



Università  
degli Studi  
di Palermo



ASSOCIAZIONE  
RETE ITALIANA LCA



XVI  
CONVEGNO  
ASSOCIAZIONE  
RETE ITALIANA LCA

La sostenibilità  
nel contesto del PNRR:  
il contributo della  
Life Cycle Assessment

22-24 giugno 2022

UNIVERSITÀ DI PALERMO

ATTI DEL CONVEGNO



Università  
degli Studi  
di Palermo



ASSOCIAZIONE  
RETE ITALIANA LCA

# ATTI

XVI Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA

## La sostenibilità nel contesto del PNRR: il contributo della Life Cycle Assessment

22-24 giugno 2022

UNIVERSITÀ DI PALERMO

© 2022 Associazione Rete Italiana LCA

Publicato da: Associazione Rete Italiana LCA

Data di pubblicazione: 2022

Paese di pubblicazione: Italia

Lingua: Italiano

Formato dell'e-book: PDF

ISBN: 9791221004588

## **Comitato Scientifico del Convegno**

<b>Michela Aresta</b>	Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Reattività Chimica e la Catalisi (CIRCC)
<b>Maurizio Cellura</b>	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
<b>Maria Anna Cusenza</b>	Ricerca sul Sistema Energetico – RSE, Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche
<b>Laura Cutaia</b>	ENEA, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
<b>Francesco Guarino</b>	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
<b>Monica Lavagna</b>	Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC)
<b>Sonia Longo</b>	Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ingegneria
<b>Alessandro Manzardo</b>	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
<b>Paolo Masoni</b>	Ecoinnovazione srl
<b>Marina Mistretta</b>	Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, delle Infrastrutture e dell'Energia Sostenibile (DIIES)
<b>Bruno Notarnicola</b>	Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dipartimento Jonico in “Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture”
<b>Andrea Raggi</b>	Università degli Studi “G. d’Annunzio” di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia
<b>Lucia Rigamonti</b>	Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)
<b>Serena Righi</b>	Università di Bologna, Campus di Ravenna, Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA) e Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali (CIRSA)
<b>Roberta Salomone</b>	Università degli Studi di Messina, Dipartimento di Economia
<b>Antonio Scipioni</b>	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Centro Studi Qualità Ambiente (CESQA)
<b>Marzia Traverso</b>	RWTH Aachen University



**Università  
degli Studi  
di Palermo**



## **Comitato organizzatore**

<b>Alberto Brunetti</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Maurizio Cellura</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Maria Anna Cusenza</b>	Ricerca sul Sistema Energetico – (RSE)
<b>Francesco Guarino</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Teresa Maria Gulotta</b>	Università degli Studi di Messina
<b>Sonia Longo</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Marina Mistretta</b>	Università Mediterranea di Reggio Calabria

## **Segreteria Tecnica**

<b>Alberto Brunetti</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Teresa Maria Gulotta</b>	Università degli Studi di Messina

[convegnoretelca2022@gmail.com](mailto:convegnoretelca2022@gmail.com)

## Quantificazione delle emissioni dei metalli pesanti nei dataset agricoli di ILCIDAF attraverso il modello SALCA – heavy metals applicato al suolo italiano

Bruno Notarnicola<sup>1</sup>, Giuseppe Tassielli<sup>1</sup>, Pietro A. Renzulli<sup>1</sup>, Rosa Di Capua<sup>1</sup>, Francesco Astuto<sup>1</sup>, Giacomo Falcone<sup>4</sup>, Giovanni Mondello<sup>2</sup>, Teresa Maria Gulotta<sup>2</sup>, Nicola Casolani<sup>3</sup>, Manuela D'Eusanio<sup>3</sup>

*Abstract:* Il progetto Italian Life Cycle Inventory Database of Agrifoods (ILCIDAF), finanziato dal MUR (Progetto PRIN 2017), si occupa della realizzazione di dataset di Life Cycle Inventory (LCI) per le filiere di produzione della pasta e del pane, dell'olio d'oliva, del vino e degli agrumi. Nel contesto di questo progetto, nel presente lavoro, si descrive l'applicazione del modello SALCA al territorio italiano per la stima delle emissioni dei metalli pesanti. Obiettivo del presente lavoro è la comparazione dell'applicazione del modello SALCA a dataset esistenti e a dataset italiani di nuova costruzione relativi alla coltivazione di grano, al fine di valutare la robustezza delle emissioni stimate. Tale comparazione è fatta sottoponendo i diversi dataset a LCIA e valutando gli eco-indicatori ottenuti.

