

**Comune di Cavaglià, località Gerbido (BI)
Impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante
combustione di rifiuti speciali non pericolosi
PAUR ai sensi dell'art. 27-bis D.Lgs. 152/06 e s.m.i.**

All. H - Studio accumulo inquinanti coltivazioni

Marzo 2024

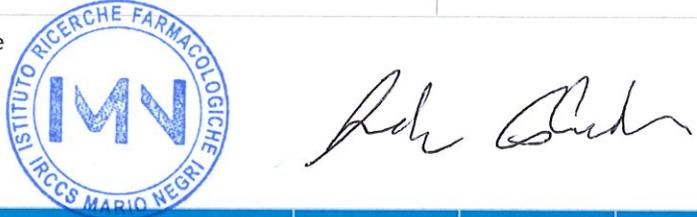
1983



Company of England, London, 1600
The first of the great trading companies
was established in 1600, and the
first of the great trading companies

Company of England, London, 1600

Titolo progetto <i>Project title</i>	Comune di Cavaglià, località Gerbido (BI) Impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi PAUR ai sensi dell'art. 27-bis D.Lgs. 152/06 e s.m.i.
Titolo documento <i>Document title</i>	All. H - Studio accumulo inquinanti coltivazioni
Livello del documento <i>Document Level of Detail</i>	Autorizzazione
Codice documento A2A <i>A2A Document code</i>	CAVA06-V02-F04-GN-10-000-P-E-001-R00
Derivato da <i>Drawn by</i>	

Estensore	Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri - IRCCS		Codice documento progettista <i>Designer Document code</i>				
	Estensore		-				
							
Rev	Liv	Scopo <i>Scope</i>	Data <i>Date</i>	Descrizione <i>Description</i>	Redatto <i>Edited</i>	Verificato <i>Revised</i>	Approvato <i>Approved</i>
00	AU	-	Marzo 2024	Revisione per richiesta chiarimenti/integrazioni, ai sensi D. Lgs. 152/06 ss.mm.ii. Art. 27 bis comma 5	G. Selvestrel A. Colombo	A. Colombo	A. Colombo

A2A Ambiente	A2A Ambiente S.p.A.	
Data <i>Date</i>	Verificato <i>Revisited</i>	Approvato <i>Approved</i>
Marzo 2024	L. Gamba	M. Paravidino

Cliente/Committente	A2A Ambiente S.p.A.	
Data <i>Date</i>	Validato <i>Validated</i>	
Marzo 2024	F. Roncari	

INDICE

PREMESSA	6
1 APPROCCIO IN SILICO-COMPUTAZIONALE	7
1.1 STIMA DELL'IMPATTO MEDIANTE CATENA MODELLISTICA AD ALTA COMPLESSITÀ	11
1.1.1 LA STRUTTURA DELLA CATENA MODELLISTICA	11
1.1.2 PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO	13
1.1.3 IL MODELLO 'MAMMALS'	14
1.1.4 IL NUOVO MODELLO PER I METALLI	14
1.1.5 INTEGRA.....	14
2 RISULTATI	15
3 CONCLUSIONI.....	21

PREMESSA

Il presente documento costituisce analisi di approfondimento dell'impatto indiretto sulla salute legato alle emissioni dell'impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi nel Comune di Cavaglià (BI), proposto dalla società A2A Ambiente S.p.A.. Il documento è stato redatto con la finalità di rispondere alle specifiche richieste di approfondimento emesse dalla Provincia di Biella - Area "Tutela e valorizzazione ambientale" - Servizio "Rifiuti, V.I.A., energia qualità dell'aria, acque reflue e risorse idriche" (Reg. Ufficiale 0002243 del 04/02/2022), rispetto ai contenuti dello Studio di Impatto Ambientale (S.I.A.) precedentemente presentato per il progetto in oggetto. In particolare, l'obiettivo è rispondere alle richieste espresse dalla Provincia di Biella con la questione n. 53:

- rivedere lo studio dell'accumulo inquinanti, alla luce della rivisitazione dello studio modellistico, tenendo conto anche della componente viticola e di quella dei prati permanenti;
- identificare le aree DOC e DOP con produzione risicola e altra tipologia e valutare gli impatti dell'opera con attenzione particolare alla presenza degli inquinanti nella cariossida del riso di baraggia.

Più precisamente in questa relazione si fa riferimento ai limiti proposti dai regolamenti europei CE 915/2023 (per coltivazione ad uso alimentare umano) e DE 2002/32/CE (per coltivazioni ad uso foraggero). Il rispetto dei valori limite proposti dalla vigente normativa è un primo, importante e necessario elemento di valutazione. È bene però sottolineare che un processo complessivo di valutazione (ex-ante e/o ex-post) di una possibile contaminazione di un target ambientale (come, ad esempio, suolo e colture agricole), si riferisce all'impatto dell'insieme di tutte le sorgenti inquinanti che insistono sull'area oggetto di valutazione. Questo da un lato consente di dimensionare in modo appropriato il problema, dall'altro di ipotizzare o realizzare possibili interventi di mitigazione della contaminazione.

