



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Progetto pilota per la realizzazione di un percorso di certificazione ambientale e di LCA per le aziende vivaistiche ornamentali

Giulio Lazzerini, Stefano Lucchetti, Francesco Paolo Nicese

Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente
DISPAA

Indice

Introduzione	5
Descrizione dell'analisi LCA	11
Applicazione dell'analisi LCA nel vivaismo ornamentale	13
Accumulo di CO ₂ nella produzione vivaistica ornamentale	17
Descrizione dei processi produttivi in analisi	21
Descrizione della fase sperimentale del progetto	25
Il software Gabi 6	31
Risultati e Discussione	35
Conclusioni	67

1 – Introduzione

Il tema della riduzione dell'impatto ambientale, e di una nuova coniugazione tra attività produttiva e sostenibilità ambientale, rientra ormai tra i punti fermi nelle discussioni relative a qualsiasi settore produttivo, sia esso legato all'agricoltura o meno. Il vivaismo non sfugge a questa logica, ed infatti già da vari anni si discute sugli effetti dell'attività vivaistica nei riguardi dell'ambiente (Ferrini e Nicese, 2003; Nicese e Ferrini, 2008; Lazzerini et al., 2009). Di fatto, possiamo oggi affermare che le aziende vivaistiche hanno un'importante valenza positiva nei confronti dell'ambiente; attraverso la produzione di piante ornamentali, esse immettono in commercio un prodotto che andrà a migliorare e valorizzare il paesaggio naturale, incrementare il verde urbano, immagazzinare CO₂ e migliorare la qualità dell'aria e del suolo.

Occorre però precisare che il vivaismo è anche un'attività agricola intensiva a forte capitale investito; necessita di una struttura aziendale, di una programmazione della produzione, di una varietà e quantità di input tali da poter essere paragonabile ad un'attività di tipo industriale. Non è quindi un caso se da diverse decine di anni nella provincia di Pistoia sussiste un forte interesse nei riguardi di specifiche problematiche ambientali, quali:

- L'inquinamento della falda acquifera dovuto all'abbondante utilizzo di diserbanti, prodotti fitosanitari e concimi chimici (in particolare a base di azoto) (ARPAT, 2001).
- L'abbassamento delle falde acquifere, dovuto sì alla grande richiesta di acqua da parte delle colture ornamentali, ma soprattutto ad una gestione non razionale di questa risorsa naturale, la cui rilevanza appare essere sempre più strategica.
- Perdita di suolo fertile; la si rileva sia nel vivaismo ornamentale in piena terra a causa della commercializzazione delle piante, che avviene con la zolla, sia nella vasetteria con la copertura della superficie in coltivazione con teli pacciamante "antialga" che, limitando fortemente gli scambi gassosi e liquidi tra terreno e aria, abbattano la flora microbica terricola, compromettendone la fertilità biologica (Ferretti, 2009)
- Forte abbattimento della biodiversità naturale
- Forte utilizzo di materiali a elevato impatto ambientale nella vasetteria (ad es. plastiche e torba)

- Abbondante produzione di rifiuti e scarti aziendali, sia organici che inorganici (Stanghellini et al., 2003)

D'altra parte la "consapevolezza ecologica" dei vivaisti risulta essere un tema di grande attualità, solo da pochi anni essi hanno iniziato a maturare una certa sensibilità sulle tematiche sopra ricordate, e di conseguenza a prendere provvedimenti in relazione alla questione ambientale. Questa nuova consapevolezza riceve nuovi stimoli anche grazie al contributo sia di nuove norme (locali e non) per la tutela dell'ambiente e il mantenimento del territorio, sia del mercato; sempre più clienti (in particolare dal Nord Europa) richiedono produzioni eco-compatibili, ritenendo che il rispetto ambientale nella fase produttiva delle piante sia un valore intrinseco a supporto della qualità del prodotto acquistato.

Uno dei migliori strumenti a disposizione dei vivaisti per dimostrare il proprio impegno nei confronti dell'ambiente, sia ai propri clienti, sia all'opinione e autorità pubblica, sono le **certificazioni**. Esistono essenzialmente due tipi di certificazione (Nicese, Lazzarini, 2012):

- *Certificazione di processo*, ha come argomento l'intero processo produttivo e la gestione ambientale dell'azienda. Analizza l'intera attività aziendale, dall'acquisto degli input, alla commercializzazione del prodotto finito; avendo cura che ogni step produttivo sia svolto nel pieno rispetto delle norme ambientali, di sicurezza e della salute umana. Non certifica in alcun modo la qualità del prodotto finale. Esempi di questo tipo di certificazione sono la "norma ISO 14001" e "EMAS III".
- *Certificazione di prodotto*, ha come argomento specifico le fasi di realizzazione del prodotto. Analizza l'intero ciclo di produzione per quantificare l'impatto ambientale del prodotto in analisi durante il suo ciclo di vita (dalla fabbricazione alla vendita). Attraverso un'apposita etichetta, l'acquirente finale può valutare la qualità e la conformità normativa del prodotto. Esempi specifici per il settore vivaistico di questo tipo di certificazione sono la "GLOBALGAP" (per la floricoltura) (www.globalgap.com) e la "MPS" (www.my-mps.com).

Con entrambi i tipi di certificazione l'azienda vivaistica può esprimere la propria volontà di monitorare il proprio operato nei confronti dell'ambiente. Essendo una metodologia ufficiale e riconosciuta internazionalmente, con una corretta forma di comunicazione i vivaisti possono far percepire il proprio operato a soggetti terzi interessati (es. clienti, autorità pubblica, fornitori). Alla base dei sistemi di certificazione c'è il principio di miglio-

mento continuo, il quale prevede la fissazione di obiettivi e l'istaurarsi di un percorso per il loro ottenimento. Il peso di una certificazione deve essere compatibile con il razionale svolgimento dell'attività produttiva, quindi viene lasciata una certa libertà in termine di tempi, metodologie e responsabilità (Nicese, Lazzarini, 2012).

L'azienda vivaistica, essendo al limite tra l'attività industriale e quella agricola, risulta molto complessa da analizzare. Essa interagisce con l'ambiente in vari modi, al punto che un monitoraggio ambientale specifico per le sue varie componenti può portare a conclusioni anche contrastanti. Per ottenere un giudizio sull'eco-compatibilità del vivaismo e per monitorare lo stato attuale di questa realtà è necessaria quindi un'analisi ampia e integrale. Andando ad analizzare questo settore nel contesto del rispetto ambientale, è necessario quindi considerare sia gli input (cioè le strutture e le risorse) impiegati nella produzione, sia le voci positive (la produzione stessa) in una ottica di bilancio, che quindi non è più (o non soltanto) un bilancio economico, ma diventa soprattutto un bilancio ambientale.

Il **bilancio ambientale** può essere considerato una tecnica di gestione aziendale; essa prevede l'analisi quantitativa degli input utilizzati in un processo produttivo per valutarne gli output, inquadrandoli in categorie di impatto strategiche tipiche del settore analizzato. La stesura di un bilancio ambientale ha finalità di carattere:

- *Interno*, per aumentare la consapevolezza della dirigenza nei riguardi delle dinamiche aziendali, permettendo un aumento delle capacità gestionali
- *Esterno*, come strumento di comunicazione nei confronti dell'opinione e dell'autorità pubblica (Cisi, 2003)

Parte del sistema gestionale di un'impresa dovrebbe quindi essere costituito dal **sistema di gestione ambientale (SGA)**, a cui si devono le interazioni tra le attività aziendali e il contesto ambientale nel quale l'azienda opera. I principi fondamentali su cui si basa un SGA sono:

- Il miglioramento continuo delle prestazioni ambientali in relazione ad obiettivi volontariamente definiti
- La prevenzione e riduzione dell'impatto ambientale

- Il rispetto delle norme in vigore

La applicazione di un sistema di gestione ambientale prevede inizialmente una analisi ambientale per definire quali sono le relazioni positive e quali quelle negative, tra processo e ambiente. Lo strumento impiegato per questa specifica analisi è il bilancio ambientale (Lazzerini et al., 2009).

I dati presi in considerazione dal bilancio possono essere organizzati in categorie principali, le quali hanno in comune la modalità di rilevazione e il contenuto informativo. Esse permettono di delineare il sistema di indicatori agro-ambientali, così definiti da Segnestam et al. (2000) : «frammenti di informazioni che sintetizzano le caratteristiche dei sistemi o evidenziano cosa sta accadendo in un sistema. Semplificano i fenomeni complessi e consentono di misurare lo stato di un sistema. Rendono più semplice parlare di sviluppo sostenibile, traducendo il concetto di sostenibilità in termini numerici, in misure descrittive e in strategie e indicazioni». La scelta degli indicatori deve avvenire in base alla tipologia di azienda presa in considerazione, la quale avrà punti critici specifici che andranno ad agire su determinati aspetti ambientali di riferimento (acqua, energia, emissioni di gas, produzione di rifiuti, ecc.). Risulta sempre conveniente utilizzare metodi e procedure di calcolo, che abbiano sì un rigore scientifico, ma che presentino anche una "semplicità d'uso" nei confronti delle esigenze territoriali e delle realtà aziendali (Lazzerini et al., 2001 a e b). Il bilancio ambientale è alla base di molte metodologie di valutazione dell'impatto ambientale generato da un processo produttivo, e rappresenta, ad esempio, la parte iniziale di una analisi LCA.

2 – Applicazione dell'analisi LCA nel vivaismo ornamentale

Life Cycle Assessment o LCA (valutazione del ciclo di vita) è definita come la “compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita degli elementi in ingresso e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema produttivo” (EN ISO 14044, 2006). L’approccio “ciclo di vita” alle valutazioni ambientali, che possiamo definire Life Cycle Thinking, ha origine negli anni ‘60. In questo periodo iniziarono le prime vere ricerche scientifiche, riguardanti l’utilizzo di risorse e della produzione di rifiuti dei processi produttivi. I ricercatori si resero conto che l’unico approccio efficace per poter studiare i processi produttivi in un’ottica ambientale, era quello di seguire “step by step” il flusso delle materie prime, dalla loro estrazione, attraverso i processi di trasformazione e trasporto, fino alla loro fine in forma di rifiuto. Così nacque il concetto base della logica LCA: “from cradle to grave” (dalla culla alla tomba). Da allora si capì che ogni processo produttivo necessitava di essere considerato integralmente, se esso fosse stato analizzato solo nelle sue singole fasi, le conclusioni ottenute avrebbero avuto una valenza totalmente relativa. Migliorando una singola operazione industriale, potremmo in teoria peggiorarne un’altra, non andando così ad ottenere un miglioramento complessivo del processo, o addirittura peggiorarlo. I primi esempi di approcci Life Cycle Thinking sono riconducibili ai primi anni 70, quando alcune grandi aziende statunitensi, l’agenzia per la protezione dell’ambiente americana (EPA) e alcuni produttori inglesi di bottiglie la iniziarono ad utilizzare come supporto alle decisioni. Nel caso degli studi nordamericani le ricerche furono svolte sotto il nome di REPA (Resource and Environmental Profile Analysis), che avevano come obiettivo di confrontare materiali diversi per lo stesso tipo di applicazione. Questo dimostra che già agli albori era chiaro uno dei principi fondamentale di una LCA: non ha senso paragonare in assoluto materiali diversi tra loro, ma funzioni che possono essere realizzate a parità di prestazioni, utilizzando materiali alternativi. Per un lungo periodo la metodologia era definita con molti termini: life cycle analysis, cradle to grave analysis, resource and environmental profile analysis, eco balance, Energy and environmental analysis ecc. Il termine LCA venne coniato solo nel 1990, al congresso SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) a Smuggler Notch (Vermont, U.S.A) (Baldo *et al.*, 2008).

Un aspetto particolarmente interessante è che le applicazioni LCA possono essere pensate per livelli molto diversi di impiego. A livello macroeconomico, una LCA può essere utile nel campo socio-economico di una intera nazione o a livello sovranazionale; ad esempio è uno strumento efficace a progettare politiche di sviluppo sostenibile. Ma esiste anche un livello

microeconomico, territoriale o aziendale, nel quale le applicazioni LCA possono trovare un eccellente campo di applicazione. A livello microeconomico un'azienda può decidere di sottoporsi ad LCA per vari motivi:

- Monitorare la propria situazione nei confronti dell'ambiente, capendone i punti critici, in un ottica di riprogettazione futura del processo produttivo
- Dimostrare il proprio impatto ambientale in caso di norme che impongono limitazioni
- Aderire ad una certificazione o ad un'etichetta ecologica che richiedono espressamente questo tipo di analisi.
- Comunicare al cliente il proprio impegno nei confronti dell'ambiente, in quella che potremmo definire una buona strategia di marketing

La struttura ufficiale della LCA è riportata nella norma ISO 14044 del 2006; essa è divisa nelle seguenti quattro fasi:

- 1. Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione** (Goal and Scope Definition): sono definiti l'unità funzionale, le finalità, i limiti del sistema studiato, il tipo e l'affidabilità dei dati. Deve definire la "dimensione" di una LCA, dandone una profondità e un'ampiezza; questo in relazione al soggetto e all'utilizzo previsto dallo studio.
- 2. Analisi di inventario** (Life Cycle Inventory, LCI): è l'inventario dei dati in ingresso e in uscita dal sistema. Deve definire il flusso di energia e dei materiali, il quale si muove attraverso trasformazioni e trasporti. Andando ad elencare gli input e gli output, riportandone anche la quantità, si riesce a schematizzare il processo.
- 3. Valutazione degli impatti** (Life Cycle Impact Assessment, LCIA): prevede lo studio e l'elaborazione di ciò che è stato calcolato nella fase di inventario. E' il momento di comprensione dell'impatto ambientale del processo in esame.
- 4. Interpretazione** (Life Cycle Interpretation): è la conclusione dello studio. I risultati ottenuti dalle fasi precedenti sono interpretati in relazione allo scopo dello studio presentato nella "fase di definizione dell'obiettivo".

