miglioramenti fondiari, facendolo così rientrare nella casistica di un miglioramento strutturale permanente
- 2) calcolare la quota di ammortamento del mezzo tecnico su un periodo coincidente con la durata tecnica delle sole parti strutturali della serra: archi e montanti in ferro zincato, impianti irrigui, accessori vari (durata normale pari a 20 anni).

Nel primo caso, si deve considerare che il valore attuale di mercato di un ettaro di terra nuda, di pari condizioni pedologiche e qualità agronomiche (tessitura, struttura, ecc.) dell'azienda oggetto di studio, nel contesto agricolo della zona del Salto di Fondi, è di circa 70.000 euro. Quindi il costo d'uso del capitale fondiario viene ad essere incrementato di 13.500 euro (l'ammontare della spesa di acquisto di 150 tonnellate di zeoliti al prezzo unitario di 90 euro t⁻¹) attestandosi attorno a 83.500 euro ha⁻¹.

Nel secondo caso, il costo a bilancio dell'investimento delle zeoliti deve essere ammortizzato, al tasso di sconto corrente del 4%, su 40 cicli colturali (20 anni x 2 cicli annuali). Applicando al capitale il coefficiente della quota di ammortamento annuale:

$$(13.500 \times 0,073581) / 2 = 496,12 \text{ euro ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$$

pari a 49,6 euro ciclo⁻¹ per una serra di 1.000 m².

La scelta tra i due metodi di calcolo è ricaduta sulla seconda soluzione in quanto ritenuta più congeniale al caso oggetto di studio

Per quanto riguarda l'ammortamento del compost, bisogna considerare che la sua azione ammendante e fertilizzante può protrarsi per un periodo di 3 anni, quindi il suo costo va suddiviso su 6 cicli colturali. Poiché la quantità di compost, in forma pellettata, utilizzato ai fini sperimentali è di 10 kg m⁻² pari a 10 tonnellate per 1000 m² e che il prezzo di listino è di 150 euro t⁻¹, il costo per ciclo colturale è pari a 1500 : 6 = 250 euro.

Il valore della struttura portante della serra (in tubi di ferro zincato di 60 mm di diametro, compreso lo scavo dei plinti, montaggio e opere varie), ai prezzi correnti di mercato, è di 10,8 euro m⁻² coperto. Per una superficie di 1000 mq, il costo totale, pari a 10.800 euro, viene ammortizzato al tasso di sconto corrente del 4%, su 40 cicli colturali (20 anni x 2 cicli annuali). Applicando al capitale il coefficiente della quota di ammortamento annuale:

$$(10.800 \times 0,073581) / 2 = 397,33 \text{ euro ciclo}^{-1}$$

La plastica utilizzata per la copertura della serra e il relativo montaggio hanno un costo complessivo di 2,10 euro m⁻² coperto. Per una superficie di 1000 mq, il costo totale, pari a 2.100 euro, viene ammortizzato al tasso di sconto corrente del 4%, su 6 cicli colturali (3 anni x 2 cicli annuali). Applicando al capitale il coefficiente della quota di ammortamento annuale:

$$(2.100 \times 0,360348) / 2 = 378,37 \text{ euro ciclo}^{-1}$$

Il valore attualizzato del pozzo artesiano presente in azienda, comprensivo della pompa sommersa (potenza di 3,5 Kw con una portata di 400 l min⁻¹), è di 2.500 euro. Poiché il periodo di ammortamento del pozzo è di anni 10, risulta:

$$2.500 \times 0,123290 = 307,50 \text{ euro anno}^{-1}.$$

Con un prelievo annuo aziendale stimato in 14.000 m³, si ha una incidenza di 0,02 euro per ogni m³ sollevato.

4.5. Calcolo del costo per l'energia elettrica

Alle attuali tariffe dell'energia elettrica, con fornitura Enel, il costo è di 0,29 euro Kw h⁻¹. Stimando un prelievo medio di acqua pari a 14.000 m³ anno⁻¹ (uso irriguo + uso antibrina), si ha un periodo di attività della pompa di 583,33 h anno⁻¹ con un assorbimento di 1,01 Kw h⁻¹ da cui, il consumo e il costo anno di energia elettrica risulta:

$$583,33 \times 1,01 = 589,17 \text{ Kw anno}^{-1}$$

$$589,17 \times 0,29 = 170,86 \text{ euro anno}^{-1}$$

Suddividendo il costo totale per il numero di m³/ anno di acqua distribuita (14.000) si ha il costo unitario per m³ pari a 0,012 euro. Pertanto, il costo totale di uso per ogni m³ di acqua risulta essere di euro 0,032 comprensivo di ammortamenti, manutenzione e consumi di energia elettrica.

4.6. Calcolo di altre voci di costo

Manichette e collettori per la fertirrigazione si presume possano essere utilizzati per 3 cicli, per cui la quantità utilizzata (81 kg) è stata divisa per tre.

Per l'allestimento dell'idroserra con tubo PE Sbrinex, su una superficie di 1000 m², vengono utilizzati 90 kg di tubo di PE. Considerando una durata media del tubo di 5 anni, questa quantità è suddivisa su dieci cicli colturali.

L'ammortamento dell'inoculo microbiologico è stato conteggiato conteggiato per il suo costo, pari a 34 euro kg⁻¹ per ogni ciclo colturale, in proporzione alla quantità impiegata per la preparazione delle piantine in vivaio.

Il costi della solarizzazione - circa 130 kg di polietilene (0,05 mm) più 12 ore per stesura e rimozione - e della letamazione sono stati suddivisi in parti uguali fra i due cicli colturali.

I costi, quali: manutenzione e assicurazione del capitale fondiario, spese generali, imposte, tasse e contributi, interessi sul capitale di anticipazione sono riportati nel rispetto della prassi della contabilizzazione normalmente seguita in questi casi. Nel caso specifico, la proprietà ospitante il progetto è gravata per una superficie di ha 2 da : contributi di bonifica per 500 euro, IRAP per 1800 euro, INPS per 2800 euro.