### 1. Introduzione

Diverse iniziative internazionali hanno portato alla realizzazione di banche dati nazionali relative al settore agroalimentare: Agrifootprint, Ecoinvent, Agribalyse, FoodLCA-DK e World Food LCA Database. La necessità di sviluppare una banca dati italiana è alla base del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale PRIN 2017, dal titolo “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products” (ILCIDAF), finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR). Questo progetto propone la costruzione di un database italiano regionalizzato dedicato al settore agroalimentare nazionale. Il gruppo di ricerca consta di quattro unità scientifiche: l'Università degli Studi di Bari, Messina, Reggio Calabria e Chieti-Pescara che si stanno dedicando a quattro filiere produttive rilevanti per l'economia italiana (cereali e derivati, olio d'oliva, agrumi, vino). Il database sarà costruito considerando tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto: fase agricola, fase industriale di trasformazione, fase di distribuzione, fase d'uso e fase di fine vita.

Rispetto a due precedenti lavori (Notarnicola et al., 2020 e Notarnicola et al., 2022) nei quali erano stati affrontati gli aspetti metodologici significativi (principi generali riguardanti le fonti dei dati e la loro rappresentatività, unità funzionale, confini del sistema, allocazione, qualità dei

<sup>1</sup> Dipartimento Jonico in “Sistemi Giuridici ed Economici del Mediterraneo: società, ambiente, culture”

<sup>2</sup> Università degli Studi di Messina, Dipartimento di Economia

<sup>3</sup> Università degli Studi “G. d'Annunzio” di Chieti-Pescara, Dipartimento di Economia

<sup>4</sup> Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Agraria

Email: [bruno.notarnicola@uniba.it](mailto:bruno.notarnicola@uniba.it)

dati), l'obiettivo del presente lavoro è quello di descrivere l'applicazione del metodo SALCA (Freiermuth, 2006) al progetto ILCIDAF. Inoltre, si effettua il confronto dei risultati LCIA (Life Cycle Impact Assessment) ottenuti con dati provenienti dalle banche dati esistenti con i risultati ottenuti utilizzando dati italiani di nuova costruzione relativi alla fase agricola del grano, per valutare il contributo dell'applicazione del modello SALCA. In particolare, vengono verificate le differenze in percentuale, in termini di eco-indicatori ambientali, risultanti dalla valutazione di impatto per i processi di coltivazione di grano selezionati con e senza l'implementazione del modello SALCA.

## 2. Adattamento del Modello SALCA al territorio italiano

Le operazioni agricole, oltre a comportare consumo dei materiali (carburante e olio lubrificante), influiscono significativamente su alcuni fenomeni naturali, quali erosione e lisciviazione, incrementando, di conseguenza, le emissioni di metalli pesanti in ambiente. I metalli pesanti maggiormente considerati in agricoltura sono: cromo (Cr), cadmio (Cd), piombo, (Pb), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn) e mercurio (Hg). In ambito LCA per tali emissioni viene tipicamente utilizzato il modello svizzero SALCA - heavy metals (Freiermuth, 2006). In altri database esistenti (es. Ecoinvent, WFLDB, Agri-footprint, Agribalyse), l'applicazione di questo modello a vari tipi di coltivazione, in diverse aree geografiche (nazioni), inclusa quella italiana, comporta alcuni adattamenti e approssimazioni per tener conto delle specificità dell'area geografica in questione. Tuttavia, la ricca eterogeneità del territorio italiano necessita di maggiori considerazioni su tali specificità rispetto a quanto riportato nei suddetti database. Pertanto, nei paragrafi successivi si illustrano le fonti e i metodi per implementare dati specifici, riguardanti il territorio italiano, nel modello SALCA. Tale implementazione è stata inclusa nel database ILCIDAF.

