

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di laurea magistrale in Analisi e gestione dell'ambiente

***Applicazione della metodologia LCA ai cereali:
il caso della cooperativa agricola
Capa Cologna***

Tesi di laurea in *Sistemi di gestione ambientale, di politica ed economia
ambientale*

Relatore

Prof.ssa Serena Righi

Presentata da

Irene Rondini

Correlatori

Ing. Valentina Fantin

Dott. Francesco Coatti

III Sessione

Anno Accademico 2013/2014

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio innanzitutto la mia relatrice, Prof.ssa Serena Righi, per avermi fatto svolgere questa tesi e l'Ing. Fabio Passerini di E&NGI s.r.l. per aver dato l'input iniziale al progetto e averlo supportato in tutta la sua realizzazione.

Ringrazio poi i miei due correlatori, il Dott. Francesco Coatti di E&NGI s.r.l. e l'Ing. Valentina Fantin di ENEA, per il loro prezioso aiuto, il primo nella parte preliminare di raccolta dati e la seconda nella stesura della tesi e nella discussione dei risultati.

Ringrazio inoltre Capa Cologna s.c.a e il suo Presidente Alberto Stefanati per aver acconsentito con entusiasmo a questo progetto. In particolare ringrazio tutti i dipendenti della cooperativa che si sono sempre dimostrati disponibili a fornire informazioni, specialmente il responsabile Gestione Qualità e Ambiente Antonio Andreotti, il tecnico Damiano Destro e il Dott. Agronomo Marco Leonardi. Insieme a loro voglio ringraziare anche l'Ing. Massimiliano Icardi di E&NGI s.r.l il quale mi ha pazientemente accompagnato durante i miei viaggi a Berra per la raccolta dei dati.

Ringrazio anche tutti i miei compagni di università con cui ho condiviso gioie e dolori dello studente prima e del laureando poi. In particolar modo i miei colleghi tesisti Marta Sodano e Filippo Baioli che mi hanno aiutato a capire a fondo la metodologia LCA ed a utilizzare al meglio il programma Gabi 6.

Infine, ma non per importanza, ringrazio la mia famiglia per avermi supportato in tutto il mio percorso di studi, sia moralmente che economicamente e il mio ragazzo Riccardo, per il suo costante appoggio e la sua pazienza.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INDICE DEGLI ACRONIMI..... | 1 |
| ABSTRACT | 3 |
| CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE | 4 |
| 1.1 LA VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA: LCA E LCT..... | 4 |
| 1.1.1 Storia e definizioni | 5 |
| 1.1.2 Metodologia e funzioni..... | 7 |
| 1.2 LE FASI DELLA VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA | 7 |
| 1.2.1 Definizione dell’obiettivo e del campo di applicazione..... | 8 |
| 1.2.2 Analisi d’Inventario | 12 |
| 1.2.3 Valutazione dell’Impatto | 13 |
| 1.2.4 Interpretazione dei risultati..... | 15 |
| 1.3 LIMITI DELL’LCA | 15 |
| 1.4 LO STATO DELL’ARTE DELL’LCA DEI CEREALI | 15 |
| 1.5 LA COOPERATIVA AGRICOLA CAPA COLOGNA | 19 |
| CAPITOLO 2 - OBIETTIVO DELLO STUDIO..... | 22 |
| CAPITOLO 3 - MATERIALI E METODI..... | 23 |
| 3.1 DESCRIZIONE DEI PROCESSI DEI PRODUTTIVI DI GRANO E MAIS | 23 |
| 3.1.1 La coltivazione del grano..... | 24 |
| 3.1.2 La coltivazione del mais..... | 27 |
| 3.1.3 Il trattamento del grano presso Capa Cologna..... | 29 |
| 3.1.4 Il trattamento del mais presso Capa Cologna..... | 32 |
| 3.2 L’ANALISI DEGLI INPUT E OUTPUT DEI PROCESSI..... | 34 |
| 3.1 IL SOFTWARE GABI | 36 |
| 3.4 LA VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA DEI CEREALI: GRANO E MAIS..... | 38 |
| 3.4.1 Obiettivo dello studio | 38 |
| 3.4.2 Unità Funzionale..... | 38 |
| 3.4.3 Confini del sistema..... | 38 |
| 3.4.4 Multifunzionalità: co-prodotti e allocazione..... | 40 |
| 3.4.5 Analisi d’inventario..... | 42 |
| 3.4.6 Valutazione degli impatti | 60 |
| CAPITOLO 4 - RISULTATI E DISCUSSIONE | 64 |
| 4.1 ANALISI D’INVENTARIO..... | 64 |
| 4.1.1 Analisi d’inventario del grano | 64 |
| 4.1.2 Analisi d’inventario del mais | 68 |
| 4.2 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI..... | 71 |
| 4.2.1 Impatti dovuti alla produzione di 1 tonnellata di grano e di 1 tonnellata di mais | 71 |
| 4.2.2 Impatti dovuti alla fase agricola nella produzione di mais e grano..... | 76 |
| 4.2.3 Impatti dovuti alla fase di trattamento di grano e mais presso l’impianto | 83 |
| 4.3 ANALISI DI SENSITIVITÀ..... | 88 |
| 4.3.1 Valutazione degli impatti con diversi metodi di stima delle emissioni da concimi azotati | 88 |
| 4.3.2 Valutazione degli impatti con diversi metodi di stima della distribuzione dei fitofarmaci nelle varie matrici ambientali..... | 93 |
| 4.4 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DI UNO SCENARIO ALTERNATIVO: L’UTILIZZO DI ENERGIA RINNOVABILE NELL’IMPIANTO DI CAPA COLOGNA | 94 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| CAPITOLO 5-CONCLUSIONE | 102 |
| BIBLIOGRAFIA | 105 |
| SITOGRAFIA..... | 110 |

INDICE DEGLI ACRONIMI

ADP – Abiotic Depletion Potential

AP – Acidification Potential

BOD – Biochemical Oxygen Demand

CF – Carbon Footprint

CFC – Chlorofluorocarbon

COD – Chemical Oxygen Demand

CTU – Comparative Toxic Unit

EDIP – Environmental Design of Industrial Products

EF – Environmental Footprint

EF – Emission Factor

EMAS – Eco - Management and Audit Scheme

EP – Eutrophication Potential

EPD – Environmental Products Declaration

FAO – Food and Agriculture Organization

FC – Fattore di Caratterizzazione

GWP – Global Warming Potential

HFC - Hydrofluorocarbon

IO –LCA – Input/Output Life Cycle Assessment

IPA – Idrocarburi Policiclici Aromatici

IPCC – International Panel on Climate Change

LCA – Life Cycle Assessment

LCC – Life Cycle Costing

LCI – Life Cycle Inventory

LCIA – Life Cycle Impact Assessment

LCT – Life Cycle Thinking

NMVOC – Non –Methane Volatile Organic Compounds

ODP – Ozone Layer Depletion

PAF – Potentially Affected Fraction

PCR – Product Category Rules

PM – Particulate Matter

POCP – Photochemical Ozone Creation Potential

PP – Polipropilene

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry

UF – Unità Funzionale

UNEP – United Nation Environment Program

WF – Water Footprint

ABSTRACT

L'agricoltura e la trasformazione dei prodotti agro-alimentari hanno un forte impatto sull'ambiente. Su questo aspetto converge l'attenzione sia delle politiche nazionali ed internazionali sia del singolo consumatore. E' quindi sempre più necessario valutare questo impatto lungo tutta la filiera dei prodotti agro-alimentari per capire dove e come intervenire per aumentarne le prestazioni ambientali. La presente tesi, svolta in collaborazione con la società di ingegneria ambientale E&NGI srl, si propone quindi di analizzare, attraverso la metodologia di Life Cycle Assessment, gli impatti del ciclo di vita di grano e mais, prodotti, trasportati e trattati dalla cooperativa agricola Capa Cologna, in provincia di Ferrara.

I cereali sono stati seguiti dalla produzione fino ai cancelli dell'azienda e i dati relativi a tutti i flussi uscenti ed entranti dal processo produttivo sono stati raccolti in campo o ottenuti dall'applicazione di modelli previsionali o, quando necessario, ricavati da banche dati esistenti. Questi flussi hanno costituito un inventario implementato nel software Gabi 6. Successivamente i flussi sono stati convertiti in impatti potenziali utilizzando due metodi (CML 2001 e USEtox) e selezionando sette categorie d'impatto potenziale: esaurimento delle risorse abiotiche, acidificazione, eutrofizzazione, effetto serra, assottigliamento della fascia di ozono stratosferico, smog fotochimico ed ecotossicità acquatica.

Dall'analisi è emerso che per entrambi i cereali la fase del ciclo di vita maggiormente impattante è quella di coltivazione. Ciò è dovuto, soprattutto, alla produzione dei fertilizzanti chimici, dei fitofarmaci e alle loro emissioni in ambiente. Sui metodi per la stima di queste emissioni è stata svolta un'analisi di sensitività. Infine, non essendo ipotizzabile intervenire nella fase agricola, in quanto la cooperativa deve seguire rigidi disciplinari, si sono proposte azioni di miglioramento sull'impianto di Capa Cologna. In particolare, si è proposto uno scenario alternativo in cui l'impianto è alimentato ad energia solare fotovoltaica.

CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

1.1 La Valutazione del Ciclo di Vita: LCA e LCT

LCA è l'acronimo di *Life Cycle Assessment* tradotto, in italiano, con l'espressione "valutazione del ciclo di vita". L'obiettivo di questa metodologia è di analizzare un prodotto, un processo o un'attività durante tutte le fasi del suo ciclo di vita, allo scopo di identificare i potenziali effetti che produce sull'ambiente.

Questo strumento metodologico è compreso all'interno del più ampio approccio *Life Cycle Thinking* (LCT) il quale prevede l'analisi degli impatti ambientali causati da tutte le fasi di vita di un prodotto (o di un servizio o di un processo): dall'estrazione delle materie prime al fine vita.

L'LCT costituisce un modo nuovo di affrontare l'analisi dell'impatto ambientale perché permette una visione globale del sistema produttivo dove

tutti i processi sono presi in considerazione in quanto partecipano attivamente alla realizzazione di una funzione per cui sono progettati.

Per tali motivi l'Unione Europea pone questo tipo di approccio alla base di politiche ambientali ed iniziative come l'etichettatura ecologica (Ecolabel - Regolamento CE n. 66/2010), gli acquisti verdi (*Green Procurement*) e lo sviluppo di tecnologie innovative (BAT, *Best Available Techniques*).

Obiettivo quindi dello LCT è evitare lo spostamento degli impatti ambientali e dell'inquinamento su altre fasi del ciclo di vita del prodotto o processo, su altri soggetti, su altri comparti ambientali o aree geografiche e permettere di individuare le fasi maggiormente critiche del ciclo di vita rendendo più mirati ed efficaci gli interventi per la riduzione degli impatti.



Figura 1: Schema del ciclo di vita del prodotto

1.1.1 Storia e definizioni

Le origini del *Life Cycle Assessment* possono essere rintracciate tra gli anni '60 e '70 quando furono redatti i primi bilanci energetici e di massa sotto la spinta di crescente preoccupazione per l'esauribilità delle risorse fossili ed i cambiamenti climatici causati dall'inquinamento.

Uno dei primi esempi di questa metodologia può essere considerato la relazione di Harold Smith alla *World Energy Conference* del 1963 sulla richiesta di energia per la produzione di intermedi chimici.

Verso la fine degli anni Sessanta furono pubblicati alcuni studi di modelli globali in "*The Limits to Growth*" nei quali si cercava di predire quali sarebbero stati gli effetti dovuti all'aumento della popolazione mondiale e lanciare un allarme sulla futura richiesta di materia ed energia. Questo spinse a maggiori controlli sui consumi energetici e sulle emissioni delle industrie.

Lo studio che però si ritiene abbia gettato le basi dell'attuale metodologia fu commissionato dalla "*Coca-Cola*" nel 1969 ad un gruppo di ricercatori del *Midwest Research Institute* (MRI) riguardante la comparazione di diversi contenitori per bevande allo scopo di determinare quale fosse più eco-compatibile: si passò così, per la prima volta, ad uno studio di prodotti e non più ai singoli processi industriali ai quali era stata fino ad allora applicata la metodologia.

Un nuovo impulso si ebbe negli anni '80 poiché su scala mondiale crebbe il problema dei rifiuti solidi e l'LCA si scoprì essere uno strumento adatto anche all'analisi di questi problemi ambientali. Contemporaneamente si sviluppò l'interesse per la valutazione dei potenziali impatti legati allo sfruttamento delle risorse e alle emissioni nell'ambiente, facendo quindi un passo in più rispetto alla semplice contabilizzazione degli stessi.

Alla fine degli anni '80, esisteva però una situazione di enorme disordine, in quanto valutazioni LCA condotte sugli stessi prodotti contenevano spesso risultati contrastanti basati su dati, metodi e terminologie differenti. Nacque quindi la forte esigenza di standardizzare la metodologia in modo che fosse univoca. Nel 1993 durante il congresso della SETAC di Smuggler Notch (Vermont, USA) venne coniato il termine "*LCA*" e pubblicato il quadro di riferimento accettato in campo internazionale, per meglio caratterizzare l'obiettivo delle analisi fino ad allora svolte sotto il nome di REPA, *Resource and Environmental Profile Analysis*.

La Definizione proposta dalla *Society of Enviromental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1993) descrive l'LCA come:

" un procedimento oggettivo di valutazione di carichi energetici e ambientali relativi a un prodotto/processo/attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto/processo/attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale".

Nel 1998 la SETAC impostò le linee guida per redigere un LCA, recepite nella norma ISO 14040. In particolare, attualmente, le norme che trattano di LCA sono:

- *ISO 14040:2006* (Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento)
- *ISO 14044:2006* (Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida).

La prima fornisce, in un quadro generale, le pratiche, le applicazioni e le limitazioni dell'LCA, mentre la seconda le linee guida per la fase di valutazione dell'impatto dell'LCA, la fase di interpretazione dei risultati, la valutazione relativa alla natura e alla qualità dei dati raccolti.

La norma UNI EN ISO 14040 (ISO, 2006) definisce ulteriormente l'LCA come:

«compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto»

1.1.2 Metodologia e funzioni

L' LCA si basa sulla compilazione, quantificazione e valutazione di tutti gli ingressi e le uscite di materiali ed energia e degli impatti ambientali associati, attribuibili ad un prodotto nell'arco del suo ciclo di vita, includendo quindi l'estrazione delle materie prime e la loro lavorazione, la fabbricazione del prodotto, il trasporto, la distribuzione, l'uso e l'eventuale riuso, la raccolta, lo stoccaggio, il riciclaggio, il recupero e lo smaltimento finale del rifiuto che deriva dall'utilizzo del prodotto.

Durante uno studio di LCA un prodotto viene esaminato in tutti i suoi stadi attraverso un'articolazione in quattro fasi principali (Paragrafo. 1.2).

Il motivo per cui si esegue un'analisi di questo tipo possono essere molteplici, infatti l'LCA può supportare:

- l'identificazione delle opportunità di miglioramento degli aspetti ambientali dei prodotti nei diversi stadi del loro ciclo di vita
- le decisioni nell'industria e nelle organizzazioni governative e non governative (per esempio nella pianificazione strategica, scelta di priorità, progettazione o riprogettazione di prodotti o di processi)
- la scelta di indicatori rilevanti di prestazione ambientale con le relative tecniche di misurazione
- la commercializzazione dei prodotti (per esempio una dichiarazione ecologica o un sistema di etichettata tura ecologica)

1.2 Le Fasi della valutazione del ciclo di vita

Come indicato nelle norme ISO 14040 e 14044, un'analisi LCA è suddivisa in quattro fasi distinte (Figura 2):

1. Obiettivo e campo di applicazione (*Goal and Scope*)
2. Analisi d'inventario (*Life Cycle Inventory - LCI*)
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (*Life Cycle Impact Assessment - LCIA*)
4. Interpretazione dei risultati (*Life Cycle Interpretation*)

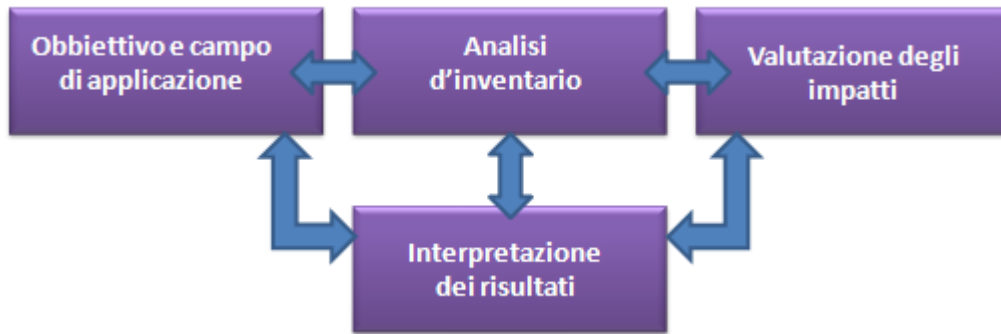


Figura 2: Fasi della valutazione del ciclo di vita del prodotto

1.2.1 Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione

La fase di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione di una valutazione del ciclo di vita (LCA), definita dalla norma UNI EN ISO 14040, costituisce la fase preliminare e fondamentale di un LCA, in quanto spiega il motivo per il quale si svolge lo studio, descrive il sistema preso in considerazione ed elenca le categorie di dati da sottoporre allo studio.

Gli **obiettivi**, in particolare, devono specificare:

- l'applicazione prevista
- le motivazioni per cui lo studio viene intrapreso
- il tipo di pubblico a cui lo studio è rivolto
- se i risultati verranno utilizzati in una analisi comparativa e se saranno resi pubblici.

A seconda della motivazione l'uso dello studio può essere interno e quindi privato oppure reso pubblico.

La definizione del **campo di applicazione** comporta l'approfondimento delle seguenti tematiche:

- funzione del sistema prodotto
- unità funzionale
- confini iniziali del sistema prodotto
- requisiti di qualità dei dati

La funzione del sistema prodotto

L'oggetto di uno studio LCA è un sistema di prodotto inteso come prodotto vero e proprio, come processo o come servizio. Nella norma UNI EN ISO 14040 (ISO, 2006) è definito come:

“ Insieme elementare di unità di processo, connesse tra loro per quanto riguarda materia ed energia, che perseguono una o più funzioni definite ”

E' quindi suddiviso in unità di processo, ciascuna delle quali include tutte le attività relative ad un'operazione o ad un gruppo di operazioni. Queste sono connesse tra loro da flussi intermedi e con l'ambiente da flussi elementari.

La descrizione di un sistema di prodotto comprende quindi le unità di processo, i flussi elementari o i flussi di prodotti che oltrepassano i confini del sistema, nonché i flussi dei prodotti intermedi all'interno del sistema.

Si definisce **flusso elementare** un flusso di materia o energia entrante nel sistema che è stato prelevato dall'ambiente senza alcuna trasformazione da parte dell'uomo o un flusso di materia o energia uscente dal sistema che non subisce alcuna trasformazione da parte dell'uomo.

Un **flusso intermedio** (o flusso non elementare) è invece un flusso di materia o energia entrante nel sistema proveniente dalla “tecno- sfera” ossia prodotto dall'uomo.

L'unità funzionale

L'unità funzionale rappresenta l'unità di misura di riferimento del nostro studio a cui tutti i dati in ingresso ed in uscita saranno normalizzati.

Viene così definita dalla ISO 14040 (ISO, 2006):

“ Misura della prestazione del flusso in uscita funzionale del sistema prodotto. Lo scopo principale dell'unità funzionale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in uscita ed in entrata. Questo riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati della LCA, che risulta essere critica quando si valutano sistemi differenti, perché ci si deve assicurare che il confronto venga fatto su base comune ”

La sua scelta è libera e dipende dalla funzione del prodotto e dall'obiettivo dello studio.

A monte di ciò è necessario identificare la funzione del sistema mentre a valle è identificato il flusso di riferimento ovvero la quantità di prodotto necessaria a soddisfare l'unità funzionale scelta.

I confini del sistema prodotto

I confini del sistema prodotto rappresentano le unità di processo che bisogna includere nell'LCA, che vengono definite attraverso una accurata descrizione del sistema in esame. Per descrivere il sistema prodotto si fa uso di diagrammi di flusso che indicano le unità di processo e le loro interrelazioni.

Per stabilire i confini del sistema, normalmente si prendono in considerazione:

- Flussi in ingresso ed in uscita
- Acquisizione materie prime
- Processo di fabbricazione
- Produzione ed utilizzazione di combustibili, elettricità, e di calore
- Uso e manutenzione del prodotto
- Riciclo e gestione dei rifiuti

L'LCA è però una metodologia iterativa e ciò implica che, dopo la raccolta delle informazioni e dei dati necessari, potrebbe essere necessario modificare i confini iniziali.

A questo proposito, le **regole di cut-off** sono regole che si applicano per l'esclusione dall'analisi di inventario di alcuni flussi di materia o di energia. Il loro utilizzo permette di gestire inventari più semplici e di non caricare sul ciclo di vita, gli impatti di produzione di tutti i materiali che convergono nel processo ma che producono un impatto ambientale, riferito alla massa in gioco, inferiore ad una percentuale stabilita. In genere, in accordo con la ISO 14040, si includono i dati relativi almeno al 95% - 98% degli input in base alla massa, all'energia e alla rilevanza ambientale.

A seconda dei confini del sistema un LCA può quindi essere definito:

- *"From cradle to grave"* (dalla culla alla tomba) : considera tutte le fasi del ciclo di vita. L'unità funzionale viene quindi espressa in termini di fornitura di una determinata funzione da parte del prodotto e ciò serve a confrontare due o più prodotti che hanno la stessa funzione e ipotizzarne miglioramenti

- *"From cradle to gate"* (dalla culla al cancello): considera l'estrazione e il trattamento delle materie prime e il processo produttivo. In genere l'unità funzionale per questo tipo di LCA è definita in termini di unità prodotto finito o di massa di prodotto. Serve per determinare le ipotesi di miglioramento o per confrontare due o più processi produttivi attraverso i quali si ottiene il medesimo prodotto partendo da materie prime differenti.
- *"Gate to gate"* (dal cancello al cancello): considera solo il processo produttivo escludendo dall'analisi sia le fasi precedenti (estrazione e lavorazione delle materie prime) che quelle successive (distribuzione, consumo, fine vita). Anche in questo caso l'unità funzionale per questo tipo di LCA è definita in termini di unità o massa di prodotto finito e serve per determinare le ipotesi di miglioramento o per confrontare due o più processi produttivi attraverso i quali si ottiene il medesimo prodotto partendo dalle stesse materie prime.
- *"Zero burden"*: si applica ai sistemi di gestione dei rifiuti e considera quindi il rifiuto dal momento che diventa tale, fino a quando attraverso processi e trattamenti il materiale cessa di esserlo. Il ciclo di vita non considera quindi gli stadi che hanno generato il rifiuto (che si suppone siano comuni a tutti i sistemi di gestione dei rifiuti), in quanto lo scopo di questa LCA è quello di confrontare i diversi sistemi di smaltimento. L'unità funzionale in questo caso è la gestione dei rifiuti per uno specifico territorio o per una quantità e composizione merceologica determinata. Il suo scopo è confrontare due o più scenari alternativi.

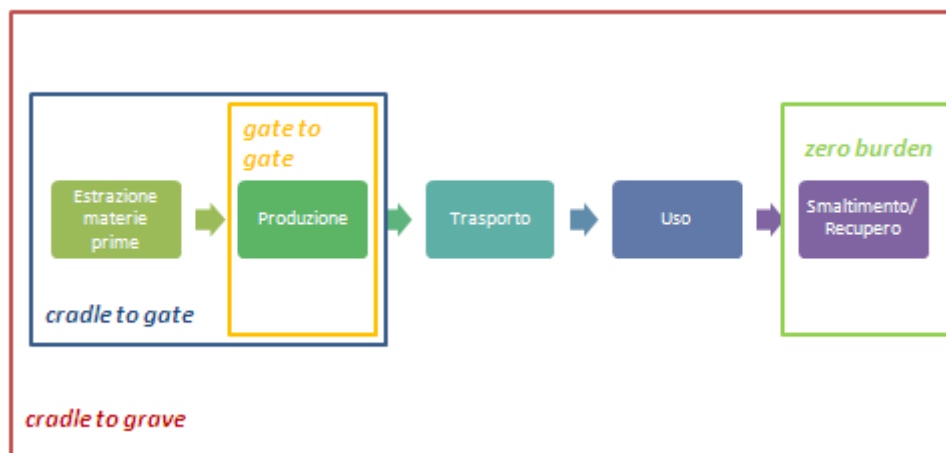


Figura 3: Schema dei diversi tipi di LCA possibili a seconda dei confini del sistema scelti

I requisiti di qualità dei dati

Le richieste relative alla qualità dei dati in generale descrivono le caratteristiche che devono avere i dati utilizzati per lo studio. La descrizione della qualità dei dati è importante per comprendere l'affidabilità dello studio ed interpretarne correttamente i risultati.

Questi requisiti quindi riguardano fattori relativi a rappresentatività temporale, geografica, tecnologica, precisione, completezza e accuratezza.

1.2.2 Analisi d'Inventario

L'analisi d'inventario (*LCI*) comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita dal sistema di prodotto. Anche questo processo è interattivo: raccogliendo dati e informazioni può emergere la necessità di ottenere informazioni su altri aspetti.

L'analisi d'inventario può essere suddivisa in tre sottofasi:

- **Raccolta dati** : input di energia, materie prime, materiali ausiliari, prodotti, co-prodotti, rifiuti, emissioni in aria, scarichi al suolo e in acqua
- **Elaborazione dei dati**: validazione dati raccolti e loro relativizzazione rispetto all'unità funzionale
- **Allocazione**: attribuzione dei flussi in entrata ed in uscita in base ai prodotti e co-prodotti

E' importante costruire un diagramma di flusso dettagliato delle operazioni che contribuiscono a formare il sistema considerato e che permetta di pianificare agevolmente la raccolta dei dati. Questi ultimi, a seconda della fonte, possono essere di tre diversi tipi:

- **Dati primari**: raccolti direttamente sul campo
- **Dati secondari**: provenienti da database, alcuni dei quali possono essere contenuti in software specifici
- **Dati terziari**: estratti da manuali tecnici, enciclopedie e letteratura scientifica

I dati che devono essere prediletti per uno studio LCA sono quelli primari che sono anche, purtroppo, quelli più difficili da ottenere per via della carenza di documentazione,

soprattutto ambientale, nelle realtà aziendali. In mancanza di fonti dirette possono quindi essere utilizzati anche dati secondari e terziari.

Da non sottovalutare è l'**allocazione**, ovvero la ripartizione nel sistema di prodotto dei flussi in entrata e in uscita dalle unità di processo.

Il problema dell'allocazione si ha nel momento in cui un processo industriale ha più di un prodotto oppure ricicla i prodotti intermedi o di scarto come fossero materie prime. Pertanto i flussi di materia ed energia devono essere allocati ai differenti prodotti secondo procedure definite.

L'allocazione è solitamente fatta su base fisica, ad esempio sulla massa dei prodotti oppure su base economica e quindi sul loro valore di mercato.

1.2.3 Valutazione dell'Impatto

La valutazione d'impatto del ciclo di vita (*LCIA*) ha come scopo quello di identificare e quantificare i temi ambientali rilevanti (risorse, impatti globali, impatti regionali e locali) e di trasformare ciascun flusso di sostanze dell'inventario in un contributo ad essi.

Questa fase dell'LCA serve quindi ad evidenziare l'entità delle modificazioni ambientali che si verificano in seguito alle emissioni nell'ambiente e al consumo di risorse provocati dall'attività produttiva.

L' LCIA può essere suddivisa in quattro fasi:

- Classificazione
- Caratterizzazione
- Normalizzazione
- Ponderazione

La classificazione

La prima fase dell' *LCIA* è la classificazione, ovvero una fase qualitativa in cui si assegnano i dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie d'impatto.

Una **categoria d'impatto** è una classe che rappresenta il tipo di problematica ambientale a cui l'impatto può essere assegnato.

Per la loro definizione occorre tenere conto di tre criteri:

- **Completezza:** considerare tutte le categorie a breve e a lungo termine su cui il sistema potrebbe agire
- **Indipendenza :** evitare intersezioni tra le categorie, conteggi multipli
- **Praticità:** la lista formulata non dovrà comunque contenere un numero eccessivo di categorie

La selezione delle categorie di impatto deve avvenire in base allo scopo, ai confini dell'analisi e alle problematiche ambientali connesse al prodotto studiato. Generalmente sono utilizzate categorie ambientali già esistenti, ma in taluni casi può essere necessario introdurne di nuove. Inoltre è essenziale definire anche l'**indicatore di categoria** (*Category Indicator*) che è la rappresentazione quantitativa di una categoria d'impatto.

Se determino i carichi ambientali attraverso queste categorie uso un approccio *Midpoint* mentre se le aggrego in base agli effetti che hanno sulla salute umana, sull'ecosistema e sull'esaurimento di risorse abiotiche utilizzo invece un metodo di tipo *Endpoint*.

La caratterizzazione

La caratterizzazione è la fase della *LCIA* in cui si quantifica l'impatto attraverso dei fattori di caratterizzazione e aggregano gli effetti ambientali all'interno delle categorie prescelte. Un **fattore di caratterizzazione** è il contributo di una sostanza ad una relativa tematica ambientale che serve a convertire i risultati ad un'unità comune. La fase finale della caratterizzazione è il "Profilo Ambientale" che è costituito da una serie di valori numerici d'impatto per ogni categoria, generalmente rappresentato con un istogramma a barre.

La normalizzazione e la ponderazione

La terza fase della *LCIA* è la normalizzazione che serve a contestualizzare gli impatti: i valori numerici ottenuti per ogni categoria d'impatto vengono rapportati ad un riferimento che, secondo la norma ISO 14044 (2006), può essere un input o un output di una data area su base globale, regionale, pro-capite o di sistemi di prodotto simili oppure di uno scenario di base.

L'ultima fase della *LCIA* è la ponderazione che consiste nell'assegnazione di un peso relativo alle varie categorie d'impatto e nella stima finale dei risultati. Questi fattori di peso infine vanno moltiplicati per i punteggi ottenuti e sommati per avere un indice ambientale finale. Queste due fasi però, secondo la norma ISO 14040 (2006), non sono obbligatorie in quanto dipendenti da scelte soggettive.

1.2.4 Interpretazione dei risultati

L'ultima fase dell'analisi del ciclo di vita ha come obiettivo quello di tradurre ed interpretare i risultati, verificare l'ottenimento degli obiettivi dello studio, la qualità dei dati e i limiti del sistema (analisi di sensitività), comparare e possibili opzioni oggetto dell'analisi e identificare ipotesi di miglioramento.

1.3 Limiti dell'LCA

La metodologia LCA mostra diversi limiti che riguardano soprattutto la complessità dell'analisi, le notevoli risorse richieste in termini di costo e tempo ma soprattutto la reperibilità di dati completi e precisi.

Quest'ultimo ostacolo può essere superato per esempio effettuando ipotesi coerenti ed utilizzando dati provenienti da database ritenuti affidabili.

Importante in uno studio di LCA è la natura delle scelte e delle assunzioni che nella maggior parte dei casi può essere soggettiva.

Inoltre i modelli utilizzati nella fase d'inventario e nella fase di valutazione degli impatti non sono sempre idonei a tutte le applicazioni e non sono in grado di descrivere in modo completo qualsiasi impatto ambientale.

Altro limite della procedura di LCA è il fatto di non essere sito-dipendente, quindi diversa dalla VIA (Valutazione d'impatto ambientale) che ha un approccio locale. Questo significa che l'LCA è maggiormente idoneo alla valutazione di impatti su scala globale e meno agli impatti locali, dove i fattori temporali e spaziali delle emissioni hanno più rilevanza.

1.4 Lo stato dell'arte dell'LCA dei cereali

Come precedentemente visto la metodologia LCA è nata e si è sviluppata principalmente nel settore della produzione industriale ma da qualche decade si è iniziato ad applicarla anche al settore dell'agricoltura.

Questo è giustificato dal fatto che il comparto agricolo e quello alimentare sono responsabili in larga percentuale degli impatti ambientali e dello sfruttamento di risorse connessi con l'attività umana e sono per questo sempre più oggetto di analisi volte alla ricerca di una maggior sostenibilità.

Il crescente interesse verso questo argomento è anche dimostrato dalla serie di “*International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*” giunte nell'Ottobre 2014, alla IX edizione. Queste conferenze rappresentano il primo forum globale tecnico e scientifico sull' LCA nel settore agricolo ed alimentare ed il loro obiettivo è quello di condividere gli sviluppi di database, metodologie e strumenti sull'argomento. Le prime conferenze si sono svolte a Bruxelles (1996,1998), poi a Gothenburg (2001, 2007), Horsens (2003), Zurigo (2008), Bari (2010), Saint Malo (2012) ed infine, nel 2014, a San Francisco.

Nonostante le conoscenze si amplino continuamente, l'LCA in agricoltura rimane oggetto di problematiche di natura tecnica da addebitare al fatto che la produzione primaria è soggetta ad una variabilità intrinseca che non vi è nei sistemi industriali.

Per quanto riguarda poi il caso specifico dei cereali, oggetto dello studio, Notarnicola et al. (2014) hanno evidenziato l'esistenza di numerosi studi LCA che riguardano la produzione di grano, mais, riso ed altri come quella di prodotti da essi derivati. In generale queste ricerche possono essere suddivise in quattro diversi gruppi. Le prime sono quelle volte a comprendere l'impatto ambientale dei cereali e loro derivati e/o comparare diverse pratiche agricole. Notarnicola e Nicoletti (2001) hanno ad esempio confrontato il ciclo di vita di pasta e cous-cous; Roy et al. (2009) hanno invece effettuato LCA sul riso e Lo Giudice et al. (2011) si sono invece concentrati sull'LCI della pasta, tenendo in considerazione tutte le sue fasi produttive.

