



**Applicazione della metodologia
Life Cycle Assessment
(LCA)
al compostaggio aziendale**



Maria Pergola

Corso di Agraria – DIFARMA - Università degli Studi di Salerno

mpergola@unisa.it

Cenni storici

Life Cycle Assessment

- Fine anni '60 – Crisi energetica

- Pubblicazione *The Limits to Growth* (Meadows et al., 1972)

(le industrie iniziano a ricercare soluzioni energeticamente più efficienti per i propri prodotti)

- **1969: Coca-Cola commissiona al *Midwest Research Institute* (MRI) uno studio per confrontare diversi tipi di contenitori per le bevande, con lo scopo di determinare quale fosse l'involucro con il minor impatto sull'ambiente in termini di emissioni e di consumo di materie prime**

- Anni '80 - sviluppo di una serie di metodi per la valutazione quantitativa degli impatti riguardo a differenti tematiche ambientali

- (impoverimento delle risorse, riscaldamento globale, ecc.)

- trasparenza e diffusione

- situazione di confusione: rapporti condotti sugli stessi prodotti contengono spesso risultati contrastanti in quanto basati su dati, metodi e terminologie fra di loro molto differenti

- Anni '90 – **standardizzazione delle metodologie: SETAC** (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*)

(pubblicazione di un quadro di riferimento internazionalmente accettato - 1993)

ISO (*International Standard Organisation*)

(norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita)



UNI EN ISO 14040

Definizione

«L'LCA è un processo che permette di valutare gli **impatti ambientali** associati ad un **prodotto**, **processo** o **attività**, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti».

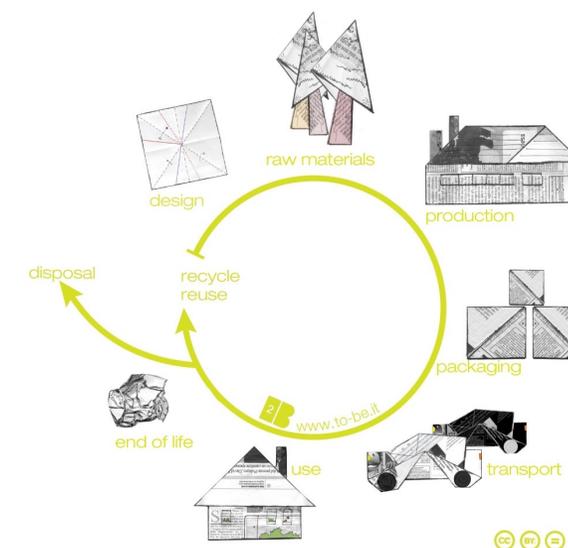
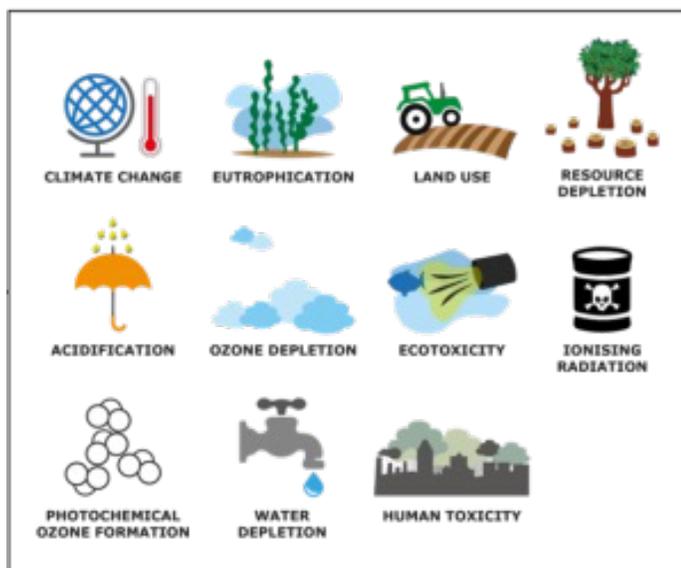
L'analisi riguarda l'**intero ciclo di vita del prodotto** (“dalla culla alla tomba”): dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e alla collocazione finale del prodotto dopo l'uso.”

(SETAC, 1993)

Metodologia *Life Cycle Assessment* - LCA

Valuta **gli impatti ambientali** associati ad un prodotto, processo o servizio, tra cui:

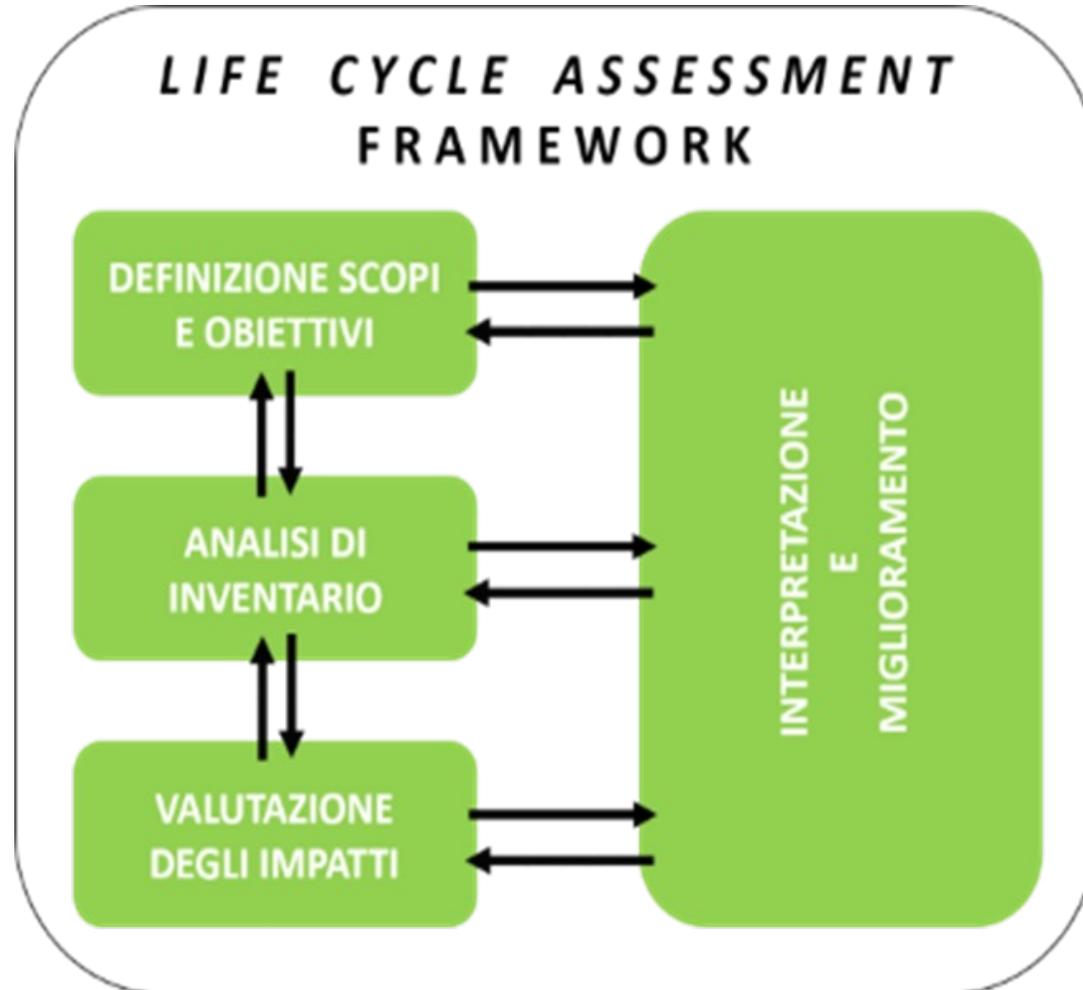
- Riscaldamento globale
- Piogge acide
- Eutrofizzazione delle acque
- Danneggiamento dello strato di Ozono
- Ecotossicità
- Etc..