Considerate queste premesse e l'esigenza di rispondere ai quesiti specifici riguardanti l'impatto che un impianto per la produzione di energia elettrica e termica mediante combustione di rifiuti speciali non pericolosi (di seguito: Impianto) potrebbe avere sulla circostante area agricola, è stato realizzato uno studio integrato che possa identificare i rischi potenziali che la realizzazione dell'opera può indurre sul territorio attraverso un approccio in silico-computazionale che prevede l'implementazione di più catene modellistiche. Partendo dai dati delle ricadute degli inquinanti emessi dall'opera in oggetto, viene valutato il destino ambientale delle sostanze chimiche simulando i processi di trasferimento dagli inquinanti aerodispersi, dalle deposizioni atmosferiche e dal suolo fino alle colture considerate.

1 APPROCCIO IN SILICO-COMPUTAZIONALE

Questo approccio rappresenta una parte del processo di Risk Assessment (RA) effettuato con approccio tossicologico e che ha come obiettivo la definizione e la quantificazione del rischio per la salute umana associato alla presenza di una sorgente di inquinamento.

L'Environmental Fate (o "destino ambientale") delle sostanze, rappresenta uno degli aspetti centrali nella procedura di RA e viene simulato mediante modelli più o meno complessi che, qualora abbiano a disposizione informazioni relative a parametri meteorologici, ambientali, pedologici, colturali, idraulici (descrittori delle matrici ambientali) e alle proprietà chimico-fisiche delle sostanze in oggetto, sono in grado di fornire la concentrazione nelle matrici ambientali di interesse che possono potenzialmente entrare in contatto con la popolazione determinando quindi un potenziale rischio per la salute.

Nel presente studio sono stati valutati, in via conservativa, gli effetti delle concentrazioni degli inquinanti aerodispersi, presenti nelle deposizioni atmosferiche e nel suolo nella zona di sviluppo delle radici (root zone) su aree individuate e classificate come "Prati Stabili", aree coltivate a Riso (*Oryza Sativa*) aree destinate a colture intensive tra cui il Mais (*Zea Mays L.*) e sulle aree adibite a Vigneti.

Tali valutazioni sono state effettuate attraverso la stima dell'impatto mediante una catena modellistica evoluta (MERLIN-Expo e/o INTEGRA) in cui l'Environmental Fate delle singole sostanze viene calcolato mediante *tools* (i.e. insieme di modelli concatenati che producono uno o più risultati di output) complessi, con un maggior grado di approfondimento. A valle del processo di Environmental fate verrà effettuato il RA per la salute con le modalità già descritte nell'approccio precedente. Però, in aggiunta, questo approccio dà la possibilità di quantificare le dosi interne (i.e. la quantità di inquinante che raggiunge un determinato organo bersaglio) per alcune sostanze e per alcuni endpoint. In particolare, il modello "Soil", concatenato ai modelli "Leaf" (per i prati stabili), "Grain" (per il riso e il mais) e "Fruit" (per l'uva), simula il trasferimento degli inquinanti dai suoli (destinati a pascolo) alle colture specifiche coltivate sul suolo stesso.

Sono state quindi individuate le aree interessate dalle diverse colture di interesse (Figura 1) e sono state utilizzate le concentrazioni degli inquinanti, come risultato dei modelli di dispersione e di deposizione atmosferica (Tabella 1 e Tabella 2).