4.7. Bilancio economico (zucchino)

Poiché in termini di produzione commerciabile (v. # 3.2.4.), l'unico effetto significativo è stato determinato dalla diversa gestione della concimazione nel substrato tal quale, per il calcolo della PLV si è proceduto nel modo seguente:

- 1) per le tesi “tal quale+Imax-Cmax” e “tal quale+Irid-Cmax”, si è considerata la media generale delle produzioni commerciabili ottenute tra le 2 tesi considerate;
- 2) per le tesi “tal quale+Imax-Crid” e “tal quale+Irid-Crid”, si è considerata la media generale delle produzioni commerciabili ottenute tra le 2 tesi considerate;
- 3) per tutte le altre tesi, si è considerata la media generale delle produzioni commerciabili ottenute su compost e zeolite applicando i diversi sistemi di irrigazione e concimazione.

Per ottenere il costo colturale totale nelle diverse tesi a confronto, ai costi espliciti comuni (Tab. 12) vanno sommati i costi di distribuzione del compost (solo tesi compost) e delle zeoliti (solo tesi zeolite), secondo lo schema riportato in tabella 14. Poiché i costi d’irrigazione e dei concimi minerali utilizzati con la fertirrigazione sono risultati pressoché irrilevanti (Tab. 14), nel computo si è considerato un valore medio pari a 7,20 euro per l’acquisto dei concimi e 1,80 euro per la distribuzione dell’acqua irrigua. Inoltre, va tenuto conto dei costi di manodopera per raccogliere ed incassettare il prodotto (Tab. 15), che varia con le tesi in relazione ai quantitativi ottenuti. Analogamente, ai costi impliciti comuni (Tab. 13) vanno sommati i costi di ammortamento del compost (solo tesi compost) e delle zeoliti (solo tesi zeolite) (Tab. 14) e le spese generali che variano con la PLV (Tab. 15).

Tab. 12. Costi espliciti comuni per tutte le tesi a confronto, A₁ (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Impieghi			Costo (€)				
	materie prime	macchine	manodopera	unitario	parziale			totale
					Sv	Sm	Sa	
1) lavorazioni del terreno								139,00
- rippatura		1		41,00				
- fresatura		1,5		46,00				
- rifiniture manuali (h)			4	7,25				
2) fertilizzazione								218,76
- s.organica (letame) (t)	5			15,00				
- concimi fogliari (vedi Tab. 4) (kg)	4,14			5,74				
- distribuzione		3		40,00				
3) solarizzazione								
- polietilene mm 0,05 (kg)	65			2,20				
- stesura film (h)			5	7,25				
- rinalzi / rimozione (h)			1	7,25				
4) trapianto								
- piantine (n°)	1230			0,05				
- tutore, spago (kg)	15			3,60				

- manodopera trapianto (h)			6	7,25				
5) irrigazione e fertirrigazione								
- manichette + collettori (kg)	27			3,60				
- allestimento (h)			8	7,25				
6) protezione antibirina								
- idroserra : materiale (kg)	4,5			1,16				
- sorveglianza (h)			10	7,25				
- acqua (m ³)	397			0,03				
7) difesa fitosanitaria								
- antiparassitari (vedi Tab.5)					18,26			
- distribuzione (inclusi concimi fogliari)(h)			11	7,25				
8) legatura								
- manodopera (h)			14	7,25				
9) raccolta e trasporto								
- trasporto al magazzino		26		25,00				
10) rimozione impianto								
- manodopera (h)			22	7,25				
- trattore		4		25,00				
A ₁) Totale costi espliciti					490,65	980,00	587,25	2.057,90

Tab. 13. Costi impliciti comuni per tutte le tesi a confronto, B₁ (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Costo (€)
11) manutenzione ed assicurazione capitale fondiario	60,00
12) Imposte, tasse, contributi consortili	127,50
13) ammortamento serre e impianti + pozzo artesiano	929,45
14) interessi serra e impianti fissi	154,00
15) prezzo d'uso del capitale fondiario	140,00
16) interessi sul capitale di anticipazione	46,00
B ₁) Totale costi impliciti	

Tab. 14. Costi espliciti (A₂) e impliciti (B₂) caratteristici di ogni tesi a confronto (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Tesi	Quantità	Costo (€)		
			unitario	totale (A ₂ , B ₂)	
				(A ₂)	(B ₂)
Costi espliciti (A₂)					
2) fertilizzazione					
- concimi minerali (vedi Tab. 8) (kg)	Cmax	21,24	0,40		
- concimi minerali (vedi Tab. 8) (kg)	Crid	14,84	0,40		
- distribuzione compost pellettato (q.li)	compost	3	60,00	30,00 ⁽¹⁾	
- micorrize	compost	-	-	34,00	
- distribuzione zeolite (q.li)	zeolite	9	60,00	13,50 ⁽²⁾	
5) irrigazione e fertirrigazione					
- irrigazione (vedi Tab. 7) (m ³)	Imax	60,94	0,03		
- irrigazione (vedi Tab. 7) (m ³)	Irid	53,67	0,03		
Costi impliciti (B₂)					
17) ammortamento compost	compost	-			250,00
18) ammortamento zeolite	zeolite	-			49,60

(1) costo di distribuzione del compost suddiviso in 3 anni (6 cicli);

(2) costo di distribuzione della zeolite suddiviso in 20 anni (40 cicli).