Definire e dimensionare il "sistema" in cui si opera è fondamentale in una LCA. Con "sistema" si intende l'insieme dei processi che realizzano precise operazioni industriali con una

determinata funzione; esso ha una dimensione, ha confini fisici che lo separano dal sistema ambiente, ma con esso ha scambi tramite input e output. Il sistema ha una dimensione reale oggettiva, inquadrato in un ottica globale si colloca all'interno di un network dinamico e in continuo mutamento. Alla luce dei fatti risulta impossibile analizzare il sistema "reale", diventa necessario all'inizio di una LCA creare un sistema "artefatto", che rappresenti sì la realtà, ma anche compatibile con gli scopi e gli strumenti a disposizione per l'analisi. Definito il sistema in cui operiamo, questo deve essere descritto con cura, inquadrandolo con l'obiettivo fissato, riportando le categorie di dati presi in considerazione e la loro validità. Importante in questa fase è definire **l'unità funzionale di sistema**, essa deve "fornire un riferimento al quale i dati in ingresso e in uscita sono normalizzati (in senso matematico)" (ISO 14044,2006). Essa deve essere definita e misurabile. Parallelamente a questa scelta deve essere definito il flusso di riferimento, il quale deve essere compatibile con tutte le componenti del sistema e con l'ambiente esterno. Il dimensionamento del sistema viene fatto comunicando quali singoli processi del ciclo produttivo in analisi sono considerati. I confini fissati dovranno essere compatibili con lo scopo dell'analisi, devono includere solo i processi di cui possiamo usufruire dati completi e affidabili. Una LCA richiede tempo e investimenti, quindi risulta consono dimensionare il sistema considerando solo ciò che è veramente incisivo sul risultato finale. Chi svolge l'analisi ha piena libertà di non considerare ogni componente di processo che non ritiene strettamente necessario, previa una puntuale giustificazione dei motivi che hanno determinato la scelta di escludere tali parti dalla analisi complessiva. Ad esempio, nella quasi totalità dei casi in una LCA non sono considerati né gli edifici né le strutture; il loro peso ambientale può essere quantificato, ma deve essere ammortizzato sia per l'intera durata della loro "vita" sia per ogni unità di sistema presa in considerazione, e questo in definitiva rende il loro contributo al bilancio finale quasi nullo.

Una LCA ha come scopo quello di quantificare l'inquinamento causato da un sistema, attribuendone un valore numerico. La norma ISO 14001 definisce impatto come: "una qualsiasi modificazione causata da un dato aspetto ambientale, ossia da qualsiasi elemento che può interagire con l'ambiente". L'obiettivo da raggiungere ci obbliga a dover specificare la tipologia di impatto ambientale preso in considerazione e la sua scala di riferimento. Un limite da sottolineare è l'impossibilità di correlare inequivocabilmente uno specifico impatto ai suoi molteplici effetti ambientali, i quali quindi non possono essere quantificati sulla base di esso. L'entità dell'inquinamento è il risultato di una sommatoria di input provenienti da diverse aree geografiche, i quali passano dal sistema in analisi all'ambiente in momenti diversi e sotto varie forme. Appare giusto affermare che il risultato di una LCA in genere è correttamente riferito su scala globale. A livello internazionale l'impatto è definito da categorie ufficiali che prendono come riferimento l'effetto ambientale, le principali sono (Baldo *et al.*,2008):

- Global warming (effetto serra)
- Stratospheric ozone depletion (assottigliamento della fascia di ozono)
- Acidification (acidificazione)
- Nutrient enrichment o eutrophication (eutrofizzazione)
- Photosmog formation (formazione di smog fotochimico)
- Human and eco-toxicity (tossicità per l'uomo e per l'ambiente)
- Resources depletion (consumo di risorse non rinnovabili)

La metodologia LCA è nata per il settore industriale, ma da molti anni è impiegata anche nel settore agricolo, alcuni esempi riportati nella bibliografia scientifica internazionale sono:

- L'applicazione dell'LCA alla filiera di produzione di latte e o derivati attuata da Eide (1999) in Norvegia, da De Boer (2002) e da Thomassens *et al.* (2007) in Olanda, da Cederberg e Flysjö (2004) in Svezia e da Casey e Holden (2005) in Irlanda
- Ruviario *et al.* (2011) hanno impiegato la LCA per confrontare l'agricoltura brasiliana con i trend mondiali di settore
- Kulak (2010) ha utilizzato la metodologia LCA per stimare la riduzione delle emissioni di gas serra attraverso la produzione di cibo da parte di comunità agricole in ambiente urbano
- Flessa *et al.* (2002) hanno valutato le emissioni a confronto di due farming systems in Germania
- Russo e Scarascia Mugnozza (2005) hanno applicato l'LCA alla produzione di pomodoro sotto serra, comparando differenti tipologie di sistemi colturali e differenti tipologie di serre
- Russo *et al.* (2008) hanno eseguito uno dei primi approcci a livello mondiale della metodologia LCA al mondo florovivaistico, andandola ad applicare alla produzione di fiori recisi, nel comprensorio pugliese di Terlizzi

3 – Applicazione dell'analisi LCA nel vivaismo ornamentale

Negli ultimi anni il rapporto tra impresa e ambiente si è andato modificando. Si sta infatti passando da una concezione che vede l'ambiente come un contenitore di risorse da sfruttare senza coglierne un intrinseco valore economicamente quantificabile, a una visione dell'ambiente come "fattore produttivo". Inoltre, la crescita della sensibilità dell'opinione pubblica nei confronti della salvaguardia dell'ambiente ha orientato il sistema economico e quindi le singole imprese verso una gestione più sostenibile delle proprie attività.

Questo nuovo scenario affida alle singole aziende un ruolo determinante nella ricerca di accordi ambientali di tipo volontario (quindi non previsti obbligatoriamente da disposizioni di legge) relativi a standard di prodotto e/o di processo. È, infatti, l'azienda che attraverso un processo di miglioramento continuo e di autocontrollo dovrà dimostrare alle cosiddette parti interessate o stakeholders (opinione pubblica, autorità pubbliche, clienti, fornitori) il proprio impegno verso l'ambiente, sfruttandolo anche in termini comunicativi.

Anche il settore florovivaistico non potrà sfuggire a questa logica, tenuto anche conto che per l'elevata intensità di coltivazione e per un gestione non sempre razionale delle risorse (in particolare per quanto riguarda acqua, fertilizzanti e fitofarmaci) e dei rifiuti aziendali (es. scarti di produzione), è ritenuto responsabile di un impatto ambientale non trascurabile, non sempre mitigato dagli indiscutibili effetti positivi prodotti, quali la riqualificazione del paesaggio e l'assorbimento di CO₂.

La razionalizzazione delle risorse ambientali di un'azienda vivaistica può essere perseguita attraverso l'introduzione delle migliori innovazioni tecnologiche. Ciò al fine di raggiungere obiettivi di miglioramento ambientale concreti nel tempo e compatibili con le esigenze economiche di gestione aziendale. Tali obiettivi possono essere raggiunti o intervenendo volontariamente sulla struttura gestionale aziendale (strumenti di gestione di processo) e quindi introducendo in azienda un sistema di gestione ambientale così come previsto per esempio dalla Norma ISO 14001 o dal Reg. EMAS III, oppure orientandosi verso una certificazione di prodotto (strumenti di prodotto) che svincola l'azienda dall'agire sulla struttura gestionale aziendale, ma riguarda specificatamente le fasi di realizzazione del prodotto.

In letteratura esistono numerose metodologie per la valutazione dell'impatto dei processi produttivi sull'ambiente; tutte hanno come riferimento centrale il calcolo del bilancio ambientale. Il bilancio ambientale rappresenta una tecnica di reporting gestionale atta a raccogliere e organizzare i dati quantitativi relativi alla gestione ambientale dell'azienda nelle aree critiche in cui essa si manifesta. Attraverso il bilancio ambientale sono raccolti, elaborati e comunicati gli obiettivi, le risorse impiegate e i risultati conseguiti dall'impresa. Un esempio di bilancio ambientale specifico per il settore vivaistico è stato sperimentato nell'ambito del progetto FISIAgri della Provincia di Pistoia (Lazzerini et al., 2008).

La redazione del bilancio ambientale ha finalità prevalentemente di carattere informativo interno e in tal senso di controllo gestionale interno; esso può però diventare anche uno strumento di comunicazione rivolto verso l'esterno.

Negli ultimi anni la comunità scientifica internazionale ha condotto varie applicazioni di LCA in diverse produzioni vivaistiche. Nella floricoltura protetta le criticità emerse sono state i consumi energetici, l'uso della plastica di copertura delle serre e dei contenitori (Russo and Mugnozza 2005; Russo *et al.* 2008 a, b; Russo e De Lucia Zeller 2008). Nella produzione di piante da esterno in vaso e in piena terra, le applicazioni condotte negli Stati Uniti (Kendall and McPherson, 2011; Ingram, 2012, 2013) danno valori assoluti simili alle ricerche italiane (Nicese e Lazzerini, 2013; Lazzerini *et al.*, 2014); i risultati delle prime mostrano maggiori emissioni dovute ai consumi energetici, all'utilizzo di diserbanti e prodotti fitosanitari, mentre le seconde dovute alla plastica dei vasi e all'utilizzo dei substrati. Queste differenze sono dovute probabilmente a sistemi produttivi differenti, l'esempio più rilevante è l'ampio utilizzo di torba nei terricciati impiegati nel vivaismo italiano. Questo materiale genera molte emissioni di CO₂ in atmosfera, principalmente a causa del suo trasporto su gomma dai Paesi Baltici di provenienza. La problematica della torba è emersa già in varie applicazioni di LCA condotte nel vivaismo Pugliese (De Lucia et al., 2008; Russo et al., 2011, 2013 a, b), tali ricerche hanno dimostrato le migliori performance ambientali e tecniche di diversi substrati "peat-free".

La metodologia LCA, oltre a valutare l'impatto ambientale delle aziende vivaistiche, potrebbe valorizzare sui mercati le loro produzioni, attraverso la Carbon footprint (impronta di carbonio) della "pianta ornamentale" (kg di CO₂ equivalente emessi durante la produzione), per poi comunicarlo al cliente, insieme al carbon stock (carbonio stoccato) dello stesso prodotto, utilizzando un marketing apposito. Il vivaista, seguendo il concetto cardine nell'analisi e certificazione ambientale del "miglioramento continuo", potrebbe provare al cliente che la sua attività imprenditoriale ha performance ambientali via via

migliori.

La certificazione di prodotto che utilizza come prerequisito una LCA è l'EPD (dichiarazione ambientale di prodotto).

Per essere convalidato, il percorso che porta alla certificazione EPD richiede che siano rispettati i criteri e i requisiti stabiliti all'interno di un documento chiamato PCR – Regolamento Categoria di Prodotto, dove, appunto, si dettano le "regole" per poter effettuare l'LCA. Le PCR contengono l'indicazione sugli input del processo produttivo (fertilizzanti, pesticidi, prodotti fitosanitari, ecc) che sono potenzialmente in grado di produrre effetti sulla salute e sull'ambiente. Vengono indicati i confini del sistema produttivo schematizzato, che comprendono gli impianti di produzione, i macchinari, la fase di coltivazione, l'imballaggio e la distribuzione legati al prodotto in questione.

Per poter arrivare alla definizione della PCR specifica per il prodotto oggetto di certificazione è necessaria una consultazione pubblica che consenta di acquisire pareri e commenti attraverso il coinvolgimento di tutti gli attori interessati, al termine del quale sarà ammessa la PCR definitiva, in modo tale da garantire il livello di accettazione più elevato possibile.

Attualmente per il prodotto "Pianta Ornamentale" non è ancora stata pubblicata una PCR, cosa questa che pone gli eventuali imprenditori vivaisti che si sottoponessero a certificazione EPD, in una posizione del tutto innovativa, con la possibilità, quindi, di ottenere buoni risultati nell'aumentare il valore aggiunto del proprio prodotto, nella conquista di nuovi mercati sensibili all'ambiente (Nord Europa) e nel dimostrare il proprio comportamento "green" sia al cliente sia alla comunità.

4 – Accumulo di CO₂ nella produzione vivaistica ornamentale

In una logica di bilancio ambientale della CO₂, non ci dobbiamo dimenticare che una azienda vivaistica (come anche altre aziende del settore agricoltura) oltre ad avere una componente “negativa” di bilancio, dovuta a emissioni legate alla normale gestione dell’azienda, presenta anche una componente “positiva” legata alla immobilizzazione di CO₂ attraverso l’accumulo di sostanza secca dovuto alla crescita delle piante legnose in vivaio. Mentre la valutazione della componente negativa è affidata alla LCA, la componente positiva può essere stimata e/o calcolata con un grado di precisione più che soddisfacente. Per quanto attiene al calcolo diretto, una corretta misura della CO₂ immobilizzata dalle piante non può che partire dalla determinazione della crescita delle piante in vivaio. Infatti, il Carbonio (C) rappresenta l’elemento strutturale maggiormente rappresentato all’interno di un tessuto vegetale, e deriva pressoché totalmente dalla fotosintesi clorofilliana che utilizza la CO₂ come materia prima per ricavarne poi il carbonio. Quindi, conoscere l’esatta “quantità” di crescita di una pianta (g di sostanza secca/anno) ci consente di poter risalire alla quantità di C immobilizzata, e, di conseguenza, alla quantità di CO₂ necessaria per sostenere tale crescita. In pratica, la relazione che lega l’accumulo di sostanza secca con l’immobilizzazione di CO₂ è la seguente:

1g di sostanza secca = 0.5g di carbonio = 1.83 g di CO₂

Considerando che il C rappresenti circa il 50 % della sostanza secca vegetale, e che 1 g di C richieda 3,67 g di CO₂. Attraverso la formula sopra riportata, effettuando dei campioni distruttivi di piante a fine stagione, e conseguente calcolo della sostanza secca con un passaggio in stufa, è possibile risalire alla CO₂ stoccata per ciascuna pianta o per unità di superficie.