I metalli pesanti penetrano nel suolo anche attraverso la deposizione atmosferica, di conseguenza, il modello utilizza un fattore di assegnazione ( $A_i$ ) da attribuire alla sola agricoltura. Le equazioni indicate in Freiermuth, 2006 prevedono, quindi, un fattore moltiplicativo " $A_i$ " relativo alla responsabilità dell'agricoltura circa le emissioni del metallo pesante  $i$ -esimo considerato.

$$A_i = M_{Agro,i} / (M_{Agro,i} + M_{Deposition,i}) \quad (1)$$

- $A_i$  = fattore di assegnazione per il metallo pesante " $i$ ";
- $M_{Agro,i}$  = quantità totale del metallo pesante " $i$ " che entra nel suolo attraverso la coltivazione (fertilizzanti, fitofarmaci e semi) calcolato con la seguente formula:

$$M_{Agro,i} = M_{fertilizer,i} + M_{active\ ingredient,i} + M_{seed,i} \quad (2)$$

- $M_{fertilizer,i}$ ,  $M_{active\ ingredient,i}$ ,  $M_{seed,i}$  indicano la quantità di metallo pesante " $i$ " contenuta in fertilizzanti, sostanze attive e semi. Tali quantità sono determinate moltiplicando la concentrazione di metallo pesante " $i$ " contenuta in: fertilizzanti (Desaules & Studer, 1993; Manzi & Kessler, 1998), sostanze attive (Perkow & Ploss, 1994 e FAW & BLW, 2000), semi (Schultheiss et al., 2007) per la quantità di fertilizzante, sostanze attive e semi applicati al suolo.
- $M_{Deposition,i}$  = quantità di metallo pesante " $i$ " introdotto nel suolo attraverso la deposizione atmosferica. Tali informazioni sono state acquisite mediante la pubblicazione di ISPRA (2019) relativa ai dati delle emissioni, assunte come deposizioni, dei metalli pesanti per le regioni italiane.

Per una maggiore rappresentatività geografica tutte le grandezze indicate vanno caratterizzate a livello regionale, considerando le regioni rappresentative della produzione nazionale di un determinato alimento. Il fenomeno della lisciviazione determina il rilascio di metalli pesanti in acque profonde, a condizione che il terreno in questione non sia drenato. La formula è di seguito rappresentata:

$$M_{\text{Leach},i} = m_{\text{Leach},i} * A_i \quad (3)$$

- $M_{\text{Leach},i}$  = carico di metallo pesante “i” che viene rimosso dallo strato per lisciviazione e può essere attribuito alla coltivazione [mg/(ha\*anno)] (Wolfensberger & Dinkel, 1997);
- $m_{\text{Leach},i}$  = quantità di metallo pesante lisciviato in media: tabella 3, scarico di metalli pesanti lisciviati nel terreno (indicata in appendice in Freiermuth, 2006)

Il processo di erosione comporta emissioni di metalli pesanti nelle acque superficiali. A differenza dell'equazione precedente, l'equazione per tale processo presenta fattori che vanno caratterizzati per il territorio italiano e a livello regionale. La formula relativa a tale fenomeno richiede il dimensionamento della quantità di suolo eroso per la quale sono state seguite le indicazioni presenti nelle linee guida di Agribalyse e WFLDB. L'equazione è:

$$B = S_{\text{erosion}} = 1000 * R * K * LS * (c_1 * c_2) * P \quad (4)$$

- B = quantità di suolo eroso in un anno [kg/(ha\*anno)];
- R = fattore di erosività [MJ\*mm/(ha\*h\*anno)];
- K = fattore di erodibilità [t\*h/(MJ\*mm)];
- LS = fattore di pendenza [-];
- $c_1$  = fattore di lavorazione del terreno [-];
- $c_2$  = fattore di coltivazione [-];
- P = fattore pratico [-].

I fattori R,  $c_1$ ,  $c_2$  e P sono stati dimensionati a livello regionale, mentre K indica un valore medio nazionale e sono stati acquisiti dalla banca dati dell'European Data Centre (ESDAC, 2015).

Il fattore R è un valore puntuale determinato in diverse stazioni distribuite su tutto il territorio nazionale. Considerato che le coltivazioni oggetto di studio in genere sono dislocate a basse quote, è stato imposto un valore di cut-off pari a 600m, perché è più difficile che vi sia una coltivazione rilevante a quote superiori. È stata fatta la media dei valori di R misurati ad altimetrie inferiori a quella indicata, per ciascuna regione, ottenendo un valore di R regionalizzato.

