



LCA e bilanci ambientali di sistemi agroenergetici ed agroindustriali

S. Fazio, L. Barbanti

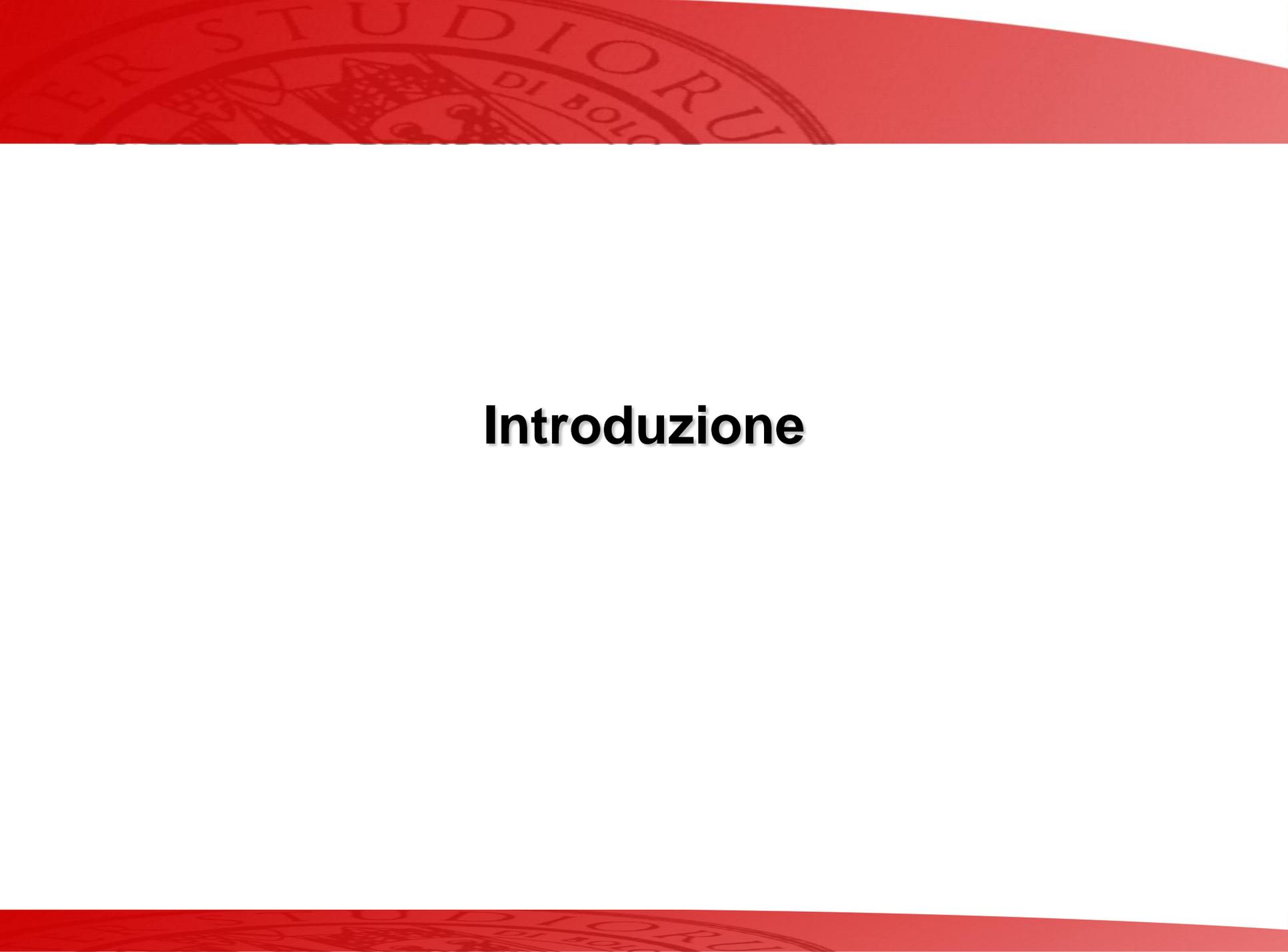
DiSTA (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali)
Università di Bologna





Outline

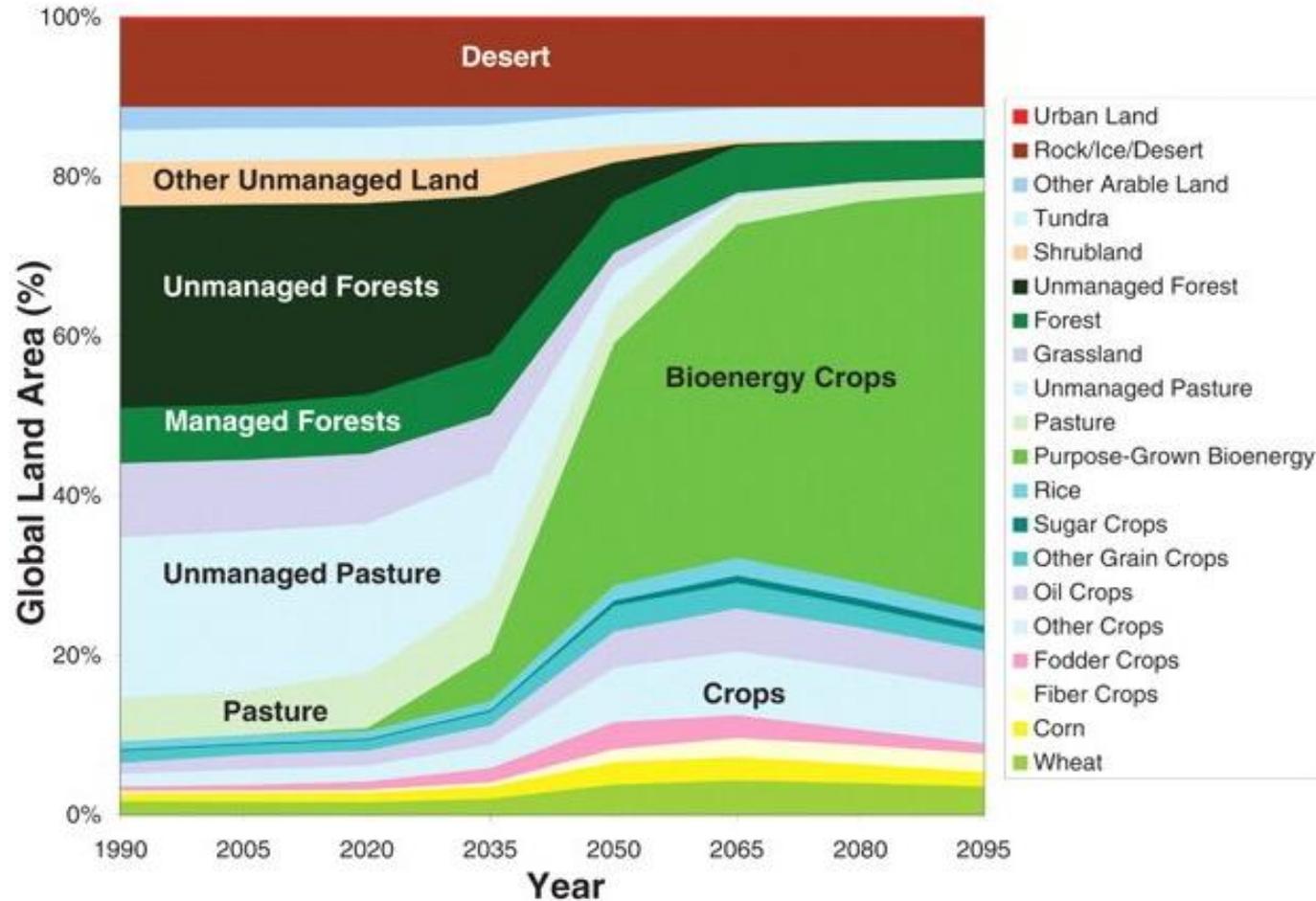
1. Introduzione
 2. Cenni metodologici
 3. LCA e sistemi agricoli
 4. Bilanci energetici ed ambientali di filiere agroenergetiche ed agroindustriali
 5. Valutazione degli impatti ambientali
 6. Dubbi ancora da chiarire
 7. Conclusioni
- 