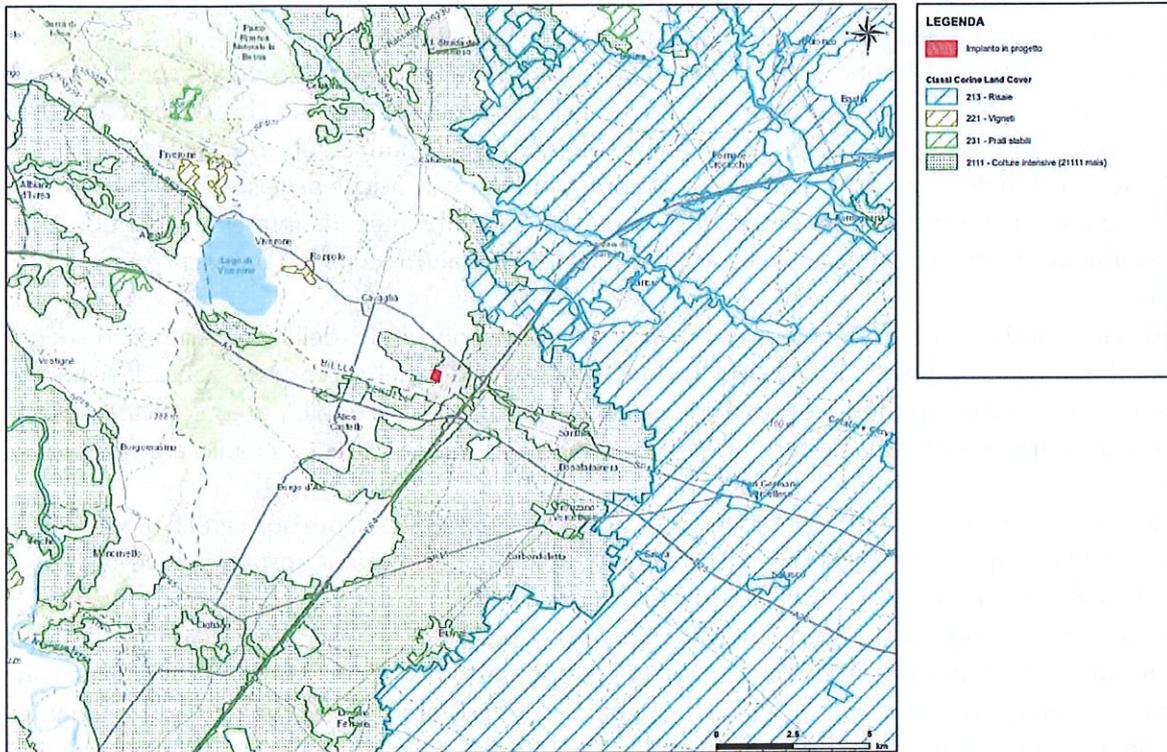


Figura 1 - Localizzazione delle aree censite come risaie, vigneti, prati stabili e colture intensive (comprensivo del mais) secondo il progetto Corine Land Cover 2018.

Sostanze	udm	Riso	Vigneti	Prati Stabili	Mais
Sb	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
As	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Pb	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Cr	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Co	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Cu	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Mn	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Ni	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
V	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.18E-05	2.02E-05	8.50E-06	7.52E-04
Hg	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	2.43E-05	1.41E-05	6.45E-06	2.65E-04
Cd	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	9.53E-06	6.05E-06	2.54E-06	2.25E-04
Tl	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	9.53E-06	6.05E-06	2.54E-06	2.25E-04
PCB-DL	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	3.02E-11	2.17E-11	1.31E-11	7.62E-10
IPA	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	7.25E-06	4.75E-06	2.20E-06	1.78E-04
PCDD	$\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$	2.36E-11	1.67E-11	9.20E-12	6.74E-10

Tabella 1 - Valori di Deposizioni Atmosferiche Totali massime prodotte dall'Impianto sui recettori considerati.

Sostanze	udm	Riso	Vigneti	Prati Stabili	Mais
Sb	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
As	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Pb	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Cr	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Co	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Cu	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Mn	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Ni	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
V	$\mu\text{g m}^{-3}$	7.31E-05	4.18E-05	1.91E-05	1.42E-04
Hg	$\mu\text{g m}^{-3}$	4.39E-05	2.51E-05	1.15E-05	8.55E-05
Cd	ng m^{-3}	2.19E-02	1.25E-02	5.73E-03	4.27E-02
Tl	ng m^{-3}	2.19E-02	1.25E-02	5.73E-03	4.27E-02
PCB-DL	fg(WHO) m^{-3}	1.32E-01	7.52E-02	3.44E-02	2.56E-01
IPA	ng m^{-3}	2.19E-02	1.25E-02	5.73E-03	4.27E-02
PCDD	fg(WHO) m^{-3}	1.32E-01	7.52E-02	3.44E-02	2.56E-01

Tabella 2 - Valori di Concentrazioni Atmosferiche massime prodotte dall'Impianto sui recettori considerati

1.1 STIMA DELL'IMPATTO MEDIANTE CATENA MODELLISTICA AD ALTA COMPLESSITÀ

1.1.1 LA STRUTTURA DELLA CATENA MODELLISTICA

La simulazione del destino ambientale degli inquinanti oggetto di valutazione è stata effettuata utilizzando il software MERLIN-Expo (<https://merlin-expo.eu/>). Questo tool contiene una serie di modelli matematici utili a simulare il destino delle sostanze chimiche nei principali compartimenti ambientali e nel corpo umano. In particolare, per questa valutazione è stata realizzata una catena modellistica complessa (Figura 2), la quale va a concatenare una serie di modelli utili a definire gli scenari di interesse di questo studio, ossia le coltivazioni di riso (*Oryza Sativa* L.), mais (*Zea Mays* L.), uva ed erba medica (*Medicago Sativa*).

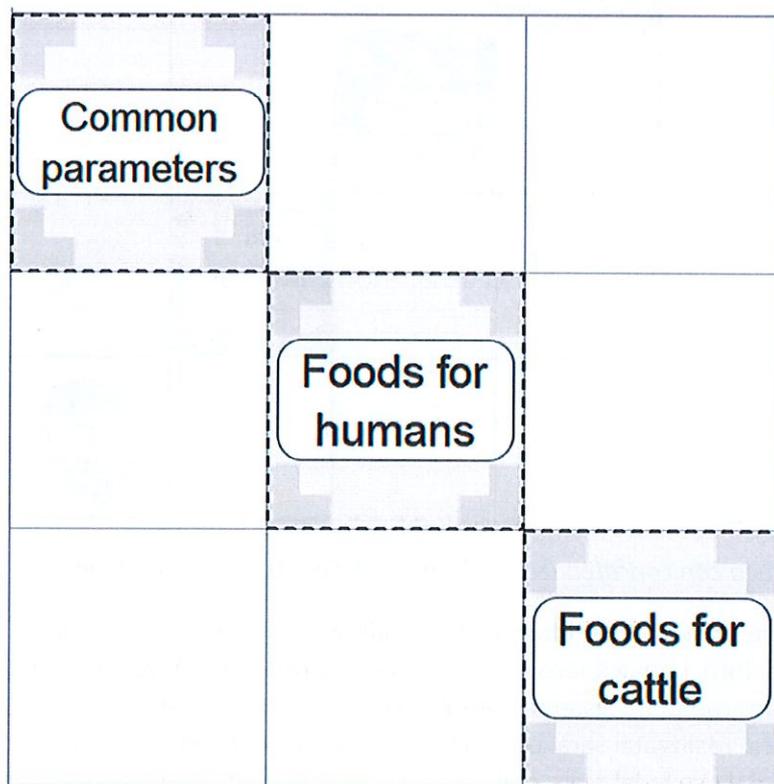


Figura 2 - struttura della catena modellistica realizzata con MERLIN-Expo.