Una metodologia come quella appena descritta è ovviamente ben applicabile con piante medio-piccole (fino al vaso 35 lt.), allevate in contenitore, piante cioè ben gestibili, che possono essere lavate e suddivise in parti (chioma, fusto, radici) con relativa facilità.



Figura 1: Campioni di *x Cupressocyparis leylandii*



Figura 2: Campioni di *Magnolia obovata* "purpurea"



Figura 3: Pulitura zolla



Figura 4: Sezione di radice

5 – Descrizione dei processi produttivi in analisi

Il ciclo di produzione delle varie specie prese in analisi inizia dalla fase di propagazione per taleggio. In questo primo step vengono preparate le talee (porzioni di ramo di 10-15 cm), le quali, in periodi diversi e opportuni per le varie essenze, sono poste in alveoli “alti” da 60 fori, costituiti da materiale plastico (PS) e riempiti di substrato costituito per il 50% da torba fine. Gli alveoli contenenti le talee sono posti in serra e sottoposti a riscaldamento basale; ovvero per favorire la radicazione, una serie di tubi attraversati da acqua calda passa al di sotto del piano di coltivazione. Tale riscaldamento è generato da una caldaia alimentata a gasolio. L’ambiente serra, per mantenere la turgidità dei tessuti vegetali delle talee, che ancora non sono provviste di apparato radicale, deve essere mantenuto costantemente umido. Tale condizione è possibile grazie ad un impianto denominato “fog-system”: l’acqua viene dispersa in serra mediante ugelli molto piccoli, i quali generano micro-gocce che rimarranno in sospensione per diverso tempo prima di cadere a terra, simulando una nebbia. Questa fase del ciclo produttivo è caratterizzata da densità di impianto molto elevate (360 piante/m²), massiccia presenza di strutture “fisse” sulla superficie (serre), considerevoli consumi di gasolio (per riscaldamento) e di energia (principalmente per alimentare l’impianto irriguo).



Figura 5: Talee radicate di *Photinia x fraseri* “red robin”

Il passaggio successivo è l’invasatura delle talee radicate in vasetti plastici (PP) da 1.1 lt., che sono posti in portavasi da 8 fori, costituiti di materiale plastico (PS) di qualità, e quindi riutilizzabili per 6-7 stagioni produttive. Il substrato è costituito per il 50% da torba (per una buona ritenzione) e per il 50% da pomice (per un buon drenaggio). Questa fase

viene realizzata all'aperto su una superficie atta a vasetteria. L'impianto di irrigazione è a "pioggia", ovvero sono presenti erogatori con ugelli più larghi rispetto a quelli del fog-system, i quali generano gocce di acqua più grosse e simulano quindi un evento piovoso. Le piante sono nutrite sia mediante concimi a lenta cessione contenuti nel substrato sia mediante fertirrigazione. Questa fase del ciclo produttivo è caratterizzata da alte densità di impianto (56 piante/m²) e da un alto impiego di plastiche e di substrato.



Figura 6: vaso 1.1 lt *Photinia x fraseri* "red robin"

Dopo una stagione la piantina del vaso 1.1 lt. viene travasata in un vaso più grosso, di capienza 9.5 lt.. Il substrato qui impiegato è costituito per il 50% da torba, il 40% da pomice e il 10% da fibra di cocco. L'impianto di irrigazione è a "goccia", ovvero dei tubi plastici (PP) sono posti lungo le linee dei vasi, da essi sono fatti partire dei capillari plastici (gocciolatori), che sono inseriti nel substrato in ogni vaso mediante "penne" di plastica dura. Questo tipo di irrigazione, con minori apporti idrici e minori dispersioni, consente di risparmiare acqua rispetto al tipo descritto in precedenza (pioggia). Le piante sono fertilizzate unicamente mediante concimi a lenta cessione presenti nel substrato. Questa fase del ciclo produttivo è caratterizzata da densità di impianto intermedia (4 piante/m²), dall' utilizzo di prodotti fitosanitari e di diserbanti e da un alto impiego di plastiche e di substrato.



Figura 7: piante prese in analisi

Per la linea produttiva della Photinia ZV, la pianta nel vasetto del 1.1 lt. invece di essere invasata in un vaso di maggiore capienza 9.5 lt., è trapiantata in pieno campo. Questo avviene o per ragioni logistiche, solitamente l'intera superficie della azienda vivaistica pistoiese non è interamente adibita a vasetteria, quindi si sfruttano anche i terreni "scoperti"; o per ragioni qualitativo/produttive, le piante allevate a terra richiedono meno input (quindi costi), hanno una crescita più lenta (in questo caso 1 anno in vaso del 9.5 lt. equivale a 2 anni in pieno campo) ma raggiungono dimensioni maggiori. Il terreno, prima della messa a dimora delle piante, viene arato, concimato (concimi organici) e riceve una lavorazione superficiale (fresatura o erpicatura). Questa fase del ciclo produttivo è caratterizzata da una bassa densità di impianto (2.6 piante/m^2), dalla presenza di lavorazioni del suolo e dall'assenza di substrati e vasi.

Nell'ultima fase del ciclo produttivo le piante nel vaso del 9.5 lt. e le photinie al secondo anno di zolla, vengono travasate (V/V) o invasate (Z/V) nei contenitori di grosso litraggio che rappresentano la taglia commerciale. In termini di substrato, concimazione, gestione dei patogeni e delle infestanti, irrigazione e tipologia di impianto, questa fase e del tutto assimilabile a quella precedentemente descritta del vaso 9.5 lt., solo i vasi più grossi richiedono densità di impianto minori; rispettivamente 1.4 piante/m^2 per il 18 e il 25 lt., e 1.4 piante/m^2 per il 35 litri. Al momento della vendita la chioma delle piante viene imballata in una rete estensibile di materiale plastico (PP), per evitare danni durante il trasporto.



Figura 8: Magnolie vaso 18 lt. con packaging

6 – Descrizione della fase sperimentale del progetto

Nei primi mesi di ricerca è stata effettuata un dettagliato programma delle prove sperimentali da svolgere presso le aziende partner di progetto. L'analisi ha portato a identificare sette specie arbustive coltivate in vaso: *Viburnum x bodnantense*, *Magnolia obovata* "purpurea", *Eleagnus x ebbingei*, *Viburnum tinus*, *x Cupressocyparis leylandii*, *Thuja occidentalis* "emerald" e *Photinia x fraseri* "red robin". L'analisi LCA ha preso in considerazione tutti gli input di coltivazione nel periodo di riferimento di 1 anno solare. I dati presi da "Magazzini Piante" hanno riguardato le ultime fasi del processo produttivo della pianta ornamentale, ovvero quello che porta all'ottenimento della taglia commerciale per il mercato al dettaglio. I passaggi produttivi precedenti sono stati analizzati presso "Vettori", azienda vivaistica specializzata nella propagazione di piante ornamentali. Il ciclo di vita completo del prodotto "pianta", dalla propagazione alla taglia commerciale, è stato analizzato per le sette specie arbustive in vaso, considerando unità temporali di un anno solare, secondo lo schema base:

- 1° anno talea (Vettori)
- 2° anno vasetto 1.1 lt (Vettori)
- 3° anno vaso 9.5 lt (Magazzini)
- 4° anno vaso di taglia commerciale (18 lt.-25lt.-35lt.) (Magazzini)

Le varie tipologie di vasetteria prese in considerazione nel progetto sono il vaso 18 l per la *Magnolia obovata* "purpurea" e la *Thuja occidentalis* "emerald"; il vaso 25 l per *Viburnum x bodnantense*, *Eleagnus ebbingei*, *Viburnum tinus*, *x Cupressocyparis leylandii*; il vaso 35 l per la *Photinia x fraseri* "red robin", per questa specie sono prese in analisi due linee produttive differenti: la stessa impiegata per le altre specie che prevede un ciclo completo in vaso di 4 anni (ciclo vaso/vaso – VV), l'altra che prevede un periodo di passaggio in pieno campo (ciclo zolla/vaso – ZV) strutturato nel modo seguente:

- 1° anno talea (Vettori)
- 2° anno vasetto 1.1 lt. (Vettori)

- 3°anno a terra (Magazzini)
- 4°anno a terra (Magazzini)
- 5°anno vaso 35lt. (Magazzini)

Questo schema sperimentale è riassunto in forma grafica nella figura 10. Un numero di 5 campioni per ognuna delle sette specie arbustive è stato utilizzato per la misura del carbonio stoccato mediante metodo distruttivo; esso prevede un passaggio in stufa del materiale vegetale, al fine di ottenerne il peso della sostanza secca, che, come si è detto in precedenza, per il 50% circa è costituita da carbonio.



Figura 9: pianta pulita pronta al passaggio in stufa

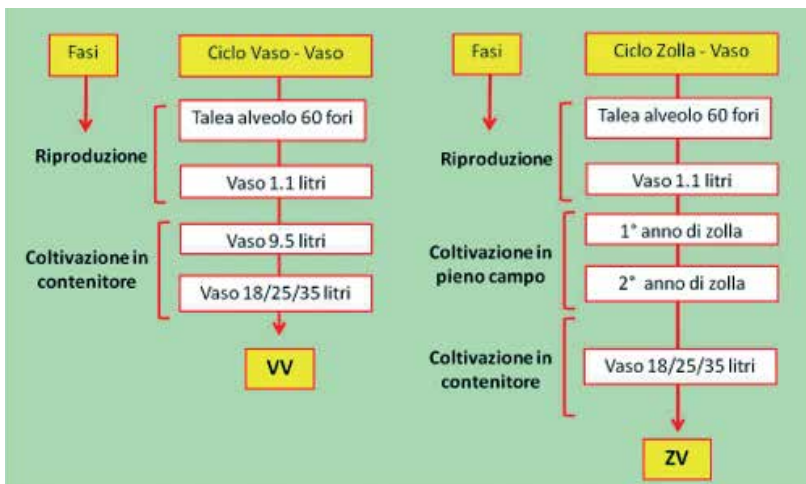


Figura 10: Schema dei due cicli produttivi presi in considerazione

L'azienda Vettori ha fornito 5 campioni per ogni specie, rappresentanti degli step produttivi da essa sostenuti, ovvero talee (propagazione) e vaso 1.1 lt. (passaggio intermedio fra talea e Magazzini Piante). Ogni campione è stato usato per la misura del Carbonio stoccato mediante metodo distruttivo.

La variabilità dei processi produttivi presi in considerazione aveva lo scopo di acquisire informazioni su diversi target produttivi tipici del comprensorio vivaistico pistoiese, fra cui: ciclo produttivo in pieno campo, ciclo produttivo in vaso, ciclo produttivo in vaso derivante da un previo ciclo produttivo in pieno campo, propagazione, piante di piccola taglia e piante di taglia commerciale. Ogni risultato viene presentato scorporato nelle varie categorie di input che lo compongono, questo è stato fatto nel tentativo di capire quali sono le fasi più impattanti del processo produttivo in analisi, in modo tale da poter intervenire su queste nell'ottica di ottenere migliori performance ambientali.

Definita l'unità temporale di riferimento di un anno solare, la categoria di impatto del "Global Warming Potential" (GWP 100 anni) dell'IPCC 2001 (ovvero l'emissione di GHG espressa in CO₂ equivalente generata durante il processo produttivo), l'unità di riferimento di un m² è iniziato l'avvio della definizione dei confini di sistema di analisi o LCI.

Dopo ricerche bibliografiche, e sulla base dell'esperienza scaturita da precedenti lavori (Lazzerini et al., 2014), è stato deciso di prendere in considerazione le seguenti categorie

di input:

- **Prodotti fitosanitari**, ovvero insetticidi e fungicidi distribuiti nel corso della coltivazione. Il vivaista partner conferisce per ogni trattamento applicato il prodotto commerciale, il principio attivo in esso contenuto, la quantità di acqua impiegata nella sua distribuzione, informazioni riguardanti l'impiego di macchinari (potenza trattrice, tipo di macchina operatrice, durata dell'intervento)
- **Fertilizzanti**, il vivaista partner dichiara i fertilizzanti impiegati, la loro tipologia (lenta cessione, fertirrigazione, tradizionale), il titolo, la quantità distribuita, eventuali informazioni sull'impiego di macchinari (potenza trattrice, tipo di macchina operatrice, durata dell'intervento)
- **Diserbanti** distribuiti durante la coltivazione. Il vivaista partner conferisce per ogni trattamento applicato il prodotto commerciale, il principio attivo in esso contenuto, la quantità di prodotto commerciale, la percentuale di principio attivo in esso contenuto, la quantità di acqua impiegata nella sua distribuzione, informazioni riguardanti l'impiego di macchinari (potenza trattrice, tipo di macchina operatrice, durata dell'intervento)
- **Substrato**, per le piante in vaso il vivaista partner fornisce la "ricetta di substrato" e la quantità contenuta nei vasi
- **Vaso**, per le piante in vaso il vivaista partner fornisce il modello di vaso impiegato, del quale viene rilevato il peso e il materiale di costituzione
- **Lavorazioni del terreno**, per le piante coltivate in pieno campo, il vivaista fornisce informazioni sulle operazioni meccaniche eseguite, quali: potenza della trattrice, tipologia di macchina operatrice, durata dell'operazione
- **Diesel**, consumo di gasolio agricolo e convenzionale da parte dell'azienda; il vivaista partner comunica i propri consumi annuali, cercando di fornire un dato separato nelle varie classi di impiego (es. riscaldamento serre, spostamento aziendale piante, operazioni di carico/scarico ecc.)
- **Consumo elettrico**, il vivaista partner comunica i propri consumi annuali, cercando di fornire un dato separato nelle varie classi di impiego (es. sistema di fertirrigazione, illuminazione, invasatura ecc.)