Le fasi dell'LCA



UNI EN ISO 14040: Gestione ambientale – Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento

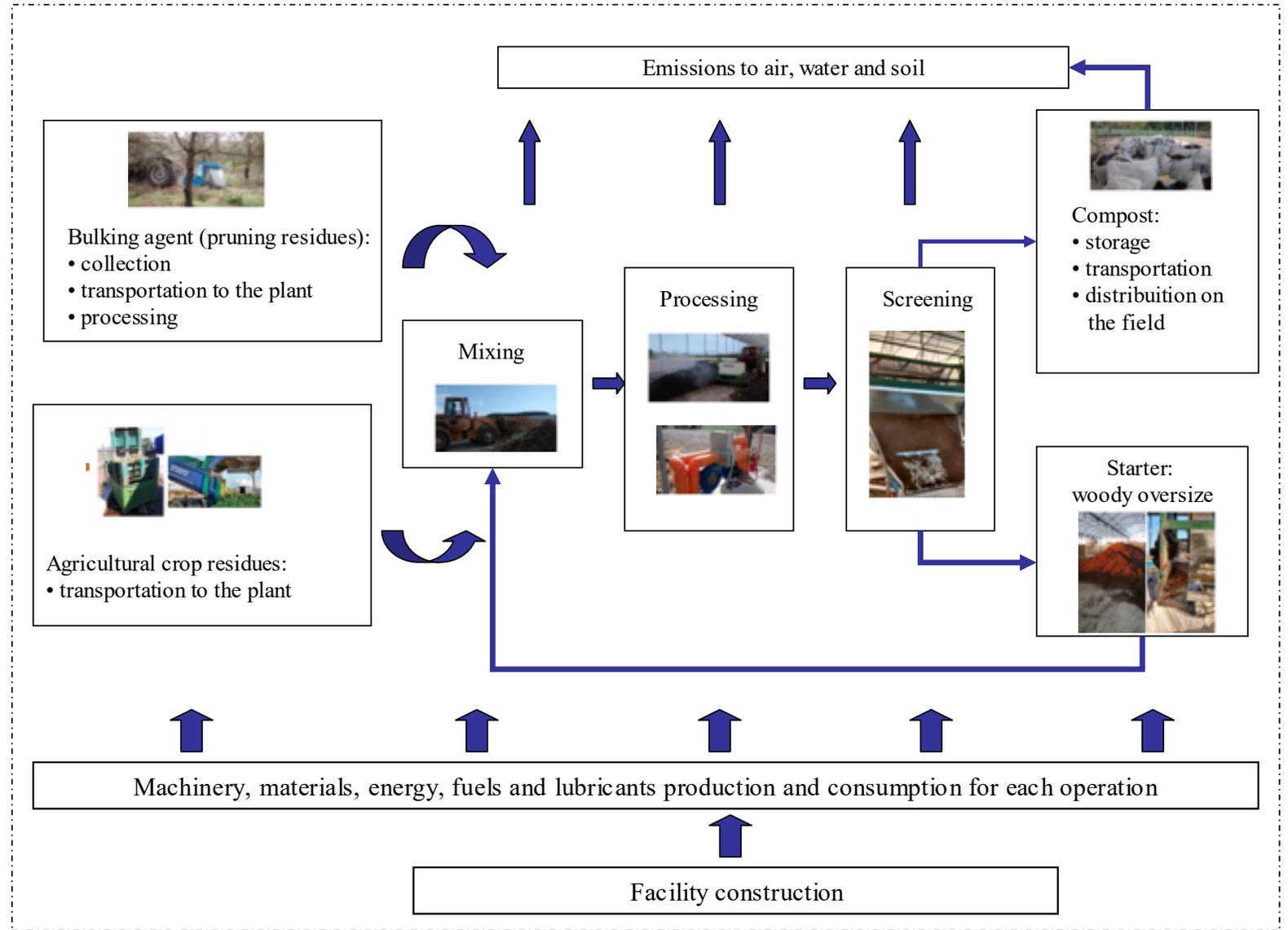


1 - Definizione degli scopi, degli obiettivi e del campo di applicazione:

- **Obiettivo dello studio**: motivazioni;
applicazioni previste;
destinatari (utilizzatori interni o esterni dei risultati ottenuti)