Introduzione

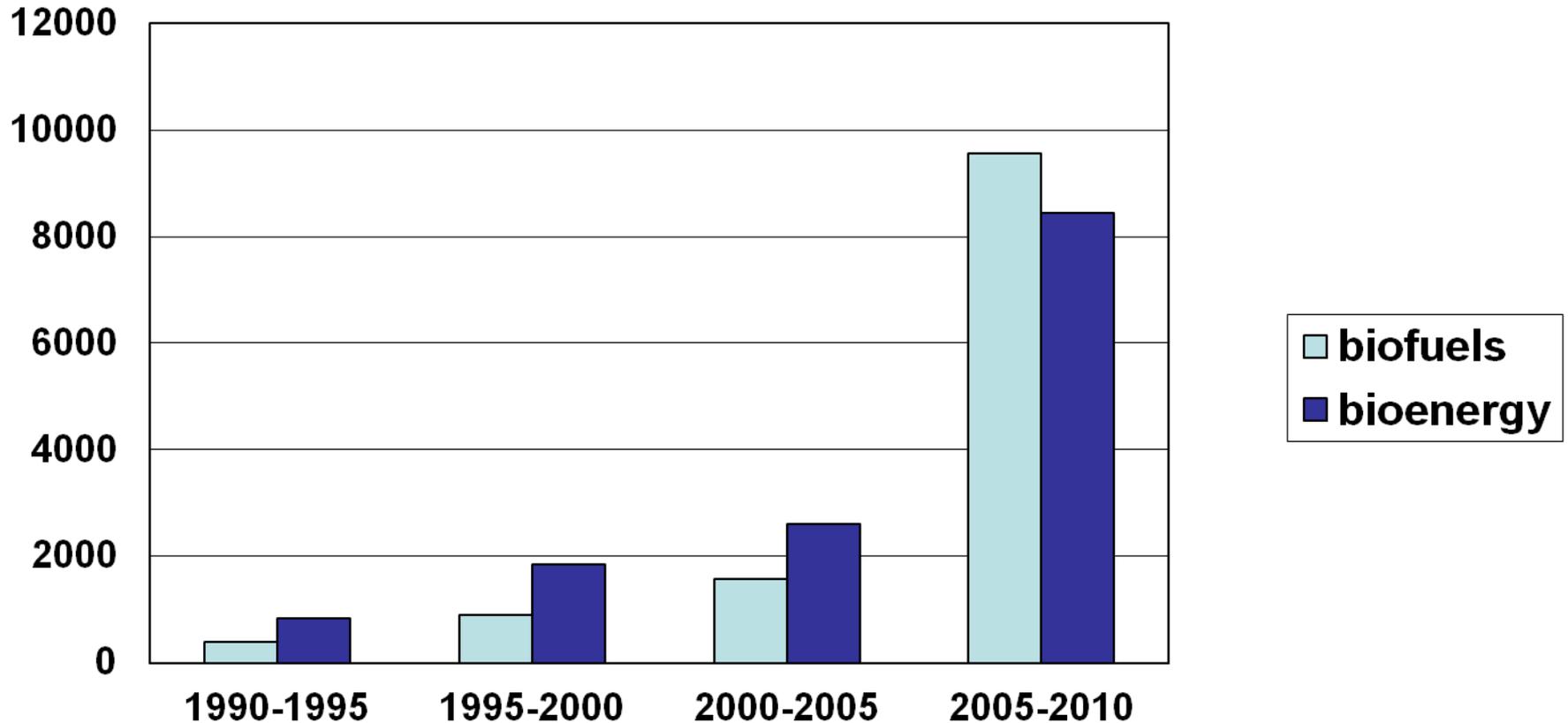
Interesse sulle biomasse

Fonte Smith et al. Science 324-2009



Le previsioni di aumento delle superfici investite a colture energetiche (non solo dedicate, ma anche da gestione forestale) sono esponenziali da oggi a fine secolo