Tab. 15. Costi espliciti (A_3) e impliciti (B_3) variabili in relazione alla produzione ottenuta e alla PLV di ogni tesi a confronto (calcolati per 1000 m² di serra)

Tesi	tal quale				compost				zeolite			
	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}
Costi espliciti (A_3) (€)												
9) raccolta e trasporto - stacco + incassetamento												
- medi	218,95		250,85						234,90			
- min	184,15		210,25						200,10			
- max	253,75		290,00						271,15			
Costi impliciti (B_3) (€)												
18) spese generali (6% PLV)												
- medi	137,71		157,78						147,74			
- min	115,82		132,24						125,86			
- max	159,60		182,40						170,54			
Totale costi ($A_3 + B_3$) (€)												
- medi												
- min												
- max												

In tabella 16 vengono riportati i risultati economici nelle diverse tesi a confronto, da cui emerge chiaramente, che nessuno dei sistemi colturali indicati è stato in grado di produrre reddito per l'imprenditore puro. Al prezzo medio di mercato, attuato durante il periodo di raccolta (1,52 euro kg⁻¹), il punto di pareggio o soglia minima di efficienza si è attestata tra 25 e 28 t ha⁻¹ in relazione alle strategie applicate. In alternativa, considerando le produzioni ottenute durante la prova in esame, i prezzi minimi al mercato in grado di remunerare l'imprenditore puro anche nell'ipotesi peggiore di produzione (produzione media - SD) dovrebbero variare tra 2,67 e 3,02 euro kg⁻¹.

Considerando invece l'imprenditore reale, configurabile nel tipo imprenditore-proprietario-coltivatore che utilizza anche manodopera esterna solo per alcune operazioni colturali (trapianto, tutoraggio delle piante, raccolta) e che rappresenta il tipico imprenditore agricolo locale, la coltura si è presentata remunerativa o vicino alla remuneratività, se si esclude la strategia che prevedeva la coltivazione su terreno ammendato con compost e micorrize. I risultati deludenti ottenuti con questo sistema colturale sono verosimilmente da attribuire al poco tempo intercorso fra la distribuzione dell'ammendante e la coltura che non ha permesso di evidenziare gli attesi miglioramenti delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo. I risultati economici più interessanti si sono ottenuti con la coltivazione sul terreno tal quale adottando la gestione di riduzione della concimazione, seguita dalla coltivazione su terreno

ammendato con zeolite. In questi casi specifici il punto di pareggio o soglia minima di efficienza si è attestata intorno alle 18 t ha⁻¹.

Tab. 16. Bilancio economico della coltura di zucchino in funzione dei sistemi colturali adottati (valori calcolati per 1000 m² di serra). RN_1 = reddito netto dell'imprenditore puro, RN_2 = reddito netto dell'imprenditore reale

Tesi	tal quale				compost				zeolite			
	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}	I _{max} C _{max}	I _{rid} C _{max}	I _{max} C _{rid}	I _{rid} C _{rid}
Costi espliciti (A) (€)												
- medi	2.287		2.317		2.367				2.317			
- min	2.252		2.279		2.332				2.282			
- max	2.323		2.358		2.403				2.353			
Costi impliciti (B) (€)												
- medi	1.595		1.615		1.856				1.655			
- min	1.572		1.589		1.833				1.632			
- max	1.617		1.641		1.880				1.678			
Costi totali (A + B) (€)												
- medi												
- min												
- max												
Produzione comm. (kg)												
- media	1.510		1.730						1.620			
- min	1.270		1.450						1.380			
- max	1.750		2.000						1.870			
Costo unitario (€ kg ⁻¹)												
- medio												
- max												
- min												
Prezzo di vendita (€ kg ⁻¹)												
- medio					1,52							
PLV (euro)												
- media	2.295		2.630						2.462			
- min	1.930		2.204						2.098			
- max	2.660		3.040						2.842			
RN_1 (€), reddito netto dell'imprenditore puro												
- medio												
- min												
- max												
RN_2 (€), reddito netto dell'imprenditore reale												
- medio	-434		-119		-584				-337			
- min	-775		-519		-925				-678			
- max	-93		262		-228				18			
Prezzo di vendita minimo remunerativo (€ kg ⁻¹)												
- imprenditore puro												
- imprenditore reale												

In linea generale si è osservato che nel caso dell'imprenditore reale, i prezzi minimi al mercato in grado di remunerare la sua attività, anche nell'ipotesi peggiore di produzione (produzione media - SD), dovrebbero variare tra 1,88 e 2,19 euro kg⁻¹, in relazione ai sistemi colturali adottati.

Per dare un giudizio più attendibile sui diversi sistemi colturali si dovranno comunque attendere i prossimi cicli produttivi.

4.8. Bilancio economico (pomodoro)

Poiché in termini di produzione commerciabile (v. # 3.3.4.) non si sono osservate differenze significative tra le tesi a confronto per il calcolo della PLV si è considerata la media generale delle produzioni commerciabili.

Anche in questo caso, per ottenere il costo colturale totale nelle diverse tesi a confronto, ai costi espliciti comuni (Tab. 17) vanno sommati i costi di distribuzione del compost (solo tesi compost) e delle zeoliti (solo tesi zeolite), oltre ai costi d'irrigazione e dei concimi minerali, secondo lo schema riportato in tabella 19. Inoltre, va tenuto conto dei costi di manodopera per raccogliere ed incassettare il prodotto (Tab. 20), che varia con le tesi in relazione ai quantitativi ottenuti. Analogamente, ai costi impliciti comuni (Tab. 18) vanno sommati i costi di ammortamento del compost (solo tesi compost) e delle zeoliti (solo tesi zeolite) (Tab. 19) e le spese generali che variano con la PLV (Tab. 20).

In tabella 21 vengono riportati i risultati economici nelle diverse tesi a confronto, da cui emerge che tutti i sistemi colturali indicati sono stati in grado di produrre utile per l'imprenditore puro. Al prezzo medio di mercato, attuato durante il periodo di raccolta ($0,74 \text{ euro kg}^{-1}$), il punto di pareggio o soglia minima di efficienza si è attestata tra 83 e 88 t ha^{-1} in relazione alle strategie applicate, quindi ben al di sotto delle produzioni effettivamente ottenute in serra. I prezzi minimi al mercato in grado di remunerare l'imprenditore puro anche nell'ipotesi peggiore di produzione (produzione media - SD) sono risultati compresi tra $0,48$ e $0,51 \text{ euro kg}^{-1}$.