Ogni tipologia di dato è fornita in kg per i flussi di massa (prodotti fitosanitari, fertilizzanti, diserbanti, substrato, vasi, acqua) e in MJ per il consumo elettrico. I valori sono riportati a m², il vivaista partner ha fornito la densità di coltivazione (piante/ m²); quindi ogni dato è spesso in kg/m²/anno o in MJ/ m²/anno, dividendo per la densità otteniamo un valore riferito a pianta. L'analisi LCA prende in considerazione il trasporto dei vari input impiegati, quindi è stata considerata la provenienza e la modalità di movimentazione dei prodotti fitosanitari, fertilizzanti, diserbanti, substrati, vasi. La raccolta dati ha reso necessario la stesura di una scheda tecnica standard di raccolta dati.

I dati grezzi accumulati nel corso del progetto, sono stati successivamente elaborati utilizzando un software specifico, **GaBi 6** della Pe-International.

L'ultima fase del progetto ha visto la definizione degli obiettivi di miglioramento della gestione dei due cicli di produzione messi a confronto. A tal fine sono stati definiti per le diverse fasi del ciclo di produzione i seguenti scenari di miglioramento, scelti sulla base fattori di emissione che più pesano sul totale delle emissioni:

Ciclo di Talea:

- Scenario 0a = diesel
- Scenario 1a = sostituzione del diesel con biodiesel

Vaso 1.1 lt.:

- Scenario 0b = substrato 50% torba -50% pomice
- Scenario 1b = sostituzione del substrato di partenza con substrato 100%cocco

Vaso 9.5lt.:

- Scenario 0c = 50% torba - 40%pomice - 10% cocco (con vaso tradizionale)
- Scenario 1b = sostituzione substrato di partenza con substrato 100% cocco (con vaso tradizionale)
- Scenario 2 = substrato di partenza 50% torba -40% pomice -10% cocco - sostituzione vaso tradizionale con vaso termoformato

- Scenario 3 = sostituzione substrato tradizionale con substrato 100% cocco – con aggiunta della sostituzione del vaso tradizionale con vaso termoformato

Vaso 18, 25, 35 lt.:

- Scenario 0c = 50% torba-40%pomice- 10%cocco
- Scenario 1b = sostituzione substrato di partenza con substrato 100%cocco

Tali scenari di miglioramento sono stati confrontati con il costo di produzione (costi diretti) per pianta. Ciò al fine di valutare quindi, oltre al vantaggio ambientale, un eventuale vantaggio economico derivante dall'adozione di innovazioni tecniche apportate al processo di produzione.

7 – Il software Gabi 6

Gabi 6 è un software sviluppato dalla compagnia di consulenze tedesca “PE International”, in collaborazione con il dipartimento di ingegneria IKP dell’Università di Stoccarda. Il programma ha un interfaccia grafica intuitiva, che permette la rappresentazione del processo produttivo in corso di analisi costruendo una struttura organizzata su “piani”, costituiti da “processi” a loro volta uniti da “flussi”. Le elaborazioni di calcolo sono fatte sulla base di databases, contenenti i dati di bilancio del ciclo di vita ottenuti da studi svolti dalla PE International. Le banche dati contenute in Gabi 6 sono standardizzate alla norma ISO 14040, per questo sono da considerare come fonti ufficiali. Sulla base della tipologia del pacchetto acquisito sono disponibili differenti databases:

- PE/Gabi Lean database, è una banca dati ridotta, contiene 500 processes e 10 plans basati su dati provenienti dall’industria. Contiene estratti dal ELCD (European Life Cycle Database). Include dati provenienti da: Plastic Europe, Eurofer, European Aluminium Association e Worldsteel.
- PE/Gabi Professional database, è il database standard utilizzato per l’industria. Contiene 1050 processes e 17 plans. Contiene estratti dal ELCD (European Life Cycle Database). Include dati provenienti da: Plastic Europe, Eurofer, European Aluminium Association e Worldsteel.
- PE/Gabi Extensions database, sono 18 banche dati complementari che possono essere aggiunte o al Lean o al Professional database. In totale rappresentano 1250 processes e 94 plans. Il database “agricoltura” da noi utilizzato ne fa parte.
- Integrazione Ecoinvent, è un database indipendente rispetto a Gabi 6, ma può essere utilizzato come una estensione Gabi Professional database.

Alla base di ogni struttura in Gabi 6 ci sono 4 elementi essenziali per una LCA:

1. Flussi (“Flows”), sono usati per descrivere la massa, il costo o l’energia. Non forniscono nessuna informazione ambientale, rappresentano soltanto gli input e gli output dei “Processes”. Ogni flusso ha più “quantità” che lo caratterizzano, ovvero può essere costituito da componenti differenti, espresse anche da diverse unità di misura. L’operatore

dovrà scegliere la quantità di riferimento e l'unità di misura adatta al processo in analisi. Maggiore è il numero delle quantità che definiscono il flusso, maggiore è la sua flessibilità di applicazione. Ogni flusso ha una documentazione, ovvero una scheda a modello standard, nella quale sono riportate tutte le informazioni descrittive su di esso. In GaBi 6 sono presenti molti flussi, organizzati in una scala gerarchica che ne facilita la ricerca. Come esempio possiamo citare le quattro "elementary flow folders", che sono: *resources*, *emission to air*, *emission to water* e *emission to soil* (ognuna delle quali suddivisa in flussi specifici). In mancanza di un flusso che ben rappresenta una fase del processo in analisi, l'operatore può crearne uno nuovo sulla base della struttura pre-impostata in GaBi, per poi salvarlo nel database personale in cui sta operando.

2. Processi ("Processes"), rappresentano una determinata fase del processo produttivo, sono i "nodi" della rete di una LCA. Ogni processo ha una serie di input rappresentati dai flussi; in esso questi vengono quantificati, assemblati ed elaborati mediante le operazioni specifiche della fase in questione. Il risultato sono uno o più output. Ogni processo è collegato al successivo mediante un unico flusso, che sarà espresso da una singola unità di misura compatibile con l'intera struttura, ma che rappresenterà in maniera intrinseca il peso dell'intero processo. (Es. caso pratico "processo bottiglia di plastica senza tappo": come input avrà tot. Kg di PEHD (materia prima) + tot. Kwat/h di energia (per l'assemblaggio) e come output avrà "1 bottiglia di plastica" + emissioni in aria; l'output in uscita da questo processo sarà solo "1 bottiglia di plastica", ma si porterà dietro l'intero peso del suo processo di provenienza (emissioni in aria) e magari costituirà l'input di un processo successivo chiamato "bottiglia con tappo"). L'operatore per analizzare una fase semplice di processo, una materia prima composta, un elemento strutturale dovrà creare un processo specifico in cui:

- indica gli input necessari nelle quantità reali,
- imposta la loro interazione sotto forma di formule matematiche,
- seleziona l'output in uscita con la corretta unità di misura.

Nei database GaBi sono presenti molti processi già costruiti, essi sono di carattere sia generale (es. trasporto, consumo energetico ecc.), sia specifico (es. ghisa, nitrato d'ammonio, tubazione in PEHD ecc.). La disponibilità di precostituiti è fondamentale per la costruzione di una struttura LCA in GaBi, essi vanno a costituire le basi dei nuovi processi che l'operatore dovrà creare per poter rappresentare al meglio il processo produttivo in

analisi. Ogni “processo” precostituito ha una “documentazione”, strutturata in una scheda standard, in cui sono riportate tutte le informazioni utili a far capire cosa è preso in considerazione in esso. I processi precostituiti possono essere rigidi, o flessibili; nel primo caso ogni componente è fissa, l’operatore potrà prendere il pacchetto solo così come è, nel secondo caso ci sono dei parametri liberi (“free parameters”), essi danno la possibilità di cambiare alcune quantità in input del processo, che di fisso avrà solo le formule di calcolo, di conseguenza avrà un migliore adattamento al processo in analisi.

3. Piani (“Plans”), sono l’interfaccia grafica in cui viene creata la struttura. I processi vengono collegati da frecce che rappresentano i “flussi” di input e di output, formando un diagramma Sankey (massa, energia, quantità, costo ecc.). Quando una fase di processo è troppo complessa per essere sintetizzata in un unico processo, risulta opportuno creare un “plan” specifico per essa; questo prenderà la dicitura di “sub-plan”, potrà essere inserito nel diagramma di Sankey principale come se fosse un normale processo. GaBi offre la possibilità di personalizzare sia la parte grafica, sia il tipo di struttura di un “plan”, mediante funzioni che consentono di: scegliere l’unità di misura delle frecce (cioè del flusso del processo), scegliere i colori, scegliere se inserire i nomi dei flow di input/output, inserire commenti ecc.

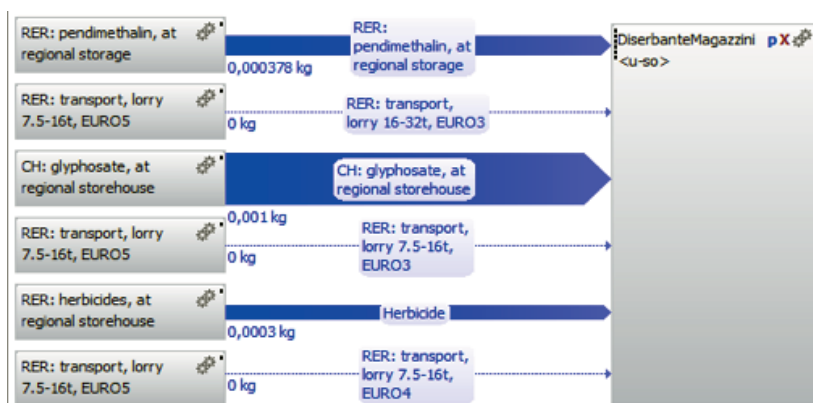


Figura 11: “piano” costituito da “processi” collegato da “flussi”

4. Bilancio (“Balance”), consiste in una lista che mostra tutti i flussi di input e di output presenti in un “plan”, riportandone anche il valore specifico totale. Le tavole di bilancio

riportano il Life Cycle Inventory e i risultati del Life Cycle Impact Assessment; sono disponibili svariate quantità, dalla massa in Kg al Global Warming Potential in Kg di CO₂ equivalente. Il LCI e il LCIA possono essere riportati in tabelle differenti, oppure aggregati insieme sottoforma di una tabella che ne fa direttamente un bilancio. I risultati ottenuti sono riportati di base a livello cumulato, ovvero dando il risultato dell'intero "plan", ma possono essere anche scorporati nei vari "processes"; questo è indispensabile per conoscere quali sono le fasi del processo preso in esame che veramente incidano sul risultato finale. GaBi offre la possibilità di creare grafici e diagrammi, i quali possono essere esportati, come le tabelle di bilancio, su software di uso comune (es. Excel). (Buscema,2009)

Quantità/Pond. CML2001 - Fluv. 2010, Global Warming Potential (GWP 100 years) ← Categoria impatto gestione input Valori assoluti Righe 2
 Unità/Norm. kg CO2-Equiv. non filtrato Colonne 1

LCA LCC LCWT

Input solo flussi elementari Separa tabelle IO Grafico

	TOT	H: glyphosate	RER: herbicides	RER: pendimethalin	RER: transport	RER: transport	RER: transport
Flows	0,008333	0,000261	5,27E-005	1,3E-005	6,99E-007	3,22E-006	2,41E-006
Resources	0,008333	0,000261	5,27E-005	1,3E-005	6,99E-007	3,22E-006	2,41E-006

Output Grafico

	TOT	Glifo.	Pen.	Oxa.	Tran.	Tran.	Tran.
Flows	0,0175	0,0102	0,00311	0,00215	0,000219	0,00101	0,000755
Resources	0,0175	0,0102	0,00311	0,00215	0,000219	0,00101	0,000755
Emissions to air	1,85E-007	8,84E-008	2,06E-008	1,26E-008	7,05E-009	3,25E-008	2,43E-008
Emissions to fresh water	7,26E-008	3,81E-008	8,93E-009	6,05E-009	2,15E-009	9,93E-009	7,41E-009
Emissions to sea water							

Figura 12: Esempio di "bilancio"

8 – Risultati e Discussione

8.1 – Emissioni

Le emissioni generate dai diversi input per le diverse fasi produttive sono riportate dalla tabella 1 alla 7. Entrando nel dettaglio, nella tabella 1 sono riportate le emissioni di GHG per la fase di riproduzione, ovvero di taleaggio. In questa categoria la voce “Diesel” è la più rilevante, con il 75,39% di emissioni sul totale (Fig.13), in quanto è il carburante impiegato per il riscaldamento delle serre. Fa seguito in ordine di grandezza la componente “Substrato” (10.65%), ovvero il materiale in cui le talee radicano e si sviluppano. Il materiale impiegato a tal scopo è la Torba, materiale organico da fonte non rinnovabile ed estrattiva, che è causa di elevate emissioni dovute al suo trasporto su gomma dai Paesi Baltici di provenienza. La terza voce è denominata “Portavaso” (10.27%), questa dicitura è riferita agli “alveoli” da 60 fori in cui sono ospitate le talee, i quali sono costituiti di materiale plastico originato da derivati del petrolio, quindi ad alte emissioni di CO₂. Gli altri input possono essere considerati come fonti secondarie di GHG, per lo più a causa della loro ridotta quantità di impiego durante il ciclo produttivo.