- **Campo di applicazione dello studio**:
 - **Unità funzionale** (riferimento rispetto al quale tutti i dati che compongono il bilancio ambientale del sistema in esame saranno analizzati)
 - **Confini del sistema** (unità di processo che devono essere incluse nell'LCA)
 - **Descrizione della qualità dei dati utilizzati**

Confini del Sistema:



2 - Analisi d'inventario:

- **Diagramma di flusso del processo** (*Process flow - chart*)
- **Raccolta dei dati** (*Data collection*)
- **Elaborazione dei dati** (*Data Processing*)

3 - La Valutazione di Impatto:

(processo tecnico – quantitativo e/o qualitativo per caratterizzare e valutare gli impatti ambientali delle sostanze identificate nella fase di inventario)

- **Selezione e definizione delle categorie d'impatto:**

- Prelievo di risorse abiotiche e biotiche;
- Uso del territorio;
- Effetto serra;
- Riduzione dell'ozono nella stratosfera;
- Eutrofizzazione;
- Acidificazione;
- Tossicità per l'uomo;
- Eco – tossicità;
- Smog fotochimico;

- **Classificazione:** i dati raccolti nell'inventario vengono assegnati ad una o più categorie d'impatto ambientale

- **Caratterizzazione:** quantifica l'impatto generato dalle sostanze presenti nell'inventario determinando il contributo relativo di ogni singola sostanza emessa risorsa utilizzata

I pesi delle sostanze emesse o consumate nel processo in esame vengono moltiplicati per i relativi fattori di caratterizzazione (*weight factors*), propri di ogni categoria di impatto



CATEGORIA	FATTORE DI CARATTERIZZAZIONE
Estrazione di risorse abiotiche	Gj/Rj
Estrazione di risorse biotiche	n.c.
Effetto serra	Potenziale di Riscaldamento Globale (CO ₂)
Impoverimento dell'ozono	Potenziale di Riduzione dell'Ozono stratosferico (CFC11)
Ecotossicità	ECA (Aquatic Ecotoxicity) [m3/kg]
Tossicità umana	HCA (Human-toxicological Classification value for Air)
	HCW (Human-toxicological Classification value for Water)
	HCS (Human-toxicological Classification value for Soil)
Smog fotochimico	Potenziale di Creazione di Ozono Fotochimico C ₂ H ₄
Acidificazione	Potenziale di Acidificazione (SO ₂)
Eutrofizzazione	Potenziale di Eutrofizzazione (impoverimento di O ₂ oppure di PO ₄)

I RISULTATI

Categoria d'impatto	Unità
Abiotic depletion	kg Sb eq
Acidification	kg SO ₂ eq
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq
Global Warming (GWP100)	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄

- **Normalizzazione:**

- i valori ottenuti dalla caratterizzazione vengono divisi per un “valore di riferimento” rappresentato generalmente da **dati medi** su scala mondiale, regionale o europea, riferiti ad un determinato intervallo di tempo
- stabilisce l’entità dell’impatto ambientale del sistema studiato rispetto a quello prodotto nell’area geografica prescelta come riferimento

- **Valutazione:**

- permette di esprimere, attraverso un indice ambientale finale (**ecoindicatore**), l’impatto ambientale associato al prodotto nell’arco del suo ciclo di vita;
- i valori degli effetti normalizzati vengono moltiplicati per “fattori peso” relativi alle varie categorie di danno che esprimono l’importanza attribuita a ciascun problema ambientale
- non ancora standardizzata, molto soggettiva

4 - Analisi dei risultati - Interpretazione

- **Controllo sulla completezza dei dati**
- **Analisi di sensitività:**
 - ha lo scopo di valutare l'affidabilità dei risultati finali e delle conclusioni
 - è lo studio di come **l'incertezza** presente nel risultato dello studio possa essere attribuita alle diverse fasi dello studio stesso (obiettivi, LCI, LCIA)
 - l'analisi quantitativa dell'incertezza (standard deviation e analisi di Monte Carlo) quantifica la **qualità dei dati** e restituisce il **grado di incertezza dei risultati** nella valutazione degli impatti e indica **quali categorie di danno sono maggiormente affette da incertezza e i dati** di cui migliorare la qualità
- **Valutazione delle alternative per ridurre gli impatti**

I SOFTWARE PIU' DIFFUSI IN EUROPA

Sostenipra (catalano)

Eime (francese)

SimaPro (olandese)

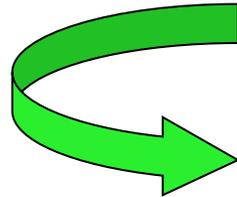
GaBi (tedesco)

OpenLCA

SimaPro 9.02

- Il database *SimaPro* contiene:
 - **dati** di progetto
 - dati della biblioteca (libreria in *SimaPro*)
 - dati generali

- **Metodi**: metodi di valutazione dell'impatto



- Ecoindicator 99
- EDIP
- CML

Banche dati presenti nel software SimaPro

Banca dati	Origine	Rappresentatività dei dati	Tipologia dati
Ecoinvent v2	Svizzera	Situazione svizzera e dell'Europa Occidentale	Energia, trasporto, materiali da costruzione, prodotti chimici, prodotti per il lavaggio, carta e cartone, agricoltura, trattamento inquinanti
US Input Output database	USA	Situazione statunitense	Dati provenienti da BEA (Bureau of Economic Analysis) riferiti a 263 beni capitali derivanti da 64 tipologie diverse di industrie
Danish Input Output database	Danimarca	Dati statistici danesi	Dati associati 138 gruppi di prodotti, divisi tra settore (allevamento, edilizia, trasporto via mare, ristorazione, energia e calore, industria alimentare, prodotti per il raffreddamento industriale) e utilizzo in Danimarca
Dutch Input Output database	Olanda	Situazione olandese	105 settori (Goedkoop, 2004) tra i quali: agricoltura, orticoltura, allevamento, acquacoltura, industria alimentare, carta, industria chimica, materiali da costruzione, trasporto
LCA food Database	Danimarca	Situazione media danese	Produzione alimentare
ETH-ESU	Svizzera	Situazione svizzera, situazione media europea	Combustibili, energia elettrica, materie prime, trasporto, trattamento inquinanti