I risultati economici più interessanti si sono ottenuti con la coltivazione sul terreno tal quale adottando la gestione di riduzione della concimazione. In linea generale, su tutti i substrati di coltivazione i redditi più elevati sono stati permessi in regime di riduzione della concimazione.

In linea generale si è osservato che nel caso dell'imprenditore reale, i prezzi minimi al mercato in grado di remunerare la sua attività, anche nell'ipotesi peggiore di produzione (produzione media - SD), sono variati tra $0,39$ e $0,42 \text{ euro kg}^{-1}$, in relazione ai sistemi colturali adottati.

Tab. 17. Costi espliciti comuni per tutte le tesi a confronto, A₁ (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Impieghi			Costo (€)				
	materie prime	macchine	manodopera	unitario	parziale			totale
					Sv	Sm	Sa	
1) lavorazioni del terreno								179,00
- trinciatura residui colturali (zucchino)		2		20,00				
- rippatura		1		41,00				
- fresatura		1,5		46,00				
- rifiniture manuali (h)			4	7,25				
2) fertilizzazione								195,00
- s.organica (letame) (t)	5			15,00				
- distribuzione		3		40,00				
3) solarizzazione								
- polietilene mm 0,05 (kg)	65			2,20				
- stesura film (h)			5	7,25				
- rinalzi / rimozione (h)			1	7,25				
4) trapianto								
- piantine (n°)	2770			0,22				
- tutore, spago (kg)	30			3,60				
- manodopera trapianto (h)			10	7,25				
5) irrigazione e fertirrigazione								
- manichette + collettori (kg)	27			3,60				
- allestimento (h)			8	7,25				
6) protezione antibrina								
- idroserra : materiale (kg)	4,5			1,16				
- sorveglianza (h)			10	7,25				
- acqua (m ³)	397			0,03				
7) difesa fitosanitaria								
- antiparassitari (vedi Tab.5)					336,94			
- distribuzione (inclusi concimi fogliari)(h)			18	7,25				
8) legatura								
- manodopera (h)			14	7,25				
9) raccolta e trasporto								
- trasporto al magazzino		24		25,00				
10) rimozione impianto								
- manodopera (h)			22	7,25				
- trattore		4		25,00				
11) altre operazioni								
- bombi, calce ombr, rete per tuta, ecc.					237,46			
- manodopera lavori vari			30	7,25				
A ₁) Totale costi espliciti					1624,92	970,00	884,50	3.479,42

Tab. 18. Costi impliciti comuni per tutte le tesi a confronto, B₁ (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Costo (€)
11) manutenzione ed assicurazione capitale fondiario	60,00
12) Imposte, tasse, contributi consortili	127,50
13) ammortamento serre e impianti + pozzo artesiano	929,45
14) interessi serra e impianti fissi	154,00
15) prezzo d'uso del capitale fondiario	140,00
16) interessi sul capitale di anticipazione	81,00
B ₁) Totale costi impliciti	1491,95

Tab. 19. Costi espliciti (A₂) e impliciti (B₂) caratteristici di ogni tesi a confronto (calcolati per 1000 m² di serra)

Voci di spesa	Tesi	Quantità	Costo (€)		
			unitario	totale (A ₂ , B ₂)	
				(A ₂)	(B ₂)
Costi espliciti (A₂)					
2) fertilizzazione					
- concimi minerali (vedi Tab. 11) (kg)	Cmax	-	-	72,16	
- concimi minerali (vedi Tab. 11) (kg)	Crid	-	-	50,51	
- distribuzione compost pellettato (q.li)	compost	3	60,00	30,00 ⁽¹⁾	
- micorrize	compost	-	-	34,00	
- distribuzione zeolite (q.li)	zeolite	9	60,00	13,50 ⁽²⁾	
5) irrigazione e fertirrigazione					
- irrigazione (vedi Tab. 9) (m ³)	Imax	256,7	0,03		
- irrigazione (vedi Tab. 9) (m ³)	Irid	182,3	0,03		
Costi impliciti (B₂)					
17) ammortamento compost	compost	-			250,00
18) ammortamento zeolite	zeolite	-			49,60

(1) costo di distribuzione del compost suddiviso in 3 anni (6 cicli);

(2) costo di distribuzione della zeolite suddiviso in 20 anni (40 cicli).

Voci di costo	Tutte le tesi a confronto
Costi espliciti (A₃) (€)	
9) raccolta e trasporto - stacco + incassamento	
- medi	518,45
- min	457,58
- max	579,31
Costi impliciti (B₃) (€)	
18) spese generali (6% PLV)	
- medi	635,87
- min	561,22
- max	710,52
Totale costi (A₃ + B₃) (€)	
- medi	1154,32
- min	1018,8
- max	1289,83

Tab. 21. Bilancio economico della coltura di zucchini in funzione dei sistemi colturali adottati (valori calcolati per 1000 m² di serra). RN_1 = reddito netto dell'imprenditore puro, RN_2 = reddito netto dell'imprenditore reale