Tab.1 - Emissioni (kg CO₂ e.) nella fase di propagazione (talea)

Talea (360 piante/m ²)	Substrato	Nylon	Fitosanitari	Diesel	Portavaso	Fertilizzanti	Elettricità	Totale
kg CO ₂ e./m ²	2.26	0.610	0.002	16.000	2.180	0.013	0.159	21.224
kg CO ₂ e./pianta	0.0062778	0.001695	5.556E-06	0.044444	0.006056	3.611E-05	0.0004417	0.05896

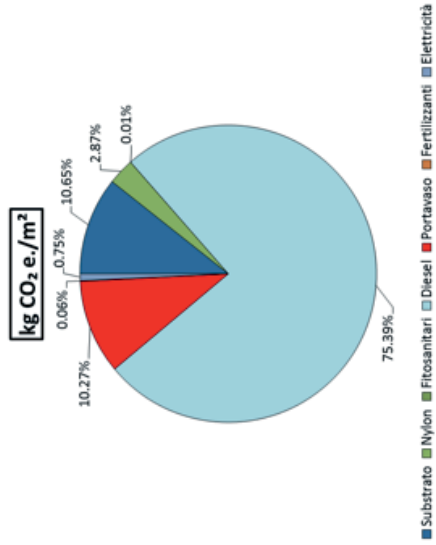


Figura 13: grafico emissioni medie (%) fase di riproduzione (talea)

Tab.2- Emissioni (kg CO₂ e.) nel vaso 1,1 lt.

Vaso 1.1 lt. (56 piante/m ²)	Substrato	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Vaso + portavaso	Fertilizzanti	Elettricità	Totale
Kg CO ₂ e./m ²								
Thuja smaragd emerald	3.0544	0.0093	0.0026	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1729
Eleagnus ebbingei	3.0544	0.0093		1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1702
Photinia red robin	3.0544	0.0093	0.0003	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1705
Cupressocypris leylandii	3.0544	0.0093	0.0026	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1728
Viburnum tinus	3.0544	0.0093	0.0050	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1752
Magnolia obovata purpurea	3.0544	0.0093	0.0008	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1710
Viburnum bodnantense	3.0544	0.0093	0.0003	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1705
Media/m²	3.0544	0.0093	0.0019	1.9576	2.5019	0.5280	1.1190	9.1719
Kg CO ₂ e./pianta								
Media/pianta	0.05454	0.00017	0.00003	0.03496	0.04468	0.00943	0.01998	0.16378

Nella tabella 2 sono riportate le emissioni per m² e per pianta coltivate nel vaso 1.1 lt., in questa fase caratterizzata da forte densità di impianto (56 piante/m²), la principale fonte di CO₂ è il substrato, in questo caso costituito per il 50% da pomice e il 50% da torba, seguito dai portavasi e dai vasi di materiale plastico. Con il 21.34% sul valore medio, la componente “diesel” è la terza fonte di emissioni, a differenza della fase di taleggio, in questo caso il carburante è utilizzato per alimentare i muletti di movimentazione e carico-scari-co piante. Le emissioni generate dal consumo energetico sono principalmente dovute al sistema di irrigazione a pioggia controllato da elettrovalvole. Il 5.76% di emissioni invece è generata dai fertilizzanti, in parte costituiti da un concime a lenta cessione, la cui quantità è in stretta relazione a quella del substrato (kg fertilizzanti/m³ di substrato); inoltre le piante sono nutrite con il supporto aggiuntivo della fertirrigazione, per supportare la loro forte spinta di crescita.

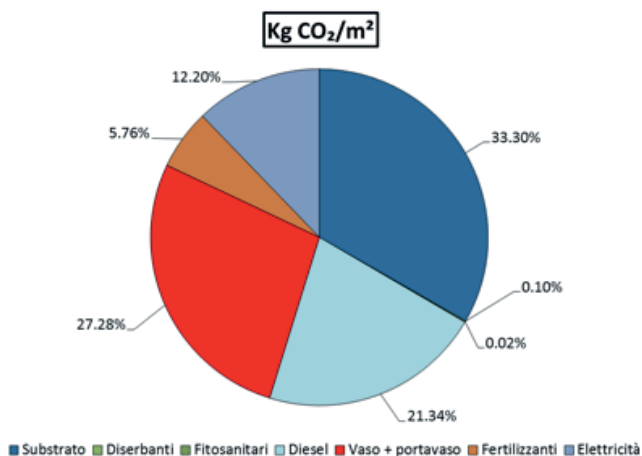


Figura 14: grafico emissioni medie (%) kg CO₂ e. vaso 1.1 lt.

Nelle tabelle 3 e 4 sono riportate le emissioni, rispettivamente per m² e per pianta, generate nella fase di coltivazione nel vaso di 9.5 lt. La minore densità (4 piante/m²) e il maggior litraggio dei vasi, fa sì che la prima fonte di GHG sia il vaso seguito dal substrato, che a differenza della precedente fase produttiva è costituito dal 50% di torba, 40% pomice, 10 % fibra di cocco. La componente fertilizzanti, con il 5.03% sul valore medio rappresenta la terza fonte di CO₂; in questo step produttivo, come nei seguenti (vasi più grossi) sono unicamente impiegati concimi a lenta cessione. La voce “diserbanti” inizia a essere conteggiata anche se risulta essere non molto rilevante (4.27% sul valore medio),

a differenza dei precedenti cicli in cui non vi era impiego. Gli altri input sono marginali considerando le loro emissioni al di sotto del 3 % sul totale del valore medio.

Tab.3 - Emissioni kg CO₂ e./ m² vaso 9.5 lt.

Vaso 9.5 lt CO ₂ /m ² (4 piante/m ²)	Substrato	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Vaso	Fertilizzanti	Elettricità	Totale
Thuja smaragd emerald	1.5720	0.1970	0.0025	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6135
Eleagnus ebbingei	1.5720	0.1970	0.0000	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6110
Photinia red robin VV	1.5720	0.1970	0.0030	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6140
Cupressocyparis leylandii	1.5720	0.1970	0.0020	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6130
Viburnum tinus	1.5720	0.1970	0.0046	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6156
Magnolia obovata purp.	1.5720	0.1970	0.0008	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6118
Viburnum bodnantense	1.5720	0.1970	0.0003	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6113
Media	1.5720	0.1970	0.0019	0.1390	2.3600	0.2320	0.1110	4.6129

Tab.4 - Emissioni kg CO₂ e./ pianta vaso 9.5 lt.

Vaso 9.5 lt CO ₂ /pianta (4 piante/m ²)	Substrato	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Vaso	Fertilizzanti	Elettricità	Totale
Thuja smaragd emerald	0.3930	0.0493	0.0006	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1534
Eleagnus ebbin-gei	0.3930	0.0493	0.0000	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1528
Photinia red robin VV	0.3930	0.0493	0.0008	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1535
Cupressocyparis leylandii	0.3930	0.0493	0.0005	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1533
Viburnum tinus	0.3930	0.0493	0.0011	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1539
Magnolia obovata purp.	0.3930	0.0493	0.0002	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1530
Viburnum bodnantense	0.3930	0.0493	0.0001	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1528
Media	0.3930	0.0493	0.0005	0.0348	0.5900	0.0580	0.0278	1.1532

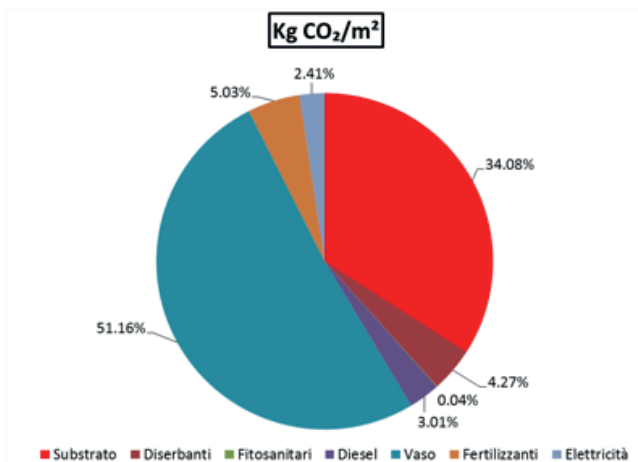


Figura 15: grafico emissioni medie (%) kg CO₂ e. vaso 9.5 lt.

Nella tabella 5 sono riportate le emissioni sia a m² sia per pianta dei 2 anni di coltivazione della Photinia red robin in piano campo, fase alternativa al passaggio nel vaso 9.5 lt.. Nel primo anno di allevamento a terra le componenti principali in ordine di grandezza sono il diesel, l'elettricità e i fertilizzanti. Da precisare comunque che l'emissione di GHG totale attribuita a questa fase produttiva è molto bassa 0.383 kg/pianta. Nel secondo anno di coltivazione la componente "packaging" è di gran lunga la preponderante, in questa categoria è considerata sia la rete plastica in cui viene protetta la chioma durante la fase di zollatura, sia la juta che racchiude il pane di terra per evitare danni all'apparato radicale in fase di preinvasatura.

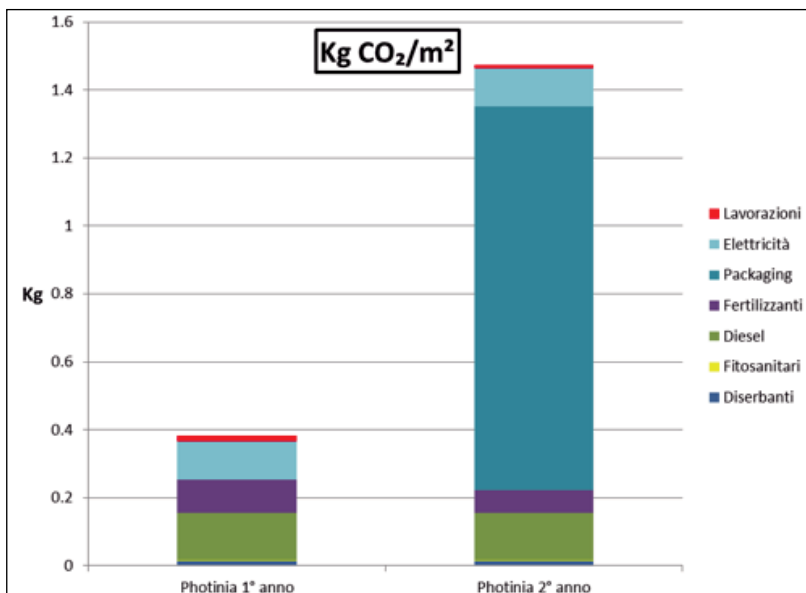


Figura 16: grafico emissioni kg CO₂ e. Photnia ciclo di pieno campo

Tab.5 - Emissioni kg CO₂ e. Photinia ciclo di pieno campo

Pleno campo	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Fertilizzanti	Packaging	Elettricità	Lavorazioni	Totale
CO ₂ /m ² (densità 2.6 piante/m ²)								
Photinia 1° anno	0.014	0.003	0.139	0.098	0	0.111	0.018	0.383
Photinia 2° anno	0.014	0.003	0.139	0.0666	1.13	0.111	0.009	1.4726
CO ₂ /pianta (densità 2.6 piante/m ²)								
Photinia 1° anno	0.005	0.001	0.053	0.038	0.000	0.043	0.007	0.147
Photinia 2° anno	0.005	0.001	0.053	0.026	0.435	0.043	0.003	0.566

Nelle tabelle 6 e 7 sono riportate le emissioni, rispettivamente per m² e per pianta, dell'ultimo step produttivo dei cicli di vaso (18lt., 25 lt., 35 lt.). Nonostante il litraggio diverso, i rapporti tra le componenti di emissioni hanno valori paragonabili: la prima fonte è il vaso (60.28% sul valore medio per il 18 lt. e 56.32% sul 25 lt.), la seconda è il substrato (18.83% per il 18 lt. e 25.91% per il 25 lt.). I dati riferiti alle due tipologie produttive nel 35 lt. rivelano che in questa ultima fase produttiva il valore totale di emissione è più elevato nel VW rispetto allo ZV, questo a causa di una lieve maggiore quantità di substrato e di conseguenza di concime a lenta cessione.

Tab.6 - Emissioni kg CO₂ e./ m² vaso 18 lt.-25 lt. - 35 lt.