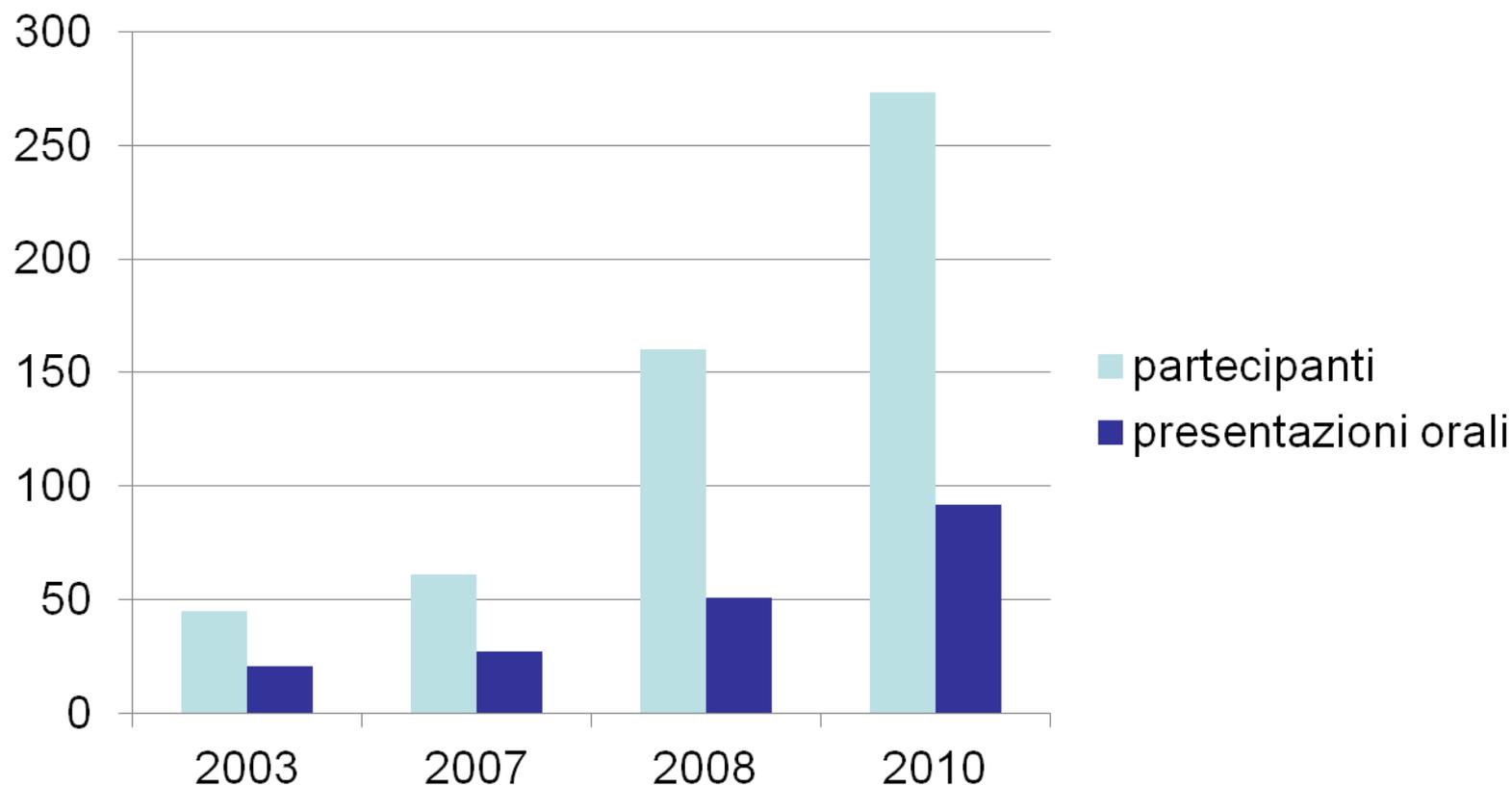
Interesse scientifico sul settore agroenergetico



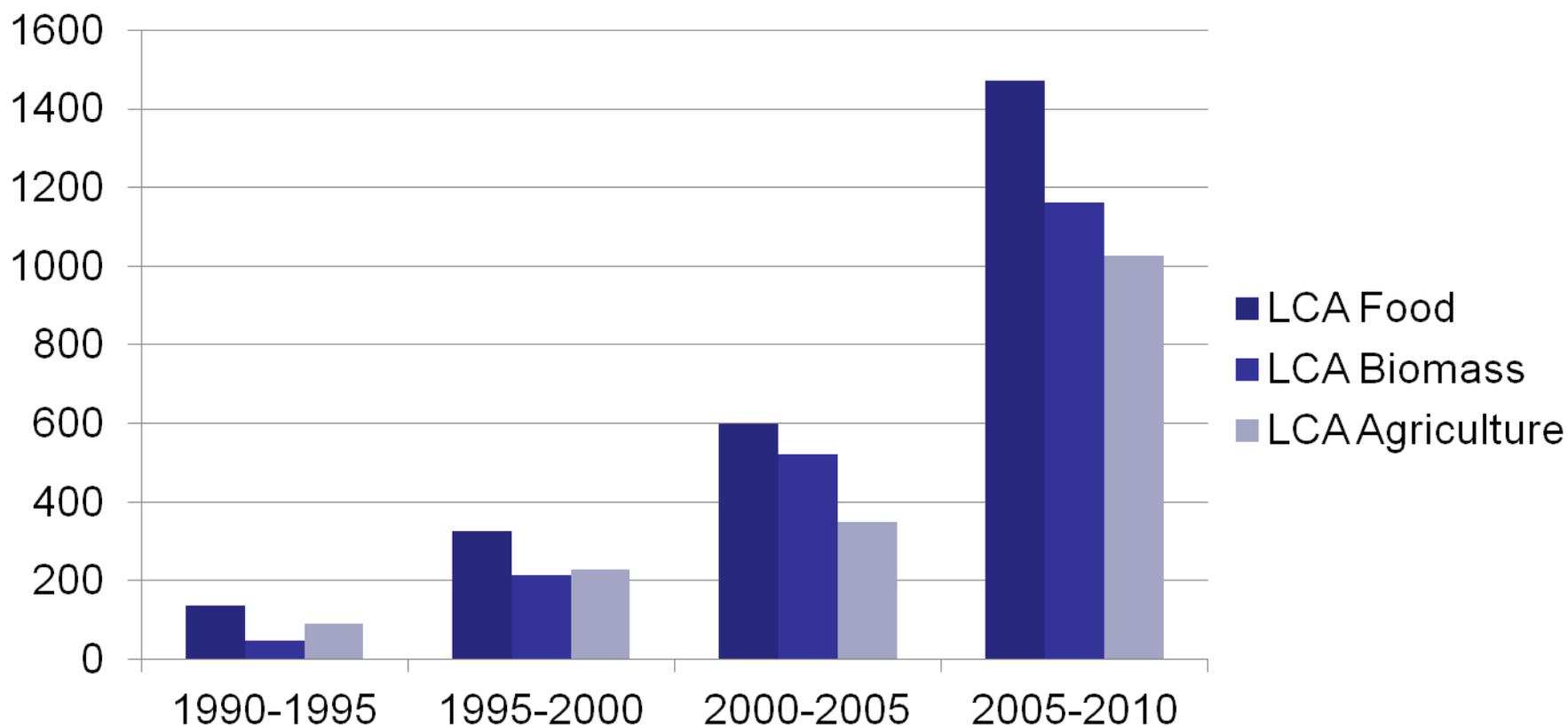
Numero di pubblicazioni scientifiche (source: www.sciencedirect.com)