Il fattore K, su indicazione della banca dati ESDAC, è indicato in Panagos et al. 2014. Tale fattore può anche essere considerato per uno strato di suolo superficiale caratterizzato da una maggiore “pietrosità”, ove in media il fattore  $K_{\text{stoniness}}$  (usato nel modello) è minore del 15% rispetto al fattore K.

Il fattore LS, invece, necessita di ulteriori considerazioni. Dalla banca dati dell'ESDAC è possibile acquisire il valore LS per le regioni italiane, tuttavia, bisogna considerare che l'agricoltura non è praticata su tutto il territorio nazionale. Infatti, altimetrie elevate e pendenze pronunciate rendono difficoltosa la coltivazione e la movimentazione dei mezzi agricoli. La definizione del fattore LS, avviene, quindi, mediante l'applicazione del metodo RUSLE (metodo indicato anche nelle linee guida di Agribalyse), ove è richiesto in ingresso il valore della lunghezza del pendio (in piedi) e la pendenza (in percentuale). Sono state assunte due condizioni: una relativa alla pianura, per la quale sono state scelte una lunghezza del pendio di 300 piedi e una pendenza dell'1%. Il fattore  $LS_{\text{pianura}}$  risultante è pari a 0,17. Per la collina, invece, è stata assunta

una lunghezza del pendio di 100 piedi e una pendenza del 5%. Il valore  $LS_{collina}$  risultante è pari a 0,65. I due valori sono stati poi ponderati per la percentuale di superficie pianeggiante ( $S_{pianura}$ ) e collinare ( $S_{collina}$ ) di ciascuna regione italiana (indicate nella banca dati ISTAT) individuando così il valore LS risultante.

$$LS = LS_{pianura} * S_{pianura} (\%) + LS_{collina} * S_{collina} (\%) \quad (5)$$

La Tabella 1 indica i valori medi dei fattori per la stima del suolo eroso in Italia.

Tabella 1: fattori italiani per la stima della quantità di suolo eroso (B)

Area	R	$K_{stonines}$	LS	$c_1$	$c_2$	P	B
	[MJ*mm/ (ha*h*anno)]	[t*h/ (MJ*mm)]	adim.	adim.	adim.	adim.	[kg/ (ha*anno)]
ITALIA	1792,862	0,0276	0,478	0,237	0,249	0,956375	1339,083

Definita la grandezza B è possibile proseguire il calcolo relativo alle emissioni di metalli pesanti attraverso il processo di erosione tramite l'equazione:

$$M_{Erosion,i} = C_{TOT,i} * B * a * f_{Erosion} * A_i \quad (6)$$

- $M_{Erosion,i}$  = quantità di metalli pesanti rimossi dal suolo per erosione che può essere attribuita alla coltivazione [kg/(ha\*anno)];
- $C_{TOT,i}$  = concentrazione totale di metallo pesante i nel suolo [kg/kg];
- B = quantità di suolo eroso in un anno [kg/(ha\*anno)];
- a = fattore che descrive l'arricchimento dei metalli pesanti sui complessi argilla-umus più facilmente erodibili. Poiché questo fattore non è stato ancora determinato per i metalli pesanti, il valore di arricchimento per il fosforo è 1,86 (come indicato in Freiermuth, 2006);
- $f_{Erosion,i}$  = fattore di erosione che dipende dalla distanza dell'applicazione dal corso d'acqua e descrive quale proporzione del materiale eroso raggiunge il corso d'acqua. Il valore medio è assunto pari a  $f=0,2$ .

Il fattore  $C_{TOT,i}$  è stato quantificato attraverso la banca dati dell'ESDAC e caratterizzato per quattro macroaree italiane (nord, centro, sud e isole).

### 2.1. Applicazione del Modello SALCA

Come già accennato, il modello SALCA per la stima delle emissioni dei metalli pesanti in agricoltura è implementato in diversi database. Tipicamente l'inclusione delle emissioni di metalli pesanti, nella LCIA della fase agricola, modifica i risultati della valutazione ambientale incrementando il valore dell'eco-indicatore finale. Le categorie di impatto interessate dal rilascio in ambiente di metalli pesanti sono: tossicità umana non cancerogena; tossicità umana cancerogena ed ecotossicità in acqua dolce.