Tesi	tal quale				compost				zeolite			
	Imax Cmax	Irid Cmax	Imax Crid	Irid Crid	Imax Cmax	Irid Cmax	Imax Crid	Irid Crid	Imax Cmax	Irid Cmax	Imax Crid	Irid Crid
Costi espliciti (A) (€)												
- medi	4.078	4.076	4.057	4.054	4.142	4.140	4.121	4.118	4.092	4.089	4.070	4.068
- min	4.017	4.015	3.996	3.993	4.081	4.079	4.060	4.057	4.031	4.028	4.009	4.007
- max	4.139	4.137	4.117	4.115	4.203	4.201	4.181	4.179	4.153	4.150	4.131	4.129
Costi impliciti (B) (€)												
- medi		2.128				2.379				2.178		
- min		2.052				2.303				2.102		
- max		2.204				2.455				2.254		
Costi totali (A + B) (€)												
- medi												
- min												
- max												
Produzione comm. (kg)												
- media							14.302					
- min							12.623					
- max							15.981					
Costo unitario (€ kg ⁻¹)												
- medio												
- max												
- min												
Prezzo di vendita (€ kg ⁻¹)												
- medio							0,74					
PLV (euro)												
- media							10.598					
- min							9.354					
- max							11.842					
RN 1 (€), reddito netto dell'imprenditore puro												
- medio												
- min												
- max												
RN 2 (€), reddito netto dell'imprenditore reale												
- medio	6.424	6.426	6.446	6.449	6.174	6.176	6.196	6.198	6.374	6.377	6.396	6.399
- min	5.221	5.224	5.243	5.246	4.971	4.973	4.993	4.996	5.172	5.174	5.194	5.196
- max	7.627	7.629	7.649	7.651	7.377	7.379	7.399	7.401	7.577	7.580	7.599	7.602

4.4. Considerazioni sui risultati agronomici ed economici

Dai risultati ottenuti nel primo anno di prova è possibile fare alcune considerazioni che andranno poi validate e confermate nel corso del progetto. Innanzitutto, bisogna partire dal presupposto che il terreno di partenza è un terreno ricco o molto ricco di elementi nutritivi, per cui le esigenze in termini di fertilizzanti delle colture è piuttosto contenuta rispetto a quanto usualmente praticato in zona. Per quanto riguarda la coltura di zucchini, questa è caratterizzata da un ciclo colturale di breve durata effettuato in periodo autunno-invernale, quando le disponibilità energetiche per le piante (luce, temperatura) e il potenziale evapo-traspirativo dell'ambiente serra sono assai limitate. In uno scenario di questo tipo risulta obiettivamente difficile differenziare in modo

drastico le gestioni di irrigazione e concimazione, a meno di intervenire in modo arbitrario e irrazionale nelle tesi I_{max} e C_{max} con distribuzioni massicce di acqua e fertilizzanti. Poiché lo scopo della prova era quello di confrontare sistemi colturali a minor impatto ambientale rispetto a quelli normalmente utilizzati dal produttore, ci si è limitati ad affinare le tecniche adottate da quest'ultimo per aumentarne la sostenibilità economica ed ambientale. Questo ha portato a ridurre di poco, in termini assoluti, i volumi di irrigazione (536,7 rispetto a 609,4 m³ ha⁻¹) e le dosi di azoto distribuite con i fertilizzanti minerali (50,3 contro 72,2 kg ha⁻¹ di N); tuttavia, in termini relativi, si sono avuti risparmi di circa il 12% e 30%, rispettivamente. Se si considera anche l'azoto distribuito indirettamente con l'acqua di irrigazione il risparmio medio di azoto è risultato leggermente inferiore (27%).

Queste modeste variazioni per quanto riguarda acqua irrigua e azoto distribuiti sulle tesi a confronto, non hanno permesso di evidenziare differenze di rilievo sullo stato nutrizionale e di sviluppo della coltura durante il ciclo colturale. Tuttavia, interessanti risultati si sono ottenuti sulla produzione e sull'efficienza degli interventi di concimazione e irrigazione. La riduzione delle dosi di azoto sullo zucchini allevato sul terreno tal quale ha infatti permesso l'ottenimento di più elevate produzioni vendibili, in virtù di un maggior numero di frutti commerciabili, ed ha permesso su tutti i substrati di coltivazione considerevoli incrementi dell'efficienza della fertilizzazione, sottraendo quindi l'azoto da possibili perdite per lisciviazione, volatilizzazione, denitrificazione, ecc.. La riduzione dei volumi irrigui ha determinato una riduzione del peso medio dei frutti commerciabili, senza tuttavia riscontri negativi sui quantitativi totali conferiti al mercato. Per contro, ha permesso significativi incrementi dell'efficienza d'uso dell'acqua limitando il rischio che tale importante risorsa possa incorrere in perdite per percolazione ed evaporazione. Sia la riduzione di azoto sia quella di acqua hanno poi permesso di anticipare seppure leggermente (1 giorno) l'epoca media di raccolta.

Rispetto allo zucchini, nel caso del pomodoro (ciclo effettuato tra fine inverno ed inizio estate, con disponibilità energetiche indubbiamente più elevate) la strategia di riduzione dell'irrigazione e della concimazione ha portato a più consistenti risparmi d'acqua e d'azoto. Per quanto riguarda i primi, questi sono risultati pari a 745 m³ ha⁻¹, in termini assoluti, e 29%, in termini relativi. Per il fertilizzante azotato, si è avuto in media un

risparmio di circa 40 kg N ha⁻¹, pari al 36%. Tenendo tuttavia conto dell'azoto distribuito con l'acqua di irrigazione, il risparmio relativo di azoto si è ridotto al 28%. L'adozione di diverse strategie di distribuzione di acqua e azoto non ha evidenziato effetti di rilievo sullo stato nutrizionale e di sviluppo della coltura, che è stato invece influenzato dal substrato di coltivazione. Per buona parte del ciclo colturale, infatti, questo si è mantenuto più basso in corrispondenza del substrato addizionato di zeolite; in tale substrato tuttavia, le piante hanno recuperato nell'ultima parte del ciclo. Di fatto, i diversi substrati e le diverse tesi irrigue e di fertilizzazione non hanno permesso di differenziare le produzioni totali e commerciabili di bacche che, nella media sono risultate rispettivamente pari a 148 e 143 t ha⁻¹. Alcune differenze si sono osservate per quanto riguarda la dinamica di produzione sui diversi grappoli fiorali e sulla precocità degli stessi. Queste indicazioni potranno essere utilizzate nel secondo ciclo di pomodoro, per affinare ed ottimizzare le tecniche di distribuzione e ottenere, quindi, risultati ancora più soddisfacenti. Ancora una volta, di grande interesse appaiono i risultati conseguiti in regime di riduzione dell'irrigazione e della fertilizzazione sull'efficienza di queste due operazioni, con incrementi intorno al 40% e 35% per WUE e NUE. Un ulteriore incremento della NUE si è ottenuto con i regimi di irrigazione ridotti.