Metodo	Sviluppato da:	Midpoint/Endpoint	Categorie di impatto/danno
CML method (1992)	Centre of Environmental Studies (CML), University of Leiden	midpoint	Depletion abiotic resources Depletion biotic resources Greenhouse effect Ozone layer depletion Human toxicity Ecotoxicity Smog Acidification Eutrophication
CML 2 method (2000)	Centre of Environmental Studies (CML), University of Leiden	midpoint	Ozone layer depletion Human toxicity Fresh water aquatic ecotoxicity Marine aquatic ecotoxicity Terrestrial ecotoxicity Photochemical oxidation Global warming Acidification Abiotic depletion Eutrophication

Metodo	Sviluppato da:	Midpoint/Endpoint	Categorie di impatto/danno
EDIP/UMIP (2003)	Institute for Product Development, Technical University of Denmark	midpoint	Global warming Acidification Terrestrial eutrophication Aquatic eutrophication Ozone depletion Ozone formation (human) Ozone formation (vegetation) Humane toxicity (via air) Humane toxicity (via water) Humane toxicity (via soil) Ecotoxicity (water acute) Ecotoxicity (water chronic) Ecotoxicity (soil chronic)
			Hazardous waste Slags/ashes Bulk waste Radioactive waste Resources

Metodo	Sviluppato da:	Midpoint/Endpoint	Categorie di impatto/danno
			Climate change Resources
Cumulative Energy Demand	Ecoinvent, Prè Consultant		Non renewable, fossil Non renewable, nuclear Non renewable, biomass Renewable, biomass Renewable, wind, solar, geothermal Renewable, water
IPCC Greenhouse gas emission	IPCC (International Panel on Climate Change)		Global warming potential

CATEGORIE DI IMPATTO

abiotic depletion (AD): **Estrazione di risorse abiotiche** - che comprende tre differenti tipologie di elementi naturali:

- *depositi* (combustibili fossili, minerali), considerati risorse limitate poiché non sono rinnovabili nell'arco di un breve lasso di tempo;
- *risorse* (acque sotterranee, sabbia, ghiaia);
- *risorse rinnovabili* (acque superficiali, energia solare, vento, correnti oceaniche).

global warming potential (GWP): **Effetto serra** - comporta un aumento della temperatura nella bassa atmosfera come conseguenza della presenza di alcuni gas, quali la CO₂, il metano, il biossido di azoto, che intrappolano le radiazioni infrarosse.

photochemical oxidation (PO) : **Smog fotochimico** - considera tutti gli impatti derivanti dalla formazione di ozono troposferico, causata dalle reazioni di componenti organici (VOC) in presenza di luce e di ossidi di azoto (NO_x).

air acidification (AA) : **Acidificazione** - causata dal rilascio di protoni negli ecosistemi acquatici e terrestri, principalmente attraverso la pioggia. I suoi effetti sono evidenti:

- nelle foreste di legno dolce (ad esempio le foreste d'abete rosso) dove si manifestano in termini di crescita insufficiente (penisola scandinava e le regioni dell'Europa centro orientale);
- negli ecosistemi acquatici si ha un abbassamento del pH delle acque, situazione deleteria per lo sviluppo della vita;
- negli edifici, nelle opere d'arte e in tutte le costruzioni in genere attraverso l'erosione delle pietre calcaree.

eutrophication (EU) : **Eutrofizzazione** - causato da un eccesso di nitrati, fosfati, sostanze organiche degradabili, e da tutti quegli elementi nutrienti che portano ad un incremento nella produzione di plancton, alghe e piante acquatiche in genere. L'eccesso della presenza di queste forme di vita causa un deterioramento della qualità delle acque e una riduzione della loro possibilità d'utilizzazione.

Ozone layer depletion: **Impoverimento dell'ozono stratosferico**, che ha come conseguenza l'incremento dell'incidenza dei raggi ultravioletti, dannosi per l'uomo e, in generale, per tutti gli ecosistemi.

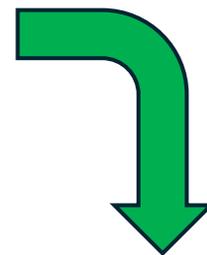
Human toxicity: **Tossicità umana**, imputabile alla presenza di sostanze chimiche e biologiche, dipendente dal tipo di esposizione e dalla modalità con la quale avvengono le emissioni delle diverse sostanze nell'ambiente.

Fresh water aquatic ecotox., Marine aquatic ecotoxicity, Terrestrial ecotoxicity: **Ecotossicità**, relativa agli impatti sulle specie e sugli ecosistemi, provocata da emissioni dirette di sostanze tossiche, come metalli pesanti, idrocarburi, pesticidi e sostanze liberate nel corso della degradazione dei prodotti.

Le diverse applicazioni della LCA

La LCA può giocare un ruolo fondamentale sia nel settore pubblico che privato:

- **Ecodesign**: progettazione di prodotti ecocompatibili. La LCA viene effettuata all'interno dell'azienda ed è particolarmente curata la comunicazione dei risultati. (architettura, bioedilizia, isolamento termico e acustico, edifici a basso consumo energetico, energie rinnovabili, progettazione bioclimatica)
- **Ecolabel**: assegnazione di un marchio ecologico ai prodotti ecocompatibili. Permette alle aziende di usare la LCA per aumentare il vantaggio competitivo e consente ai consumatori di scegliere prodotti verdi (Ecolabel tipo 1, Ecolabel tipo 2, EPD)
- **Green procurement**: politica di “acquisto verde” che può essere attuata sia nel settore pubblico che privato. La LCA può contribuire all'identificazione di prodotti ecocompatibili



MiTE



Strumenti per la transizione ecologica negli appalti pubblici

L'integrazione della LCA nelle politiche di acquisto della PA



Incoraggiare l'uso della metodologia LCA e della collegata LCC (*life cycle costing*) come strumenti di governance delle politiche di acquisto delle PPAA, ha proposto le attività della linea di intervento L4 "Diffusione e utilizzo della LCA per un uso efficiente delle risorse" nell'ambito del Progetto Mettiamoci in RIGA, finanziato con il PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020



Le altre applicazioni...