Di seguito si paragonano i valori degli eco-indicatori, riferiti alla coltivazione del grano, ottenuti con dati presi dai database commerciali (Ecoinvent, Agri-footprint, WFLDB), includendo ed escludendo la modellazione SALCA, con i valori degli eco-indicatori ottenuti con i dati il ILCIDAF seguendo lo stesso procedimento.

### 2.1.1. Applicazione del Modello SALCA con dati di DB esistenti

Questa analisi è il risultato del confronto di alcuni processi presenti in database esistenti dedicati alla coltivazione di grano in diversi paesi. In particolare, sono stati confrontati i dataset per diversi Stati con e senza le emissioni dei metalli pesanti da diversi database. I processi selezionati per l'analisi sono di seguito elencati: 8 dataset Ecoinvent (v. 3.8); 14 processi WFLDB (v. 3.5) di cui 4 relativi al grano duro e 9 al grano non irrigato e 12 processi di Agri-footprint (v. 5.0).

Tabella 2: elenco dei processi presenti in database esistenti considerati nell'analisi

Ecoinvent (v. 3.8)	Wheat grain {AU}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {Canada without Quebec}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {DE}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {FR}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {ES}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {IN}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {US}  wheat production   Cut-off, U Wheat grain {ZA}  wheat production   Cut-off, U	
WFLDB (v. 3.5)	Durum wheat grain, at farm (WFLDB)/ AU U Durum wheat grain, at farm (WFLDB)/CA U Durum wheat grain, at farm (WFLDB)/ES U Durum wheat grain, at farm (WFLDB)/IT U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/AR U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/AU U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/CA U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/DE U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/FR U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/HU U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/PL U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/RU U Wheat grain, non-irrigated, at farm (WFLDB)/US U	
Agri-footprint (v.5.0)	Wheat grain, at farm/AR Mass Wheat grain, at farm/CA Mass Wheat grain, at farm/ES Mass Wheat grain, at farm/HU Mass Wheat grain, at farm/IT Mass Wheat grain, et farm/RU Mass	Wheat grain, at farm/AU Mass Wheat grain, at farm/DE Mass Wheat grain, at farm/FR Mass Wheat grain, at farm/IN Mass Wheat grain, at farm/PL Mass Wheat grain, at farm/US Mass

Ciascun dataset è stato sottoposto alla valutazione di impatto, ottenendo l'eco-indicatore finale. Si è proceduto poi alla eliminazione delle emissioni derivanti dall'applicazione del SALCA e alla valutazione dell'impatto delle stesse per verificare l'incremento percentuale dell'eco-indicatore. In Tabella 3 è riportato il valore della differenza percentuale (indicata con il simbolo  $\Delta\%$ ) degli eco-indicatori valutati con e senza l'applicazione del modello SALCA nei processi indicati.

Il contributo apportato dall'implementazione del modello SALCA – heavy metals ha valore massimo per il grano duro coltivato in Spagna (WFLDB) con una  $\Delta\%$  pari a 5,44 e valore minimo in Sud Africa (Ecoinvent) e Russia (WFLDB) con un  $\Delta\%$  pari a 0,1.

Tabella 3: Differenza percentuale tra i valori di eco-indicatori da processi Ecoinvent, WFLDB, Agri-footprint di coltivazione del grano con e senza l'applicazione del modello SALCA - SM

	AR	AU	CA	DE	ES	FR	HU	IN	IT	PL	RU	US	ZA
Ecoinvent		2,41	3,96	3,48	1,73	3,09		0,31				1,8	0,1
WFLDB <sup>1</sup>		2,02	2,29		5,44				3,09				
WFLDB <sup>2</sup>	0,54	3,62	0,68	1,17		0,73	0,25			1,4	0,1	1,2	
Agrifootprint	1,83	1,08	2,52	3,95	4,02	3,18	3,15	0,94	3,64	4,51	2,51	2,09	

Note: <sup>1</sup> processi di WFLDB relativi al grano duro; <sup>2</sup> processi di WFLDB di grano non irrigato.