Il secondo gruppo invece è formato da studi che comparano diversi prodotti alimentari derivanti da cereali come ad esempio quello di Narayanaswamy et al. (2004). Questo studio mette a confronto il ciclo di vita di prodotti diversi derivanti da cereali ovvero pane dal grano, birra dall'orzo e olio dalla colza in Australia valutandone i contributi in *pre-farming* e *farming*. Pelletier et al. (2008), invece, hanno studiato contemporaneamente sistemi di coltivazione convenzionale e biologica in Canada per predire la domanda energetica complessiva “dalla culla al cancello” di colza, mais, soia e grano.

Il terzo gruppo è invece dato da quelle ricerche che combinano l'LCA con altre metodologie come *Life Cycle Costing* (LCC), *Water Footprint* (WF), *Environmental Footprint* (EW) ed *Input-Output LCA* (IO-LCA). Il quarto, infine, da studi volti a determinare gli impatti di un'area e gli *hot-spot* del processo produttivo. Ruini e Marino (2010), ad esempio, hanno calcolato gli impatti dovuti alla coltivazione di grano nel Sud Est degli Stati Uniti e nel Sud Italia mentre Blengini e Busto (2009) quelli dovuti al riso nel Nord Italia.

Dalla maggior parte degli studi analizzati da Notarnicola ed al. (2014) gli *hot-spot*, critici per la sostenibilità, risultano essere la produzione di pesticidi e fertilizzanti, il loro utilizzo e l'uso di combustibili ad essi associato.

Mentre però molti di essi tengono in considerazione le emissioni associate al fertilizzante (il metodo maggiormente utilizzato per la stima è quello dell'IPPC 2006), pochi includono modelli di distribuzione dei pesticidi, bilancio dei nutrienti ed inclusione dello stoccaggio di carbonio da parte del suolo.

Se ci si focalizza sul mais, 170 milioni di ettari coltivati la maggior parte in USA seguiti dalla Cina (FAO, 2013), gli studi riguardano quasi tutti il cereale come materia prima per la produzione di biodiesel (Kim e Dale, 2002; Kim e Dale, 2008; Spataro et al. 2005). Altri invece valutano la performance ambientale della coltivazione come l'LCI del mais di Murphy e Kendall (2013) oppure la valutazione ambientale di Kim et al. (2009) su coltivazioni in vari luoghi della Corn Belt. In questi ed altri studi le unità funzionali maggiormente utilizzate sono 1 kg di mais o 1 ha di terreno coltivato e le categorie d'impatto scelte sono il riscaldamento globale, l'acidificazione, l'eutrofizzazione e l'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico. Gli impatti maggiori si hanno, come in generale per tutti i prodotti *food*, nella produzione ed uso dei fertilizzanti. Le coltivazioni biologiche risultano, in accordo con Pelletier et al. (2008), conseguentemente avere minori impatti per tutte le categorie soprattutto dove i fertilizzanti azotati vengono sostituiti con la pratica del sovescio, l'interramento delle colture che mantiene la fertilità del suolo.

Passando invece al grano, gli studi sono molto numerosi e possono essere divisi in due grandi gruppi: studi sul grano come cereale (Berthoud et al., 2011; Brentrup et al., 2004; Fallahpour et al. 2012; Roer et al., 2012; Schmidt 2008) e studi sul grano utilizzato per

produrre derivati quali soprattutto pane (Charles et al., 2006; Meisterling et al., 2009; Williams et al., 2010). L'unità funzionale viene spesso espressa in massa (1 kg di sostanza secca) o come area (1 ha di terreno coltivato) ma anche come contenuto energetico (MJ) e proteico (kg). Le problematiche ambientali lampanti legate alla produzione di questo cereale sono connesse all'uso di fertilizzanti, in particolare a quelli azotati. Molti studi infatti focalizzano l'attenzione sul raffronto tra agricoltura convenzionale e biologica oppure coltivazione con acqua irrigua e no. Ciò che è emerso è che gli impatti solitamente minori del biologico possono essere del tutto annullati dalle lunghe distanze che il prodotto deve percorrere e dal tipo di mezzo con il quali si effettua il trasporto. Molta attenzione dovrebbe essere posta all'inclusione/esclusione di fattori quali la costruzione dei macchinari agricoli ed edifici, la mineralizzazione dell'humus e l'emissione di NO_x dovuta all'utilizzo dei fertilizzanti.

Come precedentemente detto, i prodotti derivanti dal grano di cui esistono più studi LCA sono il pane e la pasta. In questi casi spesso viene utilizzato l'approccio comparativo (come per pasta e cous cous di Notarnicola e Nicoletti., 2001) e, oltre notoriamente alla fase agricola, sono di forte rilevanza ambientale la distribuzione del prodotto e la fase di uso (ad esempio, nella pasta, la cottura). Questi studi su prodotti derivati sono spesso la base di EPD e sono associati ad altre metodologie come LCC, WF, EF e CF che diventano strumenti di green marketing nei confronti dei consumatori consapevoli e attenti alle problematiche ambientali.

Le principali questioni metodologiche che quindi riguardano ad oggi l'LCA nel settore dei cereali, secondo Notarnicola et al. (2014), sono:

- La scelta dell'unità funzionale (UF): può essere espressa in massa (kg o, più raramente, t), area (ha) o contenuto energetico (MJ).
- La scelta dei confini del sistema: è fortemente legata all'obiettivo che si vuole raggiungere.
- I criteri di *cut-off*: l'esclusione della produzione di macchinari, edifici e pesticidi come il non conteggio dell'emissione di nitrati può portare ad una sottostima degli impatti.
- L'allocazione: spesso viene effettuata sulla base della massa o sul valore economico ma non rispecchia la reale ripartizione dei flussi tra prodotti e co-

prodotti. Potrebbe quindi essere sostituita dalla CU (*Cereal Units*) basata sui valori nutrizionali dei prodotti.

- Gli aspetti legati al fine vita: non risultano molto rilevanti se non per quello che concerne lo smaltimento degli imballaggi.
- La reperibilità e la qualità dei dati: ci sono ancora grandi lacune nella disponibilità di database sul settore agro-alimentare ed è importante, quindi, applicare controlli di qualità dei dati come analisi di sensitività, consistenza, completezza ed incertezza.
- LCIA: non è sito dipendente o emissione-specifico/tempo-dipendente mentre in campo agricolo il sito influenza molto il risultato. Ad esempio le condizioni pedo-climatiche incidono sulle emissioni di pesticidi e fertilizzanti.

In conclusione, quindi, LCA nel campo dei cereali ha fatto emergere chiaramente che gli impatti maggiori derivano dalla produzione ma soprattutto dall'uso dei fertilizzanti e fitofarmaci incidendo fortemente per le categorie dell'acidificazione e domanda energetica. L'utilizzo di questa metodologia in questo specifico ambito sta progressivamente aumentando, legata soprattutto a operazioni di green marketing ed ottenimento di etichettatura ecologica.

1.5 La Cooperativa Agricola Capa Cologna

Capa Cologna S.C.A. è una cooperativa agricola con sede operativa a Cologna, piccola frazione di Berra in provincia di Ferrara. Svolge le seguenti funzioni:

- essiccazione e stoccaggio di cereali e proteoleaginose;
- lavorazione e confezionamento di prodotti ortofrutticoli;
- erogazione di servizi ai soci: assistenza tecnica, magazzinaggio e fornitura di mezzi tecnici.



Figura 4: Foto aerea dell'impianto della cooperativa agricola Capa Cologna

Capa Cologna è stata fondata nel 1970 da 11 soci con a disposizione un magazzino in affitto e un essiccatoio mobile a noleggio. La prima costruzione nell'attuale sito risale al 1972 seguita da successivi potenziamenti.

Oggi Capa è costituita da 1008 soci (dato al 30/06/2013) che coltivano i propri prodotti agricoli su una superficie di circa 12.000 ettari, prevalentemente nei comuni di Berra, Copparo e Ro ma anche su tutta l'area compresa tra le province di Ferrara e Rovigo fino ad arrivare nelle province di Padova e Ravenna.

Il sito operativo, che si estende su un'area di 90000 m² di proprietà, è dotato di uffici, 4 essiccatoi in grado di essiccare 4800 tonnellate di prodotto verde al giorno, magazzini e silos con una capacità totale di stoccaggio di 100000 tonnellate con la possibilità di essere conservate tramite refrigerazione, magazzini per la lavorazione e confezionamento di orticole. L'impianto è in fase di ampliamento ed arriverà ad avere 36 silos e 6 magazzini per una capacità totale di 120000 tonnellate.

La cooperativa annualmente ritira e gestisce circa 76000 tonnellate di cereali, 9000 tonnellate di oleaginose e circa 6000 tonnellate di ortofrutta ed ha 12 dipendenti a tempo indeterminato e 15 a tempo determinato.

Negli ultimi anni ha dedicato particolare attenzione ai processi qualitativi di certificazione ed ha ottenuto la certificazione del sistema di gestione per la qualità secondo la norma UNI EN ISO 9001:2000, che ha permesso alla cooperativa di migliorare il livello

generale delle prestazioni, di realizzare riduzione di costi ed ottenere risposte positive dal mercato in termini di qualità e di valore.

Capa Cologna ha ottenuto anche la certificazione Emas, reg. CE n. 761/2001 e UNI EN ISO 14001:2004 nell' ambito del sistema di gestione ambientale.



Figura 5: Piazzale e fosse di ricezione con tettoie dell' impianto di Capa Cologna

CAPITOLO 2 - OBIETTIVO DELLO STUDIO

L'obiettivo dello studio presentato in questa tesi è quello di valutare, attraverso l'applicazione di un'analisi LCA, la performance ambientale di due dei prodotti cerealicoli della cooperativa agricola Capa Cologna ovvero il grano e il mais dell'annata 2013. Il motivo per cui è stata svolta questa valutazione, in collaborazione con lo studio di ingegneria ambientale E&NGI srl di cui la cooperativa è cliente, è quello di misurare le prestazioni ambientali dei due prodotti ed individuare come migliorarne la performance ambientale.

Lo studio infatti fornisce le basi per ulteriori approfondimenti e per etichettature ecologiche come ad esempio *l'Environmental Product Declaration* (EPD - UNI ISO 14025) sempre più richieste da parte del consumatore ma, come più utile in questo caso, anche dalle aziende che trasformano il prodotto.

Inoltre, dal punto di vista metodologico, si è cercato di indagare i differenti metodi che vengono utilizzati nelle valutazioni del ciclo di vita dei prodotti agricoli ed alimentari soprattutto per quanto riguarda la stima delle emissioni dovute all'uso dei fertilizzanti e della distribuzioni nei vari comparti ambientali dei fitofarmaci, su cui esiste ancora molta incertezza in campo accademico, e di valutare la loro incidenza sui risultati dell'LCA.

CAPITOLO 3 - MATERIALI E METODI

3.1 Descrizione dei processi dei produttivi di grano e mais

Il sistema produttivo della cooperativa agricola Capa Cologna che viene preso in considerazione in questa tesi consta di due principali macro-processi: il primo agricolo, ovvero la coltivazione delle due colture oggetto di studio, grano e mais, da parte dei soci; il secondo invece consiste nella preparazione dei due cereali alla vendita che porterà, in alcuni casi non trattati in questa tesi, ad ulteriori trasformazioni. Il mais è, nella maggior parte dei casi, destinato infatti a mangimi animali mentre il grano alla produzione di farine per prodotti da forno e pasta.

Il sistema preso in considerazione non è quindi particolarmente complesso ma consta di varie fasi che sono differenti per i due diversi cereali.



Figura 6: L'impianto di Capa Cologna: aree in cui avvengono i vari processi di trattamento del grano e del mais



Figura 7: L'impianto di Capa Cologna: zona di stoccaggio dei cereali e proteoleaginose

3.1.1 La coltivazione del grano

Il grano, detto anche frumento, è un noto cereale autunno-primaverile della famiglia delle graminacee coltivato su ampia scala già dall'antichità. È originario dell'Asia sud-occidentale ed è stato il primo ad essere coltivato dalle popolazioni sedentarie. Oggetto del seguente studio sono due specie di grano, quello tenero, *Triticum aestivum*, e quello duro, *Triticum durum*, che per semplificazione, sono state trattate assieme. Il primo viene solitamente utilizzato per produrre la



Figura 8: *Triticum aestivum*

semola per fare la pasta mentre il secondo è maggiormente indicato per le farine bianche che vengono utilizzate ad esempio per i prodotti da forno come il pane. Le varietà note, derivate da queste due specie, sono numerosissime, nell'ordine di qualche migliaio. I frumenti teneri comprendono il maggior numero di varietà ed hanno la massima

estensione colturale anche perché sono i soli in coltivazione nei paesi nordici. I grani duri, invece, sono più tipici dei paesi con clima temperato caldo. L'Italia è un forte produttore di frumento in quanto il clima è favorevole a questa coltura che occupa circa il 70% della superficie coltivata a cereali.

Nel caso oggetto di studio, Capa Cologna presenta 6000 ettari di terreno, appartenenti ad un centinaio di soci, che nel 2013 sono stati coltivati a grano sia tenero che duro.

Le fasi di coltivazione del grano prevedono:

- Preparazione del terreno
- Concimazione
- Semina
- Difesa e diserbo
- Raccolta

Preparazione del terreno

Durante questa fase il terreno viene preparato per la semina e consta di diverse operazioni: la prima è l'**aratura** (effettuata solo nel 30% dei casi oggetto di studio) che avviene a bassa-media profondità (20–35 cm). Il terreno viene poi **estirpato** con uno strumento chiamato estirpatore che effettua tagli verticali nel suolo per omogeneizzarlo, ed infine **erpicato** con l'erpice che lo sminuzza per affinarne la superficie.

Concimazione

Secondariamente il terreno viene fertilizzato a seconda delle sue proprietà e delle esigenze colturali. I fertilizzanti sono i mezzi tecnici con cui viene fatto questo e che permettono di creare, ricostituire, conservare o aumentare la fertilità del terreno.

Secondo il tipo di miglioramento che conferiscono al suolo, i fertilizzanti si distinguono in:

- Concimi: arricchiscono il terreno in uno o più elementi nutritivi
- Ammendanti: migliorano le proprietà fisiche del terreno modificandone la struttura e/o la tessitura

- Correttivi: modificano la reazione dei terreni anomali spostando il pH verso la neutralità.



Figura 9: Sacchi di Urea utilizzata per concimare stoccati presso Capa Cologna

Nelle colture in questione vengono utilizzati concimi e non viene utilizzato alcun fertilizzante organico ma solo di tipo chimico, sia fosfatici che azotati ma non potassici. La concimazione, oltre che pre-semina viene effettuata anche successivamente ovvero durante diverse fasi del ciclo biologico della pianta ovvero in “*accestimento*” a febbraio, in “*levata*” a marzo e in “*botticella*” ad aprile con spandiconcime centrifugo o barra irroratrice.

Semina

La terza fase consiste nella **semina** che si effettua a ottobre-novembre. Questa pratica è meccanizzata e avviene con una seminatrice a righe gravitazionale, che distribuisce i chicchi in file parallele poco distanziate, interrando a una profondità regolare di 2–3 cm. Per un ettaro sono necessari 200 kg di semi.

Diserbo e difesa

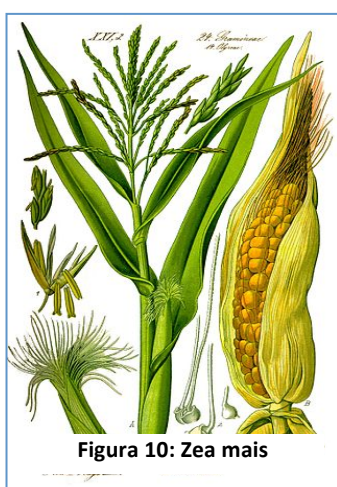
Altre fasi della lavorazione sono poi il **diserbo chimico** per eliminare le erbe infestanti e la **difesa** per uccidere i parassiti. La pianta si sviluppa rapidamente in primavera e raggiunge un'altezza pari a 40–80 cm. A giugno le spighe sono mature e pronte per la raccolta.

Raccolta

La fase di **raccolta** consiste nel taglio della pianta, detto **mietitura** e nella separazione dei chicchi dalla paglia e dalla pula, ovvero la **trebbiatura**. In genere queste due operazioni sono svolte contemporaneamente con l'impiego di una mietitrebbia. Il grano coltivato in Italia non viene, se non in casi estremi, irrigato come appunto nel caso oggetto dello studio.

3.1.2 La coltivazione del mais

Il mais (*Zea mais*), detto anche granturco, è un'altra graminacea tra le più coltivate al



mondo arrivata in Europa subito dopo la scoperta dell'America. Le regioni italiane più intensamente maidicole sono Veneto, Lombardia, Piemonte e Friuli Venezia Giulia che da sole producono circa il 66% di tutto il mais prodotto in Italia. Il mais è scarsamente coltivato invece nell'Italia meridionale e praticamente assente nelle Isole per via della sua forte necessità d'acqua.

Anche nel caso del mais, esistono vari ibridi commerciali utilizzati a scopi differenti.

Nel caso oggetto di studio, sono stati considerati 7000 ettari di terreno coltivati a mais per l'anno 2013.

Le fasi di coltivazione del mais sono:

- Preparazione del terreno
- Concimazione
- Semina
- Irrigazione
- Difesa e diserbo
- Raccolta

Preparazione del terreno

Come per il grano la preparazione del terreno consta di un'**aratura** seguita da **estirpatura** ed **erpatura**. A differenza del grano l'aratura avviene a maggiori

profondità (40-45 cm) per consentire un miglior sviluppo degli apparati radicali e assicurare la costituzione di riserve idriche nel terreno. Essendo il mais una pianta idro-esigente, questo tipo di attività viene attuata, per lo studio in oggetto, nell'80% dei casi.

Concimazione

La seconda fase è data dalla **concimazione** pre-semina che anche in questo caso è solo chimica azotata e fosfatica e non organica. Si effettuano successive concimazioni anche quando il mais raggiunge l'altezza di 10 e poi 25 cm.

Semina

La fase di **semina** avviene nel periodo primaverile, solitamente ad aprile, e la quantità di seme per ettaro dipende molto dal peso del seme stesso ma nel caso oggetto di studio è di 22,5 kg/ha.



Figura 11: Sacchi di semente presso i magazzini di Capa Cologna

Irrigazione

Una fase cruciale per il mais, che invece è assente nel grano, è l'**irrigazione**: viene svolta in 2 o 3 interventi di 60 mm/ha. Possono essere utilizzate tre diverse tecniche: si può irrigare a pioggia con rotolone (nel 90% dei casi), a pioggia con pivot o ranger (nel 10% dei casi) oppure con ala gocciolante che però essendo una tecnica molto costosa, nel caso oggetto di studio non viene mai utilizzata. L'acqua è al 98% acqua proveniente da canali.

Diserbo e difesa

La coltura deve poi essere **diserbata** chimicamente. La **difesa** invece viene fatta in contemporanea alla semina.

Raccolta

Una volta raggiunto un grado di umidità della granella intorno al 24-26%, avviene la **raccolta** con mietitrebbia seguita dalla trinciatura degli stocchi che, in questo caso, vengono lasciati al suolo e contribuiscono a fertilizzarlo.

3.1.3 Il trattamento del grano presso Capa Cologna

Una volta che il grano è stato raccolto viene trasportato, dall'agricoltore stesso col proprio trattore oppure conto terzi tramite camion con rimorchio, presso lo stabilimento di Capa Cologna. Qui iniziano le varie fasi di trattamento che sono:

- Conferimento e pesatura
- Scarico in buca
- Pulizia
- Stoccaggio e carico per il trasporto

Conferimento e pesatura

La prima fase consiste nella **ricezione del grano** da parte del trasportatore che posiziona il trattore o camion con rimorchio sull'area di pesa, dove contemporaneamente alla pesatura il cereale viene **campionato** ed **analizzato** con due macchinari: un MININFRA 2000T (Figura 12) che permette di misurare le proteine e due ISOELECTRIC GRAIN



Figura 12: MININFRA 2000T

CONTROL (uno per il grano duro e uno per il grano tenero) che invece determinano peso specifico e umidità. Questi parametri servono a determinare il peso di conferimento (che viene riconvertito ad un umidità del 13%) e per indirizzare i trasportatori ai vari punti di scarico del grano, suddivisi per varietà ma anche in base al contenuto di proteine.



Figura 13: Trattore con rimorchio posizionato sull'area di pesa dove viene effettuato il campionamento del grano

L'area di pesa è dotata di un disoleatore/sedimentatore che serve a decontaminare da tracce di oli minerali e idrocarburi provenienti dagli automezzi le acque piovane d'infiltrazione.

Scarico in buca

La seconda fase, ovvero lo **scarico**, avviene nel piazzale centrale dove poi gli operatori con le pale gommate lo trasportano nelle fosse oppure direttamente sotto le tettoie da parte dei trasportatori in corrispondenza delle buche di scarico.

Dopo aver scaricato il grano, il trasportatore posiziona il mezzo in una seconda area di pesa dove viene effettuata la tara e ritira la bolla di conferimento.



Figura 14: Scarico del grano da parte del trasportatore sotto la tettoia

Pulizia

Dalle buche di scarico, dove si trovano anche filtri depolveratori per il particolato, il grano viene avviato tramite trasportatori a catena alla zona dove si trovano i pulitori (Figura 16). Qui il prodotto viene **pulito** attraverso una vagliatura effettuata con setacci che hanno maglie di dimensioni via via più ridotte in modo da eliminare le impurità, corpi estranei e semi spezzati (Figura 15).



Figura 15: Setaccio utilizzato all'interno dei pulitori

Il grano, tranne in rarissimi casi, ha già il grado di umidità idoneo alla conservazione e non deve quindi essere essiccato.

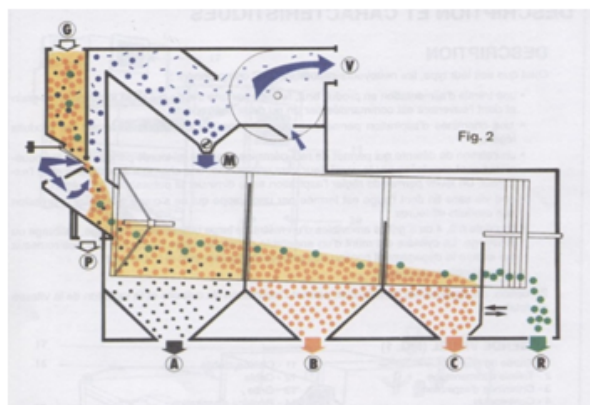


Figura 16: Il pulitore Marot ed un'illustrazione dal manuale di manutenzione che ne illustra il funzionamento

Stoccaggio

Dopo la pulitura il grano viene quindi avviato tramite elevatori a tazza o nastri di distribuzione ai silos e magazzini di **stoccaggio** che vengono opportunamente inizialmente refrigerati (Figura 17). Durante lo stoccaggio la temperatura viene continuamente monitorata da sonde termometriche e quando questa diventa poco idonea alla conservazione entrano in azione ventilatori che immettono aria fresca dall'esterno. In condizioni di temperature molto elevate si utilizzano frigo mobili per rinfrescare l'aria immessa. Infine, quando il prodotto deve lasciare l'impianto, il carico dei mezzi avviene per gravità dai silos, con caduta diretta sui mezzi di trasporto oppure tramite pale gommate dai magazzini piani.



Figura 17: Lo stoccaggio - un silos (magazzino verticale), un nastro di distribuzione ed una sonda termometrica all'interno di un magazzino orizzontale

3.1.4 Il trattamento del mais presso Capa Colonia

Il trattamento del mais presso Capa Colonia è molto simile a quello che subisce il grano ma con delle fase aggiuntive:

- Conferimento e pesatura
- Scarico in buca
- Pulizia del prodotto verde
- Essiccazione
- Pulizia del prodotto secco
- Stoccaggio e carico per il trasporto

Conferimento, pesatura e scarico in buca

La fase del **conferimento** del mais è identica a quella del grano tranne per il fatto che non vengono misurate le proteine.

Anche lo **scarico** in buca avviene con le medesime modalità descritte per il grano.



Figura 18: Filtri a manica per l'aspirazione delle polveri durante lo scarico in buca

Pulizia ed essiccazione

Per quanto riguarda la **pulizia** invece, vi sono due fasi: una pulizia del **prodotto verde** e una del **prodotto secco**. Questo perché, a differenza del grano, il mais non ha un grado di umidità idoneo alla conservazione e quindi deve essere essiccato. Dopo la prima pulizia, quindi, volta ad eliminare i corpi estranei e le impurità, il mais viene avviato tramite elevatori a tazze alle colonne essiccanti dove viene sottoposto ad un'**essiccazione** mediante flusso d'aria calda in controcorrente fino a raggiungere l'umidità idonea (circa 14%). Una volta essiccato il mais viene avviato ai pulitori del prodotto secco che eliminano altre impurità e i semi spezzati.



Figura 19: Interno dell'essiccatore

Stoccaggio

Infine, lo stoccaggio avviene come per il grano in silos verticali o magazzini orizzontali e il carico dei camion in uscita avviene con le medesime modalità.



Figura 20: il mais stoccato all'interno di un magazzino orizzontale e il momento in cui questo viene caricato sui camion tramite silos di carico rapido

3.2 L'Analisi degli input e output dei processi

Per effettuare un'analisi degli impatti legati alla produzione e lavorazione di grano e mais da parte di Capa Cologna è necessario, innanzitutto, analizzare i flussi di materia ed energia che entrano ed escono dai vari processi precedentemente elencati.

Le macro-fasi individuate sono tre:

- la **fase di produzione agricola** dei cereali presso i soci
- il **trasporto** dalle aziende agricole alla cooperativa
- la **fase di trattamento** nell'impianto di Capa Cologna

La fase agricola può essere poi ulteriormente suddivisa in sei processi per il grano e sette per il mais mentre la fase d’impianto in quattro per il grano e sei per il mais. Il trasporto non è invece suddivisibile in ulteriori processi. Per tutti questi processi esistono input e output di materia ed energia illustrati qualitativamente in Figura 21 per il grano e in Figura 22 per il mais.

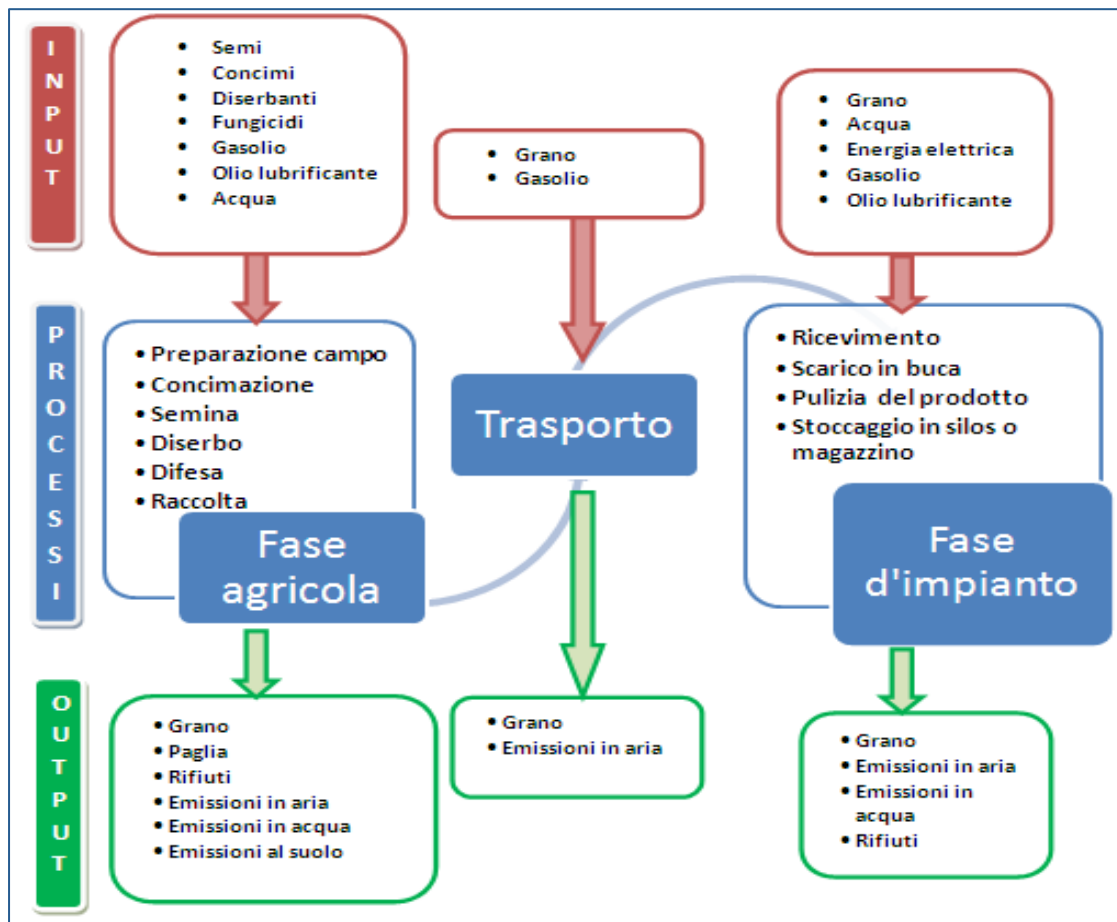


Figura 21: Schema degli input e degli output qualitativi nella la produzione del grano

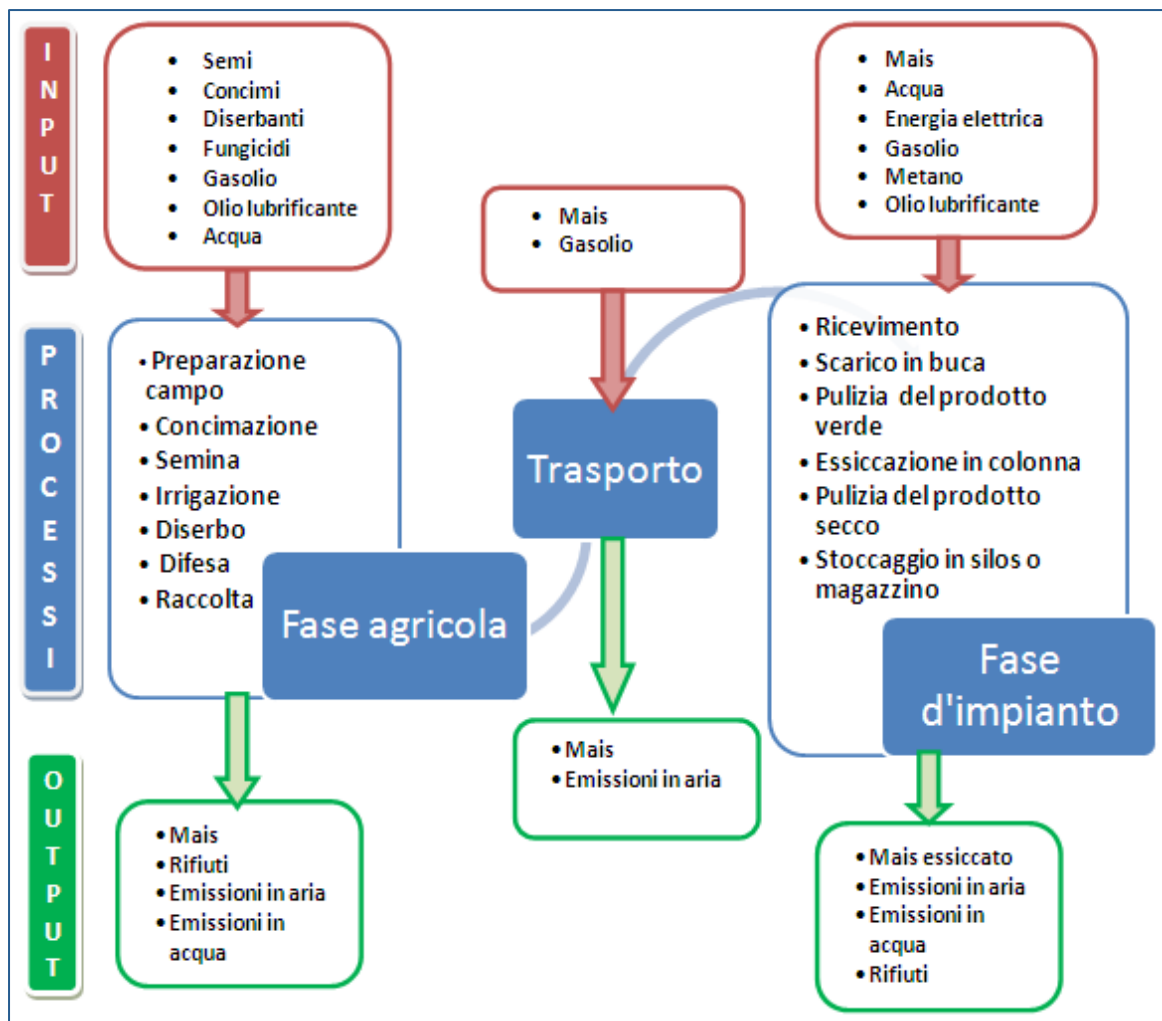


Figura 22: Schema degli input e degli output qualitativi nella la produzione di mais

3.1 Il Software Gabi

Per effettuare l'analisi LCA è stato utilizzato un apposito software chiamato Gabi prima nella sua versione 4 poi in quella più recente 6.

Il programma, sviluppato da *PE INTERNATIONAL*, permette di gestire in maniera corretta i dati raccolti in fase preliminare, creare un modello di facile comprensione e calcolare senza troppe difficoltà i risultati del ciclo di vita del prodotto.