- Scelta degli **imballaggi** da parte di un'industria;
- Confronto tra modalità diverse di **gestione dei rifiuti**;
- Confronto tra diverse tipologie di **trasporto**;
- Valutazione delle migliori **tecnologie** disponibili;
- ecc.

Etichettature ambientali di prodotto

Tipo I
ISO 14024



Impongono il rispetto
di limiti prestazionali



Tipo II
ISO 14021



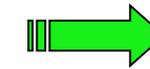
Autodichiarazione del
fabbricante



Tipo III
ISO 14025



Quantificazione (convalidata)
degli impatti associati **al ciclo**
di vita del prodotto



Dichiarazione Ambientale di Prodotto (DAP)

(EPD – Environmental Product Declaration)

- Una EPD® è una dichiarazione ambientale certificata di prodotto, che fornisce dati ambientali sul ciclo di vita dei prodotti in accordo con lo standard internazionale ISO 14025
- Per creare una EPD è necessario sviluppare uno studio di LCA tenendo conto delle regole di calcolo specifiche per la categoria del prodotto indagata (PCR). L'EPD così sviluppata è poi verificata da una parte indipendente accreditata (ente)
- per ogni categoria di prodotto, la DAP fa riferimento a *Product Category Rules* (PCR)

LIMITI E PROSPETTIVE DELLA LCA IN ITALIA

- Sebbene regolata dalla citata norma ISO è uno **strumento facoltativo** per valutare i reali impatti ambientali di un progetto, di un prodotto, o di una qualsivoglia attività economica
- **L'attendibilità delle banche dati** in termini sia qualitativi che quantitativi:
 - un metodo un po' costoso: dati di input **prelevati direttamente** caso per caso con diverse **difficoltà** (informazioni disomogenee – in termini di unità di misura – e segreto industriale);
 - una opzione più semplice, ma meno attendibile, è il metodo di **adattare** alla nostra realtà i dati desunti dalle banche dati acquistate relative a studi di altri paesi. In questo caso si pone il **problema** quando ci sono notevoli disparità nel **mix energetico tra un paese e l'altro**.

IL CASO STUDIO

Eboli (SA) – Progetto: LIFE+ “CARBONFARM”



Bella (PZ) – Progetto: PSR “COMPOSTA”



**IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO
AZIENDALE**

Eboli (PZ) – Progetto: PSR “BIOCOMPOST”



Stigliano (MT) – Progetto: MATTM – Regione Basilicata



Castel Volturno (CE) – Progetto: PON “BIOPOLIS”



M. PERGOLA, A. PERSIANI, V. PASTORE, A.M. PALESE, C. D'ADAMO, E. DE FALCO, G. CELANO. (2020). *Sustainability assessment of the green compost production chain from agricultural waste: a case study in southern Italy*. AGRONOMY, 10, 230; doi:10.3390/agronomy10020230

M. PERGOLA, A. PERSIANI, A.M. PALESE, V. PASTORE, C. D'ADAMO, G. CELANO (2018). *Composting: the way for a sustainable agriculture*. APPLIED SOIL ECOLOGY. 10.1016/J. APSOIL. 2017.10.016

M. PERGOLA, A. PICCOLO, A.M. PALESE, C. INGRAO, V. DI MEO, G. CELANO (2018). *A combined assessment of the energy, economic and environmental issues associated with on-farm manure composting processes: Two case studies in South of Italy*. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, p. 1-13, ISSN: 0959-6526, doi: 10.1016/j.jclepro. 2017.04.111

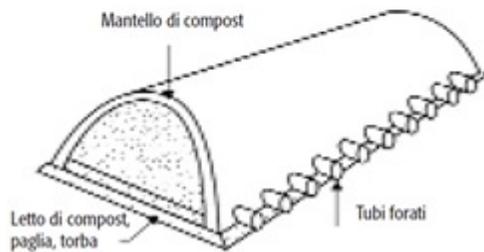
Quando il compostaggio è «aziendale»?

- l'utilizzo degli **scarti vegetali provenienti dall'azienda**, dall'aggregazione formalizzata di aziende
- il compostaggio quale attività non occasionale implica una **espressa volontà a non disfarsi degli scarti**
- l'esclusivo **utilizzo del compost interno all'azienda**, all'aggregazione formalizzata di aziende
- la possibilità di **utilizzare sottoprodotti** (es. biotriturato legnoso, scarti di fungaia pagliosi, paglia, cippato) nel processo di compostaggio aziendale solo se presente una motivata giustificazione tecnica
- una **produzione di compost non eccedente le esigenze aziendali**, uso del compost nel rispetto della buona pratica agricola
- **prodotto finale compost non destinato alla vendita**, altrimenti si rientra nel ciclo di produzione dei fertilizzanti