Interesse crescente dell'LCA nel settore food

Numero di partecipanti a LCA-Food conference



Interesse scientifico sull'LCA nei sistemi agroindustriali



Numero di pubblicazioni scientifiche (source: www.sciencedirect.com)



Cenni Metodologici

Definizioni

- **LCA:** Valutazione degli aggravamenti ambientali associati ad un prodotto, ad un processo o a un'attività attraverso l'identificazione e la quantificazione dei materiali e dell'energia utilizzati, e delle sostanze di rifiuto immesse nell'ambiente.
- Il **ciclo di vita** di un prodotto, processo o attività comprende tutti i passaggi, dall'estrazione delle materie prime all'eventuale smaltimento finale dei rifiuti.

Definizioni e alcuni possibili utilizzi della metodologia

Le procedure del Life Cycle Assessment sono inquadrare nelle normative ISO 14000 relative alla gestione ambientale: **ISO 14041-43**.

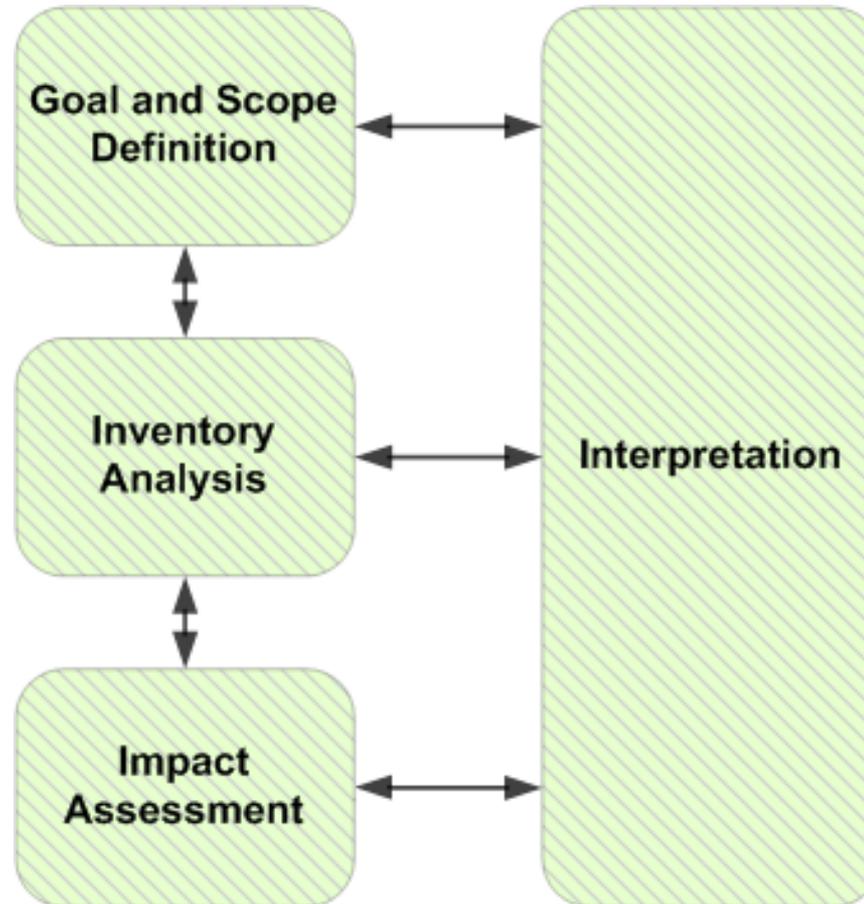
Possibili applicazioni:

Confronto fra processi che danno prodotti simili **o fra prodotti** surrogabili da processi diversi

Individuazione delle criticità ambientali di un processo produttivo

Certificazioni ambientali (Ecodesing, Ecolabel, EPD, etc.).

Fasi di un'LCA



Definizione di obiettivi e scopo

In questa fase si definisce lo scopo dello studio e come verranno presentati i risultati. Vengono anche definiti importanti parametri per le fasi successive :

- **L'unità funzionale**, ovvero la quantità o la misura di riferimento sulla base della quale saranno esposti i risultati dello studio;
- **I confini del sistema** allo studio (spaziali, temporali, tecnologici, etc.)
- **Assunzioni e limiti di dettaglio** dello studio;
- Se ci sono sottoprodotti o coprodotti, il sistema di **allocazione o sostituzione**;
- **Le categorie d'impatto** scelte per lo studio e i metodi di valutazione

Inventario (LCI)

- Si definisce un diagramma di flusso del processo indicando **gli input di acqua, energia, materie prime, e tecnologia** (ad es., semilavorati, macchine ecc., derivanti da processi a monte o a valle del sistema), si indicano le emissioni (aria, suolo e acqua) **e la produzione ottenuta**
- Sulla base del diagramma si redige un **inventario che contiene informazioni sugli input ed output “ambientali”** che coinvolgono il processo
- **I dati più difficili da stimare sono gli input da “tecnosfera”** non potendo misurare direttamente ogni dato. Esistono però dei database da cui è possibile derivare tali dati; l'utilizzo dei database deve però essere molto accurato ed è necessario assicurarsi che i dati utilizzati riflettano la realtà locale.

Analisi degli impatti (LCIA)

Valutare i livelli di emissione o il potenziale danno:

- **Scelta degli indicatori di categoria e dei modelli di standardizzazione** (substance-equivalents);
- **classificazione**, (assegnazione delle emissioni a specifiche categorie);
- **Misura degli impatti caratterizzati**, (sommatoria delle emissioni o dei potenziali danni sulla base di unità di misura univoche).
- Indicatori opzionali: i) **normalizzazione** – le emissioni sono confrontate con quelle della media degli abitanti di una determinata area d'interesse (e.g., EU); ii) **pesatura** – gli impatti sono pesati sulla base di criteri soggettivi dipendenti dalla realtà oggetto di studio, e raggruppati in un unico indicatore.