CO ₂ /m ²	Substrato	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Vaso	Fertilizz.	Packaging	Elettricità	Totale
Vaso 18 lt (densità 1.7 piante/ m ²)									
Thuja smarag emerald	0.6686	0.1970	0.0025	0.1390	2.1400	0.1299	0.1630	0.1110	3.5510
Magnolia o bovata purp.	0.6686	0.1970	0.0008	0.1390	2.1400	0.1299	0.1630	0.1110	3.5493
Media 18 lt.	0.6686	0.1970	0.0016	0.1390	2.1400	0.1299	0.1630	0.1110	3.5501
Vaso 25 lt (densità 1.7 piante/ m ²)									
Eleagnus ebbingei	1.2567	0.1970	0.0000	0.1390	2.9300	0.1585	0.3280	0.1110	5.1202
Cupressocyparis leylandii	1.2567	0.1970	0.0020	0.1390	2.9300	0.1585	0.3280	0.1110	5.1222
Viburnum tinus	1.2567	0.1970	0.0046	0.1390	2.2200	0.1585	0.1630	0.1110	4.2498
Viburnum bodnantense	1.2567	0.1970	0.0003	0.1390	2.9300	0.1585	0.1630	0.1110	4.9555
Media 25 lt.	1.2567	0.1970	0.0017	0.1390	2.7525	0.1585	0.2455	0.1110	4.8619
Vaso 35 lt (densità 1.4 piante/ m ²)									
Photinia red robin ZV	1.0681	0.1970	0.0030	0.1390	3.5000	0.1607	0.2510	0.1110	5.4298
Photinia red robin VV	1.1788	0.1970	0.0030	0.1390	3.5000	0.4980	0.2510	0.1110	5.8778
Media 35 lt.	1.1235	0.1970	0.0030	0.1390	3.5000	0.3294	0.2510	0.1110	5.6538

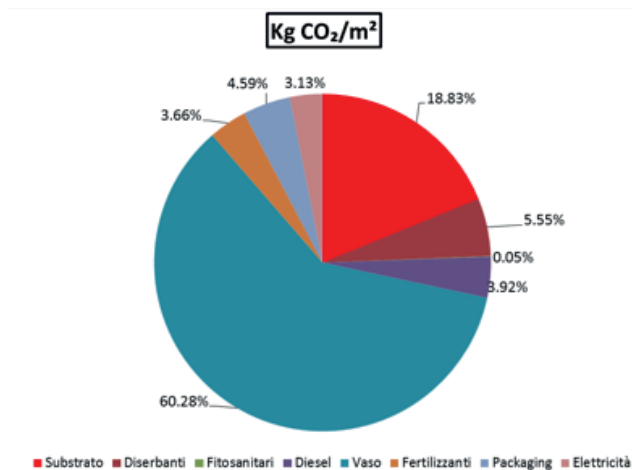


Figura 17: grafico emissioni medie (%) kg CO₂ e. vaso 18 lt.

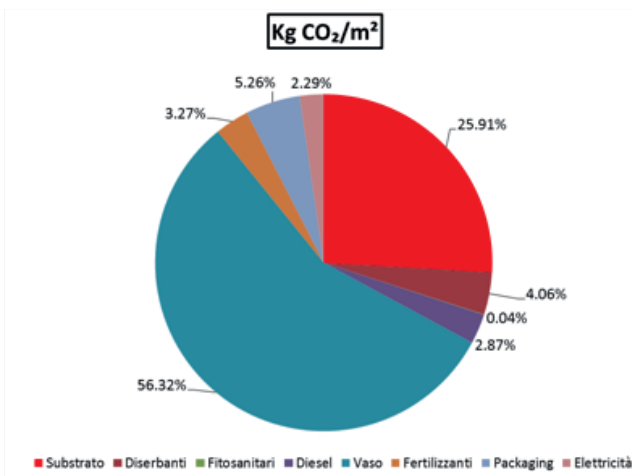


Figura 18: grafico emissioni medie (%) kg CO₂ e. vaso 25

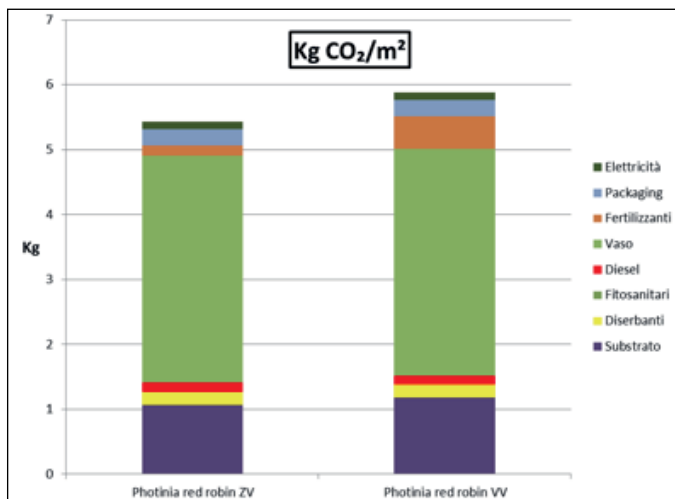


Figura 19: grafico emissioni kg CO₂ e./m² vaso 35 lt.

Tab.7 - Emissioni kg CO₂ e./ pianta vaso 18 lt.-25 lt. - 35 lt.

CO ₂ /pianta	Substrato	Diserbanti	Fitosanitari	Diesel	Vaso	Fertilizz.	Packaging	Elettricità	Totale
Vaso 18 lt (densità 1.7 piante/ m ²)									
Thuja smarag emerald	0.3933	0.1159	0.0015	0.0818	1.2588	0.0764	0.0959	0.0653	2.0888
Magnolia obovata purp.	0.3933	0.1159	0.0005	0.0818	1.2588	0.0764	0.0959	0.0653	2.0878
Media 18 lt.	0.3933	0.1159	0.0010	0.0818	1.2588	0.0764	0.0959	0.0653	2.0883
Vaso 25 lt (densità 1.7 piante/ m ²)									
Eleagnus ebbingei	0.7392	0.1159	0.0000	0.0818	1.7235	0.0932	0.1929	0.0653	3.0119
Cupressocyparis leylandii	0.7392	0.1159	0.0012	0.0818	1.7235	0.0932	0.1929	0.0653	3.0131
Viburnum tinus	0.7392	0.1159	0.0027	0.0818	1.3059	0.0932	0.0959	0.0653	2.4999
Viburnum bodnantense	1.2567	0.1970	0.0003	0.1390	2.9300	0.1585	0.1630	0.1110	4.9555
Media 25 lt.	0.8686	0.1362	0.0010	0.0961	1.9207	0.1096	0.1612	0.0767	3.3701
Vaso 35 lt (densità 1.4 piante/ m ²)									
Photinia red robin ZV	0.7629	0.1407	0.0021	0.0993	2.5000	0.1148	0.1793	0.0793	3.8784
Photinia red robin VV	0.8420	0.1407	0.0021	0.0993	2.5000	0.3557	0.1793	0.0793	4.1984
Media 35 lt.	0.8025	0.1407	0.0021	0.0993	2.5000	0.2353	0.1793	0.0793	4.0384

Osservando nel dettaglio i due cicli di produzione della Photinia nel loro insieme (tabella 8 e 9), possibile notare un'emissione totale più alta nel ciclo VV rispetto allo ZV. Questa differenza è causata dal fatto che la somma delle emissioni dei due anni di coltivazione in pieno campo è inferiore all'emissione generata dall'anno di coltivazione nel vaso 9.5 lt. Inoltre lo step produttivo rappresentante la maggiore fonte di GHG è l'ultimo, quello attuato nel vaso del 35 lt.

Tab.8 - Emissioni kg CO₂ e./pianta Photinia VV

	Fase di riproduzione	vaso 1.1 lt.	vaso 9.5 lt.	vaso 35 lt. VV	totale coltivazione
Substrato	0.00628	0.05454	0.39300	0.84200	1.29582
Nylon	0.00169				0.00169
Diserbanti		0.00017	0.04925	0.14071	0.19013
Fitosanitari	0.00001	0.00001	0.00075	0.00214	0.00290
Diesel	0.04444	0.03496	0.03496	0.09929	0.21364
Vaso	0.00606	0.04468	0.59000	2.50000	3.14073
Fertilizzanti	0.00004	0.00943	0.05800	0.35571	0.42318
Elettricità	0.00044	0.01998	0.02775	0.07929	0.12746
Packaging				0.17929	0.17929
Totale input	0.05896	0.16376	1.15371	4.19843	5.57485

Tab.9 - Emissioni kg CO₂ e./pianta Photinia ZV

	Fase di riprod.	vaso 1.1 lt.	1°anno di zolla	2°anno di zolla	vaso 35 lt. ZV	totale
Substrato	0.00628	0.05454			0.76293	0.82375
Nylon	0.00169					0.00169
Diserbanti		0.00017	0.00538	0.00538	0.14071	0.15165
Fitosanitari	0.00001	0.00001	0.00115	0.00115	0.00214	0.00446
Diesel	0.04444	0.03496	0.05346	0.05346	0.09929	0.28561
Vaso	0.00606	0.04468			2.50000	2.55073
Fertilizz.	0.00004	0.00943	0.03769	0.02562	0.11479	0.18756
Elettricità	0.00044	0.01998	0.04269	0.04269	0.07929	0.18509
Packaging				0.43462	0.17929	0.61390
Lavorazioni			0.00692	0.00346		0.01038
Totale input	0.05896	0.16376	0.14731	0.56638	3.87843	4.81484

8.2 – Accumulo

Nelle tabelle 10 e 14 è riportato l'accumulo di carbonio nella chioma, nelle radici e totale (grammi di CO₂/pianta) per la fase di riproduzione (talea), vaso 1.1 lt., vaso 9.5 lt, ciclo I e II di pieno campo e vaso 18 lt. 25 lt. 35 lt., delle diverse specie studiate.

Per quanto riguarda la fase di talea la specie che ha mostrato il maggior incremento di crescita è risultata la Photinia con un valore di CO₂ accumulata di 15.4 grammi/pianta, nettamente più alto rispetto a quello delle altre specie, dovuto alla chioma (tabella 10).

Per il vaso 1.1 lt. invece tranne le specie Magnolia obovata purpurea e la Thuja smaragd emerald, per le altre specie si è osservato un accumulo simile oltre i 39 grammi/pianta. Nel ciclo 9.5 lt. si è osservato che tranne le specie Viburnum bodnantense, Cupressocyparis leylandii e Magnolia obovata purpurea, l'accumulo di CO₂ rilevato è oltre 1000 grammi/pianta, fino a 1348 grammi/pianta per la Thuja smaragd emerald.

Nei due cicli di pieno campo si rileva un accumulo di carbonio superiore al ciclo di vaso

9.5 lt. di 1979.4 grammi/pianta rispetto a 1041.3 (tabella 12 e 13). Tale accumulo risulta maggiore anche di quello osservato per la Thuja smaragd emerald nel vaso 18 lt., il Viburnum tinus e Eleagnus ebbingei nel vaso del 25 lt. Per il Cupressocyparis leylandii allevato nel vaso del 25 lt. e la Photinia red robin VV e ZV si è invece osservato un accumulo maggiore oltre i 3700 grammi/pianta (tabella 14).

Tab.10 – Accumulo di CO₂ /pianta in fase di riproduzione (talea)

Grammi CO ₂ stoccata/pianta	Peso secco (g)	PS/PF	CO ₂ chioma	CO ₂ radici	CO ₂ totale
Thuja smaragd emerald	1.1				2.0
Viburnum tinus	1.7	0.4	2.6	0.6	3.2
Viburnum bodnantense	1.6				3.0
Cupressocyparis leylandii	3.5	0.3	5.1	1.2	6.3
Magnolia obovata purpurea	0.9	0.2	1.2	0.4	1.6
Photinia red robin	8.4	0.4	11.4	4.0	15.4
Eleagnus ebbingei	3.6	0.4	5.4	1.2	6.6

(in rosso sono riportati valori stimati)

Tab.11 – Accumulo di CO₂ stoccata/pianta vaso 1.1 lt.

Grammi CO ₂ stoccata/pianta	Peso secco (g)	PS/PF	CO ₂ chioma	CO ₂ radici	CO ₂ totale
Thuja smaragd emerald	10.9				20.0
Viburnum tinus	21.4	0.3	25.5	13.6	39.1
Viburnum bodnantense	21.3				39.0
Cupressocyparis leylandii	25.7	0.3	38.8	8.2	47.0
Magnolia obovata purpurea	9.1	0.2	9.6	7.0	16.6
Photinia red robin	25.0	0.4	35.6	10.2	45.8
Eleagnus ebbingei	24.9	0.4	33.8	11.8	45.5

(in rosso sono riportati valori stimati)

Tab.12 – Accumulo di CO₂ stoccata/pianta vaso 9.5 lt.

Grammi CO ₂ stoccata/pianta	Peso secco (g)	PS/PF	CO ₂ chioma	CO ₂ radici	CO ₂ totale
Thuja smaragd emerald	736.8	0.3	717.1	631.2	1348.3
Viburnum tinus	671.5	0.4	626.2	602.6	1228.8
Viburnum bodnantense	332.9	0.3	219.6	389.6	609.1
Cupressocyparis leylandii	388.1	0.3	478.3	231.9	710.3
Magnolia obovata purpurea	263.1	0.3	278.9	202.6	481.5
Photinia red robin	569.0	0.4	700.0	341.4	1041.3
Eleagnus ebbingei	692.1	0.4	794.8	471.7	1266.5

Tab.13 – Accumulo di CO₂ /pianta Photinia nel ciclo di zolla

Grammi CO ₂ stoccata/pianta	Peso secco (g)	PS/PF	CO ₂ chioma	CO ₂ radici	CO ₂ totale
Photinia red robin 1°anno di zolla	240.1	0.5	369.9	69.6	439.5
Photinia red robin 2°anno di zolla	1081.7	0.6	1511.4	468.0	1979.4

Tab.14 – Accumulo di CO₂ stoccata/pianta vaso 18 lt. 25 lt. 35 lt.