Entrando nel dettaglio della catena, in Figura 3 è riportata la struttura interna ai lego (così chiamati in quanto generati dal software ECOLEGO), in cui è possibile vedere la concatenazione degli scenari di interesse, ossia prati, cereali (riso/mais) e vigneti (uva).

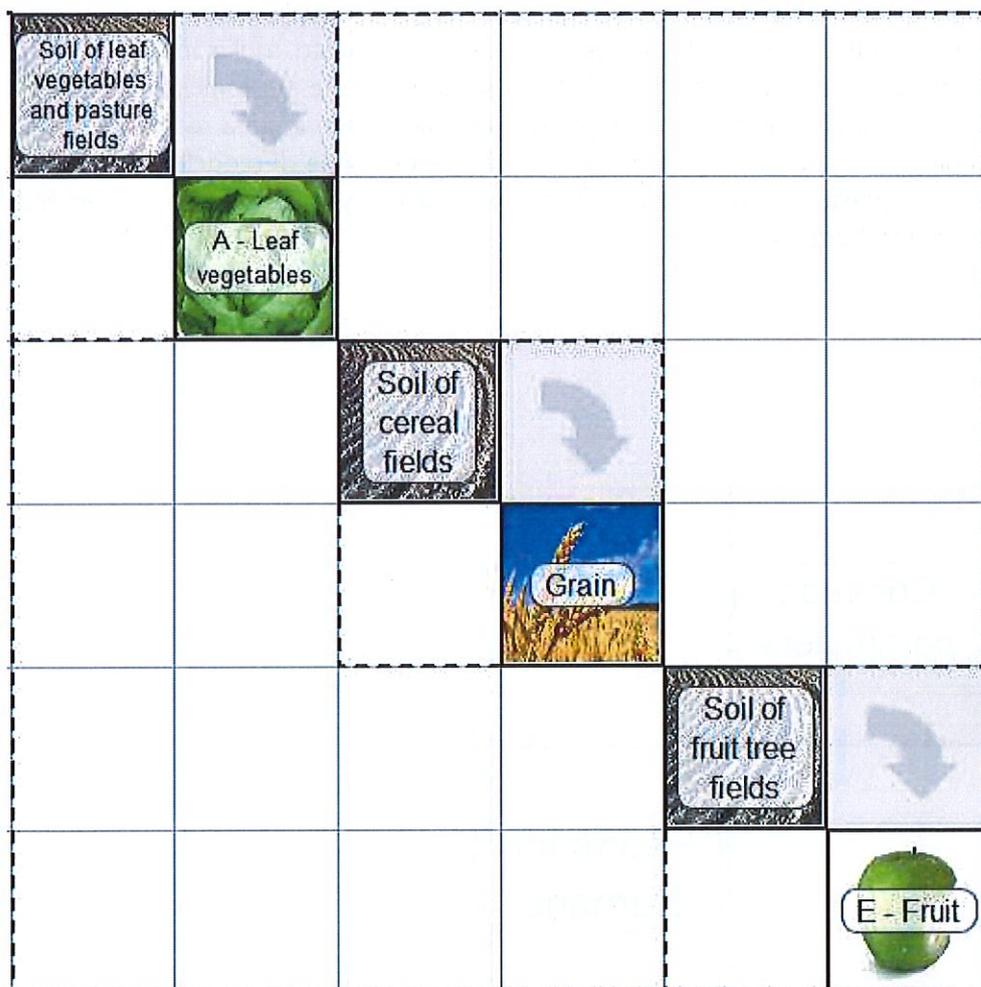


Figura 3 - catena modellistica con concatenazione dei modelli Soil, Leaf, Grain e Fruit.

Dobbiamo immaginare che ciascuno dei blocchi che costituisce la catena, contenga al suo interno altri blocchi connessi tra di loro, i quali a loro volta contengono una serie di variabili, le quali devono essere parametrizzate all'interno di un sistema complesso di equazioni differenziali.

Con la catena modellistica realizzata sarà possibile calcolare le concentrazioni dei contaminanti all'interno della cariosside del riso e del mais, dell'acino d'uva e nei prati perenni, oggetto dello studio.

1.1.2 PARAMETRIZZAZIONE DEL MODELLO

Per definire correttamente lo scenario espositivo è necessario parametrizzare un sistema di variabili meteorologiche (precipitazioni, temperatura dell'aria e del suolo, radiazione globale, durata giornaliera di soleggiamento e umidità relativa), atmosferiche (concentrazioni atmosferiche e deposizioni secche/umide), pedologiche (proprietà tessiturali e idrauliche del suolo), agronomiche (coefficiente colturale ed irrigazioni), ampelografiche dei vigneti (germogliamento, caratteristiche dei viticci, delle foglie, dei fiori) e chimico-fisiche (coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua, coefficiente di partizione acqua-carbonio organico, costante di Henry, massa molare, etc.).