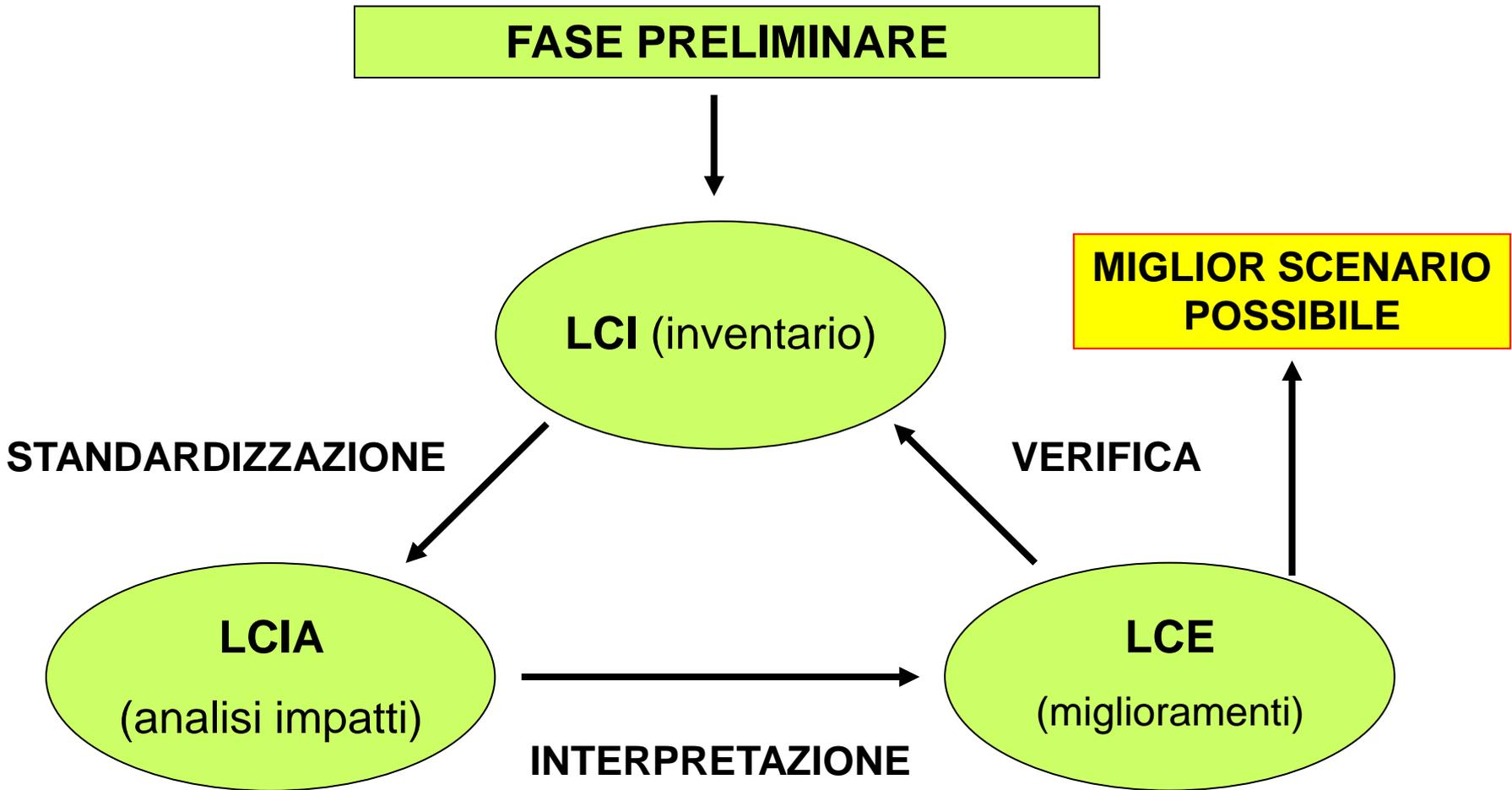
Interpretazione e miglioramento (LCE)

È la fase di identificazione, quantificazione, controllo e valutazione delle informazioni derivanti dai risultati di inventario e analisi degli impatti

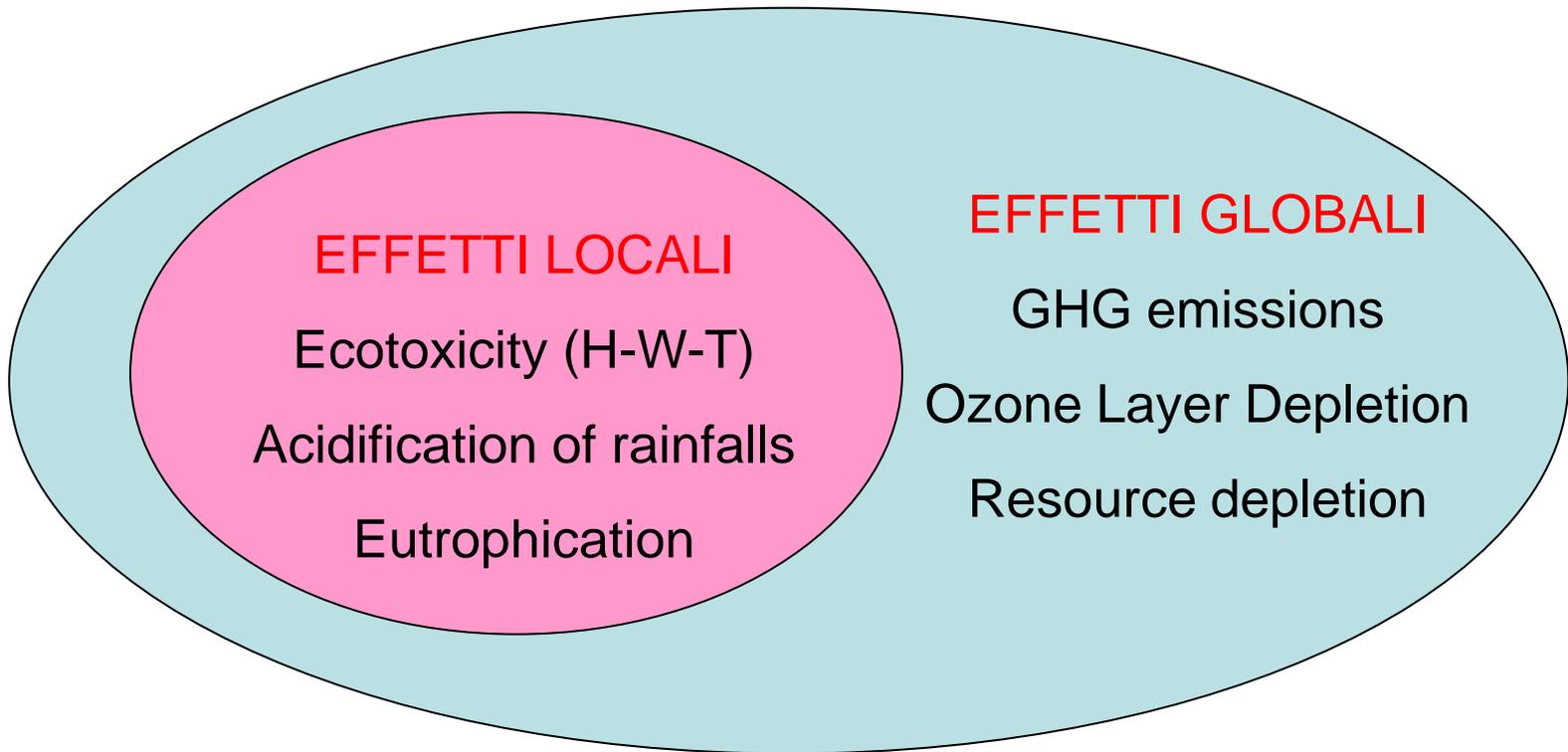
La fase di interpretazione può individuare i passaggi step della filiera più impattanti, ed eventualmente proporre soluzioni alternative (Life Cycle Engineering – LCE)