Grammi CO ₂ stoccata/pianta	Peso secco (g)	PS/PF	CO ₂ chiom.	CO ₂ radici	CO ₂ totale
Vaso 18 lt					
Thuja smaragd emerald	935.6	0.4	1261.7	450.3	1712.1
Magnolia obovata purpurea	514.0	0.3	461.8	478.8	940.6
Vaso 25 lt					
Viburnum tinus	756.1	0.5	973.9	409.7	1383.7
Viburnum bodnantense	831.4	0.4	668.5	852.9	1521.4
Cupressocyparis leylandii	2088.9	0.5	3266.7	555.9	3822.6
Eleagnus ebbingei	990.8	0.4	1383.3	430.0	1813.2
Vaso 35 lt					
Photinia red robin VV	2060.6	0.5	2541.7	1229.2	3770.9
Photinia red robin ZV	2455.6	0.6	3024.4	1469.3	4493.7

8.3 – Bilancio di Carbonio

Nella tabella 15 sono riportati i bilanci di carbonio dei diversi step produttivi delle varie specie. Sia per il taleggio che per il vaso di 1.1 lt. il saldo è negativo e omogeneo nelle diverse specie; i valori vanno rispettivamente da - 52 g di CO₂ nell'Eleagnus a - 57 g nella Thuja e nella Magnolia nella fase di riproduzione, e da - 176 g di CO₂ nel Cupressocyparis -206 nella Magnolia nella fase successiva. I risultati hanno questa dinamica perché lo stoccaggio ancora è molto basso e omogeneo (piante molto piccole con poca biomassa), come del resto lo sono le emissioni (nella tabella con valori uguali per stadio produttiva a causa dell'arrotondamento decimale della cifra).

A partire dal vaso 9.5 lt. i dati risultano più vari a causa del differente tasso di accrescimento delle diverse specie, in quanto le emissioni risultano pressoché identiche. In questo stadio di accrescimento andiamo da un bilancio di C quasi paritario nella Thuja (- 28 g di CO₂) ad uno di - 895 g nella Magnolia.

Nell'ultimo step produttivo, tralasciando i vasi 35 lt. (i quali hanno una spiegazione dettagliata in seguito), la migliore performance la abbiamo nel Cupressocyparis (-566 g di CO₂) nonostante si trovi in un vaso del 25 lt, mentre il peggior dato lo notiamo per il Viburnum bodnantense con - 2770 g. I vasi del 18 lt. causano le minor emissioni in questa categoria, ma non presentano le migliori performance a livello di bilancio, questo sta ad indicare l'importanza del tasso di accrescimento delle specie considerate.

Tab.15 – Bilancio di C cicli produttivi in vaso (in rosso sono riportati valori stimati)

Grammi/ pianta	Thuja smaragd emerald	Magnolia obovata purpurea	Viburnum tinus	Viburnum bodnantense	Cupressocyparis leylandii	Eleagnus ebbingei
Talea						
CO ₂ stoccata	2	2	3	3	6	7
CO ₂ emessa	59	59	59	59	59	59
C balance	-57	-57	-56	-56	-53	-52
Vaso 1.1 lt.						
CO ₂ stoccata	20	17	39	39	47	45
CO ₂ emessa	223	223	223	223	223	223
C balance	-203	-206	-184	-184	-176	-178
Vaso 9.5 lt.						
CO ₂ stoccata	1348	481	1229	609	710	1266
CO ₂ emessa	1376	1376	1377	1376	1376	1376
C balance	-28	-895	-148	-767	-666	-110
Vaso 18 lt. - 25 lt.						
CO ₂ stoccata	1712	941	1384	1521	3823	1813
CO ₂ emessa	3465	3464	3877	4291	4389	4388
C balance	-1753	-2523	-2493	-2770	-566	-2575

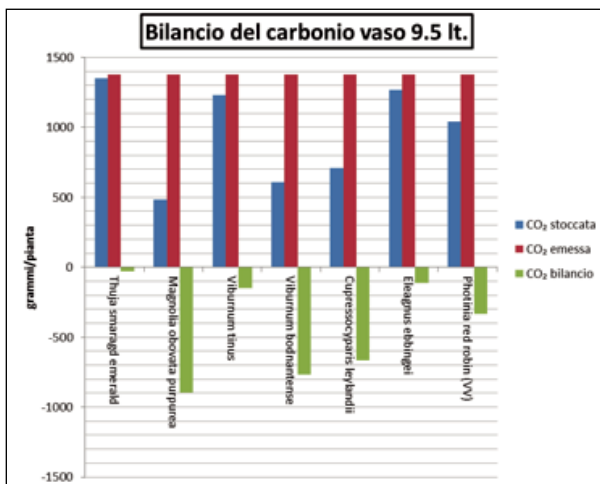


Figura 20: grafico bilancio CO₂ vaso 9.5 lt.

Confrontando i dati riportati nelle tabelle 16 e 17, rispettivamente per il ciclo completo della Photinia VV e ZV, è possibile notare che in termini di bilancio il secondo presenta il dato sul prodotto finito migliore (-619 g di CO₂) rispetto al primo (-2126 g di CO₂). Questo risultato è spiegabile attraverso la performance di bilancio dei due anni di coltivazione a terra nella Photnia ZV, che addirittura sono positivi (+ 69 g di CO₂ nel primo anno di zolla e + 1043 g nel secondo).

Tab.16 – Bilancio del C ciclo produttivo photinia in vaso

grammi/pianta	Talea	Vaso 1.1 lt.	Vaso 9.5 lt.	Vaso 35 lt.
CO ₂ stoccata	15	46	1041	3771
CO ₂ emessa	59	223	1376	5897
C balance	-44	-177	-335	-2126

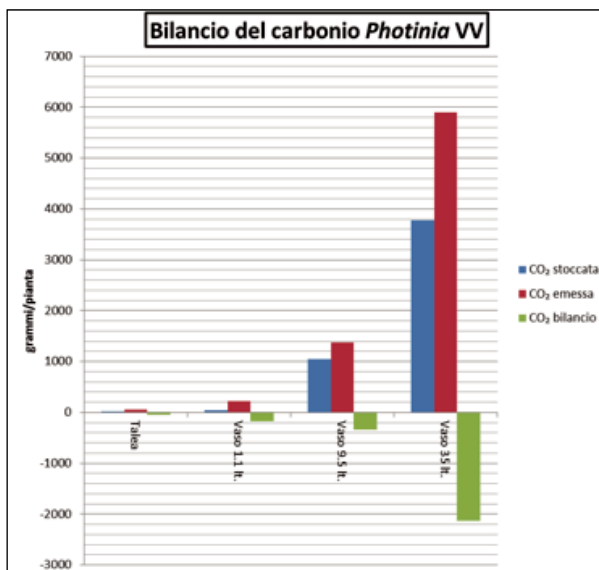


Figura 21: grafico bilancio CO₂ ciclo completo vaso-vaso Photinia

Tab.17 – Bilancio del C ciclo produttivo Photinia zolla-vaso

grammi/pianta	Talea	Vaso 1.1 lt.	1°anno zolla	2°anno zolla	Vaso 35 lt.
CO ₂ stoccata	15	46	439	1979	4494
CO ₂ emessa	59	223	370	936	5113
C balance	-44	-177	69	1043	-619

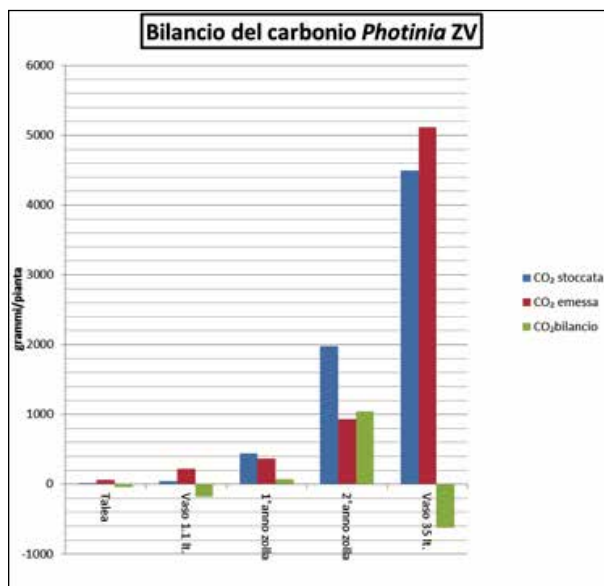


Figura 22: Grafico bilancio CO₂ ciclo completo zolla-vaso Photinia

8.4 – Scenari di miglioramento

Lo scenario di miglioramento proposto per il ciclo di propagazione mostra un miglioramento del 7.45% nelle emissioni in tabella 18, il quale però comporta un aumento del costo di produzione della talea del 7.34%. Il cambiamento di substrato proposto nel miglioramento del vaso 1.1 lt., comporta un miglioramento del 20.4% in termini di emissioni (tabella 19), e una variazione del prezzo pressoché nulla.

Tab.18 – Scenario di miglioramento fase di riproduzione (talea)

talea Photinia	Scenario 0a	Scenario 1a	% miglioramento scenario 1a
kg CO ₂ /pianta	0.06	0.05	7.45
euro/pianta	0.06	0.07	-7.34

(Scenario 0a = diesel; Scenario 1a = biodiesel)

Tab.19 – Scenario di miglioramento Photinia vaso 1.1 lt.

Photinia vaso 1.1 lt.	scenario 0b	scenario 1b	% miglioramento scenario 1b
kg CO ₂ /pianta	0.16	0.13	20.40
euro/pianta	0.30	0.30	0.74

(Scenario 0b = 50% torba -50% pomice; Scenario 1b = substrato 100%cocco)

Sia l'utilizzo di un vaso più leggero (scenario 2), sia l'adozione di un substrato 100% cocco (scenario 1), comportano miglioramento delle emissioni in un ordine di circa il 20% (tabella 20), mantenendo invariato il costo di produzione (migliorandolo addirittura di qualche centesimo). Adottando 2 miglioramenti (scenario 3) l'imprenditore abbatterebbe le emissioni di circa il 40% con un leggero risparmio sul prodotto.

Tab.20 – Scenario di miglioramento Photinia vaso 9.5 lt.

Photinia vaso 9.5 lt.	Scenario 0c	Scenario 1b	Scenario 2	Scenario 3	% miglioramento scenario 1b	% miglioramento scenario 2	% miglioramento scenario 3
kg CO ₂ /pianta	1.15	0.93	0.92	0.69	19.56	20.49	40.05
euro/pianta	1.21	1.19	1.17	1.16	1.26	2.85	4.12

(Scenario 0c = 50% torba-40%pomicc- 10%cocco (vaso tradizionale); Scenario 1b = substrato 100% cocco (vaso tradizionale); Scenario 2= 50% torba - 40%pomicc - 10% cocco-vaso termofornato; Scenario 3 = substrato 100%cocco- vaso termofornato)

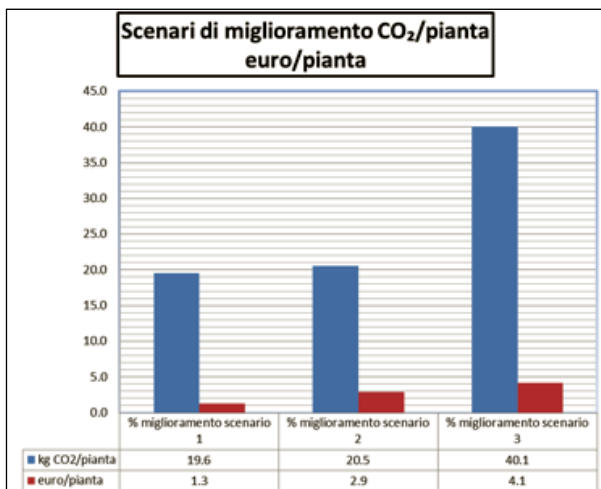


Figura 23: grafico scenari di miglioramento vaso 9.5 lt.

Lo scenario di miglioramento proposto per le piante all'ultimo stadio produttivo comporta miglioramenti nelle emissioni nell'ordine dal 10.86% nel vaso 18 lt. al 17.61% nel 25 lt.. Non ci sono particolari differenze tra 35lt VV e ZV, entrambi presentano una diminuzione di emissioni di circa l'11 %. In tutti i casi lo scenario di miglioramento abbassa di qualche centesimo il costo di produzione.

Tab.21 – Scenario di miglioramento vaso 18 lt.- 25 lt.-35lt.

Magnolia obovata purpurea vaso 18 lt.	Scenario 0c	Scenario 1b	% miglioramento scenario 1
kg CO ₂ /pianta	2.09	1.86	10.86
euro/pianta	1.65	1.63	0.91
Viburnum tinus vaso 25 lt.	Scenario 0c	Scenario 1b	% miglioramento scenario 1
kg CO ₂ /pianta	2.50	2.06	17.61
euro/pianta	2.58	2.55	1.10
Photinia red robin VV vaso 35 lt.	Scenario 0c	Scenario 1b	% miglioramento scenario 1
kg CO ₂ /pianta	4.29	3.80	11.50
euro/pianta	3.61	3.58	0.92
Photinia red robin ZV vaso 35 lt.	Scenario 0c	Scenario 1b	% miglioramento scenario 1
kg CO ₂ /pianta	3.96	3.52	11.29
Euro/pianta	3.46	3.43	0.87

(Scenario 0c= 50% torba- 40%pomice- 10%cocco; Scenario 1b = substrato 100% cocco)

Nelle tabelle 22 e 23, è possibile notare la % di miglioramento in termini di emissioni e economici delle linee produttive complete rispettivamente della Photinia VV e ZV. In entrambi i casi gli scenari di miglioramento lasciano pressoché invariato il costo di produzione totale, che si abbassa dell'1.56% nel caso della Photinia VV e dello 0.62% nella ZV. Le performance ambientali migliorano considerevolmente nel ciclo produttivo eseguito tutto in vaso (-17.53% di emissioni di Kg CO₂ e.); mentre nel caso della linea ZV, non avendo proposto miglioramenti particolari per i due anni eseguiti a terra (con già basse emissioni) otteniamo un miglioramento del 9.9% sul totale, minore quindi del precedente ma di entità tale da poter essere adottabile ai fini dell'ottenimento di un prodotto con una migliore performance ambientale.