Per quanto riguarda l'uso degli ammendanti, le risposte sono apparse al momento piuttosto deludenti sia su zucchini sia su pomodoro, non avendo riscontrato significativi aumenti produttivi né in seguito all'uso di compost + micorrize né con la miscelazione di zeolite al terreno. Questo è verosimilmente imputabile al troppo breve tempo intercorso dalla distribuzione dei materiali che non ha permesso di evidenziare l'atteso miglioramento delle caratteristiche del suolo con riflessi positivi su sviluppo e produzione della coltura. Gli effetti degli ammendanti sarà da valutare più in dettaglio nei cicli successivi.

Dal punto di vista del risultato economico, si può affermare che, in generale, la strategia di riduzione della fertilizzazione rispetto alle tecniche normalmente adottate dal produttore ha sempre permesso di ottenere i risultati migliori. In zucchini, tuttavia, nessuno dei sistemi colturali indicati è stato in grado di produrre reddito per l'imprenditore puro. Se si considera l'imprenditore reale, i redditi netti più vantaggiosi

si sono ottenuti con la concimazione ridotta sul terreno tal quale. Di un certo interesse appaiono anche i redditi ottenuti con l'uso della zeolite, mentre l'incidenza dei costi relativi all'uso di compost e micorrizze non ha permesso, almeno limitatamente a questo primo ciclo di zucchini, di ottenere risultati soddisfacenti. È da notare che il prezzo del prodotto in grado di remunerare l'imprenditore per la sua attività dovrebbe, in molti dei casi presi in considerazione, essere superiore al prezzo reale conseguito al mercato durante questa prova.

Differente è il discorso per quanto riguarda il pomodoro, in cui tutti i sistemi colturali hanno permesso di ottenere utile e di remunerare in modo adeguato l'imprenditore reale. Le differenze tra i diversi sistemi sono apparse abbastanza contenute. Infatti, l'utile medio è risultato di 4278 euro per 1000 m² di serra con un tasso di variazione massima di $\pm 3\%$. Il reddito netto per l'imprenditore reale è stato invece di 6336 euro $\pm 2\%$. Si può affermare quindi per questa coltura che, alla luce dei risultati ottenuti nel primo anno di prova, la scelta del sistema colturale non condiziona sostanzialmente il risultato economico e che quindi può essere valutata in termini di vantaggi agronomici (es. miglioramento della struttura del terreno) e ambientali (es. minore spreco e potenziali perdite di acqua e azoto).

5. CONCLUSIONI

In conclusione si può affermare che nell'areale oggetto di studio, per via dell'elevata fertilità residua dei terreni, le riduzioni delle concimazioni appaiono l'unica strategia che permette a livello economico/agronomico un miglioramento dei risultati.

Sia l'aggiunta di zeolite che di compost, al momento, non hanno soddisfatto nel breve periodo le aspettative richieste sia a livello di uso della risorsa acqua che a livello di uso della risorsa fertilizzante. L'uso di questi ammendanti sarà sicuramente da valutare nel medio e lungo periodo. Per quanto riguarda il compost si può affermare che l'indubbio vantaggio, pur non avendo riscontri evidenti sulla produzione, si è ottenuto per l'aumento del contenuto di C organico al terreno in ottica di migliorarne la struttura, sempre più in pericolo nei sistemi di coltivazione protetti.

L'analisi ambientale ha portato a focalizzare e ad individuare punti critici inaspettati; il fondamentale è l'utilizzo di rame come trattamento di difesa delle colture, che, per quanto sia ammesso anche nei disciplinari di produzione biologica è il fattore più impattante di tutto il sistema produttivo, ancor più di plastiche, strutture metalliche e prodotti fitosanitari in genere.

Per quanto riguarda i differenti sistemi produttivi, anche con l'analisi ambientale oltre che da quella economico/agronomica, non notiamo grosse differenze tra le tesi tal quale e zeolite, anche se la tal quale risulta essere la più performante nel suo complesso. Discorso a parte per la tesi compost dove, se ci limitiamo a considerare il comparto produttivo, i maggiori costi dovuti all'acquisto della materia prima e suo spandimento non appaiono convenienti dal punto di vista economico; se allarghiamo invece la visuale e prendiamo in considerazione anche tutti i carichi ambientali imputati al compost, come precedentemente descritto nell'elaborazione, il risultato dipende dalle categorie di impatto considerate. L'uso di compost infatti determina un peggioramento di alcune (Acidificazione ed Eutrofizzazione delle acque), mentre per molte altre (Riscaldamento Globale Potenziale, Utilizzo delle Risorse, Diminuzione Strato di Ozono e Ossidazione Fotochimica) si registra un miglioramento. Il peggioramento delle prime due categorie di impatto è dovuto principalmente al tipo di processo utilizzato dall'impianto di compostaggio, molto semplice e senza trattamento dei colattici, i quali sono i principali responsabili dell'aumento dell'impatto ambientale nelle due categorie di impatto incriminate. La produzione di compost con sistemi di ultima generazione potrebbe permettere l'abbassamento della carica ambientale apportata dal prodotto finito, rendendo il compost interessante, in questo caso, non ancora dal punto di vista economico/agronomico, ma dal punto di vista ambientale, tanto da farlo rientrare in una politica provinciale/regionale/nazionale di gestione dei rifiuti.

L'analisi LCA mediante utilizzo di indicatori mid-point CML 2001 ha permesso di condurre un'analisi approfondita di tutti i processi che intervengono all'interno del ciclo produttivo, nonostante ciò non dobbiamo dimenticare che questo strumento è nato nel settore chimico, quindi vengono discriminati molto bene tossicità ed impatti di prodotti, molecole e processi industriali, mentre, in campo agronomico, è ancora necessario un approfondimento delle dinamiche e dei meccanismi di relazione tra i diversi comparti

ambientali dato che il sistema agricolo (relazioni microfauna-suolo, suolo-pianta, ecc.) è tra i più complessi in assoluto.