.

Eventuali scenari alternativi devono ovviamente essere rivalutati con la medesima metodologia.



Indicatori ambientali



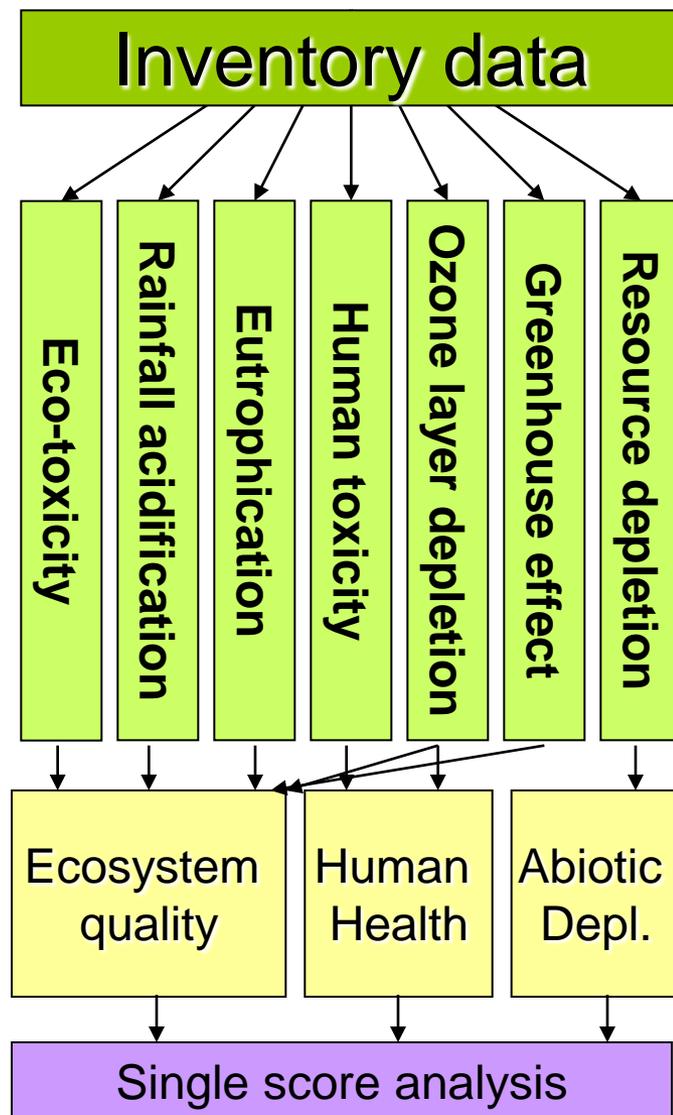
Aanalisi degli impatti

Approccio Problem-oriented o mid-point

Analisi quantitativa delle sostanze emesse e delle risorse consumate, indicate come sostanza-equivalente (1-4 DB, SO₂, PO₄⁻, CFC11, CO₂, Sb)

Approccio Damage-oriented o end-point

Analisi del potenziale danno derivante da emissioni e consumi di risorse (DALY, PDFm⁻²y⁻¹, MJ-surplus)