Sarebbe interessante accostare i dati di emissione ottenuti nei cicli produttivi completi sottoposti a miglioramenti al carbonio stoccato medio di piante coltivate in tal modo. Probabilmente i migliori risultati si avrebbero per il ciclo ZV, il quale avendo il bilancio di carbonio migliore rispetto al VV (-619 g di CO₂ il primo, -2126 g di CO₂ il secondo), potrebbe avvicinarsi ulteriormente al punto di pareggio.

Tab.22– Scenario di miglioramento linea produttiva completa Photinia VV

Ciclo completo Photinia VV	talea	1.1 lt.	9.5 lt.	35 lt.	Totale
	Scenario 0a	Scenario 0b	Scenario 0c		
kg CO ₂ /pianta	0.06	0.16	1.15	4.29	5.67
euro/pianta	0.06	0.30	1.21	3.61	5.18
	Scenario 1a	Scenario 1 b	Scenario 3	Scenario 1b	
kg CO ₂ /pianta	0.05	0.13	0.69	3.80	4.67
euro/pianta	0.07	0.30	1.16	3.58	5.10
% miglioramento kg CO ₂ /pianta	7.45	20.40	40.05	11.50	17.53
% miglioramento euro/pianta	-7.34	0.74	4.12	0.92	1.56

Tab.23 – Scenario di miglioramento linea produttiva completa Photinia VV

Ciclo completo photinia ZV	talea	1.1 lt.	1° anno di zolla	2° anno di zolla	35 lt.	totale
	Scenario 0a	Scenario 0b	Scenario 0a		Scenario 0c	
kg CO ₂ /pianta	0.06	0.16	0.15	0.57	3.96	4.90
euro/pianta	0.06	0.30	0.15	0.53	3.46	4.50
	Scenario 1a	Scenario 1b	Scenario 0a	Scenario 0a	Scenario 1b	
kg CO ₂ /pianta	0.05	0.13	0.15	0.57	3.52	4.41
euro/pianta	0.07	0.30	0.15	0.53	3.43	4.48
% miglioramento kg CO ₂ /pianta	7.45	20.40	-	-	11.29	9.90
% miglioramento euro/pianta	-7.34	0.74	-	-	0.87	0.62

8.5 – Discussione

I risultati ottenuti dalla fase sperimentale del progetto Certy-Viv sono paragonabili, in linea generale, alle ricerche condotte sia a livello nazionale sia internazionale sull'applicazione di LCA al vivaismo. Entrando nello spedico, le emissioni riscontrate nella fase di propagazione per taleaggio, sono per lo più causate dall'utilizzo di gasolio come combustibile per il riscaldamento della serra. Dinamiche simili sono state riscontrate nella floricoltura protetta (Russo e Mugnozza 2005; Russo et al. 2008 a, b; Russo e De Lucia Zeller 2008), che per molti aspetti è assimilabile alla fase del processo produttivo vivaistico sopra citato e preso in esame. Il miglioramento proposto in questo caso, è quello di impiegare biodiesel in sostituzione del diesel convenzionale; e questo nonostante che il primo presenti un potere calorifico minore rispetto al secondo, con il conseguente maggior impiego richiesto per l'ottenimento della stessa energia termica, e un costo leggermente superiore. Il miglioramento proposto deve essere correlato dalla precisazione che il nuovo carburante richiederebbe una caldaia specifica e una attenta analisi sulla sua reperibilità a livello di distretto. Per quanto riguarda i cicli in vaso le dinamiche legate alle emissioni sono le stesse rilevate in studi precedenti; le maggiori fonti di GHG sono i vasi e i substrati, i primi a causa del materiale plastico di composizione, i secondi principalmente a causa dell'alto contenuto % di torba, la quale viene importata su gomma dai Paesi Baltici di estrazione. Nelle vasetterie molto piccole in genere le emissioni/m² sono principalmente causate dai vasi, mentre in vasetterie a maggior litraggio dal substrato (Lazzerini et al, 2014); dinamica confermata dai risultati ottenuti nello step produttivo vaso 1.1 lt. rispetto ai litraggi maggiori (9.5-18-25-35 lt.) e spiegabile da una maggiore densità di impianto e del rapporto kg vaso/kg substrato delle prime rispetto le seconde. Il miglioramento proposto in questa categoria è l'impiego di vasi termoformati rispetto ai tradizionali, che essendo più leggeri a parità di litraggio sono minor causa di emissioni. Il problema è che tale tecnica industriale non consente l'ottenimento di vasi di litraggi superiori ai 10-12 lt., quindi lo scenario di miglioramento non è applicabile alle grosse vasetterie, per le quali però potremmo ipotizzare vasi ottenuti da plastiche riciclate, di origine organica (da mais, cocco, bucce di pomodoro) o air-pot (in caso di alberature o arbusti esemplarica). I risultati mostrano che la torba è la componente causa delle maggiori emissioni di GHG presa in considerazione dall'analisi, realtà confermata da lavori condotti nel vivaismo Pugliese (De Lucia et al., 2008; Russo et al., 2011, 2013 a, b) che hanno messo a confronto di LCA substrati torbosi con alcuni "peat-free" (i primi con peggiori performance dei secondi); e da lavori americani (Kendall and McPherson, 2011; Ingram, 2012,

2013) i quali ottengono risultati assoluti simili a quelli ottenuti dalla presente ricerca per categorie produttive assimilabili, ma causate in seconda parte dai substrati che in effetti non sono costituiti da torba ma da materiali di recupero. Il miglioramento proposto è la sostituzione della torba con materiali provenienti dalla lavorazione del cocco, quali fibra, mallo e chips. Tale sostituzione è nella pratica possibile, negli ultimi anni sempre più vivai pistoiesi stanno affrontando questo cambiamento, che evidentemente non comporta particolari problematiche tecniche ed economiche (l'attuale picco di domanda di cocco ne sta abbassando il prezzo). Come confermato in lavori precedenti (Nicese e Lazzerini, 2013; Lazzerini et al, 2014), il vivaismo di zolla è considerabile a basse emissioni di GHG, in questa categoria le emissioni sono principalmente causate dal Packaging, ma dato l'effettivo basso risultato del prodotto finito non sono state presentati scenari di miglioramento per questa categoria.

I risultati ottenuti dall'analisi della biomassa mostrano che ci sono specie che a partita di anni di coltivazione, riescono ad accumulare maggiori quantità di CO₂. Buoni risultati in tal senso sono stati presentati dalla Thuja, dal Cupressocyparis, dall'Eleagnous e dalla Photinia. Sulle stesse dinamiche di riflessione i dati dei bilanci di Carbonio, permettono di capire che piante con maggior accrescimento, richiedenti minori input di coltivazione (in particolare vasi di litraggio inferiore a parità di età e di biomassa), possono essere le candidate alla progettazione di nuove linee produttive (rispondenti agli scenari di miglioramento proposti) allo scopo del raggiungimento del punto di pareggio del bilancio.

9 – Conclusioni

Il progetto ha consentito di effettuare una analisi approfondita, in chiave ambientale, della particolare struttura che caratterizza una moderna filiera vivaistica ornamentale, quale è quella pistoiese. I vari elementi caratterizzanti tale filiera sono stati presi in considerazione con un elevato dettaglio, cosa che ha portato alla definizione di un quadro particolarmente preciso e puntuale dei vari processi e fattori produttivi, dei quali è stato possibile identificare il livello di emissioni di CO₂. Parallelamente, una serie di osservazioni sull'accumulo di C da parte delle piante legnose in crescita nei vivai oggetto della sperimentazione ha consentito definire la componente positiva del "bilancio ambientale" che era, in ultima analisi, l'obiettivo principale del progetto. Non meno interessanti sono risultati i vari "scenari di miglioramento" che, a partire dai dati reali rilevati, ha consentito di delineare e quantificare i possibili miglioramenti delle performance ambientali che la sostituzione di un fattore produttivo con un altro potrebbero determinare.

E' evidente che i risultati di questo progetto, per quanto interessanti ed esaustivi, non possono essere considerati un punto di arrivo nello studio delle problematiche ambientali legate al mondo della produzione vivaistica ornamentale, ma piuttosto un primo, rilevante contributo, alla definizione di un insieme di conoscenze che dovrebbero consentire un salto di qualità nella gestione ambientale di una azienda vivaistica.

Bibliografia

- Baldo G.L., Mariono M., Rossi S., 2008. Analisi del ciclo di vita LCA. Manuali di progettazione sostenibile, Edizioni Ambiente.
- Casey J.W. and Holden N.M., 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* 86, 97–114.
- Cederberg C. and Mattsson B., 2000. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8, 49–60.
- Cisi M., 2003. Il bilancio ambientale. G. Giappichelli.
- De Boer I.J.M., 2003. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production. *Livestock Production Science* 80, 69–77.
- De Lucia, B., Vecchietti, L., Ventrelli, A., Rea, E., Pierandrei, F., Delicato, M.A., 2008. Greenhouse growth of *Euphorbia* × *Lomi Rauh* in peat-reduced and peat-free substrates prepared with different composted wastes. *Acta Hort.* 801, 1105-1112.
- De Lucia, B., Cristiano, G., Vecchietti, L., Rea, E., Russo, G., 2013a. Nursery Growing Media: Agronomic and Environmental Quality Assessment of Sewage Sludge-Based Compost. *Applied and Environmental Soil Science Article ID 565139*, 10 pages.
- De Lucia, B., Vecchietti, L., Rinaldi, S., Rivera, C.M., Trinchera, A., Rea, E., 2013b. Effect of Peat-Reduced and Peat-Free Substrates on Rosemary Growth. *Journal of Plant Nutrition* 36, 863-876.
- Eide M.H., 1999. Life Cycle Assessment (LCA) of Industrial Milk Production. TINE Norwegian Dairies, Centre of Research and Development.
- Flessa H., Ruser R., Dörsch P., Kamp T., Jimenez M.A., Munch J.C., Beese F., 2002. Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91, 175–189.
- Ferretti R., 2009. Coltivazione in contenitore Tecnica, gestione organizzativa e commerciale. *LineaVerde* 2009.
- Ferrini F., Nicese F.P. - Vivaio a basso impatto ambientale: prospettive nel vivaismo ornamentale, 2003 – *Italus Hortus*, atti delle giornate tecniche SOI “L’innovazione nel vivaismo orto- floro- frutticolo”. Pagg. 110-114.
- Ingram, D. L., 2012. Life cycle assessment of a field-grown red maple tree to estimate its carbon footprint components. *Int J Life Cycle Assess* 17, 453-462.

- Ingram, D. L., 2013. Life Cycle Assessment to Study Carbon Footprint of System Components for Colorado Blue Spruce Field Production and Use. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 138, 3-11.
- Kendall A. and McPherson E G., 2012. A life cycle greenhouse gas inventory of a tree production system. *Int J Life Cycle Assess* 17, 444-452
- Kulak A. M., 2010. Use of Life Cycle Assessment to Estimate Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Food through Community-supported Urban Agriculture. Cranfield University – School of Applied Sciences, Innovation and Design for Sustainability, Academic Year 2009-2010.
- Lazzerini G., Merante P., Nicese F.P., 2009 – Sicurezza, qualità, ambiente: le possibili certificazioni dell'azienda florovivaistica. *Linea Verde*, 34 (7): 74-82
- Lazzerini, G., Lucchetti, S., Nicese, F.P., 2014. Analysis of greenhouse gas emissions from ornamental plant production: a nursery level approach. *Urban Forestry and Urban Greening* 13, 3, 517-525.
- Nicese F.P., Ferrini F., 2008 - Il Vivaismo ornamentale tra competitività e sostenibilità ambientale, atti della Giornata di studio su "Sviluppo del vivaismo toscano", Pistoia 5 dicembre 2008. Pag. 79-99
- Nicese, F.P., Lazzerini, G., 2013. CO₂ Sources and Sink in Ornamental Plant Nurseies. *International Symposium on Woody Ornamentals of the Temperate Zone* 91-98.
- Ruviario C. F., Gianezini M., Brandão F.S., Winck C. A., Dewes H., 2011. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production* 1-16.
- Russo, G., De Lucia, B., Vecchiotti, L., 2011. Environmental and agronomical analysis of different compost-based-peat-free substrates in potted rosemary. *Acta Horticulturae* 891, 265-272.
- Russo, G., Scarascia Mugnozza, G., 2005. LCA Methodology Applied to Various Typology of Greenhouses. *Acta Hort.* 691, ISHS 2005
- Russo, G., Scarascia Mugnozza, G., De Lucia Zeller, B., 2008. Environmental Improvements of Greenhouse Flower Cultivation by Means of LCA Methodology. *Acta Hort.* 801, 301-308.
- Segnestam L., Winograd M., Farrow A., 2000. Developing indicators: lessons learned from Central America.
- Stanghellini C., Kempkes F.L.K. and Knies P. 2003. Enhancing Environmental Quality in Ag-

gricultural Systems. Acta Hort. 609, 277-283.

Thomassen M.A., Van Calker K.J., Smits M.C.J., Iepema G.L., De Boer I.J.M., 2007. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. Science Direct – Agricultural Systems 96 (2008) 95-107.