Il modello che si crea è costituito da piani (Figura 23) che contengono al loro interno processi che a loro volta sono formati da flussi, in entrata ed uscita, costituiti dai dati raccolti durante l’LCI.

Nell’utilizzo di tale programma sono fondamentali le banche dati, perché, come già evidenziato, non sempre si dispone di dati primari. Questi database contengono quindi processi già creati che possono essere utilizzati all’interno dei piani e che risultano molto utili, quando nel proprio modello, si necessita di processi di cui non si hanno tutte le informazioni. Nello studio oggetto di tesi sono stati creati per la maggior parte processi *ad hoc* ma quando questo non è stato possibile sono stati utilizzati dati provenienti da due diversi database ovvero quello realizzato da *PE INTERNATIONAL* ed *Ecoinvent 2.0*, preferendo, quando possibile, la prima tipologia alla seconda. I dati PE sono infatti molto più completi e documentati rispetto a quelli Ecoinvent ma i secondi contengono molti processi utili al caso oggetto di studio, di ambito agricolo.

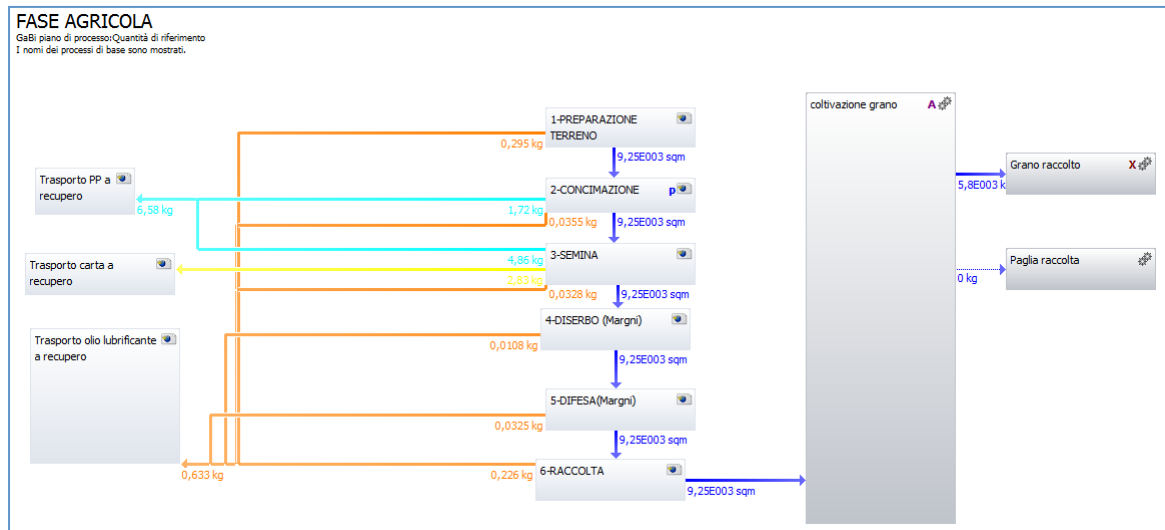


Figura 23: Piano della fase agricola del grano (relativo ad un ha coltivato) realizzato all’interno del software Gabi 6

3.4 La Valutazione del ciclo di vita dei cereali: grano e mais

3.4.1 Obiettivo dello studio

L'obiettivo dello studio è valutare i potenziali impatti ambientali derivanti dalla produzione di una tonnellata di cereale lungo il loro ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime fino all'uscita dall'impianto della cooperativa agricola Capa Cologna.

Il motivo per cui è stata svolta questa valutazione è quello di individuare i punti critici del processo produttivo e potere, all'occorrenza, attuare modifiche per migliorare la sostenibilità dei prodotti di Capa Cologna.

L'analisi, effettuata secondo gli standard della serie ISO 14040, fa riferimento all'anno di produzione 2013 ed è stata svolta per due diversi cereali trattati dalla cooperativa agricola: il grano e il mais.

Lo studio è rivolto sia alla cooperativa stessa ed ai suoi soci sia eventualmente ad un pubblico più ampio, in un'ottica di responsabilità sociale d'impresa, comunicazione e marketing ambientale. Lo studio infatti può fornire le basi per ulteriori approfondimenti e per etichettature ecologiche come ad esempio l'EPD (UNI ISO 14025) sempre più richieste da parte delle aziende di trasformazione per via della maggior consapevolezza ed attenzione alle tematiche ambientali dei consumatori finali.

L'analisi non è comparativa e i risultati verranno resi pubblici.

3.4.2 Unità Funzionale

L'unità funzionale scelta per entrambi i cereali è una tonnellata di prodotto finale in uscita dallo stabilimento Capa Cologna, quindi:

- 1 t di grano pulito e stoccato
- 1 t di mais pulito, essiccato e stoccato

3.4.3 Confini del sistema

I confini del sistema considerati per lo studio LCA sia di grano che di mais sono *"From cradle to gate"* (dalla culla al cancello) e includono quindi:

- Produzione delle materie prime
- Trasporto delle materie prime
- Produzione del prodotto presso Capa
- Stoccaggio del prodotto finito con carico sui camion per la distribuzione
- Smaltimento di rifiuti associati al ciclo produttivo

Non sono state considerate la produzione e la manutenzione delle infrastrutture e dei macchinari utilizzati in tutto il processo produttivo in quanto si assume che l'impatto venga ammortizzato nel tempo. Inoltre, per quanto riguarda i pesticidi, per mancanza di informazioni non sono stati presi in considerazione la produzione degli imballaggi e il trasporto.

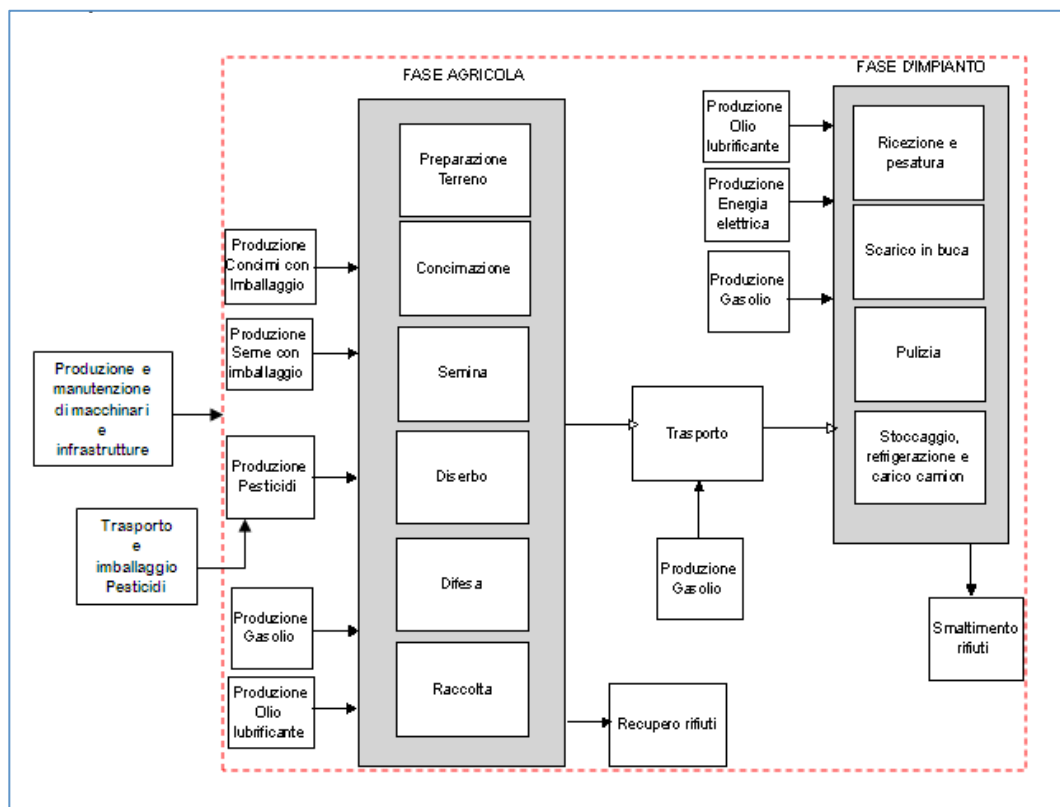


Figura 24: Confini del sistema (in rosso) del ciclo di vita del grano

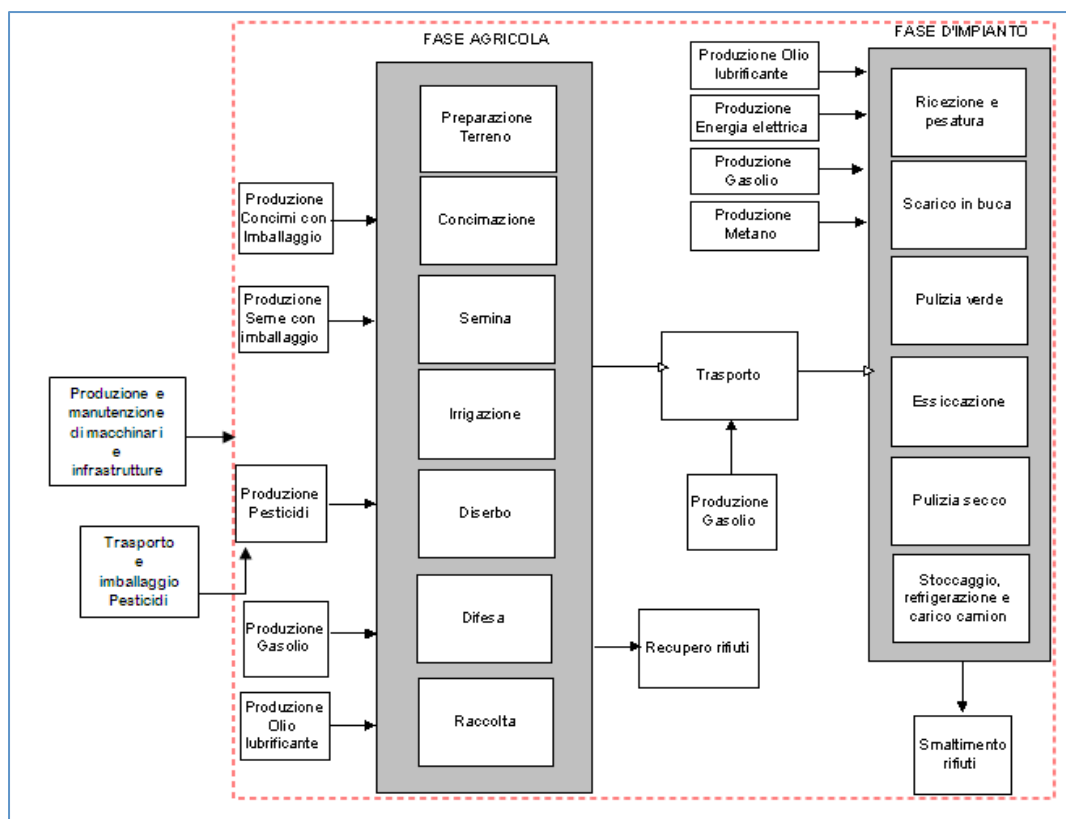


Figura 25: Confini del sistema (in rosso) del ciclo di vita del mais

3.4.4 Multifunzionalità: co-prodotti e allocazione

L'allocazione, già trattata nel capitolo introduttivo, serve a ripartire nel sistema di prodotto i flussi in entrata e in uscita dalle unità di processo e viene quindi utilizzata quando un processo produttivo presenta più di un prodotto.

Allocazione in massa

Nel caso oggetto di studio, per quanto riguarda il processo industriale, è stata effettuata a monte un'allocazione in massa per poter assegnare gli input e gli output di energia e materia ai diversi prodotti trattati nell'impianto che sono principalmente mais, grano e soia. Questa allocazione non compare nel modello in quanto la soia non è inserita nello studio e quindi tale ripartizione è stata effettuata solamente per attribuire ai prodotti oggetto dello studio i flussi in entrata e in uscita dal sistema.

I fattori di allocazione (λ) sono stati così calcolati:

$$\lambda = \%m \text{ rispetto a } m_{\text{tot}}$$

| Prodotti | U | m (2013) | λ (grano/soia/mais) | λ (soia/mais) |
|----------|---|----------|-----------------------------|-----------------------|
| Grano | t | 34376,07 | 0,25 | |
| Mais | t | 79017,35 | 0,58 | 0,77 |
| Soia | t | 23050,88 | 0,17 | 0,23 |

Tabella 1: Fattori di allocazione (λ) per ripartire i flussi di materia ed energia associati ai tre cereali principali trattati a Capa Cologna. Come si può notare ce ne sono di due tipi in quanto il grano non è soggetto agli stessi processi di soia e mais

Allocazione economica

Rientrano invece nel modello un'allocazione a livello del processo agricolo di produzione del grano e una a livello del processo di trattamento che riguarda il mais.

Per quanto riguarda la prima questa è stata effettuata in quanto la produzione agricola del grano produce due co-prodotti: grano e paglia. Quest'ultima viene per il 30% lasciata sul campo mentre per il 70% venduta. I due prodotti in uscita sono quindi stati allocati su base economica con fattori di allocazione di letteratura suggerite dalla PCR dei cereali (Product Group: UN CPC 011, 014, 017, 019 Arable Crops. Version 1.0, pp.9) ovvero 92,5 % d'impatti allocati al grano e 7,5% alla paglia. Per quanto riguarda la produzione agricola del mais, nessuna allocazione è stata posta in essere poiché è stato assunto che tutti gli stocchi fossero trinciati e lasciati a terra.

L'altra allocazione è stata necessaria, invece, a livello del processo industriale di Capa: lo scarto derivante dalla pulizia del mais infatti viene venduto ed è quindi da considerarsi un co-prodotto. In questo caso i fattori di allocazione sono stati calcolati sulla base del prezzo di mercato dei due prodotti: 188 €/t per il mais e 50 €/t per il co-prodotto. Il fattori di allocazione sono stati quindi così calcolato:

$$\lambda_1 = \frac{m_1 c_1}{m_1 c_1 * m_2 c_2} \text{ e } \lambda_2 = \frac{m_2 c_2}{m_2 c_2 * m_1 c_1}$$

Quindi il 96% d'impatti sono stati allocati al mais e 4% di impatti al co-prodotto di pulizia.

Nel caso del grano questa allocazione non è stata fatta per via dell'esigua quantità di scarto che di pulizia che viene prodotto (1,3% del totale).

3.4.5 Analisi d'inventario

Nella fase d'inventario sono stati contabilizzati i flussi di materia ed energia in entrata ed in uscita e le emissioni in aria, acqua e suolo legati alla produzione del grano e del mais precedentemente evidenziati

Per fare questo è stata necessaria una raccolta dati eseguita direttamente presso la cooperativa Capa Cologna. Questi dati primari sono stati infatti raccolti mediante interviste ai dipendenti in particolare agronomi che seguono i soci per quanto riguarda la coltivazione e tecnici che invece si occupano dell'impianto. Altri dati primari sono stati reperiti nei manuali di funzionamento dei macchinari e in varia documentazione specifica presente nella sede della cooperativa.

A questi dati primari sono stati ovviamente aggiunti dati calcolati mediante modelli e dati secondari presenti all'interno delle banche dati del software. In particolare sono state utilizzate le banche dati di *PE INTERNATIONAL* e quelle *ECOINVENT 2.0* per i dati non reperibili in altro modo.

Raccolta dati ed assunzioni sulla fase agricola

I dati che riguardano la produzione agricola del grano sono tutti riferiti ad un ettaro coltivato e sono tutti primari o calcolati da dati forniti direttamente dalla cooperativa e da soci agricoltori. Le fasi di coltivazione, tecniche e prodotti sono stati assunti essere gli stessi per tutti gli ettari coltivati salvo nei casi indicati diversamente.

Gli ettari totali coltivati, 6000 per quanto riguarda il grano e 7000 per quanto riguarda il mais, sono stati stimati sulla base del seme venduto nell'anno oggetto di studio. In entrambi i casi è stata calcolata una resa media. La resa del grano è di 5,8 t/ha con la produzione di 4 t/ha di paglia di cui 2,8 t sono state assunte essere vendute ad uso zootecnico mentre le restanti 1,2 t lasciate sul terreno. La resa del mais invece è di 9 t/ha con la produzione di 10 t/ha di paglia, tutte lasciate sul terreno.

Per quanto riguarda la lavorazione dell'aratura è stato assunto essere effettuata per il 30% dei casi nella produzione del grano (1800 ha) mentre nell'80% dei casi in quella del mais (5600 ha) su indicazione del tecnico agronomo.

Consumi di gasolio e olio lubrificante

Per ogni lavorazione sono state fornite le ore di lavoro impiegate per effettuarla e la potenza in kW del macchinario utilizzato.

I consumi di gasolio (kg/ha) dei mezzi agricoli, per cui sono stati creati processi *ad hoc* per ogni specifica lavorazione, sono stati calcolati in base alle ore di lavoro e alla potenza dei macchinari come anche i consumi di olio lubrificante. Questi sono poi stati confrontati con i consumi indicati dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, risultando molto simili.

In particolare la quantità di gasolio utilizzato dai mezzi agricoli è stata calcolata per 100 g/cv al 40% di potenza. Per il consumo di olio lubrificante è stato considerato un serbatoio da 20 L per mezzi con potenza di circa 250 cv e di 7 L per quelli di circa 80 cv. E' stato inoltre assunto che l'olio venga sempre cambiato ogni 200 ore di lavoro. Infine, la quantità di olio lubrificante di scarto è stata assunta essere la medesima di quello che viene immesso nel macchinario agricolo.

| | U | PREPARAZIONE TERRENO | CONCIMAZIONE | SEMINA | DISERBO | DIFESA | RACCOLTA |
|------------|----|----------------------|--------------|--------|---------|--------|----------|
| gasolio | kg | 77,52 | 7,34 | 6,8 | 2,24 | 6,73 | 61,2 |
| olio lubr. | L | 0,36 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,27 |

Tabella 2: Consumi di gasolio e olio lubrificante ad ettaro per la coltivazione del grano

| | U | PREPARAZIONE TERRENO | CONCIMAZIONE | SEMINA | IRRIGAZIONE | DISERBO | DIFESA | RACCOLTA |
|------------|----|----------------------|--------------|--------|-------------|---------|--------|----------|
| gasolio | kg | 79,22 | 10,2 | 10,2 | 159,93 | 2,24 | / | 37,4 |
| olio lubr. | L | 0,26 | 0,06 | 0,04 | | 0,01 | / | 0,14 |

Tabella 3: Consumi di gasolio e olio lubrificante ad ettaro per la coltivazione del mais

Applicazione dei concimi chimici

Le tipologie e le quantità di fertilizzante utilizzato (kg/ha), da cui poi è stato ricavato il titolo di azoto e fosforo, sono state indicate dal tecnico agronomo e confrontate con disciplinari regionali di coltivazione per verificare l'informazione. La tipologia "vari azotati" indicata dall'agronomo è stata poi esclusa per l'esigua quantità (1,8% del totale dei concimi azotati) e la difficoltà di assegnarla ad un determinato gruppo di fertilizzanti.

| Concimi | tipologia | coltura | Kg/ha | N_kg/ha |
|--|------------------|----------------|--------------|----------------|
| <i>Nitrato Ammonico (26% N)</i> | Azotato | grano | 300 | 78 |
| <i>Urea (46% N)</i> | Azotato | grano | 200 | 92 |
| <i>Urea granulare (46% N)</i> | Azotato | mais | 500 | 230 |
| <i>Perfosfato minerale (19% P₂O₅)</i> | Fosfatico | grano | 300 | 57 |
| <i>Perfosfato minerale triplo (45% P₂O₅)</i> | Fosfatico | mais | 200 | 90 |

Tabella 4: Tipologie e quantità di concimi utilizzati per la coltivazione di grano e mais

Applicazione di diserbanti e fungicidi

Le quantità dei principi attivi dei vari diserbanti e fungicidi (kg/ha) utilizzati è stata calcolata sulla base dei prodotti acquistati dai soci presso la Cooperativa. Non tutti i prodotti sono stati utilizzati per tutti gli ettari coltivati quindi le quantità ettaro sono state calcolate moltiplicando la quantità di principio attivo impiegata all'ettaro per gli ettari effettivamente trattati poi dividendo per gli ettari totali coltivati.

| Principio attivo | kg/ha | Principio attivo | kg/ha |
|----------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| <i>Diserbanti grano</i> | | <i>Diserbanti mais</i> | |
| <i>Clodinafop-propargyl</i> | 7,35E-03 | <i>Glifosate</i> | 1,08E+00 |
| <i>Cloquintocet-mexyl</i> | 1,84E-03 | <i>S-Metolachlor</i> | 6,00E-01 |
| <i>Florasulam</i> | 3,25E-03 | <i>Petoxamide</i> | 6,40E-02 |
| <i>fluroxipir</i> | 1,87E-02 | <i>Cyprosulfamide</i> | 2,50E-02 |
| <i>Iodosulfuron-Metil-Sodium</i> | 5,25E-04 | <i>Dicamba</i> | 2,10E-02 |
| <i>Mefenpir-Dietile</i> | 1,58E-03 | <i>Dimetenamid-P</i> | 4,00E-02 |
| <i>Mesosulfuron-Metile</i> | 5,25E-04 | <i>Isoxaflutole</i> | 3,00E-03 |
| <i>Pinoxaden</i> | 2,12E-03 | <i>Mesotrione</i> | 7,60E-02 |
| <i>Pyroxulam</i> | 4,02E-04 | <i>Nicosulfuron</i> | 1,00E-02 |
| <i>Tifensulfuron metile</i> | 2,08E-03 | <i>Prosulfuron</i> | 2,10E-04 |
| <i>Tribenuron metile</i> | 2,08E-03 | <i>Terbutilazina</i> | 4,40E-01 |
| <i>Fungicidi grano</i> | | <i>Fungicidi mais</i> | |
| <i>Azoxystrobim</i> | 2,00E-02 | <i>Chlorantraniliprole</i> | 7,14E-03 |
| <i>Tebuconazolo</i> | 1,25E-01 | <i>Teflutrin</i> | 5,00E-02 |
| <i>Prothioconazolo</i> | 1,25E-01 | | |
| <i>Picoxystrobin</i> | 2,50E-02 | | |
| <i>Pyraclostrobin</i> | 8,33E-02 | | |

Tabella 5: Principi attivi e quantità applicate dei fitofarmaci utilizzati per grano e mais

Consumi idrici

Le quantità d'acqua utilizzate, sia per diluire i diserbanti sia per irrigare, sono state fornite dal tecnico agronomo che segue gli agricoltori.

| Acqua (L/ha) | CONCIMAZIONE | IRRIGAZIONE | DISERBO | DIFESA |
|--------------|--------------|-------------|---------|--------|
| <i>Grano</i> | 300 | | 300 | 300 |
| <i>Mais</i> | | 1800 | 300 | |

Tabella 6: Consumi idrici per la coltivazione di grano e mais

Imballaggi di semi e concimi

Per quanto riguarda gli imballaggi, quindi i sacchi di seme e fertilizzanti, il numero è stato calcolato mediante le quantità utilizzate sul campo e il peso, misurando effettivamente i vari imballaggi di carta e plastica. Per quanto riguarda i contenitori di diserbanti e pesticidi il calcolo non è stato possibile vista la grande varietà di prodotti e quindi di imballaggi di forme, dimensioni e materiali diversi tra loro.

In particolare, per il calcolo del peso totale dei sacchi di concime usato per il grano da 40-50 kg (peso 130-160 g) e sacconi da 500-600 kg (peso 700-800 g) è stato ipotizzata metà quantità di sacchi da 600 kg e metà da 50 kg. Per i sacchi di concime utilizzati per il mais sono stati ipotizzati tutti sacchi da 50 kg (peso 130 g) fatti di polipropilene (PP).

| Materiale del contenitore | U | Seme Grano | Concime Grano | Seme Mais | Concime Mais |
|---------------------------|-------|------------|---------------|-----------|--------------|
| <i>PP</i> | kg/ha | 5,24 | 1,86 | 0,05 | 1,82 |
| <i>Carta</i> | kg/ha | 3,05 | | | |

Tabella 7: Quantità di materiale d'imballaggio (kg/ha) impiegata nella coltivazione di grano e mais

Calcolo delle emissioni dovute alla fase agricola

Emissioni dovute ai veicoli agricoli

Le emissioni dovute alla combustione del carburante, in questo caso gasolio, utilizzato per le varie macchine agricole è stato calcolato seguendo il tier1 dell' "EMEP/CORINAIR EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK" nella versione del 2013 per "Non road mobile source", ovvero le fonti mobili emissive non su strada. La metodologia tier1, che è la più

semplificata dei tre livelli previsti, permette di calcolare le emissioni (E) di CH₄, CO, CO₂, N₂O, NH₃, NMVOC, PM₁₀ e PM_{2.5} ma anche quelle di metalli pesanti (Cadmio, Rame, Cromo, Nichel, Selenio, Zinco) ed IPA (Benz(a) antracene, Benzo(b) fluorantene, Dibenzo(a,h)antracene, Benzo(a)pirene, Crisene, Fluorantene, Fenantrene) semplicemente moltiplicando un fattore di emissione (EF), relativo a ciascuno di esse, per la quantità di combustibile utilizzato (F)

$$E (g) = F (t) * EF (g/t)$$

Tutte le emissioni sono state espresse in grammi per ettaro tranne quelle di CO₂ che sono invece espresse in kilogrammi per ettaro.

| E grano | EF (g/t) | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Diserbo | Difesa | Raccolta |
|-------------------|----------|-------|---------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| NH ₃ | 8 | g/ha | 6,20E-01 | 5,88E-02 | 5,44E-02 | 1,80E-02 | 5,39E-02 | 4,90E-01 |
| CO ₂ | 3160 | kg/ha | 2,45E+02 | 2,32E+01 | 2,15E+01 | 7,09E+00 | 2,13E+01 | 1,93E+02 |
| CO | 10939 | g/ha | 8,48E+02 | 8,03E+01 | 7,44E+01 | 2,45E+01 | 7,36E+01 | 6,69E+02 |
| PM _{2,5} | 1738 | g/ha | 1,35E+02 | 1,28E+01 | 1,18E+01 | 3,90E+00 | 1,17E+01 | 1,06E+02 |
| PM ₁₀ | 1738 | g/ha | 1,35E+02 | 1,28E+01 | 1,18E+01 | 3,90E+00 | 1,17E+01 | 1,06E+02 |
| CH ₄ | 55 | g/ha | 4,26E+00 | 4,04E-01 | 3,74E-01 | 1,23E-01 | 3,70E-01 | 3,37E+00 |
| NO _x | 35043 | g/ha | 2,72E+03 | 2,57E+02 | 2,38E+02 | 7,86E+01 | 2,36E+02 | 2,14E+03 |
| N ₂ O | 136 | g/ha | 1,05E+01 | 9,99E-01 | 9,25E-01 | 3,05E-01 | 9,16E-01 | 8,32E+00 |
| NMVOC | 3366 | g/ha | 2,61E+02 | 2,47E+01 | 2,29E+01 | 7,55E+00 | 2,27E+01 | 2,06E+02 |

Tabella 8: Emissioni dovute ai mezzi agricoli per la coltivazione del grano

| E mais | EF (g/t) | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Irrigazione | Diserbo | Raccolta |
|-------------------|----------|-------|---------------|--------------|----------|-------------|----------|----------|
| CH ₄ | 55 | g/ha | 4,36E+00 | 5,61E-01 | 5,65E-01 | 8,80E+00 | 1,23E-01 | 4,36E+00 |
| CO | 10939 | g/ha | 8,67E+02 | 1,12E+02 | 1,12E+02 | 1,75E+03 | 2,45E+01 | 8,67E+02 |
| CO ₂ | 3160 | kg/ha | 2,50E+02 | 3,22E+01 | 3,25E+01 | 5,05E+02 | 7,09E+00 | 2,50E+02 |
| N ₂ O | 136 | g/ha | 1,08E+01 | 1,39E+00 | 1,40E+00 | 2,18E+01 | 3,05E-01 | 1,08E+01 |
| NH ₃ | 8 | g/ha | 6,34E-01 | 8,16E-02 | 8,22E-02 | 1,28E+00 | 1,80E-02 | 6,34E-01 |
| NMVOC | 3366 | g/ha | 2,67E+02 | 3,43E+01 | 3,46E+01 | 5,38E+02 | 7,55E+00 | 2,67E+02 |
| NO _x | 35043 | g/ha | 2,78E+03 | 3,57E+02 | 3,60E+02 | 5,60E+03 | 7,86E+01 | 2,78E+03 |
| PM ₁₀ | 1738 | g/ha | 1,38E+02 | 1,77E+01 | 1,79E+01 | 2,78E+02 | 3,90E+00 | 1,38E+02 |
| PM _{2,5} | 1738 | g/ha | 1,38E+02 | 1,77E+01 | 1,79E+01 | 2,78E+02 | 3,90E+00 | 1,38E+02 |

Tabella 9: Emissioni dovute ai mezzi agricoli per la coltivazione del mais

Le emissioni di metalli pesanti ed IPA sono invece espresse rispettivamente in mg e µg per ettaro e il fattore di emissione fa riferimento al kg di combustibile. Tra i processi del

mais manca la difesa perché questa avviene in concomitanza con la semina quindi non ci sono ulteriori emissioni.

| Metalli pesanti | EF (mg/kg) | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Diserbo | Difesa | Raccolta |
|-------------------------------|------------|-------|---------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| <i>Cd</i> | 0,01 | mg/ha | 7,75E-01 | 7,34E-02 | 6,80E-02 | 2,24E-02 | 6,73E-02 | 6,12E-01 |
| <i>Cu</i> | 1,7 | mg/ha | 1,32E+02 | 1,25E+01 | 1,16E+01 | 3,81E+00 | 1,14E+01 | 1,04E+02 |
| <i>Cr</i> | 0,05 | mg/ha | 3,88E+00 | 3,67E-01 | 3,40E-01 | 1,12E-01 | 3,37E-01 | 3,06E+00 |
| <i>Ni</i> | 0,07 | mg/ha | 5,43E+00 | 5,14E-01 | 4,76E-01 | 1,57E-01 | 4,71E-01 | 4,28E+00 |
| <i>Se</i> | 0,01 | mg/ha | 7,75E-01 | 7,34E-02 | 6,80E-02 | 2,24E-02 | 6,73E-02 | 6,12E-01 |
| <i>Zn</i> | 1 | mg/ha | 7,75E+01 | 7,34E+00 | 6,80E+00 | 2,24E+00 | 6,73E+00 | 6,12E+01 |
| IPA | EF (µg/kg) | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Diserbo | Difesa | Raccolta |
| <i>Benz(a) anthracene</i> | 80 | µg/ha | 6,20E+03 | 5,88E+02 | 5,44E+02 | 1,80E+02 | 5,39E+02 | 4,90E+03 |
| <i>Benzo(b)fluoranthene</i> | 50 | µg/ha | 3,88E+03 | 3,67E+02 | 3,40E+02 | 1,12E+02 | 3,37E+02 | 3,06E+03 |
| <i>Dibenzo(a,h)anthracene</i> | 10 | µg/ha | 7,75E+02 | 7,34E+01 | 6,80E+01 | 2,24E+01 | 6,73E+01 | 6,12E+02 |
| <i>Benzo(a)pyrene</i> | 30 | µg/ha | 2,33E+03 | 2,20E+02 | 2,04E+02 | 6,73E+01 | 2,02E+02 | 1,84E+03 |
| <i>Crysene</i> | 200 | µg/ha | 1,55E+04 | 1,47E+03 | 1,36E+03 | 4,49E+02 | 1,35E+03 | 1,22E+04 |
| <i>Fluoranthene</i> | 450 | µg/ha | 3,49E+04 | 3,30E+03 | 3,06E+03 | 1,01E+03 | 3,03E+03 | 2,75E+04 |
| <i>Phenanthene</i> | 2500 | µg/ha | 1,94E+05 | 1,84E+04 | 1,70E+04 | 5,61E+03 | 1,68E+04 | 1,53E+05 |

Tabella 10: Emissioni di metalli pesanti ed IPA dovute ai mezzi per la coltivazione del grano

| Metalli pesanti | EF (mg/kg) | U | Prep. terreno | Concimaz. | Semina | Diserbo | Irrigaz. | Raccolta |
|-------------------------------|------------|-------|---------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| <i>Cd</i> | 0,01 | mg/ha | 7,92E-01 | 1,02E-01 | 1,02E-01 | 1,60E+00 | 2,24E-02 | 3,44E-01 |
| <i>Cu</i> | 1,7 | mg/ha | 1,35E+02 | 1,73E+01 | 1,73E+01 | 2,72E+02 | 3,81E+00 | 5,85E+01 |
| <i>Cr</i> | 0,05 | mg/ha | 3,96E+00 | 5,10E-01 | 5,10E-01 | 8,00E+00 | 1,12E-01 | 1,72E+00 |
| <i>Ni</i> | 0,07 | mg/ha | 5,55E+00 | 7,14E-01 | 7,14E-01 | 1,12E+01 | 1,57E-01 | 2,41E+00 |
| <i>Se</i> | 0,01 | mg/ha | 7,92E-01 | 1,02E-01 | 1,02E-01 | 1,60E+00 | 2,24E-02 | 3,44E-01 |
| <i>Zn</i> | 1 | mg/ha | 7,92E+01 | 1,02E+01 | 1,02E+01 | 1,60E+02 | 2,24E+00 | 3,44E+01 |
| IPA | EF (µg/kg) | U | Prep.terreno | Concimaz. | Semina | Diserbo | Irrigaz. | Raccolta |
| <i>Benz(a) anthracene</i> | 80 | µg/ha | 6,34E+03 | 8,16E+02 | 8,16E+02 | 1,28E+04 | 1,80E+02 | 2,75E+03 |
| <i>Benzo(b)fluoranthene</i> | 50 | µg/ha | 3,96E+03 | 5,10E+02 | 5,10E+02 | 8,00E+03 | 1,12E+02 | 1,72E+03 |
| <i>Dibenzo(a,h)anthracene</i> | 10 | µg/ha | 7,92E+02 | 1,02E+02 | 1,02E+02 | 1,60E+03 | 2,24E+01 | 3,44E+02 |
| <i>Benzo(a)pyrene</i> | 30 | µg/ha | 2,38E+03 | 3,06E+02 | 3,06E+02 | 4,80E+03 | 6,73E+01 | 1,03E+03 |
| <i>Crysene</i> | 200 | µg/ha | 1,58E+04 | 2,04E+03 | 2,04E+03 | 3,20E+04 | 4,49E+02 | 6,88E+03 |
| <i>Fluoranthene</i> | 450 | µg/ha | 3,56E+04 | 4,59E+03 | 4,59E+03 | 7,20E+04 | 1,01E+03 | 1,55E+04 |
| <i>Phenanthene</i> | 2500 | µg/ha | 1,98E+05 | 2,55E+04 | 2,55E+04 | 4,00E+05 | 5,61E+03 | 8,60E+04 |

Tabella 11: Emissioni di metalli pesanti ed IPA dovute ai mezzi per la coltivazione del mais

Emissioni dei concimi

L'uso dei fertilizzanti chimici ed organici provoca l'emissione di diverse sostanze (quali NH_3 , N_2O , NO_3^-) che possono contribuire all'acidificazione e all'eutrofizzazione. E' quindi di cruciale importanza stimare questi output così importanti a livello d'impatto ambientale.