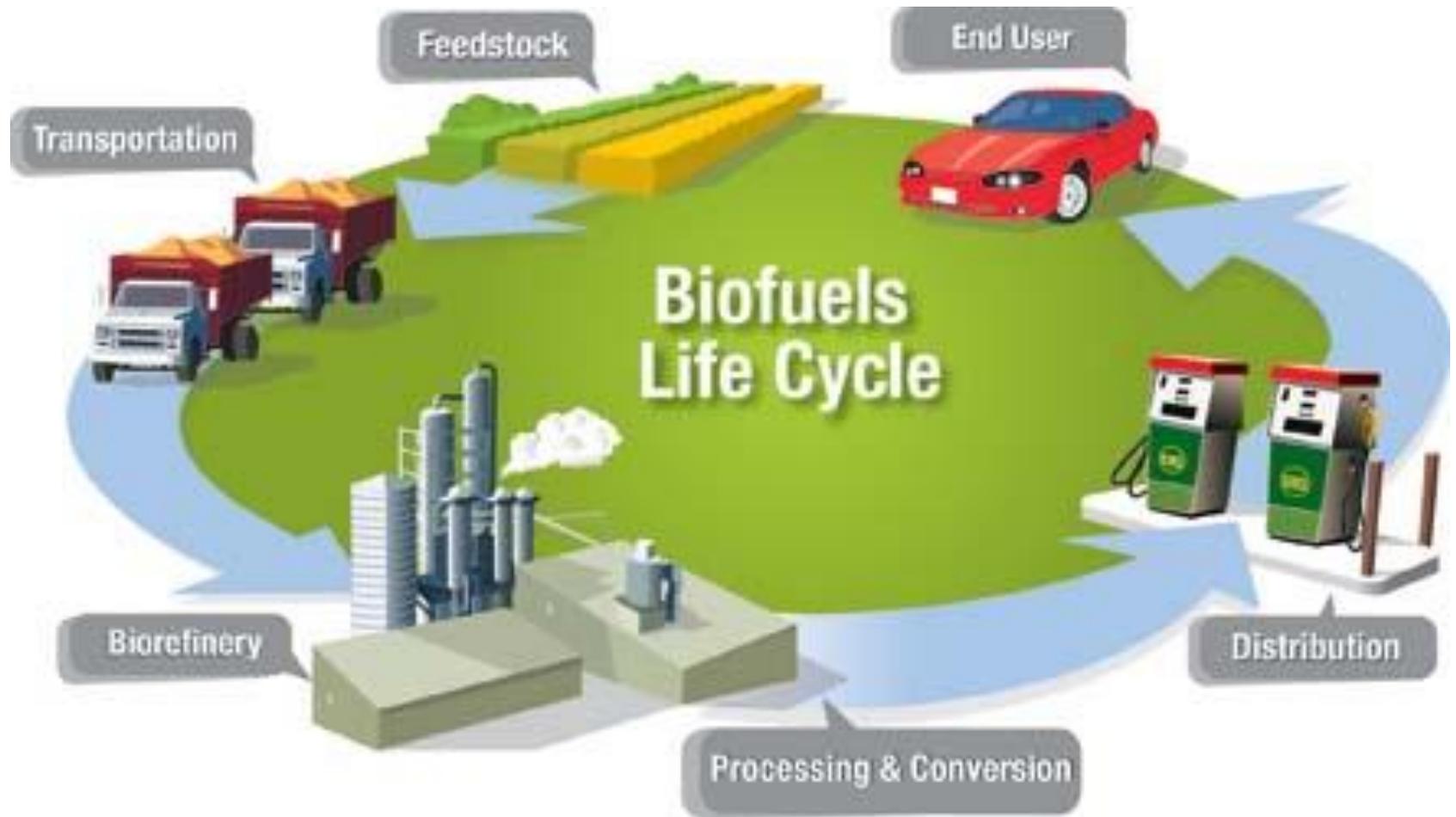
Varianti della struttura di una LCA

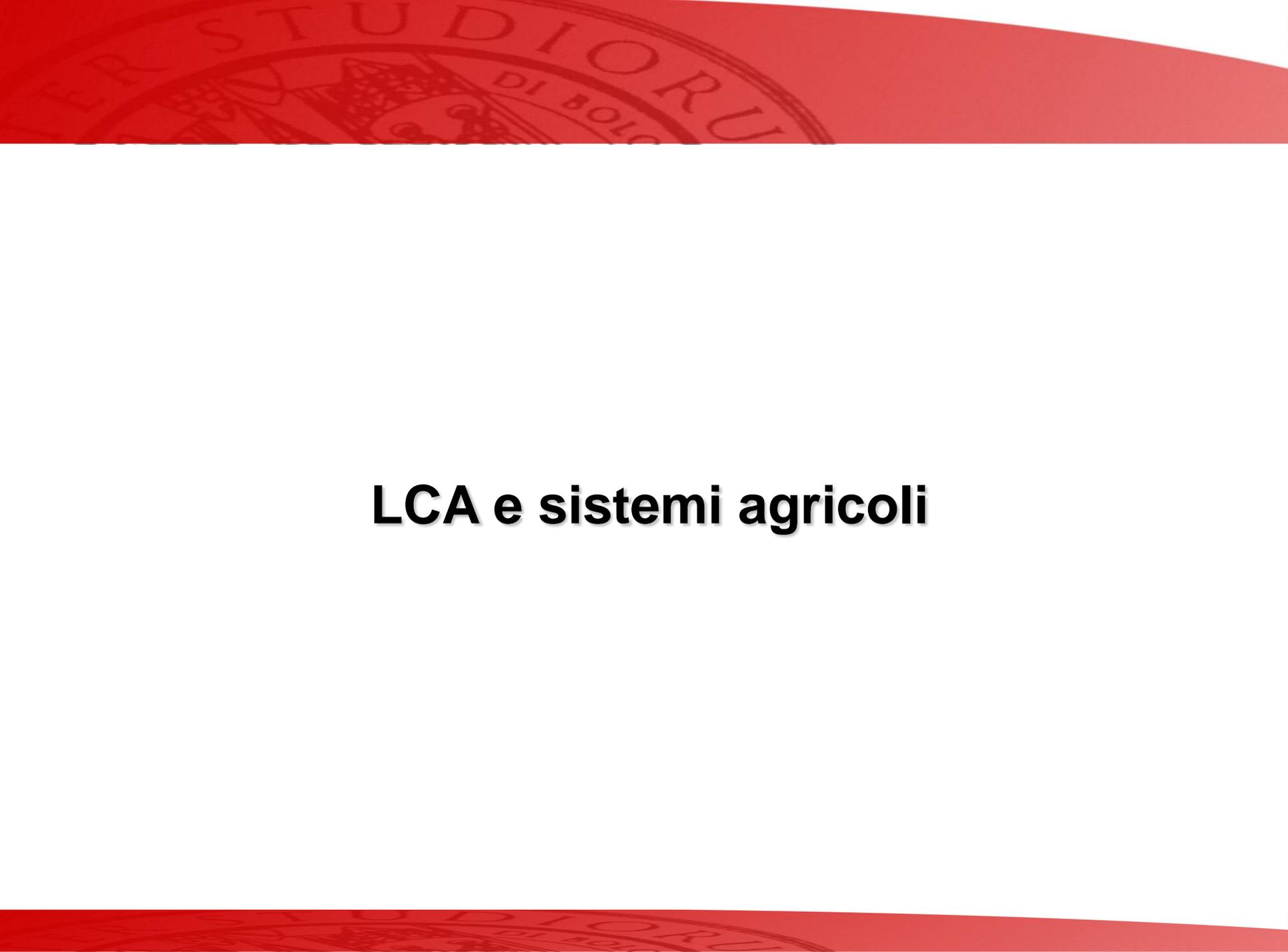
- **Cradle-to-grave**: LCA completa dall'estrazione delle risorse per la produzione di materie prime e mezzi tecnici fino alla fase di utilizzo e smaltimento rifiuti.
- **Cradle-to-gate and gate-to-gate**: è una LCA parziale che prende in considerazione un solo step o un gruppo di fasi dall'estrazione delle materie prime, o da uno step di filiera precedente, fino alla fine di una specifica fase produttiva.
- **Cradle-to-Cradle**: è utilizzata quando un determinato prodotto nella fase finale del suo ciclo di vita viene riciclato per dare origine a un prodotto identico (e.g. asfalto) o un altro prodotto (e.g. bottiglie di PET e tessuti sintetici).