I valori delle variabili meteorologiche, pedologiche e colturali sono stati forniti dalla stazione meteorologica A2A Ambiente di Cavaglià, acquisiti dalla letteratura scientifica o da database liberamente consultabili in rete oppure calcolati tramite software (i.e. CropWat 8.0).

Tra i parametri presenti nella sezione '*Parameters tab*' di MERLIN-Expo (che si avvicinano alle 200 unità), possiamo annoverare parametri legati alle caratteristiche del suolo (bioturbation diffusion coefficient, densità del suolo, frazione di materia organica nel suolo, massimo e minimo contenuto di acqua nel suolo), parametri legati alle caratteristiche delle piante (volume d'aria contenuto nella foglia/frutto/radice, volume d'acqua contenuto nella foglia/frutto/radice, contenuto lipidico, degradation rate, fattore di intercettazione), e parametri sito-specifici del terreno come la profondità o la superficie.

Tutte queste variabili sono state parametrizzate grazie a dati estrapolati dalla letteratura scientifica o da database pubblicamente fruibili. In molti casi sono stati utilizzati i valori di default proposti dal tool MERLIN-Expo, i quali sono stati anch'essi implementati dopo un'attenta revisione bibliografica e per i quali è stato poi proposto un cosiddetto '*best estimate*' derivante da un'analisi statistica grazie alla quale è stato impostato un PDF (Probability Density Function), ossia una funzione statistica che descrive la densità di probabilità in ogni punto dello spazio campionario.

I parametri chimico-fisici invece, quali il coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua, la costante di Henry e il coefficiente di ripartizione acqua-carbonio organico, sono stati calcolati utilizzando dei modelli QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship), i quali, tramite un algoritmo che mette in relazione la struttura del composto e la sua attività, sono in grado di fornire dei valori predetti per una determinata proprietà. I modelli QSAR utilizzati sono quelli implementati nel software VEGA (www.vegahub.eu)

1.1.3 IL MODELLO 'MAMMALS'

Gli output forniti dai modelli fin qui descritti sono stati utilizzati per generare gli input del modello 'Mammals', un altro modello di MERLIN-Expo che consente di calcolare la concentrazione di un contaminante negli organi, nella carne e nel latte di un animale. Il modello è stato parametrizzato ad hoc per la vacca da latte. Si tratta di un modello PBPK (Physiologically-Based Pharmacokinetic), ossia un modello matematico che utilizza parametri biochimici e fisiologici per predire i processi di ADME (Assorbimento, Distribuzione, Metabolismo ed Eliminazione) di una sostanza chimica.

1.1.4 IL NUOVO MODELLO PER I METALLI

Per rifinire la modellazione relativa al comportamento dei contaminanti nell'animale, dato che il modello 'Mammals' di MERLIN-Expo genera dei bugs per le sostanze inorganiche (metalli), è stato messo a punto un nuovo modello PBPK per i mammiferi (con parametrizzazione ad hoc per la vacca da latte) utilizzando il software statistico R. Il modello si basa su uno script che definisce un sistema di equazioni differenziali che consentono di simulare il comportamento della sostanza chimica da quando viene ingerita dall'animale fino alla sua distribuzione, e conseguente accumulo, negli organi e nei prodotti (es. latte), che saranno poi destinati ad uso umano.

1.1.5 INTEGRA

Per rifinire ulteriormente la valutazione è in atto l'applicazione del software INTEGRA, il quale applicando un approccio 'fugacity-based', ossia considerando il trasporto della sostanza attraverso vari media, va a calcolare la concentrazione del contaminante in ciascuno di questi compartimenti biotici e abiotici. Il software offre una serie di modelli multimediali che simulano e descrivono l'interazione e il trasporto di una sostanza nelle diverse fasi (media) ambientali. Inoltre contiene un modello PBPK per valutare le dosi interne negli organi e tessuti bersaglio.

INTEGRA applica un tiered approach, quindi è strutturato in diverse sezioni consequenziali all'interno delle quali complessi sistemi di equazioni differenziali vanno a simulare il destino ambientale della sostanza di interesse. INTEGRA ha lo svantaggio di non lavorare in batch; dunque le sostanze devono essere valutate singolarmente e le simulazioni necessitano di tempistiche prolungate per giungere al risultato finale.

2 RISULTATI

I risultati della stima di contaminazione delle differenti tipologie di colture per il consumo umano (riso, mais e uva) ed i tenori massimi di contaminanti consentiti negli alimenti dal **Regolamento Europeo CE 915/2023** sono riportati in **Tabella 3**, mentre in **Tabella 4** vengono riportate le stime di concentrazione dei contaminanti nell'erba medica ed i contenuti massimi consentiti di contaminanti previsti dal Regolamento Europeo CE 2002/32/CE nell'alimentazione degli animali.