Le emissioni nel caso oggetto di studio riguardando solo fertilizzanti chimici (concimi), e non organici, sia azotati che fosfatici : nel primo caso sono rappresentati da Nitrato ammonico (utilizzato solo per il grano) ed Urea (sia per concimazione di grano che di mais) e nel secondo caso da Perfosfato minerale (per il grano) e Perfosfato minerale triplo (per il mais). Ovviamente si prende sempre in considerazione il titolo di azoto presente all'interno del fertilizzante.

Emissioni dei concimi chimici fosfatici

Le emissioni dovute ai fertilizzanti chimici fosfatici sono state calcolate come indicato da Ecoinvent (Nemecek et al., 2007) :

| Emissione (Kg/ha) | Formula | Grano | Mais |
|--------------------------------|--|--------------|-------------|
| <i>P in acque sotterranee</i> | $P = P_{\text{gwl}} * F_{\text{gw}}$ $P_{\text{gwl}} = 0,07 \text{ (kg / ha*a di P lisciviato)}$ $F_{\text{gw}} = [1 + (0,2/80) * P_2O_5 \text{ utilizzata}]$ | 0,07 | 0,08 |
| <i>P in acque superficiali</i> | $P = P_{\text{rol}} * F_{\text{ro}}$ $P_{\text{rol}} = 0,175 \text{ (kg/ha*a di P lisciviato)}$ $F_{\text{ro}} = [1 + (0,2/80) * P_2O_5 \text{ utilizzata}]$ | 0,19 | 0,2 |

Tabella 12: Formule e calcolo delle emissioni da fertilizzanti fosfatici

Emissioni dei concimi chimici azotati

L'approccio utilizzato invece per stimare le emissioni dovute ai concimi contenenti azoto è quello utilizzato da Brenttrup et al. (2000): questo metodo è molto approfondito e richiede dati specifici che riguardano le precipitazioni e la tessitura del terreno.

Di seguito le formule con cui sono state calcolate le emissioni di ammoniaca e protossido d'azoto.

| Emissione | Formula Brenttrup | Grano | Mais |
|---|--|--------------|-------------|
| <i>Ammoniaca (NH₃) (kg/ha)</i> | $\text{NH}_3 = \text{EF} * \text{Fsn} * \text{FC}$ <p>Fsn = titolo di azoto applicato per ettaro EF Nitrato ammonico= 2% EF Urea= 15% FC=17/14</p> <p>Per nazioni del gruppo II in cui rientra l'Italia</p> | 18,65 | 41,89 |
| <i>Protossido di azoto (N₂O) (kg/ha)</i> | $\text{N}_2\text{O} = \text{EF} * (\text{Fsn} - \text{NH}_3_N) * \text{FC}$ <p>EF=0,0125 FC= 44/28</p> <p>NH₃= emissioni ammoniaca (calcolate sopra ma non moltiplicata per FC)</p> | 3,04 | 3,84 |
| <i>Azoto emesso (N₂) (kg/ha) che è prodotto della denitrificazione e non ha impatti ambientali ma va incluso nel successivo bilancio dell'azoto per calcolare la lisciviazione dei nitrati</i> | $\text{N}_2 = \text{EF} * (\text{Fsn} - \text{NH}_3_N)$ <p>EF=0,09</p> <p>Non lo converto perché ne ho bisogno per il bilancio dell'azoto</p> | 13,92 | 17,59 |

Tabella 13: Formule per il calcolo delle emissioni di ammoniaca e protossido di azoto dovute ai fertilizzanti azotati

Il calcolo più complesso risulta però essere quello che riguarda i nitrati lisciviati perché necessita di molte informazioni ovvero:

- Parametri agronomici: il bilancio dell'azoto
- Parametri pedologici: capacità di campo nella zona effettiva di radicamento (FC_{RZe})
- Parametri climatici: tasso di drenaggio dell'acqua (W_{drain})

Il bilancio dell'azoto

Il calcolo del bilancio dell'azoto necessita delle informazioni utili per avere tutti gli input e output di N del sistema oggetto di studio e può essere così rappresentato

| INPUT (kg_N/ha) | OUTPUT(kg_N/ha) |
|-----------------------------|--|
| + N Fertilizzanti | -N Rimosso col raccolto |
| + N fissazione biologica | -NH ₃ _N emesso |
| + N mineralizzazione | -N ₂ O_N/N ₂ _N emesso |
| + N Deposizione Atmosferica | -N immobilizzato |
| ∑ input | ∑ output |

Tabella 14: Il bilancio dell'azoto

Il bilancio è quindi dato da $\sum \text{input} - \sum \text{output}$.

Ci sono però fattori che possono essere trascurati come la fissazione biologica in quando non sono oggetto di studio leguminose e la fissazione biologica non simbiotica può ritenersi trascurabile. Si assume poi che la mineralizzazione e l'immobilizzazione si eguagliano essendo il sistema costante nel tempo e il fertilizzante apportato in base all'esigenza della pianta.

Fattori che già sono noti sono invece l'azoto apportato con i fertilizzanti (Tabella 4) e l'azoto emesso (Tabella 13).

Per conoscere invece l'N dovuto alla deposizione atmosferica sono stati utilizzati dati Arpa (2012) relativi al campionamento dell'acqua piovana in due siti: Ferrara e Valle Lepri. E' stata quindi fatta una media dei campionamenti settimanali di NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- (mg/l), sono stati convertiti in N e sommati. Per ottenere la massa in mg la concentrazione di N è stata moltiplicata per la piovosità media annua della zona di Ferrara (2013) in mm che equivalgono a l/m^2 . Il dato ottenuto è stato poi convertito in kg/ha. Infine è stata fatta la media dei due valori ottenuti nei due diversi siti di campionamento.

$$\left. \begin{array}{l} \text{NO}_3^- \text{ (mg/l)} * 14/62 = \text{N_NO}_3^- \\ \text{NO}_2^- \text{ (mg/l)} * 46/14 = \text{N_NO}_2^- \\ \text{NH}_4^+ \text{ (mg/l)} * 18/14 = \text{N_NH}_4^+ \end{array} \right\} [\text{N tot}] \text{ (mg/l)} * \text{Piovosità (l/m}^2) = \text{N tot (mg/m}^2) / 100 = \text{N tot (kg/ha)}$$

L'ultimo dato necessario per effettuare il bilancio dell'azoto è l'N rimosso con il raccolto dovuto all'up-take della pianta e che quindi non ritorna al suolo.

Per stimare questo dato sono stati utilizzati i fattori di asportazione (N presente nella parte utile della pianta) ed assorbimento (N in tutta la pianta) contenuti all'interno del Disciplinare di Produzione Integrata (2014).

$$\mathbf{N_rimosso \text{ (kg/ha)} = \text{Coeff (\%)} * \text{Produzione (kg/ha)}}$$

Per il grano è stata fatta la media dei risultati ottenuti col coefficiente per grano duro e tenero.

Per la paglia è stato ricavato un coefficiente sottraendo quello di asportazione (granella) da quello di assorbimento ed è stato applicato al 70% della produzione di paglia, ovvero quella che viene asportata effettivamente.

Per il mais non è stata considerata alcuna asportazione ulteriore al di fuori della granella in quanto gli stocchi vengono trinciati e lasciati al suolo (Tabella 15).

| | Resa (kg/ha) | Coeff. Asportazione % (granella) | Coeff. Assorbimento % (pianta intera) | Coeff. Asportazione % (paglia) | N asportato (kg/ha) |
|--------------------------------|-----------------|---|--|---|------------------------|
| <i>Grano duro</i> | 5800 | 2,28 | 2,94 | | 132,24 |
| <i>Paglia grano duro</i> | 2800 | | | 0,66 | 18,48 |
| <i>Grano tenero</i> | 5800 | 2,1 | 2,59 | | 121,8 |
| <i>Paglia grano tenero</i> | 2800 | | | 0,49 | 13,72 |
| <i>MEDIA GRANO</i> | | | | | 127,02 |
| <i>MEDIA PAGLIA</i> | | | | | 16,1 |
| <i>Mais</i> | 9000 | 1,56 | / | / | 140,4 |

Tabella 15: Calcolo dell'azoto asportato con le colture

La capacità di campo nella zona di effettivo assorbimento da parte delle radici

Questo parametro descrive la capacità del suolo di assorbire l'acqua nella zona di esso in cui le radici sono in grado di farlo. L' FC_{RZ_e} si calcola moltiplicando la capacità di campo disponibile (FC_a) per la zona di effettivo assorbimento da parte delle radici (RZ_e)

$$FC_{RZ_e} \text{ (mm)} = FC_a \text{ (mm/dm)} * RZ_e \text{ (dm)}$$

Entrambe dipendono fortemente dalla tessitura del suolo, sulla base della quale vengono assegnate a determinati valori. Nel caso studiato, la superficie coltivata è molto ampia e diversificata geograficamente ma sulla base della carta dei suoli dell'Emilia Romagna, può dirsi franco-argillosa che nella classificazione tedesca utilizzata in Brentrup (2000) corrisponde ad un tL e quindi ad una classe in cui rientrano anche altre tessiture simili a quella che potremmo avere nella zona. Quindi $FC_a = 16 \text{ mm/dm}$ e $RZ_e = 10 \text{ dm}$.

Il tasso di drenaggio dell'acqua

Il W_{drain} è dato dal tasso di precipitazione, la sua distribuzione nell'anno e il tasso di evapotraspirazione ma può essere anche calcolato come:

$$W_{\text{drain}} \text{ (mm)} = 0,86 * W_{\text{prec_year}} \text{ (mm)} - 11,6 * W_{\text{prec_estate}} / W_{\text{prec_inverno}} \text{ (mm)} - 241$$

Tenendo conto che l'estate idrologica va da 1/04 al 30/09 e l'inverno idrologico dal 1/10 al 31/03 sono stati raccolti i dati da Arpa ER (dato Unioncamere).

La lisciviazione dei nitrati dipende da quanta acqua può percolare attraverso il profilo di suolo nella falda. Questa quantità è detta frequenza di scambio del drenaggio dell'acqua annuo che riflette direttamente la quota di nitrati persi per lisciviazione. Si calcola come:

$$\text{exchange frequency} = FC_{RZe} \text{ (mm)} / W_{\text{drain}} \text{ (mm)}$$

Il valore massimo di frequenza di scambio è uno poiché se è uguale o maggiore a 1 significa che si suppone che l'intero quantitativo di NO_3^- venga lisciviato.

Il calcolo dell' NO_3^- lisciviato

Ottenuti tutti i parametri è possibile calcolare il nitrato lisciviato come:

$$\text{NO}_3^- \text{ (kg/ha)} = (\text{Bilancio N(kg/ha)} - \text{exchange frequency}) * 62/14$$

| Emissione (Kg/ha) | Grano | Mais |
|-------------------|-------|--------|
| NO_3^- | 15,81 | 192,95 |

Tabella 16: NO_3^- lisciviato dovuto alla concimazione di grano e mais

Emissioni dei fitofarmaci

I principi attivi contenuti nei diserbanti e fungicidi presi in considerazione nello studio sono molti, diversi per le due colture trattate e, una volta rilasciati, hanno una distribuzione in ambiente molto complicata da ipotizzare. Per stimare, quindi, le emissioni dovute a queste sostanze è stato utilizzato un metodo semplificato che, come descritto da Margni et al. (2002), consiste nello spartire in percentuali diverse la distribuzione del principio attivo in ambiente, qualunque esso sia: 10% in aria, 10% in acqua e 75% al suolo.

| | TOT (kg) | aria (kg) | FC (PAF*m ³ *day* kg ⁻¹) | acqua (kg) | FC (PAF*m ³ *day* *kg ⁻¹) | suolo (kg) | FC (PAF*m ³ *day* *kg ⁻¹) |
|----------------------------------|-------------|--------------|---|---------------|--|---------------|--|
| Diserbanti grano | | | | | | | |
| <i>Clodinafop-propargyl</i> | 7,35E-03 | 7,35E-04 | 375,13 | 7,35E-04 | 26614,58 | 5,51E-03 | 585,84 |
| <i>Cloquintocet-mexyl</i> | 1,84E-03 | 1,84E-04 | 144,98 | 1,84E-04 | 10426,31 | 1,38E-03 | 8,87 |
| <i>Florasulame</i> | 3,25E-03 | 3,25E-04 | | 3,25E-04 | | 2,44E-03 | |
| <i>fluroxipir</i> | 1,87E-02 | 1,87E-03 | 473,79 | 1,87E-03 | 2920,96 | 1,40E-02 | 1116,70 |
| <i>Iodosulfuron-Metil-Sodium</i> | 5,25E-04 | 5,25E-05 | | 5,25E-05 | | 3,94E-04 | |
| <i>Mefenpir-Dietile</i> | 1,58E-03 | 1,58E-04 | | 1,58E-04 | | 1,18E-03 | |
| <i>Mesosulfuron-Metile</i> | 5,25E-04 | 5,25E-05 | 5368,87 | 5,25E-05 | 21427,9 | 3,94E-04 | 6441,7 |
| <i>Pinoxaden</i> | 2,12E-03 | 2,12E-04 | | 2,12E-04 | | 1,59E-03 | |
| <i>Pyroxsulam</i> | 4,02E-04 | 4,02E-05 | | 4,02E-05 | | 3,01E-04 | |
| <i>Thifensulfuron metile</i> | 2,08E-03 | 2,08E-04 | 35734,47 | 2,08E-04 | 12907,44 | 1,56E-03 | 1025,56 |
| <i>Tribenuron metile</i> | 2,08E-03 | 2,08E-04 | 154,89 | 2,08E-04 | 680,34 | 1,56E-03 | 175,17 |
| Fungicidi Grano | | | | | | | |
| <i>Azoxystrobim</i> | 2,00E-02 | 2,00E-03 | 2258,58 | 2,00E-03 | 73119,19 | 1,50E-02 | 819,75 |
| <i>Tebuconazolo</i> | 1,25E-01 | 1,25E-02 | 1770,73 | 1,25E-02 | 68297,39 | 9,38E-02 | 1365,69 |
| <i>Propioconazolo</i> | 1,25E-01 | 1,25E-02 | 295,11 | 1,25E-02 | 22312,43 | 9,38E-02 | 285,07 |
| <i>Picoxystrobin</i> | 2,50E-02 | 2,50E-03 | | 2,50E-03 | | 1,88E-02 | |
| <i>Pyraclostrobin</i> | 8,33E-02 | 8,33E-03 | | 8,33E-03 | | 6,25E-02 | |

Tabella 17: Distribuzione ambientale (Margni et al., 2002) dei principi attivi dei fitofarmaci applicati al grano con fattori di caratterizzazione per il metodo USEtox. Le caselle in verde indicano i flussi già presenti all'interno del software mentre quelli blu i flussi che sono stati aggiunti manualmente e associati al relativo fattore di caratterizzazione (FC)

| | TOT (kg) | aria (kg) | FC (PAF*m ³ *day* kg ⁻¹) | acqua (kg) | FC (PAF*m ³ *day* kg ⁻¹) | suolo (kg) | FC (PAF*m ³ *day* *kg ⁻¹) |
|------------------------|-------------|--------------|---|---------------|---|------------|--|
| Diserbanti mais | | | | | | | |
| <i>Glifosate</i> | 1,08E+00 | 1,08E-01 | 13,41 | 1,08E-01 | 321,08 | 8,10E-01 | 103,94 |
| <i>S-Metolachlor</i> | 6,00E-01 | 6,00E-02 | 1170,78 | 6,00E-02 | 67251,76 | 4,50E-01 | 5957,96 |
| <i>petoxamide</i> | 6,40E-02 | 6,40E-03 | | 6,40E-03 | | 4,80E-02 | |
| <i>Cyprosulfamide</i> | 2,50E-02 | 2,50E-03 | | 2,50E-03 | | 1,88E-02 | |
| <i>Dicamba</i> | 2,10E-02 | 2,10E-03 | 339,32 | 2,10E-03 | 1891,00 | 1,58E-02 | 476,08 |
| <i>Dimetenamid- P</i> | 4,00E-02 | 4,00E-03 | 2983,34 | 4,00E-03 | 140682,21 | 3,00E-02 | 20486,63 |

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| <i>Isoxaflutole</i> | 3,00E-03 | 3,00E-04 | 948,11 | 3,00E-04 | 42410,24 | 2,25E-03 | 161,24 |
| <i>Mesotrione</i> | 7,60E-02 | 7,60E-03 | | 7,60E-03 | | 5,70E-02 | |
| <i>Nicosolfuron</i> | 1,00E-02 | 1,00E-03 | 156,08 | 1,00E-03 | 652,48 | 7,50E-03 | 215,53 |
| <i>Prosulfuron</i> | 2,10E-04 | 6,84E+03 | 6840,22 | 2,10E-05 | 166395,86 | 1,58E-04 | 3507,53 |
| <i>Terbutilazina</i> | 4,40E-01 | 4,40E-02 | 27362,03 | 4,40E-02 | 474393,50 | 3,30E-01 | 53644,79 |
| Fungicidi mais | | | | | | | |
| <i>Chlorantraniliprole</i> | 7,14E-03 | 7,14E-04 | | 7,14E-04 | | 5,36E-03 | |
| <i>Teflutrin</i> | 5,00E-02 | 5,00E-03 | | 5,00E-03 | | 3,75E-02 | 4664,853 |

Tabella 18: Distribuzione ambientale (Margni et al.,2000) de principi attivi dei fitofarmaci applicati al mais con fattori di caratterizzazione per il metodo USEtox. Le caselle in verde indicano i flussi già presenti all'interno del software mentre quelli blu i flussi che sono stati aggiunti manualmente e associati al relativo fattore di caratterizzazione (FC)

Come si nota dalle Tabelle 17 e 18, sebbene col metodo Margni si possa calcolare la distribuzione ambientale dei principi attivi qualunque essi siano, molto spesso questi non possiedono il fattore di caratterizzazione per il metodo USEtox (caselle non colorate).

In altri casi all'interno del software non sono presenti alcuni flussi associati ad una specifica distribuzione ambientale (caselle blu). In questi casi si è proceduto inserendo manualmente i flussi e associandoli al relativo fattore di caratterizzazione per il metodo USEtox, scelto per calcolare l'ecotossicità acquatica (Paragrafo 3.4.6).

In questo modo la quantità di principi attivi dei fitofarmaci inseriti nel modello, sia dal punto di vista numerico sia in massa, è risultata comunque rappresentativa ovvero sempre abbondantemente al di sopra del 50 % (Tabella 19)

| | <i>grano</i> | | <i>mais</i> | | <i>totale</i> | |
|--------------------------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| | Numero | Massa (kg/ha) | Numero | Massa (kg/ha) | Numero | Massa (kg/ha) |
| % Fitofarmaci sul totale | 56,25 | 72,24 | 69,23 | 92,87 | 62,06 | 89,82 |
| % Diserbanti sul totale | 54,54 | 80,52 | 72,72 | 93 | 63,63 | 92,79 |
| % Fungicidi sul totale | 60 | 71,36 | 50 | 87,5 | 57,14 | 73,48 |

Tabella 19: Principi attivi dei fitofarmaci (%) utilizzati nell'analisi rispetto al totale

Raccolta dati sul trasporto ed assunzioni

Il trasporto dei cereali dalle singole aziende agricole avviene tramite trattore quando la distanza è breve mentre con camion a rimorchio quando questa è maggiore. Il territorio su cui sono dislocate le aziende agricole è infatti molto ampio, da 1 km fino a 60 km di distanza.

Per modellare il trasporto è stato utilizzato quindi l'elenco delle aziende agricole dei 413 soci che nel 2013 hanno coltivato grano per Capa Cologna e sono state calcolate le distanze di esse dallo stabilimento. Da quest'analisi sono scaturite 7 classi di distanze suddivise in due gruppi: il primo gruppo contenente tutte le sedi entro i 20 km mentre il secondo contenente quelle con distanze maggiori. Per il primo gruppo il trasporto è stato assunto essere effettuato con trattori Euro 3 da 14-20 t mentre per il secondo con camion a rimorchio Euro 3 da 34-40 t.

Per assegnare le diverse quantità di cereale trasportate per le diverse classi di distanze sono stati utilizzati dei pesi ricavati dal numero di aziende della classe diviso quello totale. Ciascun peso è stato poi moltiplicato per le tonnellate totali trasportate per ottenere i vari carichi.

| | Media (km) | Range (km) | N° aziende | Pesi | t grano | t mais | % |
|-----------------|---------------|---------------|------------|------|----------|----------|--------|
| GRUPPO 1 | | | | | | | |
| Classe 1 | 2,5 | > 5 | 70 | 0,17 | 5907,13 | 15512,76 | 16,95 |
| Classe 2 | 7,5 | 5 - 10 | 91 | 0,22 | 7679,27 | 20166,59 | 22,03 |
| Classe 3 | 12,5 | 10 - 15 | 110 | 0,27 | 9282,63 | 24377,19 | 26,63 |
| Classe 4 | 17,5 | 15 - 20 | 65 | 0,16 | 5485,19 | 14404,71 | 15,74 |
| GRUPPO 2 | | | | | | | |
| Classe 5 | 25 | 20 - 30 | 48 | 0,12 | 4050,60 | 10637,32 | 11,62 |
| Classe 6 | 35 | 30 - 40 | 21 | 0,05 | 1772,14 | 4653,83 | 5,08 |
| Classe 7 | 48,5 | 40 - 57 | 8 | 0,02 | 675,10 | 1772,89 | 1,94 |
| TOT | | | 413 | 1,00 | 34852,07 | 91525,28 | 100,00 |

Tabella 20: Modalità di spartizione delle tonnellate totali di cereali secondo classi di distanza divise in gruppi

Le distanze e quindi tutto il calcolo (Tabella 20) è stato assunto essere il medesimo per il mais.

Raccolta dati ed assunzioni sulla fase d'impianto

I dati riguardanti la ricezione, trattamento, essiccazione e stoccaggio dei cereali sono stati forniti dalla cooperativa, in particolare dai tecnici che lavorano all'interno di essa e sono tutti riferiti all'anno 2013.

La quantità di grano in entrata nell'anno suddetto è stata di 34852 tonnellate mentre per quanto riguarda il mais di 91525 tonnellate. Dalla pulizia dei due cereali deriva un prodotto che è stato calcolato come la differenza tra la quantità entrante e quella uscente. Essendo per il grano una quantità irrisoria questo è stato considerato come materiale di scarto mentre nel caso del mais, avendo anche un valore economico, esso è stato considerato come un co-prodotto.

| Cereale | Entrata (t) | Uscita (t) | Scarto/co-prodotto (t) |
|----------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| <i>Grano</i> | 34852,07 | 34376,07 | 476 |
| <i>Mais</i> | 91525,28 | 79017,353 | 12507,93 |

Tabella 21: Cereali in entrata ed uscita presso Capa Bologna con relativi scarti e co-prodotti

Consumi energetici e idrici

La quantità di energia elettrica utilizzata è stata calcolata grazie ai dati sui consumi annuali per quanto riguarda la parte degli uffici mentre attraverso le potenze e le ore di lavoro di tutta la meccanizzazione di una linea, opportunamente adeguate alle altre. Si è in particolare assunto che le 4 linee presenti funzionassero con potenza al 70% per 24 ore durante un periodo di 15 giorni per il grano mentre 40 per il mais.

Per lo stoccaggio, il raffreddamento è stato ipotizzato essere effettuato 23 ore per 7 giorni per i silos da 3500 tonnellate; 3 giorni per quelli da 1000/1500 tonnellate; 30 giorni per il magazzino da 20000 tonnellate; 15 giorni per il magazzino da 10000 tonnellate e 10 per quello da 5000 tonnellate.

| Grano | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia | Stoccaggio |
|--------------------------|-----|----------------------|-----------------|---------|------------|
| <i>Energia elettrica</i> | kWh | 20000 | 57960 | 30202,2 | 351374,32 |

Tabella 22: Consumi di energia elettrica il trattamento del grano, suddivisi per processi

| Mais | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia verde | Essiccazione | Pulizia secco | Stoccaggio |
|--------------------------|-----|----------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|------------|
| <i>Energia elettrica</i> | kWh | 40000 | 154560 | 80539,2 | 486100 | 93038,4 | 504751,52 |

Tabella 23: Consumi di energia elettrica il trattamento del mais suddivisi per processi

I dati riguardanti consumi di gasolio, consumi di metano, consumi idrici, rifiuti ed emissioni sono stati forniti rispetto all'intero impianto che tratta anche altri cereali. Per suddividere i consumi dovuti a grano, mais e soia i flussi sono stati, come precedentemente detto, allocati in massa.

| Grano | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia | Stoccaggio |
|-------------------------|----------------|----------------------|-----------------|---------|------------|
| INPUT | | | | | |
| <i>Acqua piovana</i> | m ³ | 10,73 | | | |
| <i>Acqua pozzo</i> | m ³ | 86,92 | | | |
| <i>Acqua acquedotto</i> | m ³ | 31,74 | | | |
| <i>Gasolio</i> | m ³ | | 11,84 | | |
| <i>Olio</i> | kg | | 132,26 | | |
| OUTPUT | | | | | |
| <i>Olio rifiuto</i> | kg | | 132,26 | | |
| <i>Filtri olio</i> | kg | | 5,79 | | |
| <i>PM</i> | kg | | 10,02 | 21,16 | |

Tabella 24: Consumi energetici, idrici, emissioni in aria e rifiuti dovuti al trattamento del grano

| Mais | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia verde | Essiccazione | Pulizia secco | Stoccaggio |
|-------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|------------|
| INPUT | | | | | | | |
| <i>Acqua piovana</i> | m ³ | 24,67 | | | | | |
| <i>Acqua pozzo</i> | m ³ | 199,79 | | | | | |
| <i>Acqua acquedotto</i> | m ³ | 71,96 | | | | | |
| <i>Gasolio</i> | m ³ | | 25,72 | | | | |
| <i>Olio</i> | kg | | 304,03 | | | | |
| <i>Metano</i> | Sm ³ | | | | 8506288,37 | | |
| OUTPUT | | | | | | | |
| <i>Olio rifiuto</i> | kg | | 304,03 | | | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------|----|--|-------|-------|---------|-------|--|
| <i>Filtri olio</i> | kg | | 13,31 | | | | |
| <i>NO_x</i> | kg | | | | 447,57 | | |
| <i>PM</i> | kg | | 14,37 | 23,04 | 410,23 | 34,24 | |
| <i>CO₂</i> | t | | | | 1683,02 | | |

Tabella 25: Consumi energetici, idrici, emissioni in aria e rifiuti dovuti al trattamento del mais

Reflui ed emissioni in acqua

Per conoscere la quantità di refluo dovuto al disoleatore (parte del processo “Ricezione” sia nel grano che nel mais) sono stati moltiplicati i mm di pioggia caduti nell’anno 2013 per la superficie dell’area pesa ottenendo i m³.

$$0,71 \text{ (m)} * 60 \text{ (m}^2\text{)} = 42,6 \text{ m}^3$$

Le emissioni sono poi state ricavate dalle analisi presenti all’interno della Dichiarazione Ambientale (2013) della cooperativa.

| Output disoleatore | U | Grano | Mais |
|------------------------------|----------------|--------------|-------------|
| <i>Fanghi disoleatore</i> | kg | 377,91 | 868,67 |
| <i>Solidi sospesi totali</i> | kg | 221,88 | 570,64 |
| <i>BOD₅</i> | kg | 246,42 | 633,75 |
| <i>COD</i> | kg | 740,94 | 1905,57 |
| <i>Idrocarburi totali</i> | kg | 6,22 | 16,00 |
| <i>Azoto ammoniacale</i> | kg | 45,74 | 117,65 |
| <i>Azoto nitrico</i> | kg | 6,39 | 16,44 |
| <i>Azoto nitroso</i> | kg | 1,00 | 2,57 |
| <i>Acqua reflua</i> | m ³ | 10,73 | 24,67 |

Tabella 26: Output del disoleatore dell’area pesa suddivisi per il trattamento del grano e del mais

Calcolo emissioni di pale e muletti

Lo stesso metodo che è stato applicato ai veicoli agricoli è stato anche utilizzato per stimare le emissioni dovute alle pale e muletti utilizzati nell’impianto con fattori di emissioni diversi suggeriti sempre all’interno della guida all’inventario delle emissioni.

| Emissioni (g) | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| | <i>CH₄</i> | <i>CO</i> | <i>CO₂ (kg)</i> | <i>N₂O</i> | <i>NH₃</i> | <i>NM VOC</i> | <i>NO_x</i> | <i>PM₁₀</i> | <i>PM_{2.5}</i> |
| <i>EF (g/kg)</i> | 55 | 10722 | 3160 | 135 | 8 | 3385 | 32792 | 2086 | 2086 |
| <i>Grano</i> | 5,47E+02 | 1,07E+05 | 3,14E+04 | 1,34E+03 | 7,96E+01 | 3,37E+04 | 3,26E+05 | 2,08E+04 | 2,08E+04 |
| <i>Mais</i> | 1,19E+03 | 2,32E+05 | 6,83E+04 | 2,92E+03 | 1,73E+02 | 7,32E+04 | 7,09E+05 | 4,51E+04 | 4,51E+04 |

| Metalli pesanti (mg) | | | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>Cd</i> | <i>Cu</i> | <i>Cr</i> | <i>Ni</i> | <i>Se</i> | <i>Zn</i> |
| <i>EF (mg/kg)</i> | 0,01 | 1,7 | 0,05 | 0,07 | 0,01 | 1 |
| <i>Grano</i> | 9,95E+01 | 1,69E+04 | 4,97E+02 | 6,96E+02 | 9,95E+01 | 9,95E+03 |
| <i>Mais</i> | 2,16E+02 | 3,67E+04 | 1,08E+03 | 1,51E+03 | 2,16E+02 | 2,16E+04 |

| IPA (µg) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| | <i>Benz(a)anthracene</i> | <i>Benzo(b)fluoranthene</i> | <i>Dibenzo(a,h)anthracene</i> | <i>Benzo(a)pyrene</i> | <i>Crysene</i> | <i>Fluoranthene</i> | <i>Phenanthrene</i> |
| <i>EF (mg/kg)</i> | 80 | 50 | 10 | 30 | 200 | 450 | 2500 |
| <i>Grano</i> | 7,96E+02 | 4,97E+02 | 9,95E+01 | 2,98E+02 | 1,99E+03 | 4,48E+03 | 2,49E+04 |
| <i>Mais</i> | 1,73E+03 | 1,08E+03 | 2,16E+02 | 6,48E+02 | 4,32E+03 | 9,73E+03 | 5,40E+04 |

Tabelle 27: Emissioni in aria dovute ai mezzi che movimentano grano e mais

3.4.6 Valutazione degli impatti

Dopo la definizione dei confini del sistema e la raccolta dei dati necessari, l'analisi termina con la valutazione degli impatti. Nel caso oggetto di studio sono state prese in considerazione le seguenti categorie d'impatto associate alla produzione di grano e mais:

- Esaurimento delle risorse abiotiche
- Acidificazione
- Eutrofizzazione
- Effetto serra

- Assottigliamento della fascia di ozono stratosferico
- Smog fotochimico
- Ecotossicità delle acque

Per valutare le prime sei categorie è stato utilizzato il metodo di *Impact Assessment CML 2001* (aggiornato al 2013) mentre per l'ultima categoria è stato utilizzato il metodo *USEtox*.

Il metodo CML 2001

CML 2001 è un metodo di valutazione degli impatti, prodotto dal *Centre of Environmental Studies* dell'università di Leiden (Paesi Bassi), che restringe le modellazioni quantitative alle fasi iniziali nella catena causa-effetto per limitare l'incertezza. I risultati vengono poi raggruppati in categorie *midpoint* secondo meccanismi comuni.

Esaurimento delle risorse abiotiche

L' ***Abiotic depletion potential (ADP)*** indica il potenziale di depauperamento delle risorse abiotiche legato alla loro estrazione al fine di ricavarne composti. Il potenziale di ciascuna sostanza (ADP_i) è dato dal rapporto utilizzo/riserva standardizzato ad una sostanza di riferimento ovvero l'antimonio (Sb). Il potenziale di esaurimento delle risorse abiotiche (ADP) è quindi espresso in kg di Sb eq e si ottiene:

$$ADP = \sum_i ADP_i \times M_i$$

Acidificazione

L' ***Acidification potential (AP)*** indica il potenziale di acidificazione di alcuni composti prevalentemente ossidi di azoto e di zolfo che, reagendo con il vapore acqueo presente in atmosfera, causano la formazione di acidi come l' H_2SO_4 e l' HNO_3 responsabili delle piogge acide. Questo potenziale è espresso in kg SO_2 eq e si ottiene moltiplicando i potenziali di acidificazione delle varie sostanze (espressi in termini di H^+ eq) per le loro masse, poi sommandoli assieme (come per tutte le categorie d'impatto di questo metodo).