### 2.1.2. Applicazione del Modello SALCA con i dataset di ILCIDAF

Applicando lo stesso approccio, descritto nei paragrafi precedenti, con i dati ILCIDAF sito specifici, è stato possibile confrontare i valori dell'eco-indicatore per il grano italiano (tenero e duro) con e senza l'implementazione del modello SALCA. La differenza percentuale media in Italia è di 0,71%. Tale valore è il risultato della media delle  $\Delta\%$  ottenute dalla coltivazione di grano tenero medio italiano (0,34%) e dalla coltivazione di grano duro medio italiano (1,07%), come riportato in Tabella 4.

Tabella 4: Differenza percentuale tra i valori di eco-indicatore derivanti da processi ILCIDAF di coltivazione del grano italiano (duro e tenero) con e senza l'applicazione del modello SALCA

	Grano medio Italia	Grano tenero medio Italia	Grano duro medio Italia
$\Delta\%$	0,71	0,34	1,07

## 3. Discussione

Analizzando i dati indicati in Tabella 3 si evince che c'è molta variabilità fra i diversi processi, nonostante paesi uguali siano implementati in diversi database. I documenti metodologici dei tre database esistenti analizzati quantificano le emissioni dei metalli pesanti dovute ai fenomeni di lisciviazione ed erosione, ma le fonti di riferimento dei dati sono differenti e spesso relative al paese di origine del database stesso. Pertanto, si presume che le differenze del  $\Delta\%$  siano dipendenti dalla scelta delle fonti dei dati indicate nei riferimenti bibliografici di ciascun documento. In generale, a parità di paese, Agri-footprint presenta valori maggiori del  $\Delta\%$ , ad eccezione dell'Australia e del Canada. Tuttavia, per il Canada i processi Ecoinvent escludono la regione del Quebec. Inoltre, WFLDB permette di sviluppare un ulteriore confronto: i processi indicati sono relativi sia alla coltivazione di grano duro che alla coltivazione di grano generico non irrigato. Il

$\Delta\%$  è minore nel caso di coltivazione non irrigata, esclusa l'Australia in cui si osserva un valore più alto per il grano non irrigato.

Valutando i dati risultanti nel database ILCIDAF, il  $\Delta\%$  relativo al grano duro è superiore al  $\Delta\%$  nel caso di grano tenero. Il  $\Delta\%$  medio italiano (0,71) (Tabella 4) rientra nel range percentuale derivante dalla valutazione dei dataset esistenti (Tabella 3). Infatti, il valore medio è dello stesso ordine di grandezza. Tuttavia,  $\Delta\%$  italiano del progetto ILCIDAF è minore rispetto ai  $\Delta\%$  degli altri dataset esistenti, inclusi quelli italiani (3,09 per WFLDB e 3,64 per Agri-footprint). La differenza percentuale valutata con e senza l'applicazione del modello SALCA implementato con i dati ILCIDAF è pari a 1/4 (0,23%) rispetto al valore relativo al processo di coltivazione di grano duro italiano sviluppato da WFLDB (v. 3.5) e 1/5 (0,20%) del processo di coltivazione di grano sviluppato da Agri-footprint (v. 5.0). Tale differenza è imputabile proprio alla scelta dei dati utilizzati per l'applicazione del SALCA. Il progetto ILCIDAF, infatti, ha regionalizzato quanto più i diversi fattori richiesti per le equazioni (vedi paragrafo 2.0). In particolare, i fattori relativi alla stima della quantità di suolo eroso sono geograficamente rappresentativi del territorio analizzato. Anche i dati relativi alla deposizione dei metalli pesanti fanno riferimento a dati regionalizzati pubblicati dall'ISPRA.

#### 4. Conclusione

In conclusione, l'adattamento del modello SALCA al territorio italiano applicato per la costruzione del database ILCIDAF consente la stima delle emissioni dei metalli pesanti. Tali emissioni sono incrementate a causa del contributo delle operazioni agricole sui processi di lisciviazione ed erosione al suolo.