In generale, i risultati evidenziano un maggiore accumulo di metalli nell'uva rispetto all'erba medica, al mais e al riso ad eccezione del Cadmio, riscontrato con valori maggiori nel mais ($5.55E-05 \text{ mg kg}^{-1}$). Per quanto riguarda i microinquinanti organici si osservano dei valori maggiori di accumulo di benzo[a]pirene nel mais ($7.66E-04 \text{ mg kg}^{-1}$) rispetto al riso ($3.93E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), all'erba medica ($3.22E-04 \text{ mg kg}^{-1}$) e all'uva ($9.72E-05 \text{ mg kg}^{-1}$). Anche per diossine, furani e PCB è stato riscontrato un maggiore accumulo nel mais ($1.24E-09 \text{ mg kg}^{-1}$), superiore a quanto riscontrato nell'erba medica ($8.90E-10 \text{ mg kg}^{-1}$), nel riso ($6.41E-10 \text{ mg kg}^{-1}$) e nell'uva ($4.44E-10 \text{ mg kg}^{-1}$).

Più nel dettaglio per quanto attiene il **riso**, il benzo[a]pirene è l'inquinante per il quale è stato riscontrato il maggiore accumulo ($3.93E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), con concentrazioni centinaia di volte superiori al cadmio (il metallo più abbondante tra quelli studiati) e più di mille volte superiori alle concentrazioni degli altri inquinanti (altri metalli, diossine, furani e PCB). **Confrontando le stime ottenute con i tenori massimi di contaminanti consentiti negli alimenti dal Regolamento Europeo CE 915/2023 (riportati in Tabella 3), nelle ipotesi già illustrate, e con l'ulteriore ipotesi, irrealizzabile, che i raccolti non vengano mai effettuati, ci vorrebbero minimo circa sei secoli per raggiungere i valori limite proposti (cadmio).**

Nel caso dell'**uva** il Cromo è l'inquinante per il quale è stato riscontrato il maggiore accumulo ($8.26E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), con valori di concentrazione doppi rispetto ad arsenico, nichel, piombo cobalto, manganese, rame e antimonio. Inoltre, le concentrazioni di cromo sono circa 3 volte superiori alle concentrazioni di mercurio ($2.89E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), 7 volte superiori alle concentrazioni di cadmio e tallio ($1.24 E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), 8 volte superiori alle concentrazioni di benzo[a]pirene ($9.72E-05 \text{ mg kg}^{-1}$) e più di un milione di volte superiori alle concentrazioni di diossine, furani e PCB ($4.44 E-10 \text{ mg kg}^{-1}$). **Confrontando le stime ottenute con i tenori massimi di contaminanti consentiti negli alimenti dal Regolamento Europeo CE 915/2023 (riportati in Tabella 3), ci vorrebbero più di due secoli per raggiungere i valori limite proposti (piombo).**

Per quanto riguarda il **mais** i risultati ottenuti evidenziano che il benzo[a]pirene è l'inquinante per il quale è stato riscontrato il maggiore accumulo ($7.66E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), con concentrazioni circa 14 volte superiori alle concentrazioni di cadmio ($5.55E-05 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 40 volte superiori alle concentrazioni di rame ($1.87E-05 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 86 volte superiori alle concentrazioni di piombo ($8.00E-06 \text{ mg kg}^{-1}$), centinaia di volte superiori alle concentrazioni di altri metalli (cromo, manganese, arsenico, nichel, mercurio, antimonio e cobalto), migliaia di volte superiori alle concentrazioni di tallio, vanadio, diossine, furani e PCB. **Confrontando le stime ottenute con i tenori massimi di contaminanti consentiti negli alimenti dal Regolamento Europeo CE 915/2023 (riportati in Tabella 3), ci vorrebbero minimo 18 secoli per raggiungere i valori limite proposti (cadmio).**

Sostanze	udm	Riso (Oryza Sativa L.)	Uva	Mais (Zea Mais L.)	Reg. CE 915/2023		
					Riso	Uva	Cereali
Sb	mg kg ⁻¹	2.35E-06	1.24E-04	5.55E-05			
As	mg kg ⁻¹	4.28E-08	4.13E-04	1.01E-06	0.15 mg kg ⁻¹		
Pb	mg kg ⁻¹	7.74E-08	4.13E-04	1.83E-06		0.10** mg kg ⁻¹	0.20 mg kg ⁻¹
Cr	mg kg ⁻¹	3.39E-07	4.13E-04	8.00E-06			
Co	mg kg ⁻¹	2.36E-07	8.26E-04	5.58E-06			
Cu	mg kg ⁻¹	3.60E-08	4.13E-04	8.50E-07			
Mn	mg kg ⁻¹	7.93E-07	4.13E-04	1.87E-05			
Ni	mg kg ⁻¹	1.73E-07	4.13E-04	4.08E-06			
V	mg kg ⁻¹	7.51E-08	4.13E-04	1.77E-06			
Hg	mg kg ⁻¹	2.73E-08	4.13E-04	6.46E-07			
Cd	mg kg ⁻¹	1.42E-07	2.89E-04	1.55E-06	0.15 mg kg ⁻¹	0.05** mg kg ⁻¹	0.10 mg kg ⁻¹
Tl	mg kg ⁻¹	6.54E-09	1.24E-04	1.55E-07			
PCB-DL	mg kg ⁻¹	3.93E-04	9.72E-05	7.66E-04			
IPA*	mg kg ⁻¹	6.41E-10	4.44E-10	1.24E-09			
PCDD	mg kg ⁻¹	6.41E-10	4.44E-10	1.24E-09			

* riferita al benzo[a]pirene

** riferito alla frutta diversa da mirtilli rossi, ribes a grappoli, bacche di sambuco e frutti del corbezzolo.

Tabella 3 - stima della contaminazione di Riso (Oryza Sativa L.), Uva e Mais (Zea Mais L.) presso il Comune di Cavaglià interessato dalle ricadute dell'impianto e confronto con valori di sicurezza alimentare proposti dal Regolamento Europeo CE 915/2023.