Eutrofizzazione

L'*eutrophication potential (EP)* indica il potenziale di eutrofizzazione causato da alcune sostanze a base di N e P (come ad esempio i fertilizzanti) che aumentano il carico di nutrienti sia in acque dolci e salate sia nel terreno. Questo può avere ripercussioni sull'ambiente acquatico come ad esempio l'aumento della torbidità dell'acqua, la diminuzione della quantità di ossigeno disciolto, l'aumento del fitoplancton e la morte di specie bentoniche. Il potenziale di eutrofizzazione è espresso in kg PO₄^{3eq}.

Effetto serra

Il *Global warming potential 100 (GWP 100)*: indica il potenziale di alcuni composti, quali CO₂, CH₄, N₂O, gas fluorurati e O₃, di contribuire al riscaldamento globale nei cento anni successivi al loro rilascio in atmosfera. Il loro potenziale è espresso in kg CO₂ eq. Questo è dato dalla sommatoria dei potenziali di riscaldamento globale dei gas serra (GWPs, calcolati dall'Intergovernmental Panel on Climate Change) per le loro masse.

Assottigliamento della fascia di ozono stratosferico

L'*Ozone layer depletion potential (ODP)* indica il potenziale di distruzione dello strato di ozono stratosferico che hanno una determinata classe di composti come CFC e HFC prodotti dall'uomo. Il loro potenziale è espresso in kg R11 eq (triclorofluorometano equivalenti). L'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico provoca l'aumento di radiazioni ultraviolette che raggiungono la terra. Queste sono poi in grado di innescare reazioni fotochimiche a danno della sostanza organica con conseguenti ripercussioni sugli ecosistemi e hanno energia sufficiente per causare danni al sistema immunitario, squilibri del metabolismo e tumori.

Smog fotochimico

Il *Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)* indica il potenziale di produzione di ozono troposferico, tossico per la salute, a causa dell'emissione in atmosfera di composti organici volatili, tra cui gli idrocarburi, che reagendo tra loro in presenza di forte radiazione solare ne aumentano la concentrazione. L'esposizione a smog a bassi livelli di concentrazione provoca lievi danni alla salute mentre quella acuta può provocare anche infiammazioni polmonari e difficoltà respiratorie. Il potenziale si esprime in kg di etene eq (C₂H₄).

Il Metodo USEtox

USEtox è un modello basato sui fattori di caratterizzazione *midpoint* disponibili e approvati scientificamente per gli impatti ecotossicologici legati alla salute umana e alle acque superficiali di sostanze chimiche nella valutazione del ciclo di vita. E' stato sviluppato in accordo con l'UNEP (*United Nations Environment Program*) e con il SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*)

Ecotossicità delle acque

Questo indicatore esprime la ecotossicità delle acque attraverso un'unità comparativa (CTUe) che stima la potenziale frazione di specie interessate (PAF) integrate nel tempo e nel volume di acque superficiali, per unità di massa del composto chimico emesso.

Quindi $PAF \times m^3 \times \text{giorno per kg emessi} = CTUe \text{ per kg emessi}$.

CAPITOLO 4 - RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Analisi d'inventario

Il risultato della raccolta di tutti i dati riguardanti la produzione di grano e mais insieme ai vari procedimenti di calcolo che hanno consentito di quantificare i flussi in entrata ed uscita dal sistema di prodotto, hanno portato alla realizzazione di un inventario per i due diversi prodotti presi in considerazione.

4.1.1 Analisi d'inventario del grano

L'inventario che riguarda il grano può essere suddiviso in due parti: un inventario relativo alla coltivazione del cereale con i dati riferiti ad un ettaro di terreno coltivato ed un altro, invece, riguardante il suo trattamento presso l'impianto, con dati riferiti alla produzione annuale.

| FASE DI COLTIVAZIONE grano : dati per 1 ha di terreno coltivato | | | | | | | |
|---|----|---------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| PROCESSO → | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Diserbo | Difesa | Raccolta |
| INPUT↓ | | | | | | | |
| Gasolio | kg | 7,75E+01 | 7,34E+00 | 6,80E+00 | 2,24E+00 | 6,73E+00 | 6,12E+01 |
| Olio lubrificante | L | 3,60E-01 | 4,32E-02 | 4,00E-02 | 1,32E-02 | 3,96E-02 | 2,75E-01 |
| Acqua | L | | 3,00E+02 | | 3,00E+02 | 3,00E+02 | |
| Perfosfato minerale (19% P ₂ O ₅) | kg | | 5,70E+01 | | | | |
| Nitrato Ammonico (26% N) | kg | | 7,80E+01 | | | | |
| Urea (46% N) | kg | | 9,20E+01 | | | | |
| PP (sacchi) | kg | | 1,86E+00 | 5,25E+00 | | | |
| Carta (contenitore) | kg | | | 3,06E+00 | | | |
| Seme | kg | | | 2,00E+02 | | | |
| Clodinafop-propargyl | kg | | | | 7,35E-03 | | |
| Cloquintocet-mexyl | kg | | | | 1,84E-03 | | |
| Florasulame | kg | | | | 3,25E-03 | | |
| Fluroxipir | kg | | | | 1,87E-02 | | |
| Iodosulfuron-Metil-Sodium | kg | | | | 5,25E-04 | | |
| Mefenpir-Dietile | kg | | | | 1,58E-03 | | |
| Mesosulfuron-Metile | kg | | | | 5,25E-04 | | |

| | | | | | | | |
|---|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pinoxaden | kg | | | | 2,12E-03 | | |
| Pyroxulam | kg | | | | 4,02E-04 | | |
| Tifensulfuron metile | kg | | | | 2,08E-03 | | |
| Tribenuron metile | kg | | | | 2,08E-03 | | |
| Azoxystrobim | kg | | | | | 2,00E-02 | |
| Tebuconazolo | kg | | | | | 1,25E-01 | |
| Protioconazolo | kg | | | | | 1,25E-01 | |
| Picoxystrobin | kg | | | | | 2,50E-02 | |
| Pyraclostrobin | kg | | | | | 8,33E-02 | |
| OUTPUT↓ | | | | | | | |
| Terreno trattato | ha | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 |
| Olio usato | L | 3,60E-01 | 4,32E-02 | 4,00E-02 | 1,32E-02 | 3,96E-02 | 2,75E-01 |
| PP (sacchi) | kg | | 1,86E+00 | 5,25E+00 | | | |
| Carta (contenitore) | kg | | | 3,06E+00 | | | |
| Emissioni Fertilizzanti (P in acque superficiali) | kg | | 1,94E-01 | | | | |
| Emissioni Fertilizzanti (P in acque sotterranee) | kg | | 8,00E-02 | | | | |
| Emissioni Fertilizzanti (NH ₃) | kg | | 1,87E+01 | | | | |
| Emissioni Fertilizzanti(N ₂ O) | kg | | 3,04E+00 | | | | |
| Emissioni Fertilizzanti (NO ₃) | kg | | 1,58E+01 | | | | |
| Grano | t | | | | | | 5,81E+00 |
| Paglia raccolta | t | | | | | | 2,80E+00 |
| Paglia non raccolta | t | | | | | | 1,20E+00 |
| NH ₃ | g | 6,20E-01 | 5,88E-02 | 5,44E-02 | 1,80E-02 | 5,39E-02 | 4,90E-01 |
| CO ₂ | kg | 2,45E+02 | 2,32E+01 | 2,15E+01 | 7,09E+00 | 2,13E+01 | 1,93E+02 |
| CO | g | 8,48E+02 | 8,03E+01 | 7,44E+01 | 2,45E+01 | 7,36E+01 | 6,69E+02 |
| PM _{2.5} | g | 1,35E+02 | 1,28E+01 | 1,18E+01 | 3,90E+00 | 1,17E+01 | 1,06E+02 |
| PM ₁₀ | g | 1,35E+02 | 1,28E+01 | 1,18E+01 | 3,90E+00 | 1,17E+01 | 1,06E+02 |
| CH ₄ | g | 4,26E+00 | 4,04E-01 | 3,74E-01 | 1,23E-01 | 3,70E-01 | 3,37E+00 |
| NO _x | g | 2,72E+03 | 2,57E+02 | 2,38E+02 | 7,86E+01 | 2,36E+02 | 2,14E+03 |
| N ₂ O | g | 1,05E+01 | 9,99E-01 | 9,25E-01 | 3,05E-01 | 9,16E-01 | 8,32E+00 |
| NM VOC | g | 2,61E+02 | 2,47E+01 | 2,29E+01 | 7,55E+00 | 2,27E+01 | 2,06E+02 |
| Cd | mg | 7,75E-01 | 7,34E-02 | 6,80E-02 | 2,24E-02 | 6,73E-02 | 6,12E-01 |
| Cu | mg | 1,32E+02 | 1,25E+01 | 1,16E+01 | 3,81E+00 | 1,14E+01 | 1,04E+02 |
| Cr | mg | 3,88E+00 | 3,67E-01 | 3,40E-01 | 1,12E-01 | 3,37E-01 | 3,06E+00 |
| Ni | mg | 5,43E+00 | 5,14E-01 | 4,76E-01 | 1,57E-01 | 4,71E-01 | 4,28E+00 |
| Se | mg | 7,75E-01 | 7,34E-02 | 6,80E-02 | 2,24E-02 | 6,73E-02 | 6,12E-01 |
| Zn | mg | 7,75E+01 | 7,34E+00 | 6,80E+00 | 2,24E+00 | 6,73E+00 | 6,12E+01 |
| Benz(a) anthracene | µg | 6,20E+03 | 5,88E+02 | 5,44E+02 | 1,80E+02 | 5,39E+02 | 4,90E+03 |
| Benzo(b)fluoranthene | µg | 3,88E+03 | 3,67E+02 | 3,40E+02 | 1,12E+02 | 3,37E+02 | 3,06E+03 |
| Dibenzo(a,h)anthracene | µg | 7,75E+02 | 7,34E+01 | 6,80E+01 | 2,24E+01 | 6,73E+01 | 6,12E+02 |
| Benzo(a)pyrene | µg | 2,33E+03 | 2,20E+02 | 2,04E+02 | 6,73E+01 | 2,02E+02 | 1,84E+03 |
| Chrysene | µg | 1,55E+04 | 1,47E+03 | 1,36E+03 | 4,49E+02 | 1,35E+03 | 1,22E+04 |
| Fluoranthene | µg | 3,49E+04 | 3,30E+03 | 3,06E+03 | 1,01E+03 | 3,03E+03 | 2,75E+04 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Phenanthrene | µg | 1,94E+05 | 1,84E+04 | 1,70E+04 | 5,61E+03 | 1,68E+04 | 1,53E+05 |
| Clodinafop-propargyl in aria | kg | | | | 7,35E-04 | | |
| Clodinafop-propargyl in acqua | kg | | | | 7,35E-04 | | |
| Clodinafop-propargyl in suolo | kg | | | | 5,51E-03 | | |
| Cloquintocet-mexyl in aria | kg | | | | 1,84E-04 | | |
| Cloquintocet-mexyl in acqua | kg | | | | 1,84E-04 | | |
| Cloquintocet-mexyl in suolo | kg | | | | 1,38E-03 | | |
| Fluroxipir in aria | kg | | | | 1,87E-03 | | |
| Fluroxipir in acqua | kg | | | | 1,87E-03 | | |
| Fluroxipir in suolo | kg | | | | 1,40E-02 | | |
| Mesosulfuron in aria | kg | | | | 5,25E-05 | | |
| Mesosulfuron in acqua | kg | | | | 5,25E-05 | | |
| Mesosulfuron in suolo | kg | | | | 3,94E-04 | | |
| Thifensulfuron Metile in aria | kg | | | | 2,08E-04 | | |
| Thifensulfuron Metile in acqua | kg | | | | 2,08E-04 | | |
| Thifensulfuron Metile in suolo | kg | | | | 1,56E-03 | | |
| Tribenuron metile in aria | kg | | | | 2,08E-04 | | |
| Tribenuron metile in acqua | kg | | | | 2,08E-04 | | |
| Tribenuron metile in suolo | kg | | | | 1,56E-03 | | |
| Tebuconazolo in aria | kg | | | | 1,25E-02 | | |
| Tebuconazolo in acqua | kg | | | | 1,25E-02 | | |
| Tebuconazolo in suolo | kg | | | | 9,38E-02 | | |
| Propioconazolo in aria | kg | | | | 1,25E-02 | | |
| Propioconazolo in acqua | kg | | | | 1,25E-02 | | |
| Propioconazolo in suolo | kg | | | | 9,38E-02 | | |
| Azoxystrobim in aria | kg | | | | | 2,00E-03 | |
| Azoxystrobim in acqua | kg | | | | | 2,00E-03 | |
| Azoxystrobim in suolo | kg | | | | | 1,50E-02 | |

Tabella 28: Inventario della fase agricola del grano con dati relativi ad un ettaro di terreno coltivato

| FASE DI TRATTAMENTO IN IMPIANTO grano: dati riferiti alla produzione annuale (2013) | | | | | |
|--|-----|----------------------|-----------------|----------|------------|
| PROCESSO → | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia | Stoccaggio |
| INPUT↓ | | | | | |
| Acqua piovana | m3 | 1,07E+01 | | | |
| Acqua pozzo | m3 | 8,69E+01 | | | |
| Acqua acquedotto | m3 | 3,17E+01 | | | |
| Gasolio | m3 | | 1,18E+01 | | |
| Olio | kg | | 1,32E+02 | | |
| Energia elettrica | kWh | 2,00E+04 | 5,80E+04 | 3,02E+04 | 3,51E+05 |
| Grano | t | 3,49E+04 | 3,49E+04 | 3,49E+04 | 3,44E+04 |

| OUTPUT↓ | | | | | |
|------------------------|----------------|----------|----------|----------|--|
| Olio rifiuto | kg | | 1,32E+02 | | |
| Filtri olio | kg | | 5,79E+00 | | |
| NO _x | kg | | | | |
| PM | kg | | 1,00E+01 | 2,12E+01 | |
| Fanghi disoleatore | kg | 3,78E+02 | | | |
| Solidi sospesi totali | kg | 2,22E+02 | | | |
| BOD ₅ | kg | 2,46E+02 | | | |
| COD | kg | 7,41E+02 | | | |
| Idrocarburi totali | kg | 6,22E+00 | | | |
| Azoto ammoniacale | kg | 4,57E+01 | | | |
| Azoto nitrico | kg | 6,39E+00 | | | |
| Azoto nitroso | kg | 9,98E-01 | | | |
| Acqua reflua | m ³ | 9,05E+00 | | | |
| Grano | t | 3,49E+04 | 3,49E+04 | 3,44E+04 | |
| Scarto | t | | | 4,76E+02 | |
| CH ₄ | g | | 5,47E+02 | | |
| CO | g | | 1,07E+05 | | |
| CO ₂ | kg | | 3,14E+04 | | |
| N ₂ O | g | | 1,34E+03 | | |
| NH ₃ | g | | 7,96E+01 | | |
| NMVOC | g | | 3,37E+04 | | |
| NO _x | g | | 3,26E+05 | | |
| PM _{2.5} | g | | 2,08E+04 | | |
| PM ₁₀ | g | | 2,08E+04 | | |
| Cd | mg | | 9,95E+01 | | |
| Cu | mg | | 1,69E+04 | | |
| Cr | mg | | 4,97E+02 | | |
| Ni | mg | | 6,96E+02 | | |
| Se | mg | | 9,95E+01 | | |
| Zn | mg | | 9,95E+03 | | |
| Benz(a) anthracene | mg | | 7,96E+02 | | |
| Benzo(b)fluornathene | mg | | 4,97E+02 | | |
| Dibenzo(a,h)anthracene | mg | | 9,95E+01 | | |
| Benzo(a)pyrene | mg | | 2,98E+02 | | |
| Crysene | mg | | 1,99E+03 | | |
| Fluoranthene | mg | | 4,48E+03 | | |
| Phenanthene | mg | | 2,49E+04 | | |

Tabella 29: Inventario della fase di trattamento del grano con dati relativi alla produzione 2013

4.1.2 Analisi d'inventario del mais

Anche l'inventario del mais può essere suddiviso in due parti, una relativa alla sua coltivazione con i vari quantitativi riferiti ad un ettaro di terreno e un'altra relativa alla fase di trattamento presso l'impianto riferita all'intera produzione del 2013.

| FASE DI COLTIVAZIONE mais : dati per 1 ha di terreno coltivato | | | | | | | | |
|---|----|---------------|--------------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| PROCESSO → | U | Prep. terreno | Concimazione | Semina | Irrigazione | Diserbo | Difesa | Raccolta |
| INPUT↓ | | | | | | | | |
| Gasolio | kg | 7,92E+01 | 1,02E+01 | 1,02E+01 | 1,60E+02 | 2,24E+00 | | 3,74E+01 |
| Olio lubrificante | L | 2,60E-01 | 6,00E-02 | 4,00E-02 | | 1,32E-02 | | 1,40E-01 |
| Acqua | L | | | | 1,80E+03 | 3,00E+02 | | |
| Perfosfato minerale triplo (45% P ₂ O ₅) | kg | | 9,00E+01 | | | | | |
| Urea granulare (46% N) | kg | | 2,30E+02 | | | | | |
| PP (sacchi) | kg | | 1,82E+00 | 5,90E-02 | | | | |
| Seme | kg | | | 2,25E+01 | | | | |
| Glifosate | kg | | | | | 1,08E+00 | | |
| S-Metolachlor | kg | | | | | 6,00E-01 | | |
| Petoxamimide | kg | | | | | 6,40E-02 | | |
| Cyprosulfamide (antidoto agronomico) | kg | | | | | 2,50E-02 | | |
| Dicamba | kg | | | | | 2,10E-02 | | |
| Dimethenamid - P | kg | | | | | 4,00E-02 | | |
| Isoxaflutole | kg | | | | | 3,00E-03 | | |
| Mesotrione | kg | | | | | 7,60E-02 | | |
| Nicosulfuron | kg | | | | | 1,00E-02 | | |
| Prosulfuron | kg | | | | | 2,10E-04 | | |
| Terbutilazina | kg | | | | | 4,40E-01 | | |
| Chlorantraniliprole | kg | | | | | | 7,14E-03 | |
| Teflutrin | kg | | | | | | 5,00E-02 | |
| OUTPUT↓ | | | | | | | | |
| terreno trattato | ha | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 |
| olio usato | L | 2,60E-01 | 6,00E-02 | 4,00E-02 | | 1,32E-02 | | 1,40E-01 |
| PP (sacchi) | kg | | 1,82E+00 | 5,90E-02 | | | | |
| Emissioni da fertilizzanti (P in acque superficiali) | kg | | 2,08E-01 | | | | | |
| Emissioni da fertilizzanti (P in acque sotterranee) | kg | | 8,58E-02 | | | | | |
| Emissioni da fertilizzanti (NH ₃) | kg | | 4,19E+01 | | | | | |
| Emissioni da fertilizzanti | kg | | 3,84E+00 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----|----------|----------|----------|----------|----------|--|----------|
| (N2O) | | | | | | | | |
| Emissioni da fertilizzanti (NO ₃) | kg | | 1,93E+02 | | | | | |
| Mais | t | | | | | | | 9,00E+00 |
| Residuo | t | | | | | | | 1,00E+01 |
| CH ₄ | g | 4,36E+00 | 5,61E-01 | 5,65E-01 | 8,80E+00 | 1,23E-01 | | 2,06E+00 |
| CO | g | 8,67E+02 | 1,12E+02 | 1,12E+02 | 1,75E+03 | 2,45E+01 | | 4,09E+02 |
| CO ₂ | kg | 2,50E+02 | 3,22E+01 | 3,25E+01 | 5,05E+02 | 7,09E+00 | | 1,18E+02 |
| NO _x | g | 1,08E+01 | 1,39E+00 | 1,40E+00 | 2,18E+01 | 3,05E-01 | | 5,09E+00 |
| NH ₃ | g | 6,34E-01 | 8,16E-02 | 8,22E-02 | 1,28E+00 | 1,80E-02 | | 2,99E-01 |
| NMVOC | g | 2,67E+02 | 3,43E+01 | 3,46E+01 | 5,38E+02 | 7,55E+00 | | 1,26E+02 |
| N ₂ O | g | 2,78E+03 | 3,57E+02 | 3,60E+02 | 5,60E+03 | 7,86E+01 | | 1,31E+03 |
| PM _{2.5} | g | 1,38E+02 | 1,77E+01 | 1,79E+01 | 2,78E+02 | 3,90E+00 | | 6,50E+01 |
| PM ₁₀ | g | 1,38E+02 | 1,77E+01 | 1,79E+01 | 2,78E+02 | 3,90E+00 | | 6,50E+01 |
| Cd | mg | 7,92E-01 | 1,02E-01 | 1,02E-01 | 1,60E+00 | 2,24E-02 | | 3,44E-01 |
| Cu | mg | 1,35E+02 | 1,73E+01 | 1,73E+01 | 2,72E+02 | 3,81E+00 | | 5,85E+01 |
| Cr | mg | 3,96E+00 | 5,10E-01 | 5,10E-01 | 8,00E+00 | 1,12E-01 | | 1,72E+00 |
| Ni | mg | 5,55E+00 | 7,14E-01 | 7,14E-01 | 1,12E+01 | 1,57E-01 | | 2,41E+00 |
| Se | mg | 7,92E-01 | 1,02E-01 | 1,02E-01 | 1,60E+00 | 2,24E-02 | | 3,44E-01 |
| Zn | mg | 7,92E+01 | 1,02E+01 | 1,02E+01 | 1,60E+02 | 2,24E+00 | | 3,44E+01 |
| Benz(a) anthracene | µg | 6,34E+03 | 8,16E+02 | 8,16E+02 | 1,28E+04 | 1,80E+02 | | 2,75E+03 |
| Benzo(b)fluornathene | µg | 3,96E+03 | 5,10E+02 | 5,10E+02 | 8,00E+03 | 1,12E+02 | | 1,72E+03 |
| Dibenz(a,h)anthracene | µg | 7,92E+02 | 1,02E+02 | 1,02E+02 | 1,60E+03 | 2,24E+01 | | 3,44E+02 |
| Benzo(a)pyrene | µg | 2,38E+03 | 3,06E+02 | 3,06E+02 | 4,80E+03 | 6,73E+01 | | 1,03E+03 |
| Chrysene | µg | 1,58E+04 | 2,04E+03 | 2,04E+03 | 3,20E+04 | 4,49E+02 | | 6,88E+03 |
| Fluoranthene | µg | 3,56E+04 | 4,59E+03 | 4,59E+03 | 7,20E+04 | 1,01E+03 | | 1,55E+04 |
| Phenanthrene | µg | 1,98E+05 | 2,55E+04 | 2,55E+04 | 4,00E+05 | 5,61E+03 | | 8,60E+04 |
| Glifosate in aria | kg | | | | | 1,08E-01 | | |
| Glifosate in acqua | kg | | | | | 1,08E-01 | | |
| Glifosate in suolo | kg | | | | | 8,10E-01 | | |
| S-Metolachlor in aria | kg | | | | | 6,00E-02 | | |
| S-Metolachlor in acqua | kg | | | | | 6,00E-02 | | |
| S-Metolachlor in suolo | kg | | | | | 4,50E-01 | | |
| Dicamba in aria | kg | | | | | 2,10E-03 | | |
| Dicamba in acqua | kg | | | | | 2,10E-03 | | |
| Dicamba in suolo | kg | | | | | 1,58E-02 | | |
| Dimethenamid in aria | kg | | | | | 4,00E-03 | | |
| Dimethenamid in acqua | kg | | | | | 4,00E-03 | | |
| Dimethenamid in suolo | kg | | | | | 3,00E-02 | | |
| Isoxaflutole in aria | kg | | | | | 3,00E-04 | | |
| Isoxaflutole in acqua | kg | | | | | 3,00E-04 | | |
| Isoxaflutole in suolo | kg | | | | | 2,25E-03 | | |
| Nicosolfuron in aria | kg | | | | | 1,00E-03 | | |

| | | | | | | | | |
|------------------------|----|--|--|--|--|----------|----------|--|
| Nicosolfuron in acqua | kg | | | | | 1,00E-03 | | |
| Nicosolfuron in suolo | kg | | | | | 7,50E-03 | | |
| Prosulfuron in aria | kg | | | | | 2,10E-05 | | |
| Prosulfuron in acqua | kg | | | | | 2,10E-05 | | |
| Prosulfuron in suolo | kg | | | | | 1,58E-04 | | |
| Terbutilazina in aria | kg | | | | | 4,40E-02 | | |
| Terbutilazina in acqua | kg | | | | | 4,40E-02 | | |
| Terbutilazina in suolo | kg | | | | | 3,30E-01 | | |
| Teflutrin in suolo | kg | | | | | | 3,75E-02 | |

Tabella 30: Inventario della fase agricola del mais con dati relativi ad un ettaro di terreno coltivato

| FASE DI TRATTAMENTO IN IMPIANTO mais: dati riferiti alla produzione annuale (2013) | | | | | | | |
|---|-----------------|----------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|------------|
| PROCESSO → | U | Ricezione e pesatura | Scarico in buca | Pulizia verde | Essiccazione | Pulizia secco | Stoccaggio |
| INPUT↓ | | | | | | | |
| Acqua piovana | m ³ | 2,47E+01 | | | | | |
| Acqua pozzo | m ³ | 2,00E+02 | | | | | |
| Acqua acquedotto | m ³ | 7,20E+01 | | | | | |
| Gasolio | m ³ | | 2,57E+01 | | | | |
| Olio | kg | | 3,04E+02 | | | | |
| Metano | Sm ³ | | | | 8,51E+06 | | |
| Energia elettrica | kWh | 4,00E+04 | 1,55E+05 | 8,05E+04 | 4,86E+05 | 9,30E+04 | 5,05E+05 |
| MAIS | t | 9,15E+04 | 9,15E+04 | 9,15E+04 | 7,90E+04 | 7,90E+04 | 7,90E+04 |
| OUTPUT↓ | | | | | | | |
| Olio rifiuto | kg | | 3,04E+02 | | | | |
| Filtri olio | kg | | 1,33E+01 | | | | |
| NO _x | kg | | | | 4,48E+02 | | |
| PM | kg | | 1,44E+01 | 2,30E+01 | 4,10E+02 | 3,42E+01 | |
| CO ₂ | t | | | | 1683,02 | | |
| Fanghi disoleatore | kg | 8,69E+02 | | | | | |
| Solidi sospesi totali | kg | 5,71E+02 | | | | | |
| BOD ₅ | kg | 6,34E+02 | | | | | |
| COD | kg | 1,91E+03 | | | | | |
| Idrocarburi totali | kg | 1,60E+01 | | | | | |
| Azoto ammoniacale | kg | 1,18E+02 | | | | | |
| Azoto nitrico | kg | 1,64E+01 | | | | | |
| Azoto nitroso | kg | 2,57E+00 | | | | | |
| Acqua reflua | m ³ | 2,13E+01 | | | | | |
| Mais | t | 9,15E+04 | 9,15E+04 | 7,90E+04 | 7,90E+04 | 7,90E+04 | 7,90E+04 |
| Co-prodotto | t | | | 1,25E+04 | | | |

| | | | | | | | |
|------------------------|----|--|----------|--|--|--|--|
| CH ₄ | g | | 1,19E+03 | | | | |
| CO | g | | 2,32E+05 | | | | |
| CO ₂ | g | | 6,83E+04 | | | | |
| NO _x | g | | 2,92E+03 | | | | |
| NH ₃ | g | | 1,73E+02 | | | | |
| NMVOC | g | | 7,32E+04 | | | | |
| N ₂ O | g | | 7,09E+05 | | | | |
| PM _{2.5} | g | | 4,51E+04 | | | | |
| PM ₁₀ | g | | 4,51E+04 | | | | |
| Cd | mg | | 2,16E+02 | | | | |
| Cu | mg | | 3,67E+04 | | | | |
| Cr | mg | | 1,08E+03 | | | | |
| Ni | mg | | 1,51E+03 | | | | |
| Se | mg | | 2,16E+02 | | | | |
| Zn | mg | | 2,16E+04 | | | | |
| Benz(a) anthracene | mg | | 1,73E+03 | | | | |
| Benzo(b)fluornathene | mg | | 1,08E+03 | | | | |
| Dibenzo(a,h)anthracene | mg | | 2,16E+02 | | | | |
| Benzo(a)pyrene | mg | | 6,48E+02 | | | | |
| Crysene | mg | | 4,32E+03 | | | | |
| Fluoranthene | mg | | 9,73E+03 | | | | |
| Phenanthrene | mg | | 5,40E+04 | | | | |

Tabella 31: Inventario della fase di trattamento del mais con dati relativi alla produzione 2013

4.2 Valutazione degli impatti

Una volta realizzato l'inventario, i dati sono stati inseriti nel software Gabi 4 dove è stato realizzato il modello, poi implementato nell'ultima versione del programma, maggiormente aggiornata, Gabi 6. Questo ha permesso, infine, la valutazione degli impatti riferiti all'unità funzionale scelta per i due prodotti oggetto di tesi.

4.2.1 Impatti dovuti alla produzione di 1 tonnellata di grano e di 1 tonnellata di mais

La prima valutazione che si può fare è quella relativa agli impatti riferiti ad una tonnellata di grano dovuti all'intera filiera del prodotto considerato e quindi suddivisa nelle tre

macro-fasi precedentemente individuate: fase agricola, trasporto e fase di trattamento presso l'impianto.

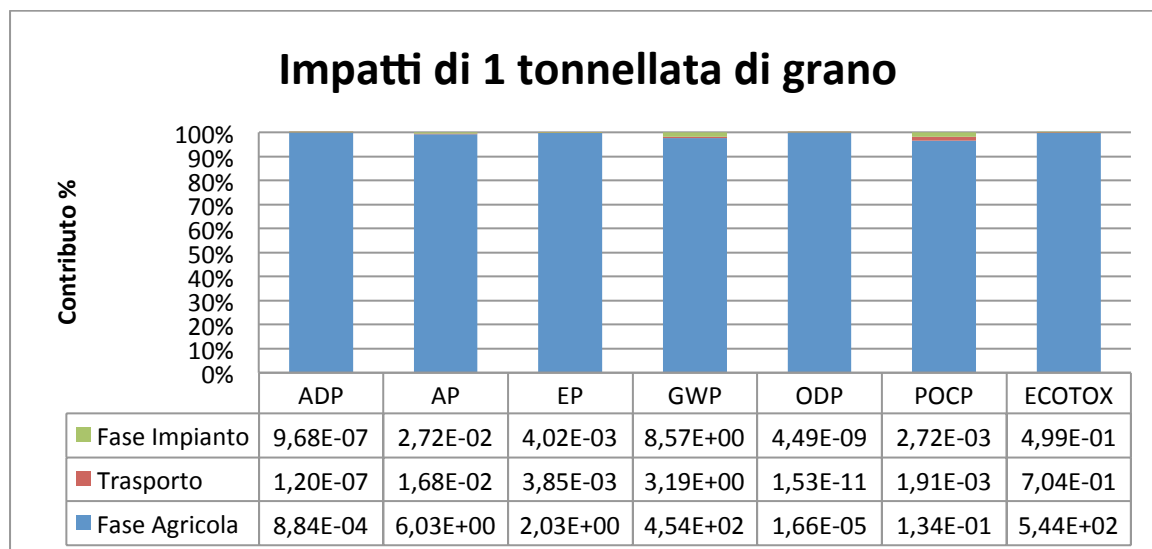


Figura 26: Impatti generati dalla produzione di 1 tonnellata di grano, suddivisi per categoria d'impatto

Come si può vedere dal grafico (Figura 26), per le categorie prese in considerazione gli impatti relativi alla produzione di una tonnellata di grano sono dovuti in percentuali che vanno dal 96,6% al 99,9% alla coltivazione del cereale che risulta essere quindi nettamente la macro-fase predominante.

Il trasporto e la fase di trattamento presso l'impianto di Capa Cologna hanno impatti molto più bassi, sempre inferiori al 1% tranne per le categorie "Effetto serra" (GWP) e "Smog fotochimico"(POCP) che mostrano percentuali leggermente più alte: la fase d'impianto infatti presenta percentuali di 1,8 per il GWP e 1,9 per il POCP che ha un valore simile anche per il trasporto (1,4 %).

Una seconda valutazione può poi essere fatta per gli impatti dovuti alla produzione di una tonnellata di mais lungo tutta la sua filiera produttiva sempre scomposta nelle tre macro-fasi.