Tuttavia i dati riportati necessitano di ulteriori conferme, ma a livello di processi coinvolti, possiamo affermare che sono il frutto di una buona sintesi, ancor più perché l'analisi è stata condotta principalmente su parametri misurati e non estrapolati da database generici, cosa che in questo momento manca un po' in questo genere di studi.

Bibliografía

Antón A., (2004). Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo (in Spanish). Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Spain, pp. 235.

Antón A., Montero J.I., Muñoz P., Castells F. (2005a) LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses. *Int. J. Agricultural Resources Governance and Ecology* 4,(2), 102-112. DOI: Electronic Resource Number.

Antón M.A., Munoz P., Castells F., Montero J.I., Soliva M. (2005b) Improving waste management in protected horticulture. *Agronomy for Sustainable Development* 25,(4), 447-453. DOI: Electronic Resource Number.

Audsley E., (1997). Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report Concerted Action AIR 3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture, Silsoe, UK, pp. 101.

Bentrup F., Küesters, J. , (2000) Methods to Estimate the Potencial N Nmissions Related to Crop Production. In: B. Weydema, Meeusen, M. (Ed.) *Agricultural data for Life Cycle Assessments*, vol. 1. Agricultural Economics Research Institute, The Hague, The Netherlands, pp. 133-151.

Blengini G.A. (2008) Using LCA to evaluate impacts and resources conservation potential of composting: A case study of the Asti District in Italy. *Resources, Conservation and Recycling* 52,(12), 1373-1381. DOI: Electronic Resource Number.

Cardone M, Mazzoncini M, Menini S, Rocco V, Senatore A, Seggiani M and Vitolo S. (2003) Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy. Agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass & Bioenergy* 25 623-636.

Ceña F. & Romero C. (1982) Evaluación Económica y Financiera de Inversiones Agrarias. Madrid: Banco de Crédito Agrícola. 15-64.

Consoli F., Allen D., Boustead I., de Oude N., Fava J., Franklin W., Quay B., Parrish R., Perriman R., Postlethwaite D., Seguin J. and Vigon B. (1993) Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice' SETAC. Pensacola (USA).

Coppock J.T. and Rhind D.W (1991). The history of GIS. In Maguire D.J., Goodchild M.F. and Rhind D.W. (Eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications* (2 volumes), London: Longman and New York: Wiley, 1991. 21-43.

Doka G., (2003). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services.ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, pp. 444.

Elherradi E., Souidi B., Chiang C., Elkacemi K. (2005) Evaluation of nitrogen fertilizing value of composted household solid waste under greenhouse conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 25,(2), 169-175. DOI: Electronic Resource Number.

European Commission, (2001). Working document on Biological Treatment of Biowaste (2nd draft). Directorate-General Environment A.2. The Official Journal of the European Communities.

European Commission, (2009). Green paper on the management of bio-waste in the European Union 2008. Official Journal of the European Communities.

Fullana & Puig R. (1997) *El Análisis de Ciclo de Vida*. Ed. Rubes: Barcelona (Spain).

Fuller S K, Petersen S R. (1996) *Life-Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*. National Institute of Standards and Technology, Handbook 135. Prepared for U.S. Department of Energy. Washington DC, 1996 Available at: <http://aesl.hanyang.ac.kr/resource/blcc/blcc-handbk1.pdf>

Ghorbani R., Koocheki A., Jahan M., Asadi G.A. (2008) Impact of organic amendments and compost extracts on tomato production and storability in agroecological systems. *Agronomy for Sustainable Development* 28,(2), 307-311. DOI: Electronic Resource Number.

Goodchild M.F. (1993) The state of GIS for Environmental Problem Solving. In Goodchild M.F., Parks B.O., Steyaert L.T. (Eds.) *Environmental Modelling with GIS*, New York: Oxford University Press,1993, 9-15

Guinée J.B., (2001). Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Part 1 and 2. Ministry of Housing. Spatial Planning and Environment (VROM) and Centre of Environmental Science (CML), The Netherlands.

Guinée J B, Gorree M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, Udo de Haes H A, Van der Voet E, Wrisberg M N. (2002) *Life Cycle Assessment. An operational guide to ISO standards*. Volume 1, 2, 3. Centre of Environmental Science, Leiden University (CML), The Netherlands, 2002.

Hansen T.L., Christensen T.H., Schmidt S. (2006) Environmental modelling of use of treated organic waste on agricultural land: a comparison of existing models for life cycle assessment of waste systems. *Waste Management & Research* 24,(2), 141-152. DOI: Electronic Resource Number.

Hargreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R. (2008) A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 123,(1-3), 1-14. DOI: Electronic Resource Number.

Hellweg S, Hofstetter T B, Hungerbühler K. (2003). Discounting and the environment. Should current impacts be weighted differently than impacts harming future generations?. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8 (1), (2003) 8-18.

Hospido A. (2005) Life Cycle Assessment as a tool for analysing the environmental performance of key food sectors in Galicia (Spain): Milk and Canned Tuna. (Doctoral thesis). Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela, 2005. 286 p. ISO. ISO 14040:1997. Environmental management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. International Organisation for Standardisation (ISO) (Switzerland.), 1997.

ISO. ISO 14040:2006 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organisation for Standardisation (ISO) (Switzerland.), 2006.

ISO. ISO 14041:1998 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. International Organisation for Standardisation (ISO) (Switzerland.), 1998.

ISO. ISO 14042:1999 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Assessment. International Organisation for Standardisation (ISO) (Switzerland.), 1999.

ISO. ISO 14043:2000. Environmental Management –Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation. International Organisation for Standardisation (ISO) (Switzerland), 2000.