Focalizzandoci sui risultati ottenuti per l'**erba medica**, il benzo[a]pirene è l'inquinante per il quale è stato riscontrato il maggiore accumulo ($3.23E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), con concentrazioni circa 1.3 volte superiori alle concentrazioni di manganese ($2.48E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 2 volte superiori alle concentrazioni di mercurio ($1.88E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 3 volte superiori alle concentrazioni di cromo ($1.04E-04 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 4 volte superiori alle concentrazioni di tallio ($7.40E-05 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 6 volte superiori alle concentrazioni di altri metalli (antimonio, nichel, rame, cobalto, piombo e arsenico tutti determinati con una concentrazione pari a $5.20E-05 \text{ mg kg}^{-1}$), circa 20 volte superiori alle concentrazioni di cadmio ($1.52E-05 \text{ mg kg}^{-1}$) e migliaia di volte superiori alle concentrazioni di diossine, furani e PCB ($8.90E-10 \text{ mg kg}^{-1}$). **Confrontando le stime ottenute con il contenuto massimo consentito per i contaminanti dal Regolamento Europeo CE 2002/32/CE (riportati in Tabella 4), ci vorrebbero migliaia di anni per raggiungere i valori limite proposti (arsenico).**

Sostanze	udm	Erba Medica (Medicago Sativa)	DE 2002/32/CE Erba Medica (Medicago Sativa)
Sb	mg kg^{-1}	$1.52E-05$	
As	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	2.00 mg kg^{-1}
Pb	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	40.0 mg kg^{-1}
Cr	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	
Co	mg kg^{-1}	$1.04E-04$	
Cu	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	
Mn	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	
Ni	mg kg^{-1}	$2.48E-04$	
V	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	
Hg	mg kg^{-1}	$5.20E-05$	0.1 mg kg^{-1}
Cd	mg kg^{-1}	$1.88E-04$	1.00 mg kg^{-1}
Tl	mg kg^{-1}	$7.40E-05$	
PCB-DL	mg kg^{-1}	$3.23E-04$	
IPA*	mg kg^{-1}	$8.90E-10$	
PCDD	mg kg^{-1}	$8.90E-10$	

Tabella 4 - stima della contaminazione di Erba Medica (Medicago Sativa) presso il Comune di Cavaglià interessato dalle ricadute dell'Impianto e confronto con valori di sicurezza alimentare per gli animali proposti dai Regolamento Europeo DE 2002/32/CE.

Per rispondere in maniera più esaustiva alla richiesta di identificare le aree DOC e DOP con produzione risicola e altra tipologia e valutare gli impatti dell'opera, è stato introdotto, come precedentemente sottolineato, il modello 'Mammals', il quale concatenato ai modelli fino a qui utilizzati, ricevendo dunque gli input da essi, consente di calcolare la concentrazione delle sostanze inquinanti nella carne

e nel latte prodotti per scopi alimentari e destinati dunque all'uso da parte dell'uomo. In particolare, per i metalli è stato sviluppato un modello ad hoc utilizzando il software R. Grazie a questi modelli, sono state ricavate le concentrazioni degli inquinanti nel fegato del mammifero in generale e le concentrazioni degli inquinanti nel latte di mucca. I risultati ottenuti ed i tenori massimi di contaminanti consentiti negli alimenti dal **Regolamento Europeo CE 915/2023** sono riportati in Tabella 8, Tabella 9 e Tabella 10.

I risultati evidenziano, sia per il **fegato** sia per il **latte**, un maggiore accumulo di rame (0.21 pg g^{-1} e 0.10 pg g^{-1} rispettivamente) e benzo[a]pirene (0.041 pg g^{-1} e 0.026 pg g^{-1} rispettivamente). Mentre le concentrazioni stimate per gli altri inquinanti sono inferiori a 0.01 pg g^{-1} . **Dal punto di vista della sicurezza alimentare confrontando le concentrazioni stimate degli inquinanti con i valori limite proposti dal Regolamento Europeo CE 915/2023 (Tabella 8, Tabella 9 e Tabella 10), si può osservare che ci vorrebbero migliaia di anni per raggiungere il tenore massimo consentito per i contaminanti negli alimenti.**

Sostanze	udm	Fegato	Reg. CE 915/2023		
			Fegato di bovini, caprini, suini, pollame ed equini	Fegato di ovini	Fegato di Selvaggina da penna
Cd	pg g^{-1}	0.0015	0.50 mg kg^{-1}	0.50 mg kg^{-1}	
Sb	pg g^{-1}	0.0005			
As	pg g^{-1}	0.0047			
Pb	pg g^{-1}	0.0005			
Cr	pg g^{-1}	0.0001			
Co	pg g^{-1}	0.0047			
Cu	pg g^{-1}	0.21			
Mn	pg g^{-1}	0.0012			
Ni	pg g^{-1}	0.0001			
V	pg g^{-1}	0.0010			
Hg	pg g^{-1}	0.0013			
Tl	pg g^{-1}	0.0037			
IPA*	pg g^{-1}	0.042			
PCDD/Fs	pg g^{-1}	2.4E-07	0.30 pg g^{-1}	1.25 pg g^{-1}	2.5 pg g^{-1}

* riferita al benzo[a]pirene

Tabella 5 - Stima della contaminazione del fegato presso il Comune di Cavaglià interessato dalle ricadute dell'Impianto e confronto con i valori di sicurezza alimentare proposti dal Regolamento Europeo CE 915/2023.