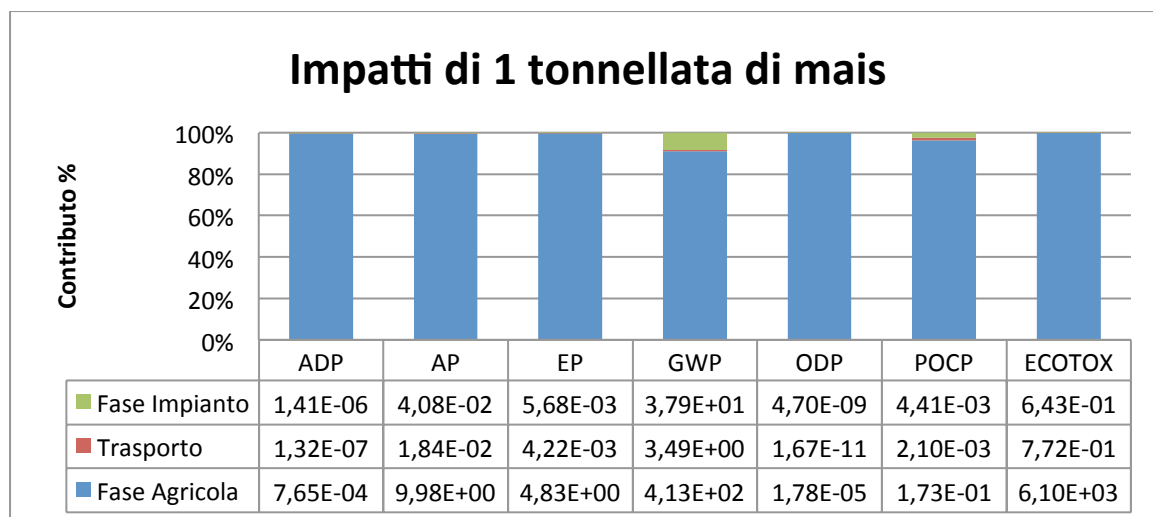


Figura 27: Impatti generati dalla produzione di 1 tonnellata di mais, suddivisi per categoria d'impatto

Come si può vedere in Figura 27, i risultati sono percentualmente simili: tra il 90% e il 99,9% gli impatti sono attribuibili, per tutte le categorie, alla fase agricola.

Gli impatti riconducibili alle altre due macro-fasi non superano mai l'1% se non in alcuni sporadici casi ovvero il GWP nella fase d'impianto (8,3%), il POCP nel trasporto (1,2%) e nella fase d'impianto (2,5%). Questa situazione è analoga a quella del grano e il valore più alto di potenziale surriscaldamento globale è dovuto alle maggiori emissioni di gas serra generate dal processo di combustione del metano che avviene durante l'essiccazione, trattamento che non viene eseguito per il grano.

Di seguito sono riportati una serie di grafici che mostrano gli impatti in valore assoluto dei due cereali per tutte le categorie prese in considerazione. Questo paragone è solo indicativo in quanto non è obiettivo dello studio confrontare tra di loro gli impatti di grano e di mais. I due cereali hanno funzioni differenti e quindi il paragone necessiterebbe di una più appropriata unità funzionale (ad esempio il contenuto energetico).

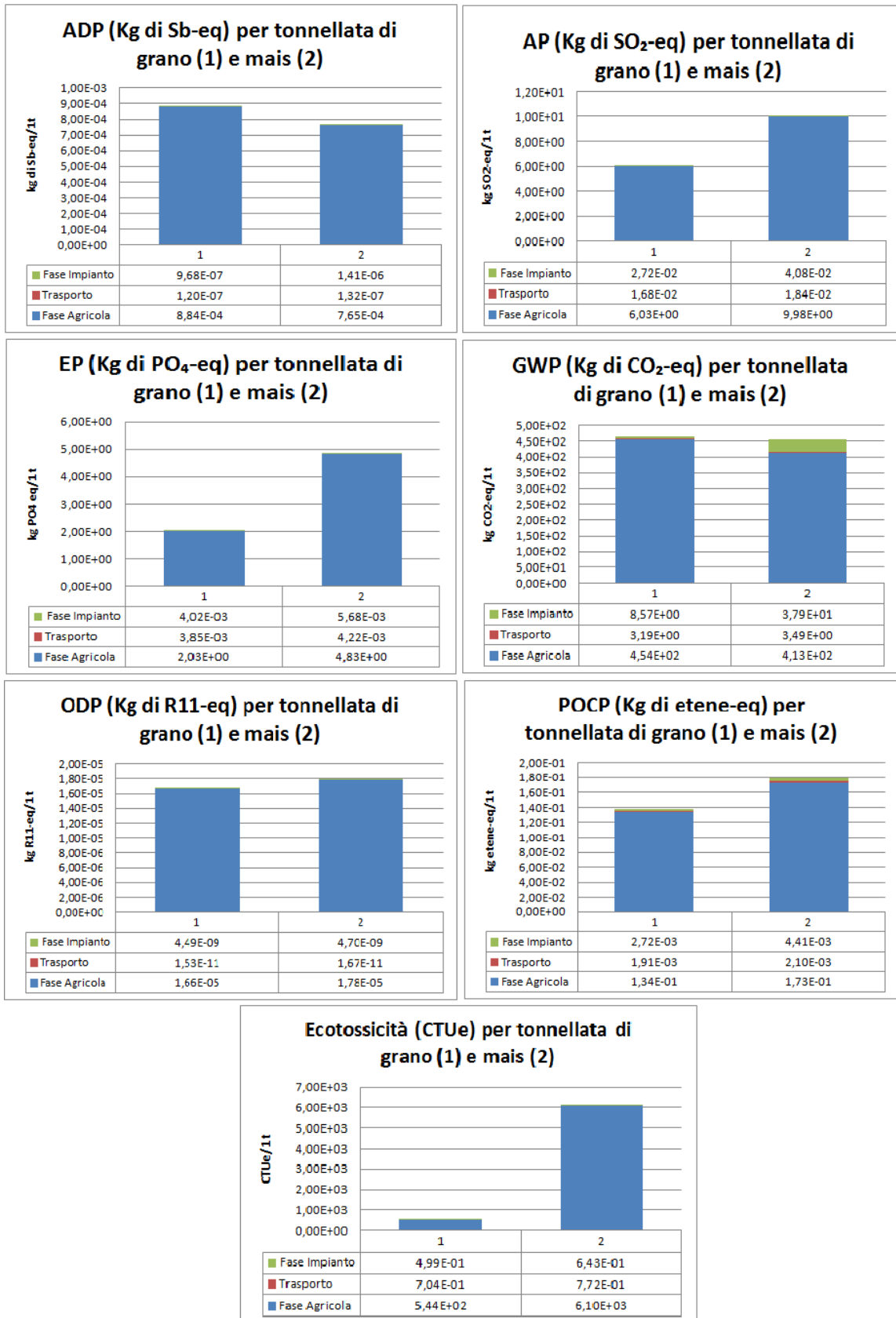


Figura 28: Impatti dovuti ad una tonnellata di grano prodotta a confronto con gli impatti dovuti alla stessa quantità di mais

Come si può osservare in Figura 28, gli impatti totali dovuti alla produzione di una tonnellata di mais sono maggiori rispetto a quelli dovuti alla produzione della stessa quantità di grano per le categorie AP (+ 39,5 %), EP (+ 58,8%), ODP (+ 6,7 %), POCP (+ 22,8%) per via del maggior consumo di tutti i materiali contabilizzati. Questo è dovuto al fatto che per il mais diversamente dal grano, viene effettuata l'irrigazione (dove viene utilizzata una elevata quantità di gasolio) ma anche, a livello di trattamento, l'essiccazione del prodotto ed un'ulteriore pulizia. Queste fasi quindi comportano un maggior utilizzo di energia elettrica, metano per la combustione e, di conseguenza, emissioni in atmosfera.

L'ecotossicità dovuta al mais è addirittura il 91 % in più rispetto a quella del grano. Questo è dovuto al fatto che i fitofarmaci utilizzati per il mais sono più tossici per l'ambiente rispetto a quelli utilizzati per il grano e questo è rispecchiato dai fattori di caratterizzazione dei fitofarmaci in questione (Tabella 17 e 18). Infatti, osservando ad esempio la media degli FC per la distribuzione dei principi attivi in acqua, questa è di un ordine di grandezza superiore rispetto a quella del grano. In particolare la terbutilazina, utilizzata nella difesa del mais, ha un FC particolarmente alto rispetto alle altre sostanze ($474393,5 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{day} \cdot \text{kg}^{-1}$) e viene applicata in quantità non irrisoria (0,44 kg/ha) rispetto alle altre sostanze risultando particolarmente ecotossica per l'ambiente acquatico. Dal Rapporto Nazionale Pesticidi nelle Acque (Ispra, 2014), questo principio attivo risulta essere infatti tra quelli la cui concentrazione nelle acque superficiali, determina un superamento degli Standard di Qualità Ambientale (Dir.2008/105/CE, Dlgs 152/2006) assieme a glifosate e metolaclor utilizzati, nel caso studiato, sempre per il diserbo del mais.

Il mais ha però impatti minori rispetto al grano per quanto riguarda ADP (- 15,5%) e GWP (-2,4%).

Il grano, come suddetto, è soggetto a un numero minore di processi sia agricoli che di trattamento e ciò risulta in una performance ambientale migliore in tutte le categorie. Per la sua coltivazione sono però necessari tre diversi tipi di concimi, contro solo due del mais, di cui sono stati contabilizzati anche gli imballaggi e i trasporti. Il contributo di questi all'effetto serra e al consumo di risorse abiotiche è maggiore rispetto al mais per questo motivo. Per il grano, infatti, il valore di entrambe le categorie è più alto solo a causa della produzione totale dei concimi e non a causa delle emissioni e della produzione degli altri materiali.

4.2.2 Impatti dovuti alla fase agricola nella produzione di mais e grano

Da una prima analisi degli impatti, emerge quindi che la macro-fase che impatta maggiormente nella produzione di entrambi i cereali è quella agricola. E' quindi necessario indagare più a fondo su quali siano i processi che causano gli impatti.

Per processi, in questo caso si intendono le varie pratiche agricole elencate nei capitoli precedenti. Oltre a queste è stata analizzata un'altra categoria chiamata "trasporti" che contiene i trasporti a recupero dei vari materiali utilizzati in campo ovvero olio lubrificante usato e materiali d'imballaggio.

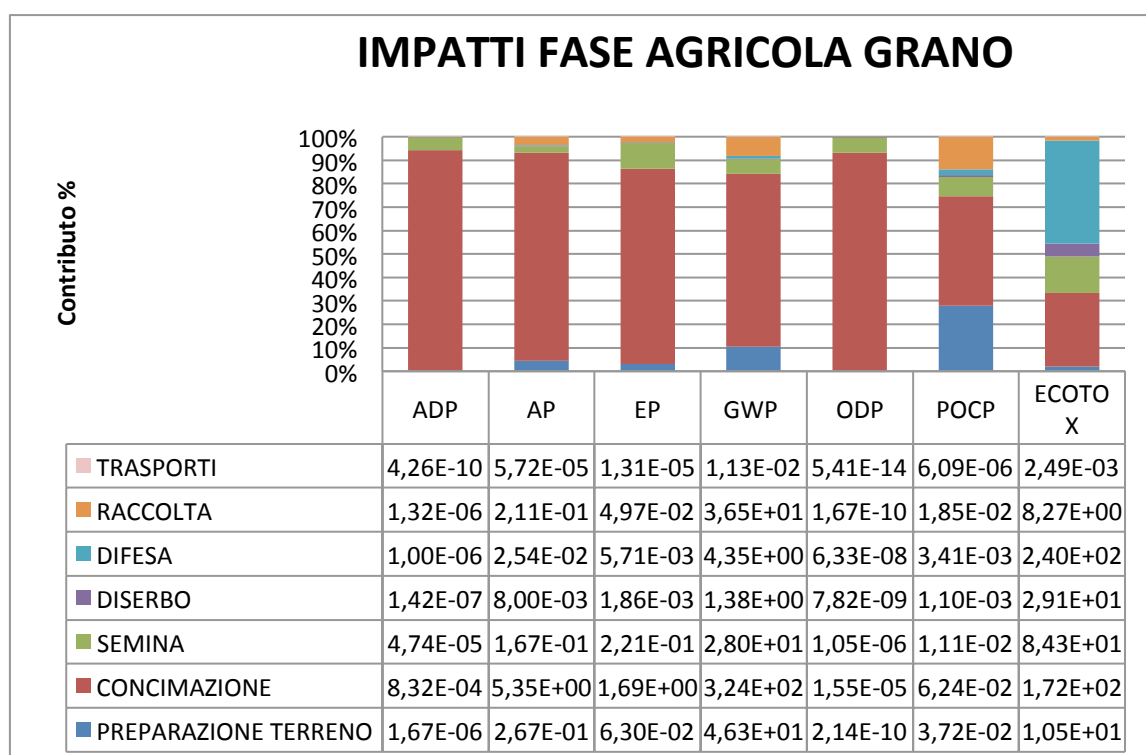


Figura 29: Impatti dovuti ai vari processi della macro-fase agricola per la produzione di una tonnellata di grano, suddivisi per categorie d'impatto

La fase di coltivazione del grano, suddivisa nei suoi vari processi, mostra (Figura 29) come gli impatti siano concentrati, in percentuali tra il 46% e il 94%, in uno solo di essi, ovvero la concimazione. Questo è dovuto ai concimi che hanno un forte impatto sull'ambiente sia per quanto riguarda le proprie emissioni sia per quanto riguarda la loro produzione. Solo nel caso dell'ecotossicità l'impatto maggiore (44%) si ha in un altro processo, ovvero la difesa in cui il 99,4% degli impatti è dovuto alle emissioni in aria,

acqua e suolo dei fungicidi. Anche per questa categoria la concimazione ha comunque una percentuale, non irrisoria, del 31,6 %.

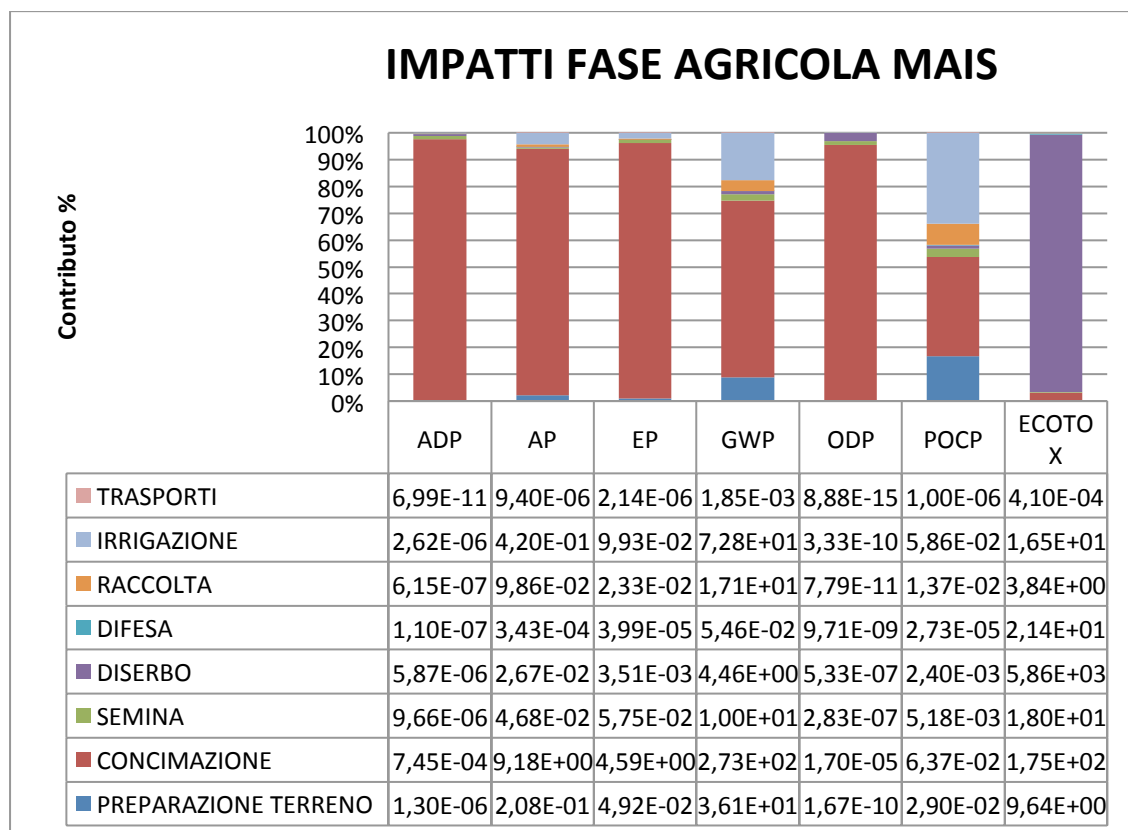


Figura 30: Impatti dovuti ai vari processi della macro-fase agricola per la produzione di una tonnellata di mais, suddivisi per categorie d'impatto

Anche per quanto riguarda gli impatti relativi alla coltivazione del mais (Figura 30), questi sono dovuti prevalentemente sempre al processo agricolo di concimazione (dal 36% al 97%) per tutte le categorie d'impatto tranne anche in questo caso per l'ecotossicità, all'interno della quale le problematiche ambientali sono generate per il 96% dal diserbo (il 99,9% delle quali sono dovute alle emissioni dei diserbanti).

Impatti del processo più impattante: la concimazione

Dall'analisi degli impatti dovuti alla fase agricola è emerso che la pratica agricola maggiormente impattante per entrambi i cereali e per tutte le categorie (tranne per l'ecotossicità acquatica dove comunque ha impatti non irrilevanti) è la concimazione. Occorre quindi capire quali sotto-processi generano questi impatti.

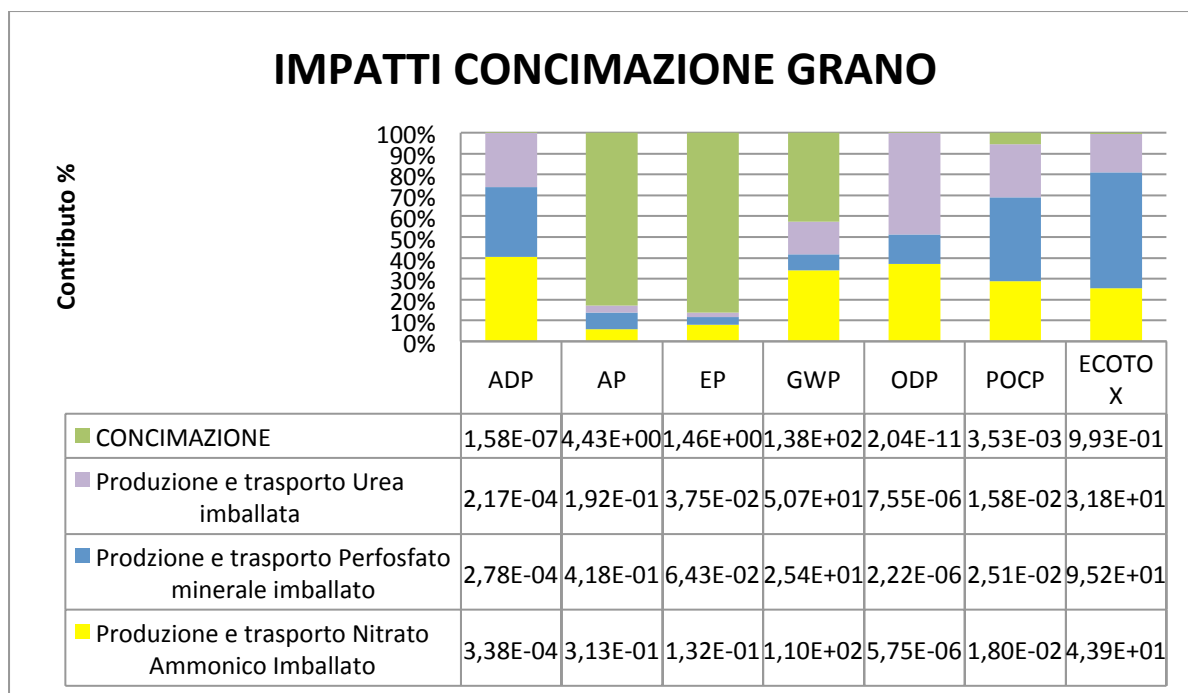


Figura 31: Impatti dovuti alla concimazione del grano per produrre una tonnellata di cereale

Per quello che concerne la concimazione del grano (Figura 31), gli impatti ADP, POCP, ODP ed ecotossicità sono dovuti in maggior misura alla produzione dei fertilizzanti, in particolare il primo al Nitrato Ammonico (40,5%), il secondo all'Urea (48,6%) e gli ultimi due al Perfosfato (40% e 55,4%). AP, EP e GWP sono invece dovuti alla concimazione stessa, quindi in particolar modo alle emissioni azotate in campo dovute ai fertilizzanti (82,75%; 86,16%; 42,58%).

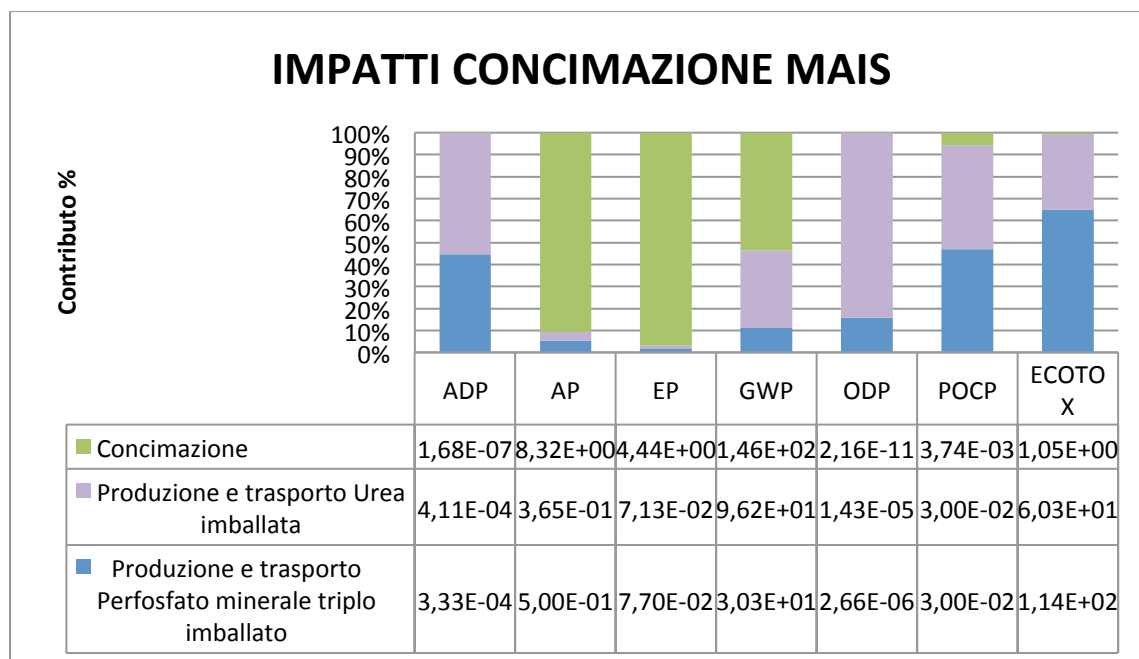


Figura 32: Impatti dovuti alla concimazione del mais per produrre una tonnellata di cereale

Nella concimazione del mais, la situazione è simile ovvero solo AP, EP e GWP sono dovuti alla pratica stessa (90,5 %; 96,7 % e 53,6%) ovvero in particolar modo alle emissioni azotate in campo dovute all'applicazione dei concimi chimici, mentre tutte le altre categorie sono dovute alla produzione dei concimi in particolare ADP e ODP a quella di Urea (55,2% e 77,7%), l'ecotossicità a quella del Perfosfato (65%) mentre l'POCP a quella di entrambi i prodotti (47%). L'assottigliamento dello strato di ozono è quindi evidentemente dovuto alle sostanze generate durante i processi produttivi dei fertilizzanti.

Impatti Farming e Pre-farming

Un'ulteriore analisi, come effettuato da Narayanaswamy et al. (2004), consiste nello scomporre la fase agricola non nelle singole pratiche di coltivazione ma nei processi preliminari di produzione dei vari materiali utilizzati in campo (gasolio, semente, concimi, fertilizzanti, diserbanti, fungicidi, olio lubrificante, ecc.) e in quelli che invece avvengono durante la coltivazione (emissioni in aria, acqua e al suolo). I primi costituiscono quindi la fase *pre-farming* mentre i secondi la fase *farming* della macro-fase agricola.

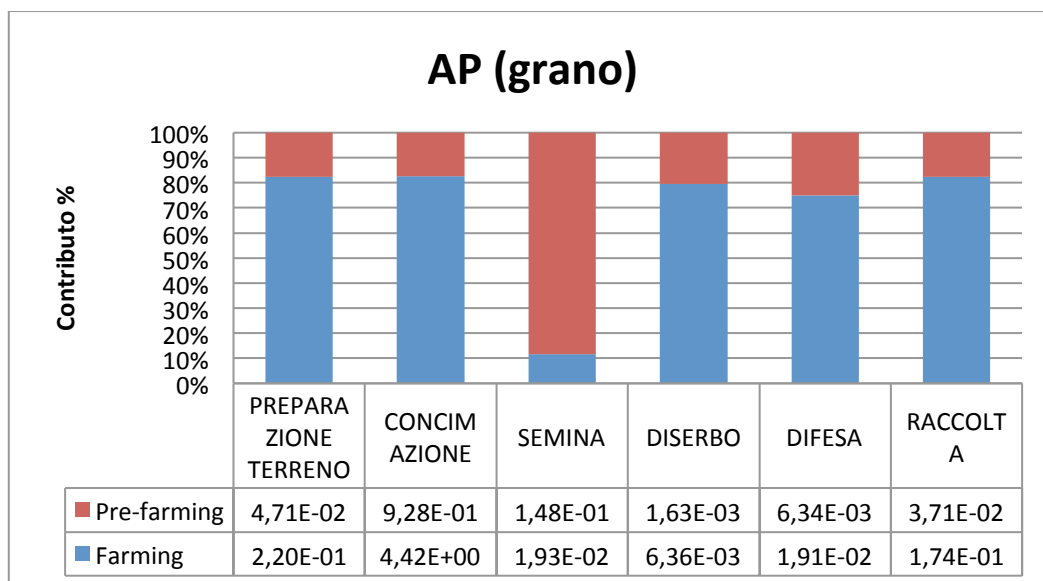


Figura 33: Acidificazione *pre-farming* e *farming* dovuta alla produzione agricola di una tonnellata di grano

Se, ad esempio si osservano gli impatti di acidificazione del grano (Figura 33), questi sono causati in tutti i processi (in percentuali superiori al 75%) alla coltivazione stessa in quanto legati alle emissioni in aria, acqua e suolo, mentre solo nel caso della semina la maggior parte degli impatti è dovuta ai processi di produzione delle materie poi utilizzate. Questo perché la produzione della semente è in realtà un processo che contiene un'ulteriore fase *farming* che consiste nella coltivazione del seme e che quindi giustifica il risultato apparentemente anomalo.

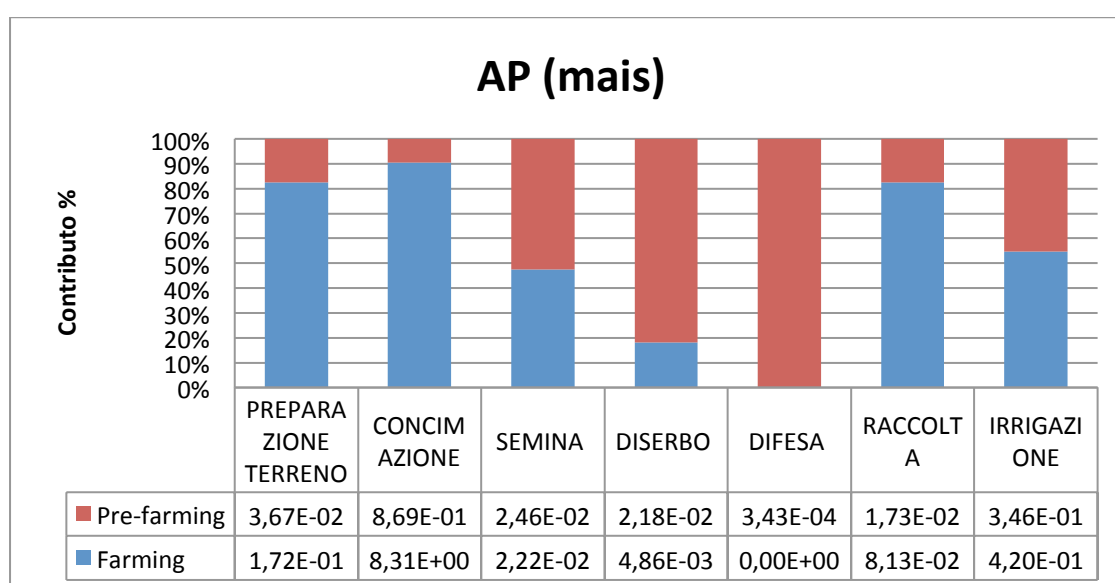


Figura 34: Acidificazione *pre-farming* e *farming* dovuta alla produzione agricola di una tonnellata di mais

Nell'acidificazione dovuta alla produzione del mais (Figura 34), la situazione è maggiormente variegata poiché la preparazione del terreno (82,3%), la concimazione (90,5%), la raccolta (82%) e l'irrigazione (53,5%) generano impatti soprattutto nel *farming* mentre i restanti processi, semina (52,5%), diserbo (81,8 %) e difesa (100%) nella fase di *pre-farming*. La situazione del mais differisce quindi da quella del grano per questi ultimi due processi agricoli. Nel diserbo ho infatti l'utilizzo in grande quantità (confrontata con quella degli altri prodotti) di glifosate la cui produzione genera da sola il 46% degli impatti. Per quanto riguarda la difesa non vi sono emissioni generate dai veicoli agricoli perché viene effettuata in concomitanza alla semina e se si osserva infatti l'impatto di quest'ultima pratica si vede aumentare, rispetto all'analogo nel grano, il contributo della fase *farming*.

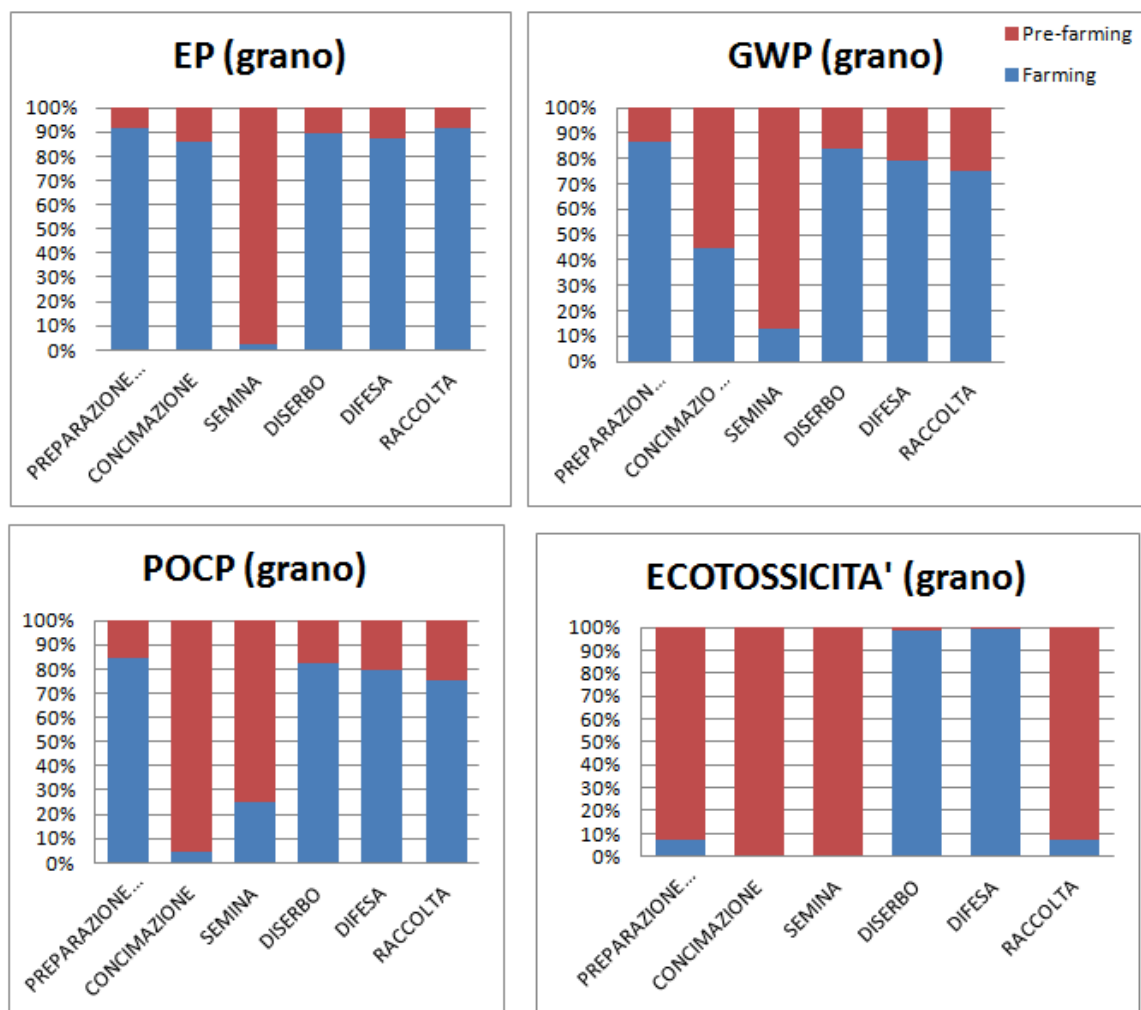


Figura 35: Impatti *pre-farming* e *farming* dovuti alla produzione agricola di una tonnellata di grano

Si possono poi osservare le altre categorie d'impatto per quanto riguarda il grano nella Figura 35, dove non sono stati rappresentati ADP e ODP in quanto gli impatti sono al 100% nella fase *pre-farming*. Tutte le pratiche infatti risultano dipendenti dai processi produttivi e non dalla coltivazione stessa, durante la quale non vengono emesse sostanze che contribuiscono a queste due problematiche ambientali.

Gli altri impatti, invece, sono dovuti per tutti i processi soprattutto alla fase di *farming* eccetto per quanto riguarda concimazione e semina. In queste pratiche, influisce molto la produzione a monte del processo agricolo stesso (fertilizzante e seme), come già evidenziato anche nelle analisi sovrastanti. Netta è poi la suddivisione per quanto riguarda l'ecotossicità dove tutti i processi impattano per oltre il 90% nel *pre-farming* tranne il diserbo e la difesa che invece hanno le stesse percentuali nella fase opposta.