Il confronto degli eco-indicatori basati su dataset esistenti di Ecoinvent, WFLDB e Agri-footprint per la coltivazione di grano in diversi paesi, con e senza la stima delle emissioni dei metalli pesanti, consente di stimare l'aumento percentuale, in termini di eco-indicatore ambientale, dovuta all'implementazione del modello SALCA. I valori risultanti definiscono come l'influenza delle emissioni dei metalli pesanti sia inferiore al 5,5% e superiore allo 0,1%.

Il calcolo dell'aumento percentuale dell'eco-indicatore riferito alla coltivazione di grano, con dati ILCIDAF, con e senza la stima delle emissioni dei metalli pesanti è in linea con quanto indicato dai database commerciali esistenti. L'alta variabilità della  $\Delta\%$  è dovuta all'applicazione regionalizzata del modello. Infatti, i dati utilizzati nei dataset ILCIDAF sono diversi da quelli indicati nei documenti degli altri database analizzati perché i fattori utilizzati per la stima dell'erosione e la deposizione dei metalli pesanti sono esclusivamente riferiti al territorio italiano. Invece, per la stima della lisciviazione, data l'assenza di dati regionalizzati italiani, sono stati utilizzate le stesse fonti indicate anche per gli altri database.

La scelta dei dati utilizzati per l'applicazione del modello è fondamentale per quanto riguarda la rappresentatività geografica del processo indicato. Questo consente di affermare che è necessaria una regionalizzazione del modello SALCA al territorio italiano in modo tale da ottenere una maggior rappresentatività dei dati utili per lo sviluppo della metodologia LCA al settore agroalimentare italiano e in particolare nella fase agricola.

Acknowledgement: Questo articolo fa parte dei risultati del progetto di ricerca "Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)" (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C- finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR).

## 5. Bibliografia

- Desaules, A, & Studer, K, 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz Messresultate 1985–1991. Schriftenreihe Umwelt, 200, 1-75;
- ESDAC, 2015. European Soil Data Centre, Disponibile su: <<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/soil-threats-data>>;
- FAW und BLW (Hrsg.) 2000. Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis 2000. Bern: EDMZ;
- Freiermuth, R, 2006. Modell zur Berechnung der Schwermetallflüsse in der landwirtschaftlichen Ökobilanz. Report Agroscope FAL Reckenholz, 42;
- ISPRA, 2019. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Disponibile su: <[https://annuario.isprambiente.it/sys\\_ind/667](https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/667)>;
- Menzi, H, & Kessler, J, 1998. Heavy metal content of manures in Switzerland. In Proc. 8th Int. Conf. FAO ESCORENA Network on Recycling of agricultural, municipal and industrial residues in agriculture RAMIRAN (pp. 495-506);
- Notarnicola, B, Falcone, G, Gulisano, G, Liberatore, L, Masini, S, Mistretta, M, Petti, L, Primerano, P, Raggi, A, Renzulli, P.A, Saija, G, Salomone, R, Strano, A, Tassielli, G, 2020. IX Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA: La sostenibilità della LCA tra sfide globali e competitività delle organizzazioni, Cortina d'Ampezzo 9-11 Dic 2020;
- Notarnicola, B, Tassielli, G, Renzulli, P. A, Di Capua, R, Saija, G, Salomone, R, Primerano, P, Petti, L, Raggi, A, Casolani, N, Strano, A, Mistretta, M, 2022. Life cycle inventory data for the italian agri-food sector: background, sources and methodological aspects. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1-16, viewed Feb 2022: <<https://doi.org/10.1007/s11367-021-02020-x>>;
- Panagos, P, Meusburger, K, Ballabio, C, Borrelli, P, & Alewell, C, 2014. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. Science of the total Environment, Volumes 479–480;
- Perkow, W, & Ploss, H, 1994. Wirksubstanzen der Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfungsmittel. Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag;
- RUSLE, 1997. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), viewed Gen 2022: <<http://www.iwr.msu.edu/rusle/lstable.htm>>;
- Schultheiss, U, Roth, U, Döhler, H, Eckel, H, 2004. Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosysteme, 2004. Umweltbundesamt: Berlin. p130;
- Wolfensberger, U, & Dinkel, F, 1997. Beurteilung Nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993 – 1996: Vergleichende Betrachtung von Produkten aus ausgewählten NWR und entsprechenden konventionellen Produktion bezüglich Umweltwirkungen und Wirtschaftlichkeit. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft BLW.