Cumulo passivo



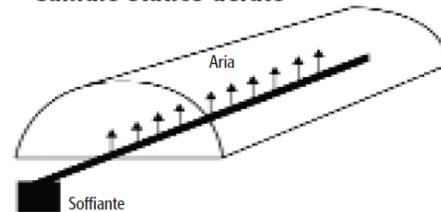
Cumulo ad aerazione passiva



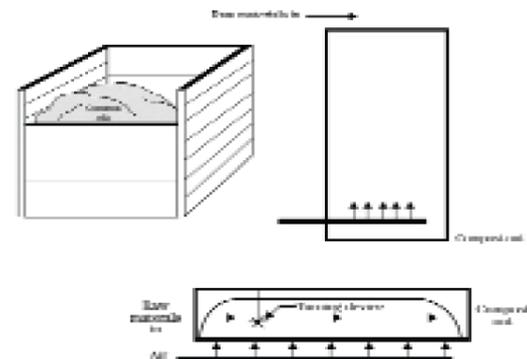
Aerazione passiva

Aerazione attiva

Cumulo statico aerato



Sistemi confinati



Spazi ridotti

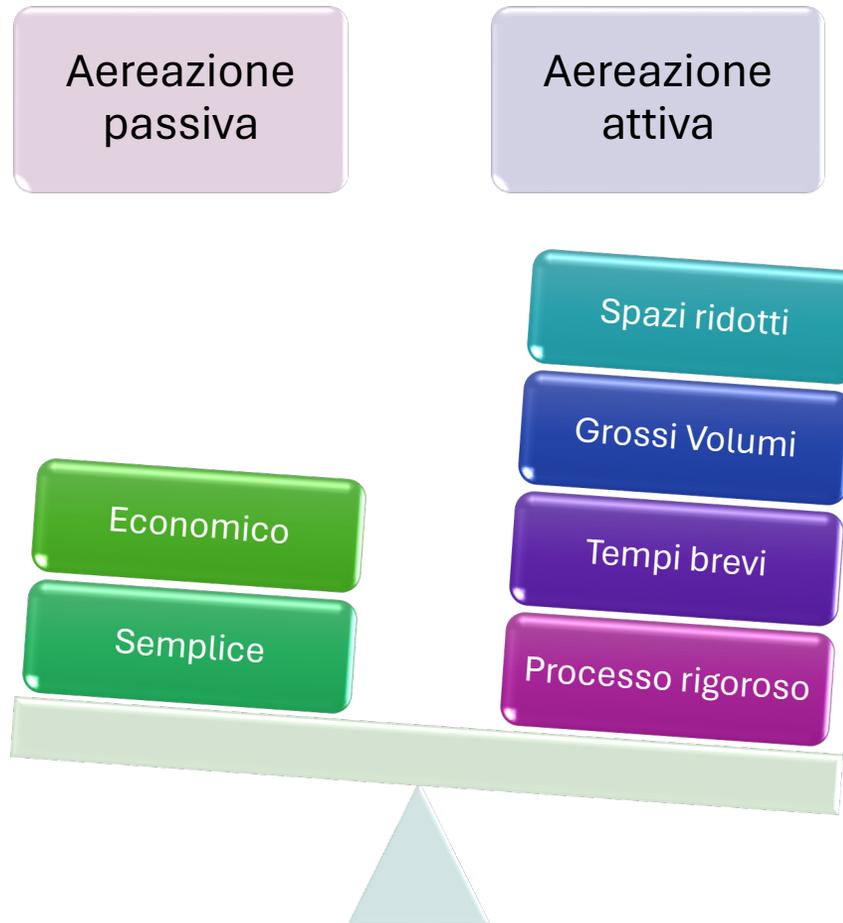
Grossi Volumi

Tempi brevi

Processo rigoroso

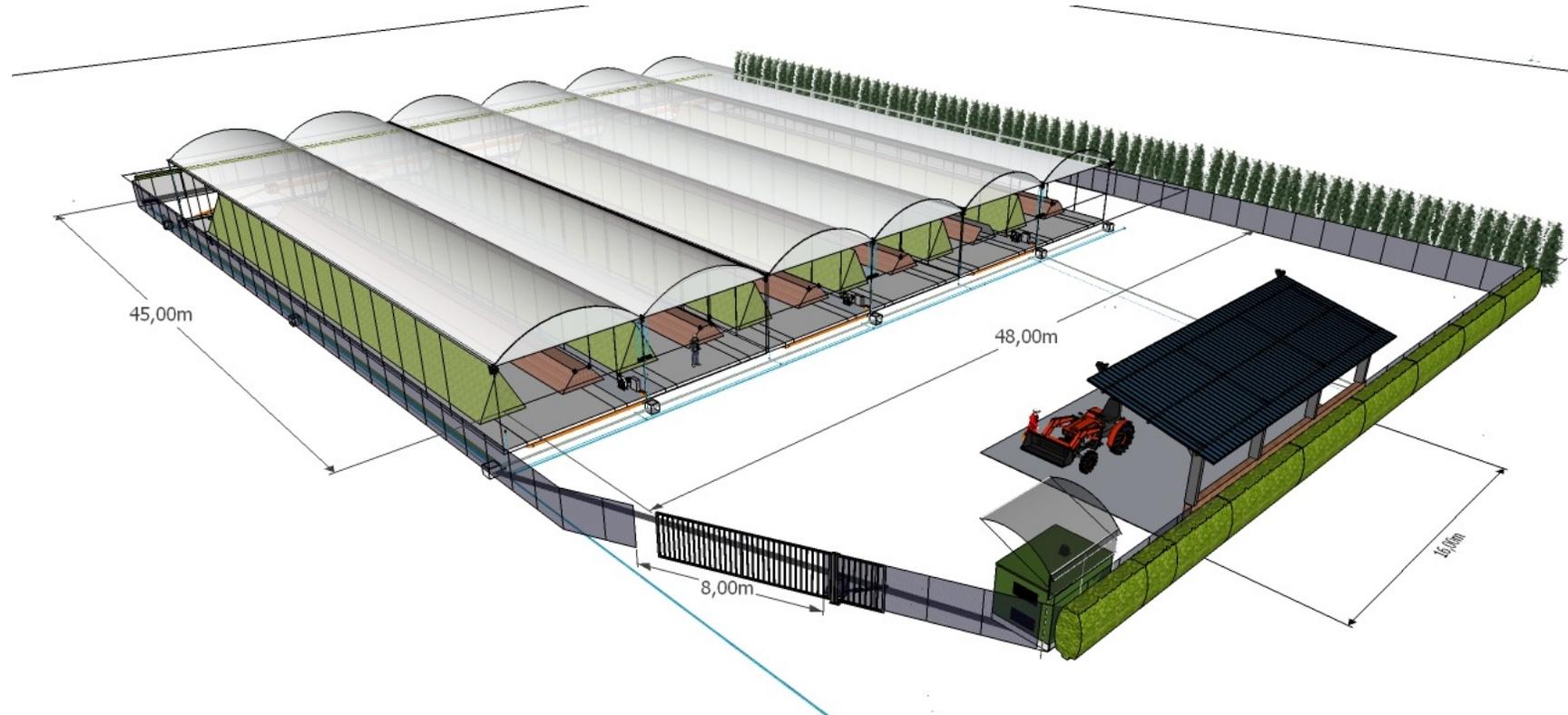
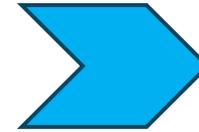
Economico

Semplice





CASO STUDIO: *LIFE CarbOnFarm*



Superficie

4180 m²

Materiale fresco compostabile

Max 3250 t anno⁻¹

Compost prodotto

390 – 520 t s.s. anno⁻¹

Definizione dell'obiettivo:

Verificare la sostenibilità ambientale, energetica ed economica del processo di compostaggio aziendale

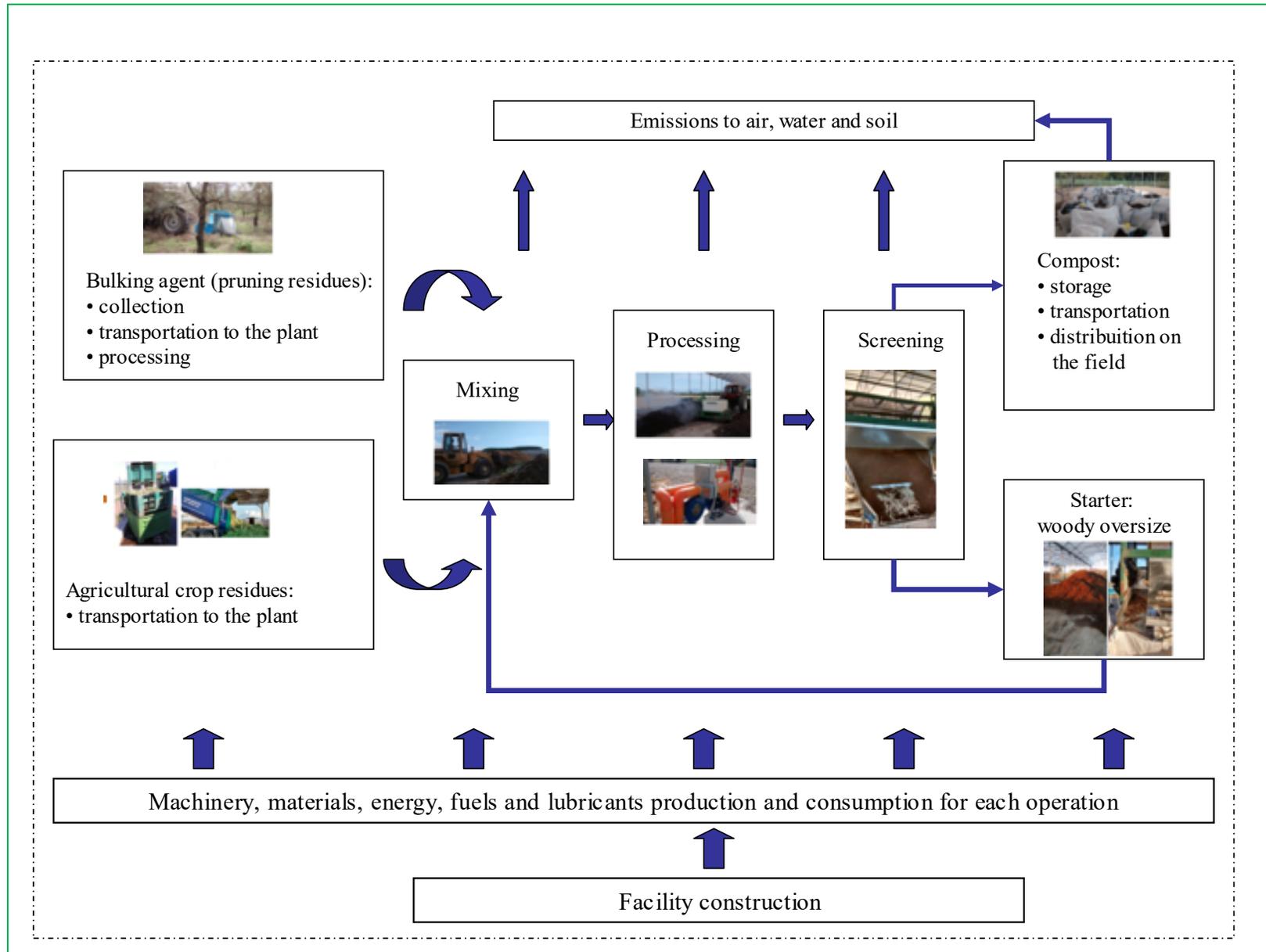
Unità Funzionale:

1 ton di compost con il 70% di s. s.

Orizzonte temporale:

20 anni

Confini del Sistema:



EMISSIONI
DIRETTE
INDIRETTE

Life cycle inventory

**Acquisizione materiale
strutturante**

**Acquisizione materiale
compostabile**

Processo di compostaggio

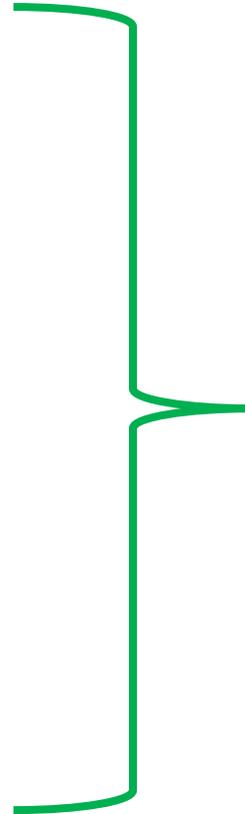
Materiali costruttivi (kg)

Macchine e attrezzi (h)

Carburante(kg)

Lubrificante (kg)

Elettricità (kWh)

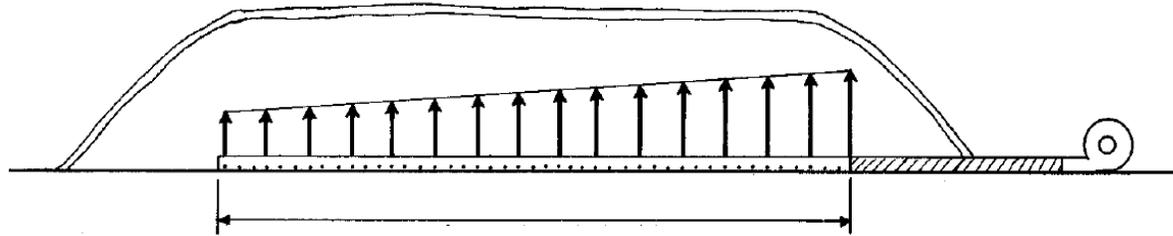


Dimensionamento delle soffianti per l'insufflazione

Stabilita la portata di aria da insufflare (in base ai volumi) e la velocità necessaria lungo il tratto di tubazione si è calcolato:

- Dimensioni delle soffianti
- Diametro del tubo
- Numero fori
- Diametro fori
- Distribuzione fori

Lunghezza tubo	Distanza fori	Numero fori	Diametro fori
[m]	[m]		[m]
12	0.35	34	0.01
12	0.30	40	0.01
12	0.25	50	0.01
	TOT	124	



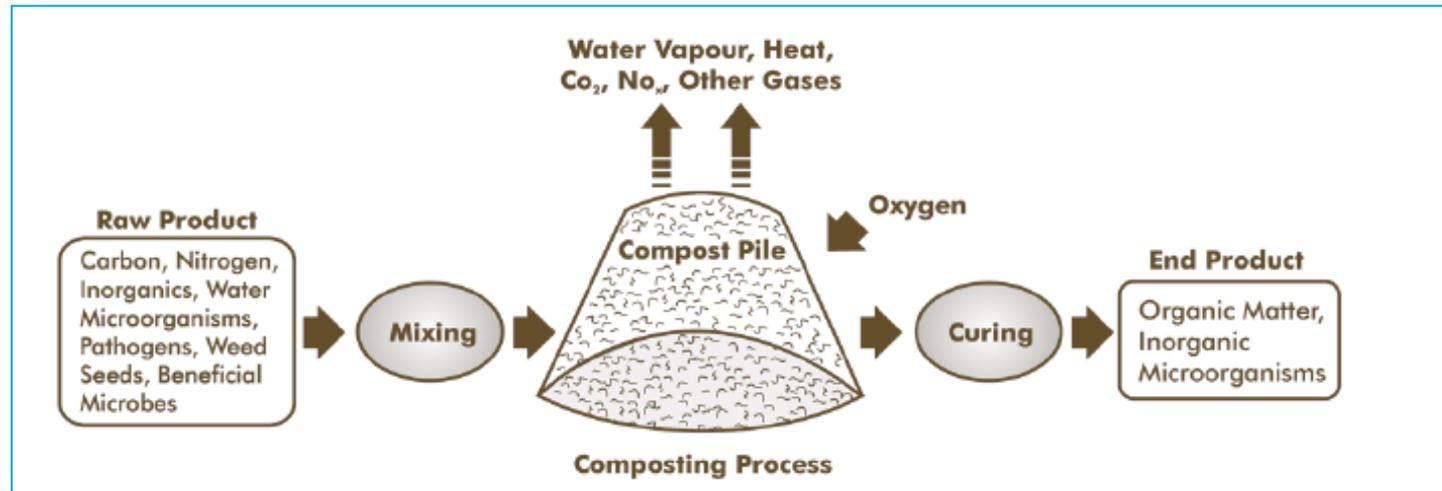
Servizio idraulico:

- Irrigazione con gettini da 320 l/h con diametro di bagnatura di circa 5 m max
- abbassando a circa 1,5 atm otterremo un diametro di 2m circa





SINTEMA COMPOSTAGGIO



FASE ATTIVA:

I microrganismi consumano O₂ mentre decompongono la sostanza organica dei residui agricoli e producono calore, CO₂ e vapore acqueo

FASE DI MATURAZIONE:

L'attività microbica diminuisce e man mano che il processo si avvia al suo completamento la temperatura si attesta su quella dell'ambiente circostante

I RISULTATI: valori per 1 ton di compost

	COMPOST LEGGERO		
	kg CO₂eq	MJ	€
Costruzione impianto	42,74	750,21	33,80
Acquisizione materiale strutturante	31,38	302,69	29,56
Acquisizione materiale vegetale	11,84	157,14	86,63
Processo di compostaggio	92,87	531,45	46,75
Emissioni dirette	5,57	-	-
Totale	184,41	1741,49	196,75
	COMPOST PESANTE		
	kg CO₂eq	MJ	€
Costruzione impianto	32,06	562,65	25,35
Acquisizione materiale strutturante	23,54	227,02	22,17
Acquisizione materiale vegetale	4,44	58,93	32,49
Processo di compostaggio	67,69	398,59	34,29
Emissioni dirette	4,18	-	-
Totale	131,89	1247,19	114,30



Kg CO₂eq/ton: 150



Kg CO₂eq/ton: 17



Kg CO₂eq/ton: 11



Kg CO₂eq/ton: 17



Kg CO₂eq/ton: 7

Considerazioni finali

I VANTAGGI DEL COMPOSTAGGIO



**Minori impatti
ambientali**



**Minori costi di
gestione**



**Minori quantità di
materiale organico da
smaltire (50% in meno)**



Nel caso del letame:

**Minori quantità di azoto da
distribuire in campo**

**Minori quantità di
materiale da stoccare
soprattutto nel periodo di
divieto dello spandimento
(novembre – febbraio)**



**Vantaggio economico:
riduzione dei costi
della fertilizzazione**

Analisi preliminari:

```
graph TD; A[Analisi preliminari:] --> B[quantità e qualità del materiale da compostare]; B --> C[disponibilità di strutture e attrezzature (platee, aree di stoccaggio, pala meccanica, biotritratrice, cippatrice, ecc.)]; C --> D[localizzazione dell'impianto]; D --> E[Analisi di sostenibilità (LCA, EA, LCC) pre-intervento e post-intervento];
```

quantità e qualità del materiale da compostare

disponibilità di strutture e attrezzature (platee, aree di stoccaggio, pala meccanica, biotritratrice, cippatrice, ecc.)

localizzazione dell'impianto

Analisi di sostenibilità (LCA, EA, LCC) pre-intervento e post-intervento

GRAZIE PER
L'ATTENZIONE



SUMMER SCHOOL SOSTENIBILITA'

*Strumenti e metodi per la valutazione degli impatti in
agricoltura*
III edizione



Università degli Studi di Salerno

Campus di Fisciano (SA)

Aula: Osservatorio dell'Appennino Meridionale

Corso in presenza

26 agosto- 30 agosto 2024.