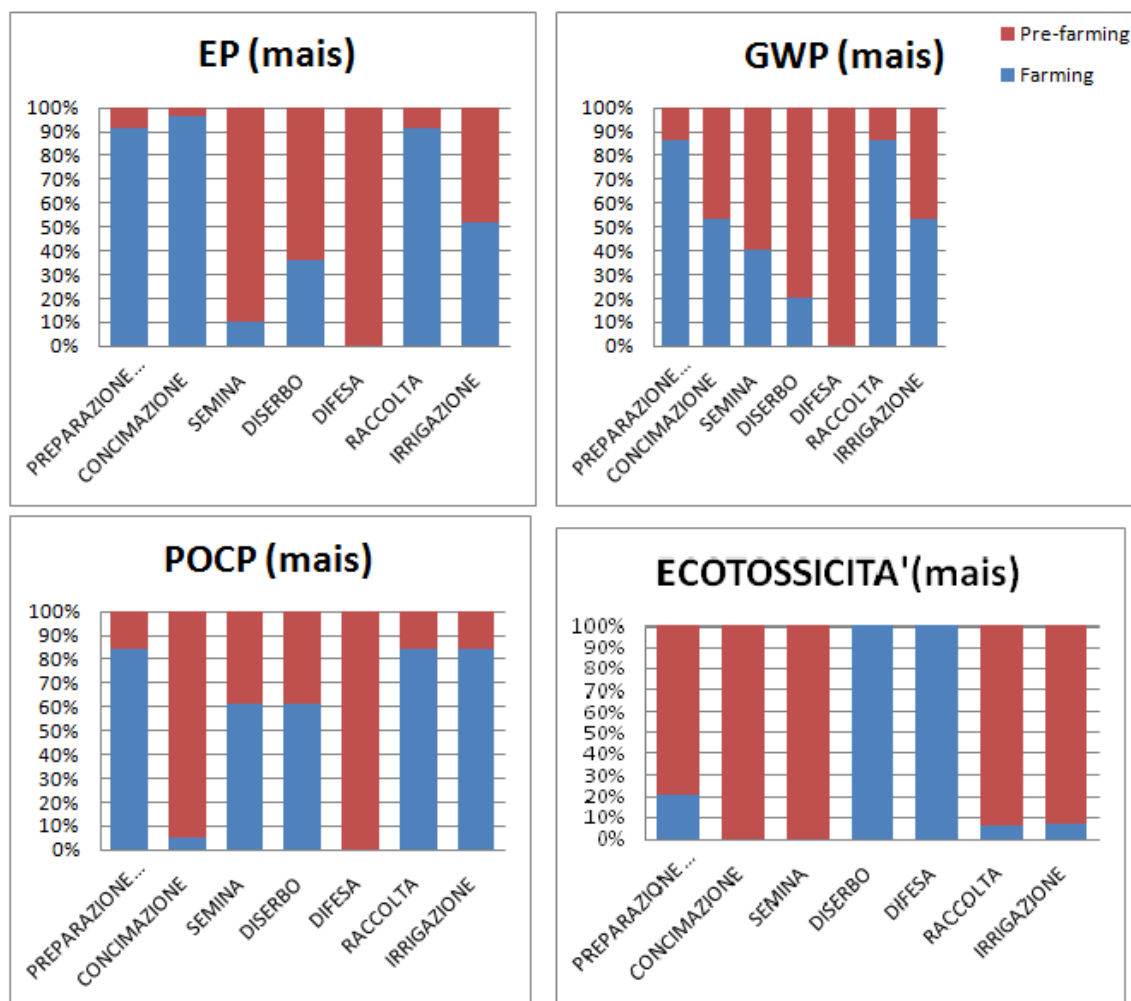


Figura 36: Impatti *pre-farming* e *farming* dovuti alla coltivazione del mais

Se si osserva invece la situazione del mais (Figura 36) dove, come precedentemente non sono stati rappresentati ADP e ODP perché gli impatti sono solamente a monte della coltivazione, la tendenza è simile. Come già visto la difesa, tranne nell'ovvio caso dell'ecotossicità, risulta sempre impattare nel *pre-farming* perché non si hanno emissioni dovute ai mezzi agricoli essendo svolta in concomitanza alla semina che infatti aumenta conseguentemente i propri impatti *farming* per tutte le altre categorie rispetto a quello che si osservava nel grano. L'irrigazione, pratica non effettuata nel grano, ha impatti distribuiti equamente tra le due fasi tranne che per POCP dove prevale il *farming* per via delle emissioni dovute alla grande quantità di combustibile utilizzato e l'ecotossicità dove invece prevale il *pre-farming* per via della produzione del diesel.

4.2.3 Impatti dovuti alla fase di trattamento di grano e mais presso l'impianto

L'analisi sovrastante ha mostrato come la parte del ciclo di vita di grano e mais che impatta maggiormente è la coltivazione agricola mentre il trasporto e la fase di trattamento industriale generano, per tutte le categorie d'impatto, problematiche ambientali molto inferiori.

Per via però della poca complessità del sistema produttivo trattato e per l'importanza che ha per la cooperativa agricola, la fase di trattamento è stata analizzata ulteriormente.

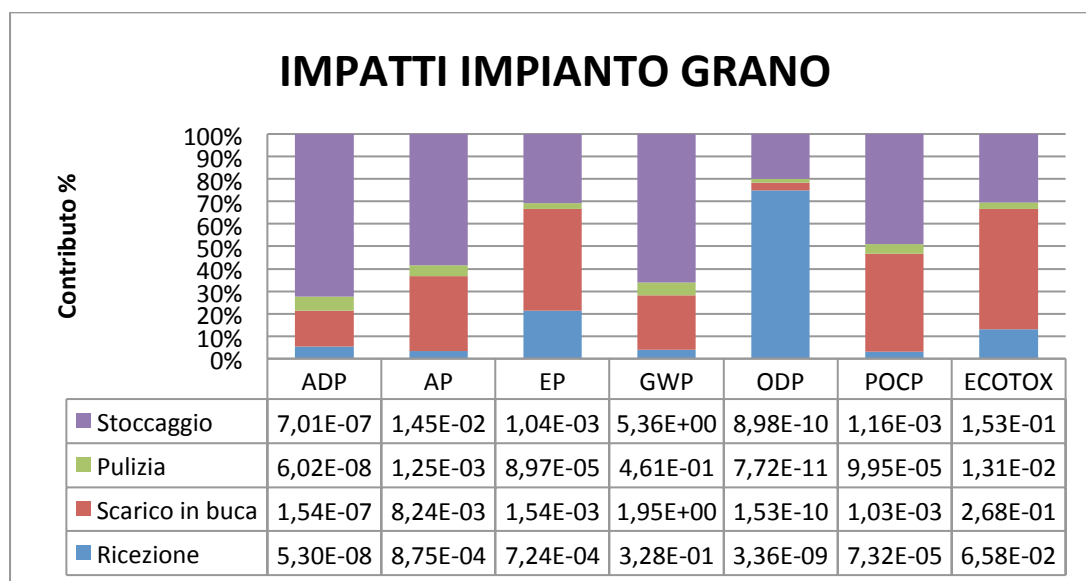


Figura 37: Impatti dovuti alla fase di trattamento presso Capa Cologna per una tonnellata di grano

Il trattamento del grano presso l'impianto di Capa Cologna (Figura 37) mostra che impatti quali ADP, AP, GWP e POCP sono da attribuire in maggior misura all'ultimo processo di trattamento del cereale ovvero lo stoccaggio con refrigerazione all'interno dei silos (72,4% ; 58,3% ; 62%; 49%). In questa fase vi sono solo consumi di energia elettrica quindi gli impatti sono dovuti alla sua produzione. La categoria ODP è rappresentata, invece, per il 74,9% dalla ricezione del prodotto e questo è dovuto allo smaltimento dei fanghi presenti nel disoleatore che si trova sotto l'area di pesa. Le altre due categorie d'impatto, ovvero EP ed ecotossicità delle acque, hanno valori alti per il processo di scarico in buca (45,4 % e 53,6%) a causa dei consumi di energia elettrica, diesel, olio lubrificante per motori ed emissioni in aria.

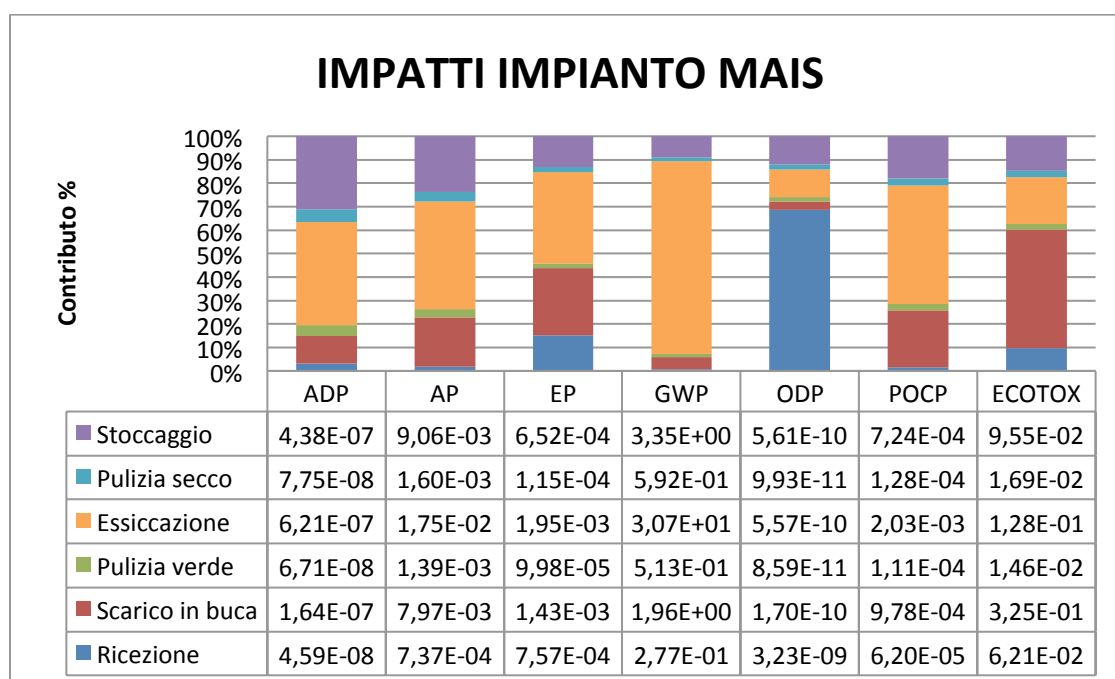


Figura 38: Impatti dovuti al trattamento presso Capa Cologna per una tonnellata di mais

Nel trattamento del mais invece, (Figura 38) la maggior parte degli impatti è attribuibile ad un processo che nel grano non è presente, ovvero l'essiccazione del cereale in cui ho un consumo di energia elettrica, termica ed emissioni dovute al processo di combustione. Per ADP, AP, EP, GWP e POCP è questo infatti il processo che contribuisce maggiormente (44% ; 45,8% ; 39% ; 82% e 50,4%). Lo scarico in buca, in cui viene

consumata energia elettrica e diesel, invece è determinante per l' ecotossicità (50%) mentre, come per il grano, l'ODP è generato soprattutto dal processo di ricezione (68,6%).

Analisi degli impatti dei processi più impattanti nel trattamento di grano e mais

Il processo che genera impatti nella maggior parte delle categorie durante il trattamento del grano è lo stoccaggio in cui, come già specificato nel paragrafo precedente, non sono presenti sotto-processi. Questi sono quindi da attribuirsi alla sola produzione di energia elettrica utilizzata per alimentarlo. L'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico risulta sia per il grano che per il mais essere generato dalla fase di ricezione in cui il sotto-processo preponderante, oltre a un basso uso di energia elettrica, è lo smaltimento dei fanghi del disoleatore.

Occorre però scendere nel dettaglio degli altri processi legati alle rispettive problematiche ambientali ovvero lo scarico in buca sia per il grano che per il mais e l'essiccazione per il mais.

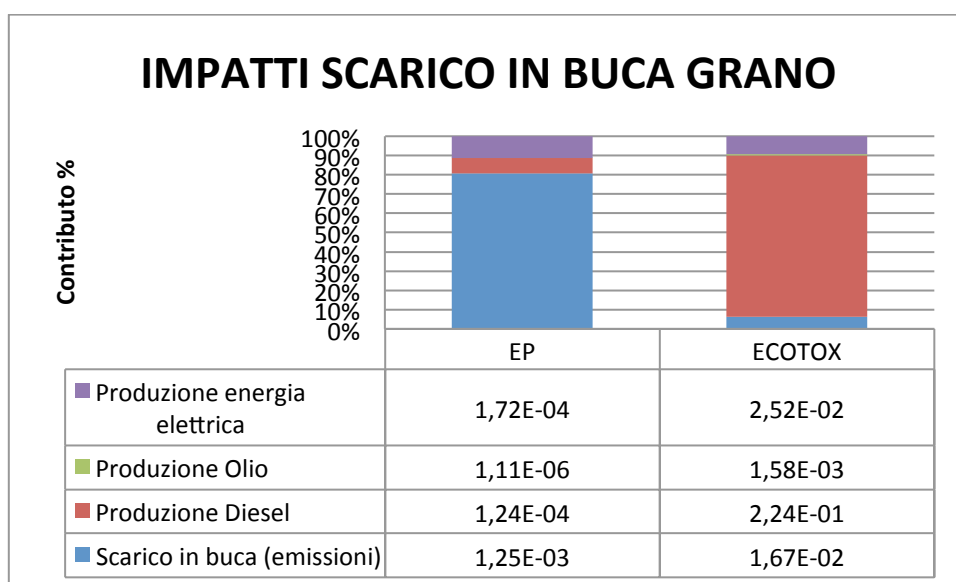


Figura 39: Impatti dovuti alla scarico in buca del grano riferiti ad una tonnellata di cereale prodotto

Per quanto riguarda lo scarico nelle fosse di ricezione del grano (Figura 39), gli impatti sono dovuti al processo stesso e quindi alle emissioni prodotte dal combustibile usato nei

mezzi che scaricano il cereale, per quanto riguarda l'EP (80,7%) mentre l'ecotossicità è dovuta per 83,8% alla produzione del diesel usato per alimentare pale gommate e muletti.

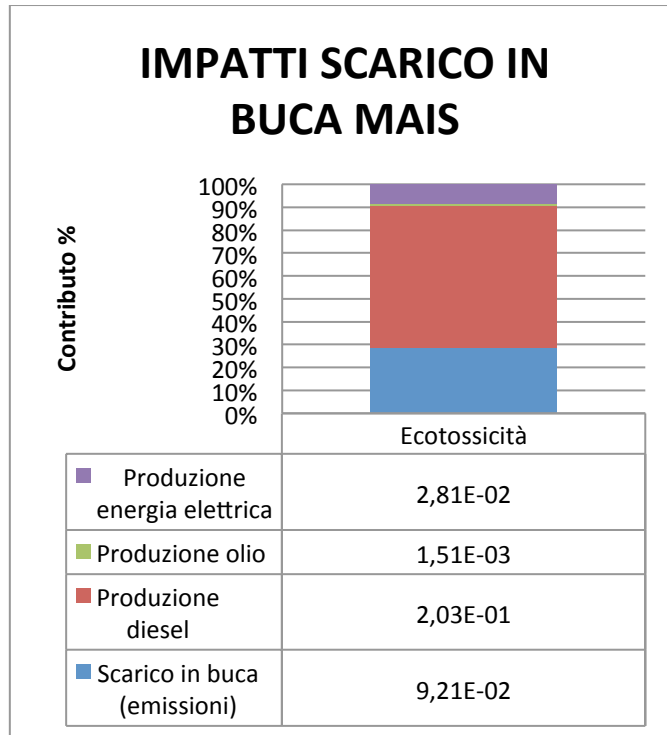


Figura 40: Impatti dovuti alla scarico in buca del mais riferiti ad una tonnellata di cereale prodotto

Per quanto invece riguarda lo stesso processo effettuato per il mais (Figura 40), l'ecotossicità è dovuta al 62,5% alla produzione del diesel utilizzato per alimentare i vari mezzi.

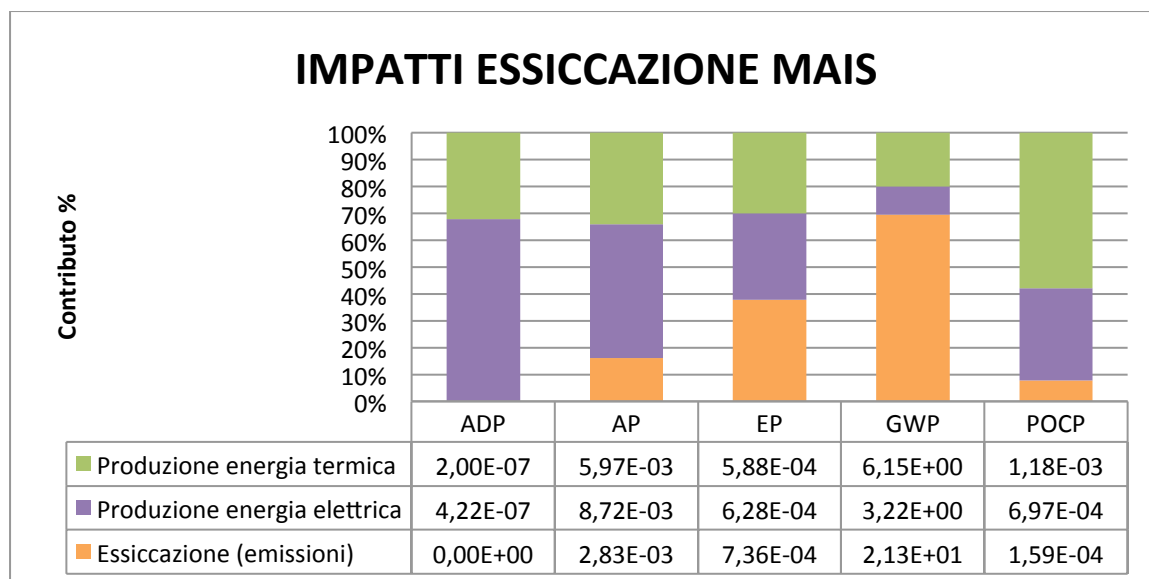


Figura 41: Impatti dovuti all'essiccazione e riferiti ad una tonnellata di mais

Il processo più significativo nel trattamento del mais per più categorie d'impatto è però l'essiccazione. In Figura 41, si può infatti notare che nel caso di ADP e AP gli impatti sono dovuti soprattutto alla produzione di energia elettrica (67,9% e 49,8%). Il GWP è invece comprensibilmente generato dal processo stesso quindi dalle sostanze emesse durante la combustione (69,4%) come anche l'EP (37,7%) mentre il POCP è dovuto al 57,9 % alla produzione del metano utilizzato come combustibile.

Dalla valutazione totale del ciclo di vita di grano e mais emerge quindi che la maggior parte degli impatti, per tutte le categorie d'impatto, si concentrano nella macro-fase agricola di entrambi i cereali e che, all'interno di questa, le maggiori problematiche ambientali sono legate alla concimazione dei due prodotti. La produzione dei concimi infatti genera impatti significativi in tutte le categorie tranne acidificazione, eutrofizzazione ed effetto serra, legate invece alle emissioni in campo di NH₃, N₂O, NO₃ e CO₂. Per quanto riguarda l'ecotossicità, essa è invece dovuta prevalentemente alle emissioni in aria, acqua e suolo dei principi attivi di fungicidi per il grano e diserbanti per il mais.

Per quanto riguarda invece la macro-fase d'impianto gli impatti di una tonnellata di grano e di una tonnellata di mais, dipendono molto dalle differenze del trattamento. Nel grano

infatti, la maggior parte delle categorie d'impatto hanno *impact score* alti per lo stoccaggio e scarico in buca per via della produzione di energia elettrica, diesel ed emissioni dei mezzi utilizzati per la movimentazione del cereale. Per il mais, invece, il processo più impattante per la maggior parte delle categorie è l'essiccazione, per via della produzione di energia elettrica e metano assieme alle emissioni dovute alla combustione di quest'ultimo.

4.3 Analisi di Sensitività

Una volta effettuata l'analisi di base è stata effettuata un'analisi di sensitività ovvero una valutazione degli effetti sui risultati forniti dal modello dovuti a modifiche dei dati in input.

Quest'analisi si è focalizzata su due aspetti particolarmente critici in campo di applicazione dell'LCA al settore agricolo: le emissioni in ambiente correlate all'utilizzo dei concimi e dei fitofarmaci. Su entrambi questi argomenti, infatti, c'è ancora molta incertezza anche in campo accademico.

Per quanto riguarda le emissioni correlate all'uso dei concimi sono stati comparati i risultati ottenuti applicando il metodo di Brentrup et al. (2000) con quelli ottenibili utilizzando altri due metodi. Per quanto riguarda i pesticidi il metodo di valutazione applicato allo scenario "base" è stato comparato con un altro relativo alla distribuzione dei principi attivi dei diversi diserbanti e fungicidi nelle varie matrici ambientali.

4.3.1 Valutazione degli impatti con diversi metodi di stima delle emissioni da concimi azotati

Per stimare le emissioni dovute ai concimi azotati nell'analisi di base è stato utilizzato il metodo descritto da Brentrup et al. (2000) che richiede informazioni molto precise (Paragrafo "Emissioni dei concimi chimici azotati", pp.49). Alcuni studi infatti (Fusi e Bacenetti, 2014) hanno mostrato come questo metodo, seppur più difficile da applicare, fornisca stime meno conservative e più precise rispetto, ad esempio, al metodo descritto dall'IPCC (2006). Questo metodo, per via della sua facile applicazione, è quello più

utilizzato per effettuare questo tipo di stima in quanto non necessita di informazioni aggiuntive oltre al titolo di azoto presente nei concimi.

Le emissioni che si possono stimare con il metodo IPCC sono l' NH_3 , N_2O e NO_3^- (come per Brentrup) ma anche la CO_2 . Il calcolo è appunto molto semplice in quanto basta moltiplicare la quantità di azoto presente all'interno del fertilizzante (F_{sn}) con un fattore di emissione e un fattore di conversione (FC) relativi alla sostanza emessa (Tabella 32).

| Emissione | Formula IPCC |
|---|--|
| <i>Ammoniaca (NH_3) (kg/ha)</i> | $\text{NH}_3 = (F_{sn} * \text{FRAC}_{\text{gasf}}) * FC$ <p>Fsn= quantità di azoto nel fertilizzante chimico (kg) $\text{FRAC}_{\text{gasf}} = 0,1$ $FC = 17/14$</p> |
| <i>Protossido di azoto (N_2O) dirette, indirette e dovute alla lisciviazione (kg/ha)</i> | $\text{N}_2\text{O} = [(F_{sn} * \text{EF1}) * FC] + [(F_{sn} * \text{FRAC}_{\text{gasf}} * \text{EF4}) * FC] + [(F_{sn} * \text{FRAC}_{\text{leach}} * \text{EF5}) * FC]$ <p>$\text{EF1} = 0,01$ $\text{EF4} = 0,01$ $\text{EF5} = 0,0075$ $FC = 44/28$ $\text{FRAC}_{\text{leach}} = 0,3$</p> |
| <i>Anidride carbonica (CO_2) dovuta all'utilizzo di Urea (kg/ha)</i> | $\text{CO}_2 = (M * \text{EF}) * FC$ <p>M= massa Urea (kg) $\text{EF} = 0,2$ $FC = 44/12$</p> |
| <i>Nitrato (NO_3) (kg/ha)</i> | $\text{NO}_3 = (F_{sn} * \text{FRAC}_{\text{leach}}) * FC$ <p>$\text{FRAC}_{\text{leach}} = 0,3$ $FC = 62/14$</p> |

Tabella 32: Formule per il calcolo delle emissioni dovute ai fertilizzanti azotati con metodo IPCC (2006)

Un altro approccio utilizzato per calcolare le emissioni è quello indicato all'interno della PCR per colture arabili in cui rientrano sia grano che mais (Product Group: UN CPC 011, 014, 017, 019 Arable Crops. Version 1.01). Queste regole di categoria suggeriscono modelli differenti in base all'emissione (Tabella 33)

| Emissione | Metodo |
|---|--|
| <i>Ammoniaca</i> | EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2002 |
| <i>N₂O, NO – direct emission</i> | Bouwman et al. 2002 |
| <i>N₂O – indirect emission</i> | IPCC, 2006 |
| <i>Nitrati</i> | IPCC, 2006 |

Tabella 33: Riferimenti per il calcolo delle emissioni dovute ai fertilizzanti azotati presenti nella PCR per il grano

Per il calcolo dell'ammoniaca vengono utilizzati dal metodo *EMEP/CORINAIR* gli stessi fattori di emissione utilizzati da Brentrup quindi la formula è esattamente uguale. La stessa cosa vale per il protossido di azoto e i nitrati poiché i fattori di emissione utilizzati sono i medesimi del metodo IPCC.

Questo approccio è quindi un misto tra i due precedenti che è obbligatorio però se si vuole ottenere l'EPD per cereali come mais e grano.

Per l'analisi di sensitività si sono quindi messi a confronto questi tre metodi calcolando le emissioni anche con questi ultimi due descritti e implementando il modello all'interno del software.

| Emissione | U | Brentrup | IPCC | PCR |
|-----------------------|-------|----------|----------|----------|
| <i>GRANO</i> | | | | |
| <i>NH₃</i> | kg/ha | 1,87+01 | 2,06E+01 | 1,87+01 |
| <i>N₂O</i> | kg/ha | 3,04E+00 | 3,30E+00 | 3,30E+00 |
| <i>NO₃</i> | kg/ha | 1,58E+01 | 2,26E+02 | 2,26E+02 |
| <i>CO₂</i> | kg/ha | | 1,47E+02 | |
| <i>MAIS</i> | | | | |
| <i>NH₃</i> | kg/ha | 4,19E+01 | 2,79E+01 | 4,19E+01 |
| <i>N₂O</i> | kg/ha | 3,84E+00 | 4,46E+00 | 4,46E+00 |
| <i>NO₃</i> | kg/ha | 1,93E+02 | 3,06E+02 | 3,06E+02 |
| <i>CO₂</i> | kg/ha | | 3,67E+02 | |

Tabella 34: Stima delle emissioni da concimi azotati con tre diversi metodi

E stata quindi effettuata di nuovo l'analisi degli impatti della fase agricola di grano e mais che sono stati messi a confronto per le tre categorie d'impatto in cui sono emerse variazioni significative ovvero AP, EP e GWP (Figura 42). Come già riscontrato precedentemente infatti, questi impatti sono quelli che nella fase di concimazione del suolo sono fortemente influenzati dalle emissioni azotate.

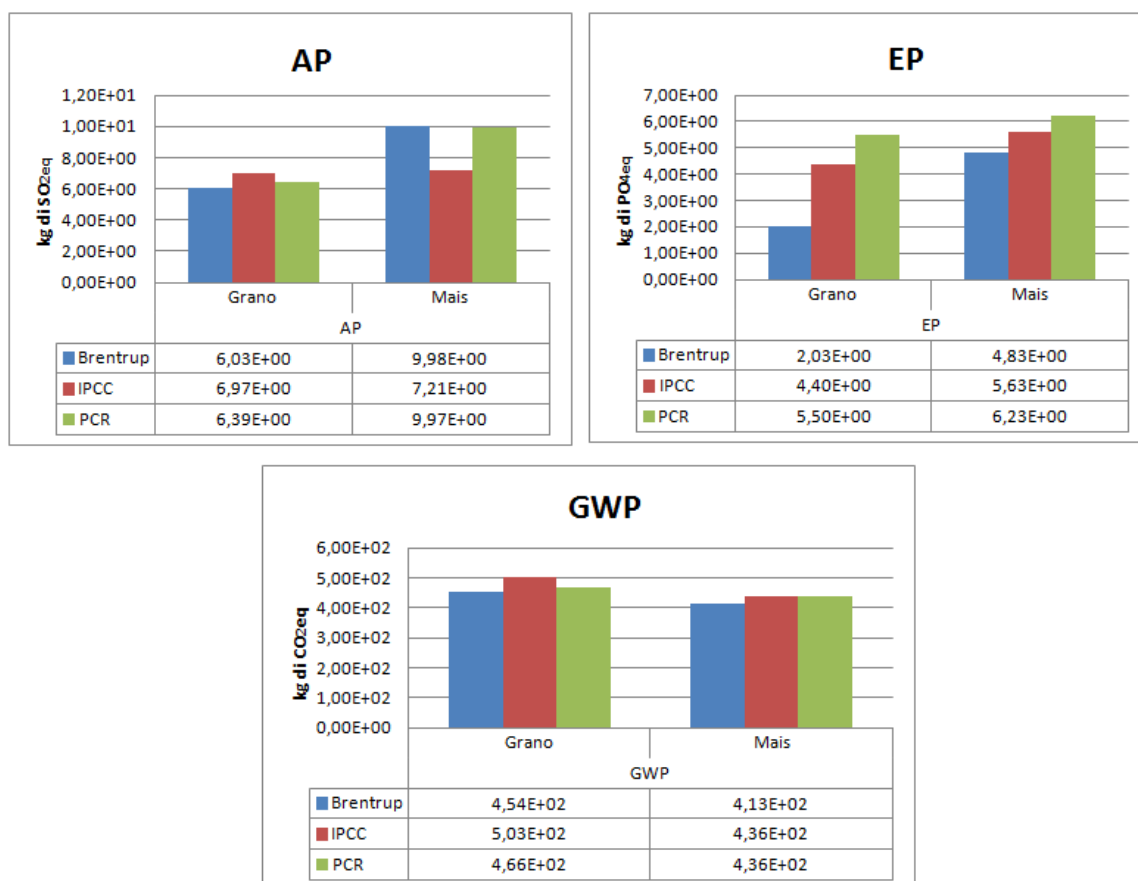


Figura 42: Impatti della fase agricola di grano e mais calcolati utilizzando tre diversi metodi di stima delle emissioni da fertilizzanti azotati

Per quanto riguarda l'acidificazione gli impatti risultano per il grano aumentare leggermente con il metodo IPCC (+15,6%) mentre rimanere quasi invariati con quello PCR (+ 0,36 %); per il mais invece il valore diminuisce del 2,8% con il metodo IPCC e dello 0,1 % con quello PCR.

L'eutrofizzazione mostra variazioni maggiori: gli impatti del grano aumentano del 116,5 % con il metodo IPCC e del 170,8% con PCR. Per il mais l'aumento è invece solo del 16,6% e del 29,2 %.

Infine, l'effetto serra mostra un aumento degli impatti dovuti alla coltivazione del grano del 10,8% col metodo IPCC e del 2,8 % per PCR. Per quanto riguarda invece il mais l'aumento che si ha applicando il metodo IPCC come PCR è del 5,5%.

Il metodo Brentrup risulta essere effettivamente meno conservativo rispetto agli altri due tranne nel caso dell'AP del mais dove si comporta come il metodo PCR. In questo caso infatti Brentrup calcola un 33% in più di ammoniaca rispetto al metodo IPCC che porta ad un aumento dell'acidificazione potenziale e questo perché utilizza un fattore di emissione per l'Urea (unico fertilizzante azotato per il mais) più alto (Tabella 13) di quello utilizzato genericamente per tutti i fertilizzanti dall'IPPC (Tabella 32).

Per quanto riguarda invece la forte differenza riscontrata nei valori di eutrofizzazione del grano calcolati con Brentup rispetto ad IPCC e PCR, questo è dovuto alla stima dei nitrati lisciviati che è circa 14 volte più bassa nel primo caso rispetto ai secondi. Questo dipende dal complesso calcolo che necessita di informazioni molto specifiche utilizzato da Brentup e che prende in considerazione tutto il bilancio dell'azoto influenzato anche dall'asportazione di paglia. Quest'asportazione non avviene nel mais oggetto di studio e ciò dimostra come per questo cereale l'eutrofizzazione potenziale vari meno utilizzando i diversi metodi.

La variazione sostanziale dei risultati di uno studio LCA che utilizza un metodo piuttosto che un altro, è legata quindi alla stima di NO_3^- e in minor misura a quella dell' NH_3 che conducono a risultati differenti nelle categorie AP ed EP.

La stima dell' N_2O , invece, è fondamentale nel GWP, per cui ha un fattore di caratterizzazione molto alto (298 kg di CO equivalenti). L'effetto serra potenziale infatti risulta maggiore con il metodo IPCC e PCR rispetto a Brentrup perché i primi due calcolano una quantità maggiore di N_2O rispetto al secondo. Nell'ambito di questa categoria d'impatto bisogna poi ricordare che il metodo Brentrup e quello PCR non prevedono un calcolo di CO_2 che invece è presente nel metodo IPCC e questo, seppur in minima parte, incide sul bilancio finale.

4.3.2 Valutazione degli impatti con diversi metodi di stima della distribuzione dei fitofarmaci nelle varie matrici ambientali

Per la stima della distribuzione fra i diversi comparti ambientali dei principi attivi di diserbanti e fungicidi esistono, oltre al metodo proposto da Margni et al. (2002) e applicato in questa tesi allo scenario di base, vari metodi. In questo paragrafo si cerca di valutare come possano differire i risultati dell'analisi LCA cambiando il metodo di calcolo della distribuzione dei principi attivi dei fitofarmaci nei comparti ambientali.