Sostanze	udm	Fegato	Reg. CE 915/2023			
			Carni e prodotti a base di carne affumicati	Carne di Bovini e Ovini	Carne di Suini	Carne di Pollame
Cd	pg g ⁻¹	0.0015		0.20 mg kg ⁻¹	0.15 mg kg ⁻¹	0.10 mg kg ⁻¹
Sb	pg g ⁻¹	0.0005				
As	pg g ⁻¹	0.0047				
Pb	pg g ⁻¹	0.0005				
Cr	pg g ⁻¹	0.0001				
Co	pg g ⁻¹	0.0047				
Cu	pg g ⁻¹	0.21				
Mn	pg g ⁻¹	0.0012				
Ni	pg g ⁻¹	0.0001				
V	pg g ⁻¹	0.0010				
Hg	pg g ⁻¹	0.0013				
Tl	pg g ⁻¹	0.0037				
IPA*	pg g ⁻¹	0.042	2 µg kg ⁻¹ 12 µg kg ⁻¹			
PCDD/Fs	pg g ⁻¹	2.4E-07				

* riferita al benzo[a]pirene

*** valido per il benzo[a]pirene

**** valido per il contenuto di IPA totali

Tabella 6 - Stima della contaminazione del fegato presso il Comune di Cavaglià interessato dalle ricadute dell'impianto e confronto con i valori di sicurezza alimentare proposti dal Regolamento Europeo CE 915/2023.

Sostanze	udm	Latte di Mucca	Reg. CE 915/2023	
			Latte crudo, latte trattato termicamente e latte destinato alla fabbricazione di prodotti a base di latte	Latte crudo e prodotti lattiero caseari
Cd	pg g ⁻¹	0.00002		
Sb	pg g ⁻¹	0.000001		
As	pg g ⁻¹	0.000005		
Pb	pg g ⁻¹	0.000001	20 pg g ⁻¹	
Cr	pg g ⁻¹	0.0000001		
Co	pg g ⁻¹	0.000005		
Cu	pg g ⁻¹	0.10		
Mn	pg g ⁻¹	0.000001		
Ni	pg g ⁻¹	0.0000001		
V	pg g ⁻¹	0.000001		
Hg	pg g ⁻¹	0.000001		
Tl	pg g ⁻¹	0.000004		
IPA*	pg g ⁻¹	0.026		
PCDD/Fs	pg g ⁻¹	1.5E-07		2** pg g ⁻¹

* riferita al benzo[a]pirene

**limiti sul contenuto di grasso

Tabella 7 - Stima della contaminazione del latte di mucca presso il Comune di Cavaglià interessato dalle ricadute dell'impianto e confronto con i valori di sicurezza alimentare proposti dal Regolamento Europeo CE 915/2023.

3 CONCLUSIONI

I risultati delle simulazioni di contaminazione dei suoli agricoli e delle colture su di essi coltivate presso il Comune di Cavaglià (BI) e dovuta all'ipotetica esposizione alle emissioni prodotte dall'impianto nelle condizioni meteo-climatiche del 2019 nello scenario conservativo massimo, conseguenza dei valori all'emissione richiesti in fase autorizzativa, hanno evidenziato il diverso comportamento dei contaminanti nelle differenti tipologie di colture considerate. Se da un lato è stato osservato un maggiore accumulo di metalli nell'uva rispetto all'erba Medica, al mais e al riso (ad eccezione del Cadmio, riscontrato con valori maggiori nel mais), dall'altro per gli IPA (benzo[a]pirene) sono stati riscontrati maggiori valori di accumulo nel mais rispetto al riso, all'erba medica e all'uva. Anche per diossine, furani e PCB è stato riscontrato un maggiore accumulo nel mais, ma a differenza degli IPA si osserva un maggiore accumulo nell'erba medica, rispetto al riso e all'uva. Più in dettaglio il benzo[a]pirene è risultato essere l'inquinante per il quale è stato riscontrato il maggiore accumulo nel riso, nel mais e nell'erba medica, al contrario di quanto ottenuto per l'uva dove i metalli (in particolare il cromo) sono i contaminanti per cui si è registrato il maggiore accumulo.

Le concentrazioni stimate nel fegato e nel latte hanno identificato il rame e il benzo[a]pirene come i contaminanti con un maggior accumulo.

Tuttavia, **il confronto delle concentrazioni stimate nelle varie matrici e nei vari endpoint con i valori limite proposti dai Regolamenti Europei DE 2002/32/CE e CE 915/2003 non hanno evidenziato nessuna criticità**, dimostrando, nella peggiore delle ipotesi, che ci vorrebbero più di due secoli per raggiungere il tenore massimo consentito per i contaminanti negli alimenti (piombo nell'uva).