Leiden University. Available from: <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/researchprojects/chainet.jsp>. Accessed: April

MAPA, (2002). Real Decreto 1201/2002, de 20 de noviembre, por el que se regula la producción integrada de productos agrícolas (in Spanish). Boletín Oficial del Estado.

Martínez-Blanco J., Colón J., Gabarrell X., Font X., Sánchez A., Artola A., Rieradevall J. (2010) The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. Waste Management (Submitted October 2009). DOI: Electronic Resource Number.

Marble D.F.. (1990) Geographic Information Systems: an overview. In Peuquet D.J. and Marble D.F. (Eds.). *Introductory Readings in Geographic Information Systems*, London: Taylor and Francis, 1990 pp. 8-17.

Martínez-Blanco J., Muñoz P., Antón A., Rieradevall J. (2009) Life cycle assessment of the use of compost from municipal organic waste for fertilization of tomato crops. *Resources, Conservation and Recycling* 53,(6), 340-351. DOI: Electronic Resource Number.

Milà i Canals Ll. (2003) Contribution to LCA methodology for agricultural systems. Site-dependency and soil degradation impact assessment (Doctoral thesis). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, 2003. 250 p.

MMAMRM, (2008). Anuario de estadística de medio ambiente y medio rural y marino 2008 (in Spanish), Madrid.

Montero J.I., Stanghellini C., Castilla N., (2009). Greenhouse technology for sustainable production in mild winter climate areas: trends and needs. In: ISHS Acta Horticulturae (Ed.) *International Symposium on Strategies Towards Sustainability of Protected Cultivation in Mild Winter Climate*, Antalya, Turkey

MP, (2005). Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes (in Spanish). Boletín Oficial del Estado Español.

Muñoz P., Antón A., López M., Huerta O., Núñez M., Rieradevall J., Ariño J., (2008a) Aplicación de compost de fracción orgánica de residuos sólidos municipales en la fertilización de cultivos hortícolas en la comarca del Maresme (in Spanish). In: DGCEA (Ed.) *Subvenciones de I+D+i en el ámbito de la prevención de la contaminación. Balance 2004-2007*. Ministerio de Medio Ambiente, pp. 45-51.

Muñoz P., Antón A., Nuñez M., Vijay A., Ariño J., Castells X., Montero J., Rieradevall J., (2008b). Comparing the environmental impacts of greenhouse versus open-field tomato production in the Mediterranean region. In: ISHS. Acta Horticulturae (Ed.)

International Conference on Sustainable Greenhouse Systems - GREENSYS 2007. 4-6 October, Naples, Italy, pp. 801: 1591-1596.

Muñoz P., Antón A., Paranjpe A., Ariño J., Montero J. (2008c) High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield *Agronomy for Sustainable Development* 28,(4), 489. DOI: Electronic Resource Number.

Muñoz P., Ariño J., Montero J.I., Antón A., (2005). Cascade crops: A method proposed for increasing sustainability in El Maresme. In: F. Castells, J. Rieradevall (Eds.), *International Conference by Innovation by Life Cycle Management LCM2005*, Barcelona, Spain.

Muñoz I, Rieradevall J, Domènech X. (2005) Definición de la unidad funcional e implicaciones en el ACV. In: Clemente G, Sanjuán N, Vivancos J L. (Eds.). *Análisis de Ciclo de Vida: aspectos metodológicos y casos prácticos*. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, 2005.

Muñoz I. (2006) *Life Cycle Assessment as a tool for green chemistry: application of different advanced oxidation process for wastewater treatment*. (Doctoral Thesis). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), 2006. 258 p.

Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux D., Zimmermann A., (2004).

Venendaal R., Jorgensen U. & Fosters C.A. (1997) *European Energy Crops: A synthesis*. *Biomass & Bioenergy*. 13 (3) (1997) 147-185.

Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. ecoinvent report No. 15. Agroscope FAL Reckenholz and FAT Taenikon, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, pp. 289.

Odlare M., Pell M., Svensson K. (2008) Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management* 28,(7), 1246-1253. DOI: Electronic Resource Number.

PRé Consultants, (2008). *SimaPro software versión 7.1.8*. In: PRé Consultants (Ed.), The Netherlands. Romero-Gámez M., Antón A., Soriano T., Suárez-Rey E.M., Castilla N. (2009) Environmental impact of greenbean cultivation: Comparison of screen greenhouses vs. open field. *Journal of food, agriculture & environment* 7,(3&4), 132-138. DOI: Electronic Resource Number. RuralCat, Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (Catalan Agricultural Meteorology Net). In: G.d. Catalunya (Ed.).

SAS institute Inc., (2006). SAS Enterprise Guide. In: SAS (Ed.), Cary, North Carolina, USA.

Saxton K. E. , Rawls W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1569–1578.

Schmidt W P. (2003) Life Cycle Costing as part of Design for Environment. Environmental business cases. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8 (3) (2003), 167-174

Sigrimis N., Cavallini A., Incrocci L., Montero J.I., Perez-Parra J., Kafka A., (2009). Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in Southern European EU Member States. *Europea Food Safety Authority*.

Soil Survey Staff., (2006). Keys to Soil Taxonomy, 10th ed. In: USDA-Natural Resources Conservation Service (Ed.), Washington DC, United States.

Stanghellini C., Kempkes F.L.K., Knies P., (2003). Enhancing Environmental Quality in Agricultural Systems. In: ISHS Acta Horticulturae (Ed.) International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate, Italy.

Sonnemann G. (2005) The Life Cycle Initiative: an international partnership to improve the applicability of Life Cycle Assessment and enhance the use of Life Cycle Thinking worldwide. In Castells F. and Antón A. (Eds). *Integració de les eines d'Anàlisi de Cicle de Vida i Anàlisi de Risc*; Tarragona, 2005. Artyplan S.A.

Swiss Centre for Life Cycle Inventories., (2007). ecoinvent Data v2.0., Dübendorf, Switzerland.