In letteratura esistono differenti modelli che possono essere utilizzati negli studi LCA per capire come le sostanze chimiche, quindi anche i fitofarmaci, si distribuiscono in ambiente. Uno di questi è il modello di fugacità di Mackay (Mackay et al., 1992) di cui esistono tre livelli di applicazione via via più complessi ed esigenti di informazioni. Per alcuni pesticidi esistono anche schede on-line sul sito Ispra dove il calcolo è già stato effettuato. Questo metodo si è però rivelato non applicabile a questo specifico caso di studio perché i livelli I e II del modello non tengono in considerazione la degradazione della sostanza ma soprattutto simulano che il prodotto fitosanitario venga emesso in aria. Il livello III, per il quale si può impostare l'applicazione al suolo, necessita di informazioni non disponibili per questo studio.

Un altro modello utilizzabile è *PestLCI* proposto in una prima versione da Birkved e Haushild (2006) poi modificato in *PestLCI 2.0* (Dijkam et al., 2012). Questo modello permette di stimare la distribuzione dei fitofarmaci in aria, acque superficiali e acque sotterranee oltre che l'*up-take* da parte della pianta e la degradazione della sostanza. Necessita però di molte informazioni specifiche quali ad esempio stagione e stadio vegetale della coltura al momento della distribuzione del fitofarmaco, caratteristiche del sistema di drenaggio, dimensioni del campo, condizioni climatiche e di irrigazione. Inoltre nell'applicativo con cui si utilizza il modello sono presenti solo alcuni tipi di fitofarmaci.

Esiste poi il modello utilizzato da Ecoinvent (Nemecek e Kagi, 2007), il quale assume che tutta la massa di principio attivo applicato (100%) vada al suolo. Si è scelto di utilizzare questo modello semplificato per l'analisi di sensitività e il risultato è illustrato nei grafici seguenti (Figura 43) dove l'unica categoria d'impatto considerata è l'ecotossicità.

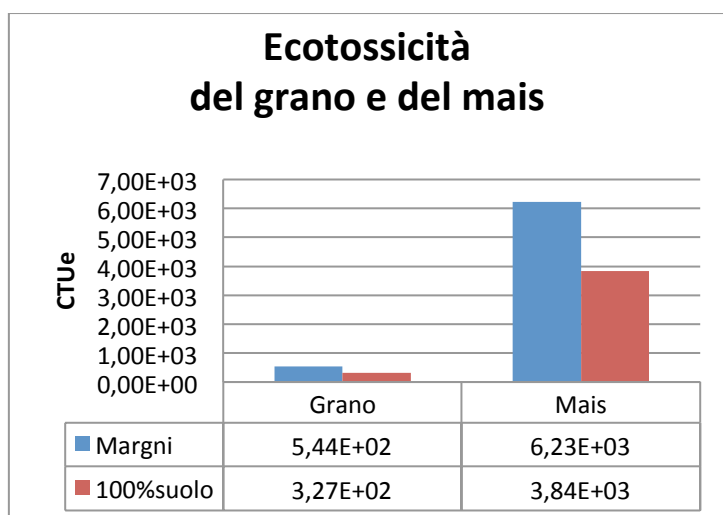


Figura 43: Impatti di ecotossicità della fase agricola utilizzando due diversi metodi di distribuzione dei fitofarmaci in ambiente

Il metodo semplificato che prevede che l'intera massa del fitofarmaco non si distribuisca fra i vari comparti ma rimanga al suolo, comporta una riduzione di circa il 40% dell'impatto sull' ecotossicità acquatica (-39,8% per il grano e -38,3% per il mais) rispetto a quanto calcolato con il metodo di base.

Questo perché i fattori di caratterizzazione utilizzati dal metodo *USEtox* per i principi attivi dei fitofarmaci usati nello studio sono più bassi per il suolo rispetto all'acqua.

4.4 Valutazione degli impatti di uno scenario alternativo: l'utilizzo di energia rinnovabile nell'impianto di Capa Cologna

L'analisi del ciclo di vita dei cereali oggetto di studio ha dimostrato come la fase produttiva che impatta maggiormente è quella di coltivazione. Questo è in linea con la maggior parte degli studi LCA effettuati sui cereali (Paragrafo 1.4) e quindi per migliorare la performance ambientale sia del grano che del mais sarebbe necessario intervenire a questo livello, in particolare su concimazione, diserbo e difesa.

Detto questo però, per la cooperativa agricola Capa Cologna un minor uso di fertilizzanti e fitofarmaci significherebbe un drastico calo produttivo e quindi una perdita economica considerevole. Non ha alcun senso proporre quindi uno scenario di coltivazione biologica dei cereali e anche intervenire a livello di quantità di concimi applicati sarebbe ingiustificato. Gli agricoltori della cooperativa, infatti, si attengono già ai disciplinari di

produzione integrata regionali oppure elaborati dalle aziende che acquistano il prodotto per trasformarlo successivamente.

Sebbene quindi non sia la macro-fase che crea maggior impatti, è stata comunque effettuata un'analisi su uno scenario alternativo dell'impianto di trattamento e stoccaggio cereali di Capa Cologna.

Scenario con utilizzo di energia rinnovabile solare fotovoltaica

Come precedentemente evidenziato (Paragrafo 4.2.3) ciò che genera la maggior parte degli impatti a livello dei vari processi è la produzione di energia elettrica e le emissioni dovute ai mezzi, pale e muletti, che movimentano il grano e il mais, alimentati a gasolio. Per migliorare quindi questa situazione si è pensato all'utilizzo di energia rinnovabile che possa alimentare in parte i vari processi in modo da diminuire l'utilizzo di energia non rinnovabile e quindi gli impatti da essa derivanti.

L'energia ideale per il caso oggetto di studio è quella solare in quanto l'impianto presenta moltissime superfici pannellabili. Lo studio di ingegneria ambientale E&NGI srl, che ha collaborato a questo studio e di cui Capa Cologna è cliente, ha calcolato 18000 m² di superficie ipoteticamente ricopribile a pannelli solari fotovoltaici per una produzione complessiva annua di 1260000 kWh di energia elettrica. Questo calcolo è stato effettuato con l'applicazione "PV estimation" del *Joint Research Centre (JRC)* disponibile on-line. I pannelli fotovoltaici sono stati assunti essere di silicio amorfo perché questo, rispetto a quello cristallino, funziona meglio con la luce diffusa ed è quindi adatto alle condizioni atmosferiche della pianura padana. Sono poi state inserite le coordinate geografiche dell'azienda (localizzazione: 44°58'18" Nord, 11°53'21" Est; elevazione: 4 m s.l.m) ottenendo il risultato illustrato in Tabella 35.

| Fixed system: inclination=35°, orientation=-10° | | | | |
|--|------------------|---------------|-------------|------------|
| Month | E_d | E_m | H_d | H_m |
| Jan | 1960.00 | 60800 | 2.06 | 63.9 |
| Feb | 2420.00 | 67700 | 2.58 | 72.4 |
| Mar | 3440.00 | 106000 | 3.82 | 118 |
| Apr | 4030.00 | 121000 | 4.58 | 137 |
| May | 4390.00 | 136000 | 5.12 | 159 |
| Jun | 4860.00 | 146000 | 5.81 | 174 |
| Jul | 5010.00 | 155000 | 6.05 | 187 |
| Aug | 4620.00 | 143000 | 5.55 | 172 |
| Sep | 4140.00 | 124000 | 4.83 | 145 |
| Oct | 2950.00 | 91500 | 3.30 | 102 |
| Nov | 2050.00 | 61500 | 2.22 | 66.7 |
| Dec | 1560.00 | 48400 | 1.65 | 51.2 |
| Yearly average | 3460 | 105000 | 3.97 | 121 |
| Total for year | 1.260.000 | | 1450 | |

Tabella 35: Calcolo dei kWh prodotti da una superficie di 18000 m² con E_d = media giornaliera (kWh), E_m = media mensile (kWh), H_d = media giornaliera dell'irradiazione ricevuta (Kwh/m²), H_m = media mensile dell'irradiazione ricevuta (kWh/m²)

Per costruire quindi questo scenario alternativo l'energia elettrica ipoteticamente prodotta tramite i pannelli fotovoltaici è stata allocata tra i vari prodotti di Capa Cologna (mais, grano e soia) utilizzando fattori di allocazione in massa come già fatto in precedenza per i flussi di energia e materia dello scenario di base (Paragrafo 3.4.4).

Oltre all'energia per alimentare l'impianto però, le problematiche ambientali sono anche da attribuire alle emissioni dovute all'utilizzo dei mezzi nel piazzale dove avviene lo scarico e la movimentazione dei cereali. Si tratta di 6 pale gommate a gasolio e 4 carrelli elevatori di cui 3 a gasolio (Linde E30) ed uno elettrico (Linde E20). Con la nuova ipotetica produzione di energia rinnovabile quindi si potrebbero alimentare altri mezzi elettrici invece di utilizzare il gasolio diminuendo gli impatti dovuti al suo utilizzo (emissioni in atmosfera) ma anche alla sua produzione.

Le pale gommate, essendo molto grandi e potenti, non possono essere sostituite da mezzi equivalenti elettrici ma questo può essere fatto per i più piccoli muletti, vista per altro la presenza di uno di questi in azienda.

Alle quantità allocate di energia solare fotovoltaica per i prodotti grano e mais sono stati quindi tolti i kWh necessari ad alimentare 3 muletti elettrici (Linde E20) sostitutivi di quelli esistenti a gasolio.

| Muletti elettrici (LINDE E20) | Potenza (kW) | Ore di utilizzo | Giorni di utilizzo | N° | kWh | | |
|-------------------------------|---------------|-----------------|--------------------|----|-------|----------------|------|
| GRANO | 10 | 24 | 15 | 3 | 10800 | | |
| MAIS | 10 | 24 | 40 | 3 | 28800 | | |
| Muletti gasolio (LINDE H30) | Consumo (L/h) | Ore di utilizzo | Giorni di utilizzo | N° | L | m ² | t |
| GRANO | 3,4 | 24 | 15 | 3 | 3672 | 3,67 | 3,08 |
| MAIS | 3,4 | 24 | 40 | 3 | 9792 | 9,79 | 8,22 |

Tabella 36: Calcolo dei consumi di muletti elettrici e a gasolio

L'energia solare fotovoltaica rimasta è stata spartita proporzionalmente nei vari processi dell'impianto

| Allocazione | | | |
|-------------|-----------|------------|---------------|
| | λ | kWh solare | Senza muletti |
| Grano | 0,25 | 315000 | 304200 |
| Mais | 0,58 | 730800 | 702000 |

| PROCESSO | GRANO | | | | MAIS | | | |
|-----------------------------|-------------|-------|-------------|-----------------|-------------|-------|-------------|-----------------|
| | Consumo kWh | % | Rinnovabile | Non rinnovabile | Consumo kWh | % | Rinnovabile | Non rinnovabile |
| Ricezione e pesatura | 20000 | 4,35 | 13239,43 | 6760,57 | 40000 | 2,94 | 20662,42 | 19337,58 |
| Scarico in buche di scarico | 57960 | 12,61 | 38367,86 | 19592,14 | 154560 | 11,37 | 79839,58 | 74720,42 |
| Pulizia verde | 30202,2 | 6,57 | 19992,99 | 10209,21 | 80539,2 | 5,93 | 41603,36 | 38935,84 |
| Essiccazione | | | | | 486100 | 35,77 | 251100,02 | 234999,98 |
| Pulizia secco | | | | | 93038,4 | 6,85 | 48059,96 | 44978,44 |
| Stoccaggio e carico camion | 351374,32 | 76,46 | 232599,72 | 118774,60 | 504751,52 | 37,14 | 260734,66 | 244016,86 |
| TOT | 459536,52 | 100 | 304200 | 155336,52 | 1358989,1 | 100 | 702000,00 | 656989,12 |

Tabella 37: Allocazione in massa e spartizione nei vari processi dell'energia solare prodotta

Infine all'inventario originale è stata tolta la quantità di energia pari a quella rinnovabile prodotta da quella non rinnovabile utilizzata per ogni processo, il gasolio necessario ad alimentare i tre muletti elettrici e sono infine state ricalcolate le emissioni dovute ai mezzi. Non si è tenuto conto degli impatti dovuti alla produzione dei muletti elettrici e dei pannelli solari perché ammortizzabili nel tempo.

Dal punto di vista economico la realizzazione di un impianto fotovoltaico che produce 1000 kWh per kW di fotovoltaico installato (con un degrado di produzione dovuto all'usura dell'1%) presenta un costo di 2 €/W a cui aggiungere circa 50 € annui di manutenzione. Oltre a queste voci passive ci sono anche voci attive date dall'energia prodotta auto consumata che mi genera un risparmio economico in quanto non devo acquistarla dalla rete al prezzo di 0,2 €/ kWh. Inoltre, dovesse l'impianto produrre più energia del necessario questa può essere venduta alla rete ad una tariffa di 0,09 €/ kWh. Nel caso oggetto di studio, considerando un autoconsumo del 100% avrei un risparmio annuo di 20000 € sulla bolletta e rientrerei nei costi di realizzazione, con saldo attivo, dopo 10 anni.

Valutazione degli impatti dello scenario di base confrontato con quello ad energia solare fotovoltaica

Sono quindi stati valutati gli impatti della fase di trattamento presso l'impianto Capa Cologna attraverso i dati di questo nuovo scenario ipotetico e sono stati confrontati con quello di base per visualizzarne il miglioramento ambientale ottenuto.

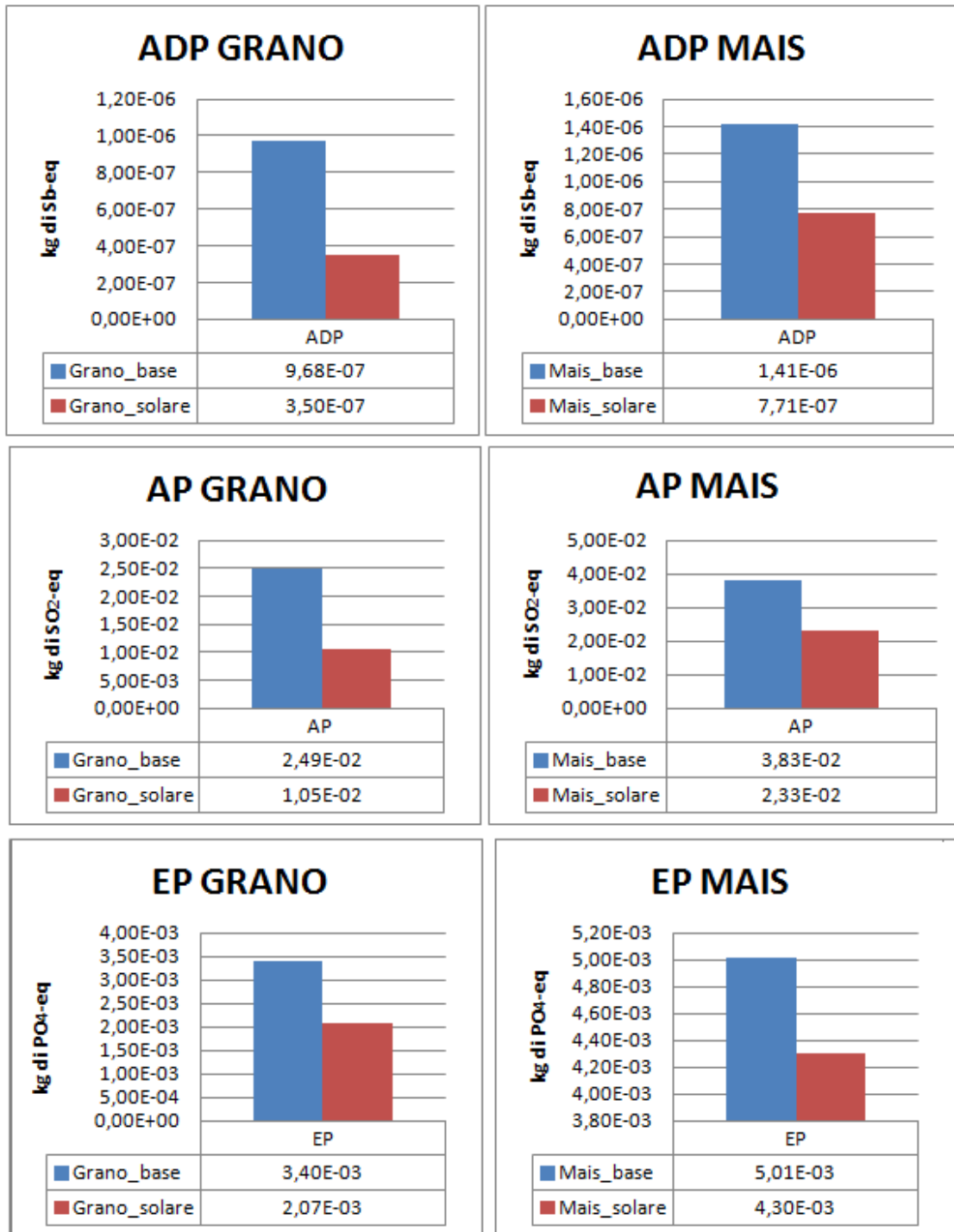


Figura 44: Esaurimento delle risorse abiotiche, acidificazione ed eutrofizzazione dovute allo scenario di trattamento di base confrontate con quello ad energia solare sia per grano che per mais

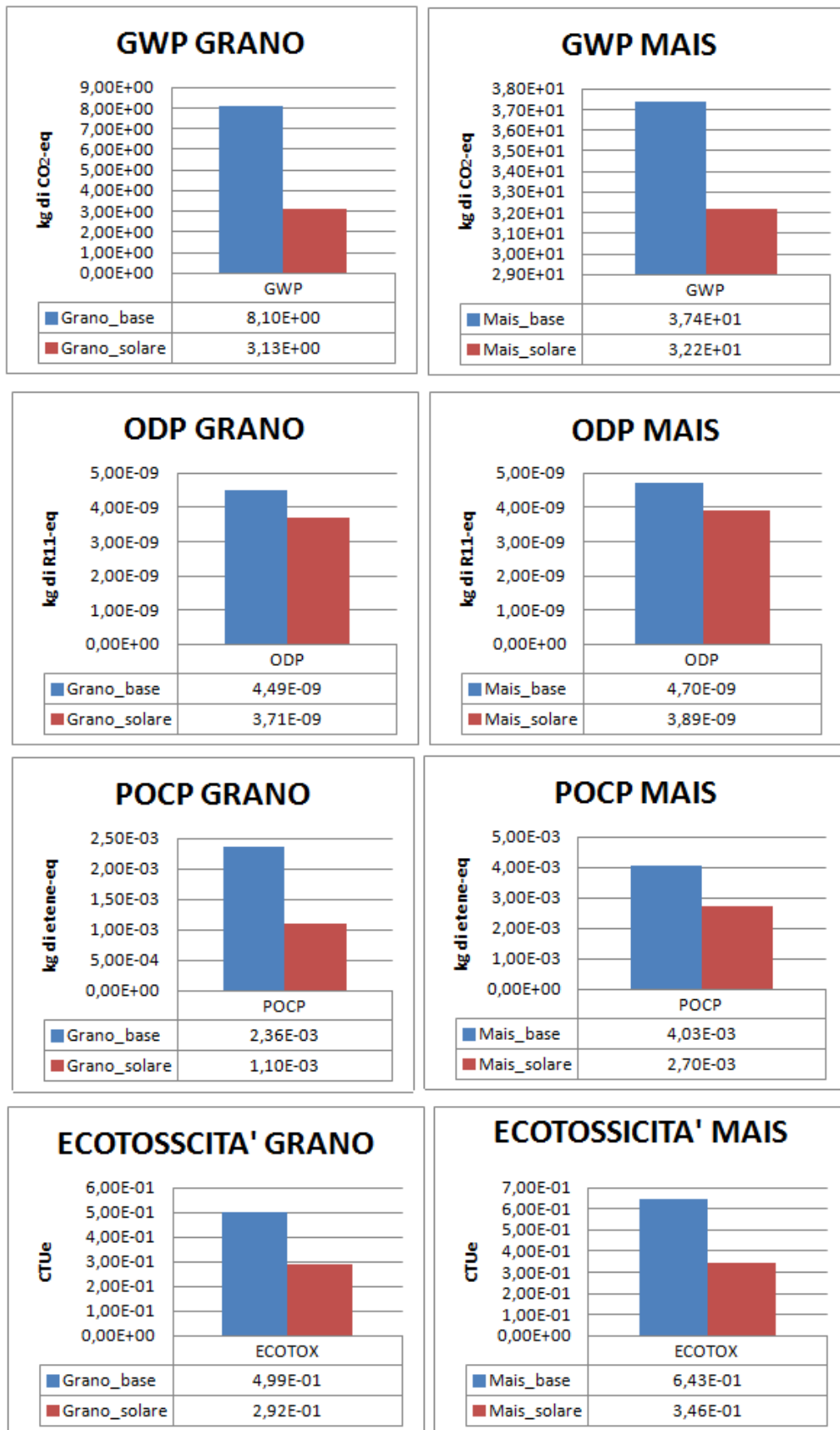


Figura 45: Effetto serra, riduzione della fascia di ozono, smog fotochimico ed ecotossicità dovute allo scenario di trattamento di base e a quello solare sia di grano che di mais

In Figura 44 e Figura 45 sono mostrati gli impatti dello scenario di base confrontati con quelli dello scenario ad energia solare fotovoltaica.

Per quanto riguarda il trattamento del grano, la parziale sostituzione del mix elettrico italiano con l'energia prodotta da un impianto fotovoltaico porterebbe ad una riduzione degli impatti variabile da un massimo del 63,9% per l'ADP ad un minimo del 17,4% per l'ODP, con una riduzione media del 40 %.

Allo stesso modo, la lavorazione del mais vedrebbe ridotti i suoi impatti da un massimo del 46,2% per l'ecotossicità acquatica ad un minimo del 13,9% per il GWP, per una media del 30 %. La riduzione molto inferiore dell'effetto serra potenziale rispetto al grano (-61,3%) è dovuto al processo di essiccazione che per via della combustione produce comunque gas clima-alternati.

Il risparmio che si otterrebbe considerando l'intero ciclo di vita (fase agricola, trasporto e fase d'impianto) è però assai poco significativo: da un massimo dell'1,1 % per il GWP ad un minimo dello 0,005 % per l'ODP per entrambi i cereali ed una media dello 0,3 % circa. Questo sempre per via del fatto che, nell'intero ciclo di vita, la fase agricola è quella preponderante come impatti.

Ciò conferma quanto affermato all'inizio del paragrafo, ossia che i miglioramenti delle prestazioni ambientali che si possono ottenere agendo sulle fasi d'impianto sono assai ridotti. La sostituzione del mix elettrico italiano con l'energia solare fotovoltaica prodotta direttamente dalla cooperativa potrebbe portare più vantaggi economici che ambientali alla stessa anche perché, secondo un calcolo effettuato da E&NGI srl, per un autoconsumo del 100% si otterrebbe un risparmio di 20000 € annui sull'acquisto di energia dalla rete.

CAPITOLO 5-CONCLUSIONE

Il presente studio aveva l'obiettivo di indagare quali fossero le possibili problematiche ambientali legate alla produzione e al trattamento presso la cooperativa agricola Capa Cologna di una tonnellata di due diversi cereali: il grano e il mais.

Quello che emerge, in linea con la maggioranza degli studi LCA svolti nel settore agro-alimentare e sui cereali oggetto di studio (Paragrafo 1.4), è che la macro-fase in cui si hanno maggiori impatti potenziali a livello di surriscaldamento globale, acidificazione, eutrofizzazione, creazione di smog fotochimico, assottigliamento della fascia di ozono stratosferico, riduzione delle risorse abiotiche ed ecotossicità delle acque è quella agricola per entrambi i prodotti. La fase di coltivazione di grano infatti contribuisce per oltre il 97 % al totale degli impatti mentre quella di mais per oltre il 90 %.

All'interno poi della coltivazione di entrambi i cereali, il processo agricolo che genera maggiori problematiche ambientali è la concimazione, sia per via della produzione dei fertilizzanti che per il loro utilizzo in campo. I contributi percentuali variano in base alla categoria: mentre il consumo di risorse abiotiche è connesso quasi interamente alla produzione, acidificazione ed eutrofizzazione dipendono per circa il 90% dalla fase di uso in campo, principalmente a causa delle emissioni azotate. Inoltre, la produzione dei concimi comporta consumo di risorse non rinnovabili ed energia che a sua volta, essendo connesse al consumo di combustibili fossili, comportano emissione di gas serra e di inquinanti atmosferici precursori di acidificazione e smog fotochimico.

Anche l'analisi degli impatti da pre-farming a quelli di farming mostra come entrambe le fasi siano rilevanti con contributi diversi in base alle categorie d'impatto.

A livello metodologico, le emissioni azotate dovute alla concimazione possono essere stimate con diversi metodi che producono risultati differenti. L'analisi di sensitività, svolta attraverso l'applicazione dei modelli di Brentrup (2000), IPCC (2006) e PCR (2006), ha evidenziato come il primo sia quello meno conservativo, come peraltro già valutato da altri studi (Fusi e Bacenetti, 2014). Ciò significa che stima emissioni che risultano più basse rispetto agli altri metodi e questo perché, necessitando di informazioni maggiori, il calcolo è più accurato mentre per l'IPCC si applicano fattori standard per tutti i casi.

Per quanto riguarda però l'ecotossicità potenziale delle acque della fase agricola, l'impatto maggiore è dovuto al diserbo e alla difesa dei cereali ovvero alla produzione ed utilizzo di fitofarmaci quali diserbanti e fungicidi. A livello metodologico, tuttavia, la distribuzione dei principi attivi di fitofarmaci in ambiente è di difficile valutazione, in quanto in letteratura esistono differenti modelli per effettuare tale stima. Per tali motivi, è stata realizzata un'ulteriore analisi di sensitività applicata alla valutazione degli impatti ecotossicologici d'acqua dolce, attraverso l'utilizzo di due metodi, il primo proposto da Margni et al. (2002), il secondo da Ecoinvent (Nemecek e Kagi, 2007). Essa ha evidenziato come i due modelli utilizzati diano risultati diversi (differenza del 40% circa). Il metodo proposto da Margni, il quale identifica tre diversi comparti ambientali in cui la sostanza può distribuirsi, probabilmente è più adatto a stimare gli impatti in ambiente acquatico pur rimanendo molto pratico e veloce nella sua applicazione. Quindi si può auspicare il suo utilizzo negli studi LCA applicati al settore agricolo. Sarebbe comunque utile un approfondimento della problematica utilizzando ulteriori modelli esistenti in letteratura.

Per quanto riguarda la fase d'impianto, per il grano i processi maggiormente impattanti risultano: lo scarico in buca ossia la movimentazione del cereale alle fosse di ricezione, e lo stoccaggio con refrigerazione all'interno dei silos e dei magazzini orizzontali. Per quanto riguarda il mais, invece, il processo preponderante sugli altri è l'essiccazione, trattamento che non avviene nel grano. Questi impatti sono in entrambi i casi dovuti al consumo di energia elettrica e gasolio.

L'ultima parte della tesi, volta a proporre azioni per migliorare le prestazioni ambientali di Capa Cologna, mostra come l'installazione di pannelli fotovoltaici potrebbe ridurre gli impatti mediamente del 40% per il grano e del 30% per il mais a livello di trattamento del cereale. La riduzione sarebbe però mediamente solo dello 0,3 % circa se si considera tutto il ciclo di vita di entrambi i cereali.

Infine, confrontando gli LCA dei due cereali, il grano risulta avere impatti tendenzialmente minori rispetto al mais e questo perché soggetto a meno trattamenti sia a livello agricolo sia d'impianto. Un corretto confronto andrebbe però fatto mediante un'unità funzionale più opportuna ma ciò non è stato effettuato in quanto il paragone tra i due cereali non era tra gli obiettivi della tesi.

BIBLIOGRAFIA

Baldo, G. L., Marino, M., Rossi, S., 2008. Analisi del ciclo di vita LCA – gli strumenti per la progettazione sostenibile di materiali, prodotti e processi. Edizioni Ambiente, Milano

Berthoud, A., Maupu, P., Huet, C., Poupart, A., 2011. Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16, 841-847

Birkved, M., Haushild, M.Z., 2006. PestLCI – A model for estimating field emission of pesticides in agricultural LCA. *Ecological Modelling* 198, 433-451

Blengini, G.A., Busto, M., 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management system in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management* 90, 1512-1522

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *Int JLife Cycle Assess* 5, 349–57

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H., 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* 20, 265-279

Capa Cologna Sca, Ottobre 2013. Dichiarazione Ambientale, Reg.1221/09/CE (EMAS)

Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., Pellet, D., 2006. System delimitation in agricultural consequential LCA. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113, 216-225.

Dijkam, T.J., Birkved, M., Haushild , M.Z., 2012. PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emission of pesticides from arable land in LCA . Int. J Life Cycle Assess 17(8), 973-986

Direzione Generale Agricoltura, Economia Ittica, Attività Faunistico – Venatoria. Disciplinary di Produzione Integrata., 2014. Norme Generali, Regione Emilia Romagna

FAO, 2013. Statistical yearbook 2013 World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

Fallhapuour, F., Amingahafouri, A., Ghalegolab Behabahani, A., Bannayan, M., 2012. The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. Environment, Development and Sustainability 14, 979-992

Fusi, A., Bacenetti, J., 2014. Confronto tra modelli per la stima delle emissioni da fertilizzanti: il caso del mais da granella, in “Atti del VIII convegno della Rete Italiana LCA”, 168-175

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Vol. 4

ISO, 2006. ISO 14040. Environment management – Life Cycle Assessment – Principles and framework. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.

ISO 2006 ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), 2014. Rapporto Nazionale Pesticidi nelle Acque – dati 2011-2012. Rapporti 208/2014.

Kim, S., Dale, B.E., 2002. Allocation procedure in ethanol production system from corn grain i. system expansion. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7 (4), 237-243

Kim, S., Dale, B.E. , 2008. Life Cycle Assessment of fuel ethanol derived from corn grain via dry milling . *Bioresource Technology* 99 (12), 5250-5260

Kim, S., Dale, B.E., Jerkins, R., 2009. Life Cycle Assessment of corn grain and corn stover in the US. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14, 160-174

Lo Giudice, A., Clasadoni, M. T., Matarazzo, A., 2011. LCI preliminary results in the Sicilian durum wheat pasta chain production. *Journal of Commodity Science, Technology and Quality*, 50 (I), 65-79

Mackay, D., Shiu, W.Y, Paterson, S., 1992. Generic Models for evaluating the regional fate of chemicals. *Chemosphere* 24 (6), 695–717.

Manuale di utilizzo – Nettoyeur/Calibreur Type EAC 2004

Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., Jolliet, O., 2002. Life Cycle Impact Assessment of pesticides on human health and ecosystems,. *Agriculture, Ecosystem & Environment* 93, 379-392

Meisterling, K., Samaras, C., Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17, 222 -230

Murphy, C., Kendall, A., 2013. Life cycle inventory development for corn and stover production systems under different allocation methods. *Biomass and Bioenergy* 58, 67-75

Narayanaswamy, V., Althan, V., Van Berkel, R., McGregor, M., 2004. Environmental Life Cycle Assessment (LCA) Case Studies for Western Australian Grain Products, project founded by Grain Research & Development Corporation, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia

Nemecek T., Kagi T., 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems. Data v2.0, Ecoinvent report 15, 33-35.

Notarnicola, B., Nicoletti ,G.M., 2001. Life Cycle Assessment of Pasta and Cous Cous. *Tecnica Molitoria* 52 (1), 19-27,33

Notarnicola, B., Salomone, R., Petti, L., Pietro Renzulli, A., Roma R., Cerutti, A. K., 2014. Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. Case studies. methodological issues and best practices, Springer, 210-278, *in press*

Pe Europe GmbH. 2003. Gabi 4 Manual - Gabi 4, Get ready for tomorrow. Leinfelden Echterdingen.

Pelletier, N., Arseanault, N., Tyedmers, P., 2008. Scenario modeling potential eco-efficiency gains from a transition to organic agriculture: life cycle perspective to Canadian canola, corn, soy and wheat production. *Environmental Management*, 42, 989-1001

Product Category Rules according to ISO 14025:2006, 2014. Product Group: UN CPC 011, 014, 017, 019 Arable Crops. Version 1.01

Roer, A.G., Korsæth, A., Henriksen, T.M., Michelsen, O., Strømman, A.H., 2012. The influence of system boundaries on life cycle assessment of grain production in central southeast Norway. *Agricultural Systems* 111, 75-84

Roy, P., Ijiri, T., Nei, D., Orikasa, T., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., 2009. Life Cycle Inventory of different forms of rice consumed in household in Japan. *Journal of Food Engineering* 91, 49-55

Ruini, L. , Marino, M., 2010. An overview of environmental indicators aims to an easy life cycle assessment results presentation by an important food supplier: example of durum wheat cultivation (paper presented at the VII International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, Bari, Italy)

Schmidt, J.H., 2008. System delimitation in agricultural consequential LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13, 350-364

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1993 Guidelines for Life-Cycle Assessment

Spatari, S., Zhang, Y., MacLean, H.L., 2005. Life Cycle Assessment of Switchgrass -and Corn Stover – Derived Ethanol- Fueled Automobiles. *Environ. Sci. Technol.* 39 (24), 9750-9758

Williams, A. G., Audsley, E., Sandars, D.L., 2005. Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modeling. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15, 855-868

Winther, M., Samaras, Z., 2013. Non-road mobile sources and machinery. *EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013*, 1-74

SITOGRAFIA

<http://www.agraria.org>

<http://www.agrinotizie.com>

http://www.arpa.emr.it/dettaglio_generale.asp?id=1427&idlivello=445#tabella

<http://www.capacologna.it/>

http://geo.regione.emilia-romagna.it/cartpedo/carte_tematiche.jsp

http://www.linde-mh.it/en/country_site_it/home.html

<http://www.pe-international.com/italy/index/>

<http://www.ucer.camcom.it/studi-ricerche/banche-dati/bd/meteo>

<http://www.usetox.org/model>