Varianti della struttura di una LCA

- **Well-to-wheel**: è l'LCA specifica usata per i carburanti e l'energia, dove l'uso del carburante o dell'elettricità è la fase finale del ciclo e non ci sono scenari di smaltimento rifiuti.
- **Life cycle energy analysis (LCEA)**: è una LCA in cui si calcola solamente il flusso energetico input/output di un processo produttivo, molto utile anch'essa nell'analisi di scenari di produzione di energia e carburanti, ma anche nei processi produttivi di altro tipo. Gli indicatori che possono derivarne sono il fabbisogno totale di energia (CED), l'efficienza energetica (output/input) e l'energia netta ottenuta (output-input) di una filiera.

LCA well to wheels

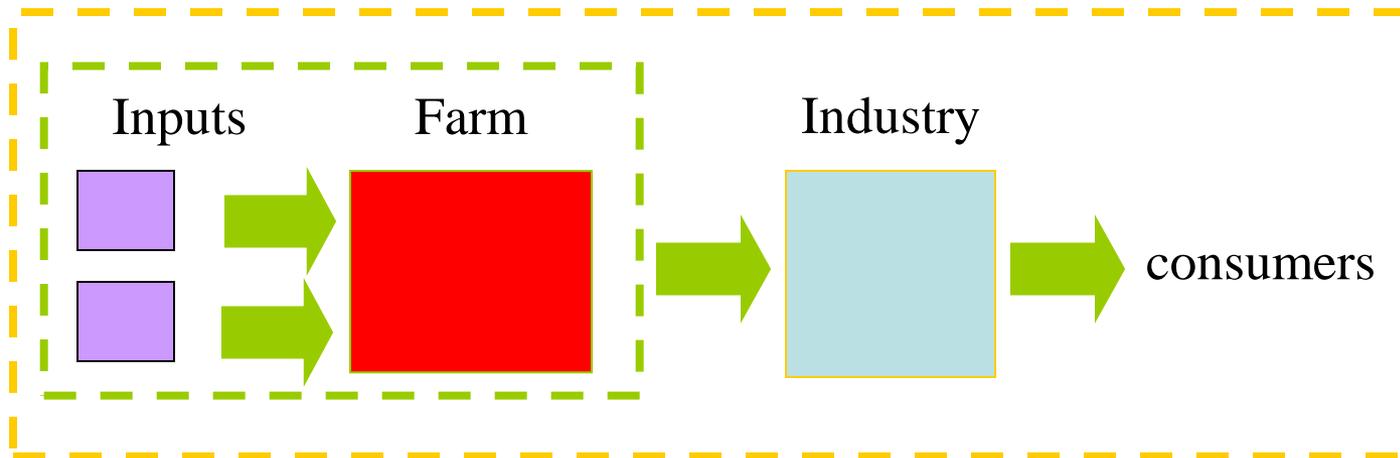




LCA e sistemi agricoli

Cradle-to-gate and cradle-to-grave

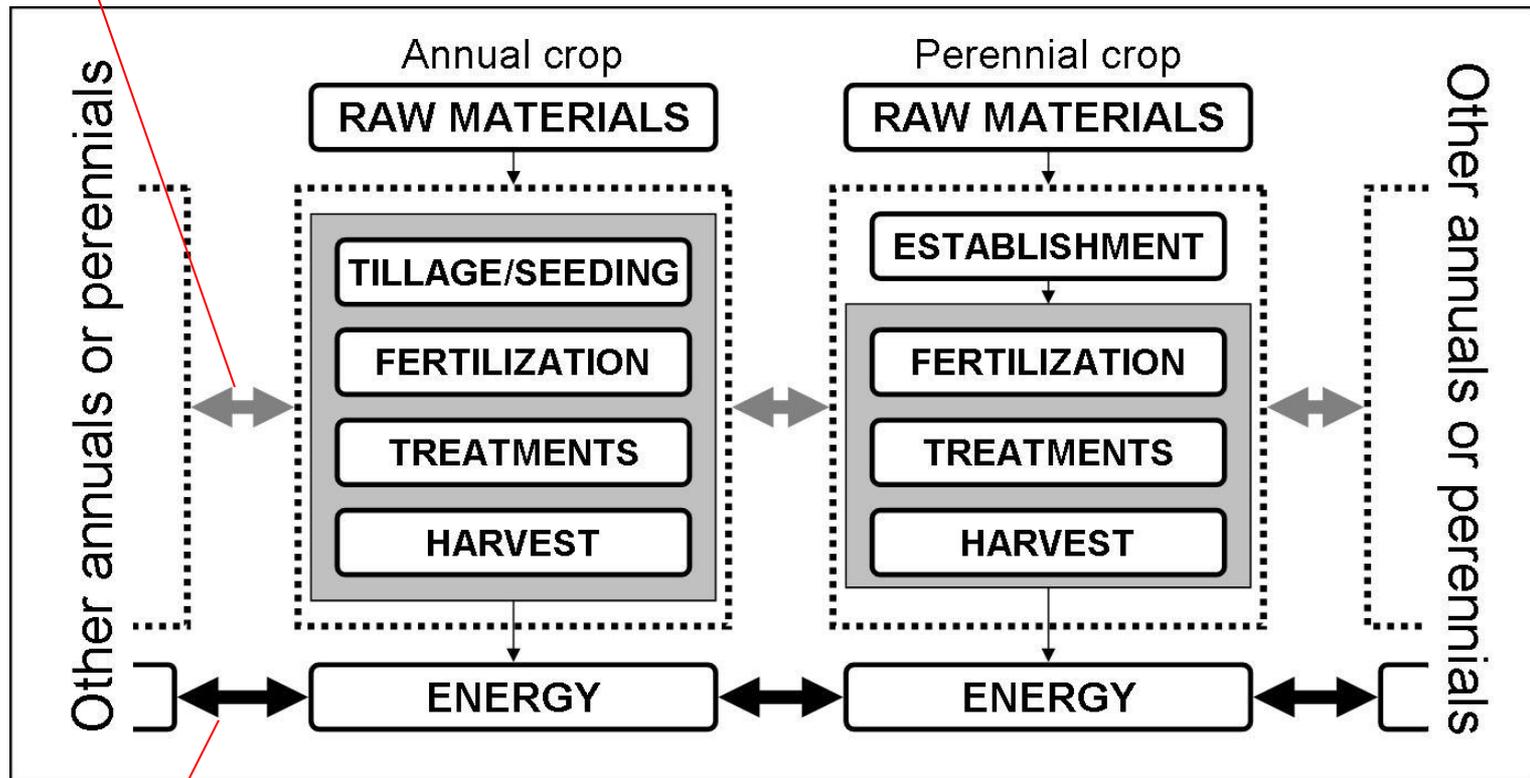
Confini di sistema



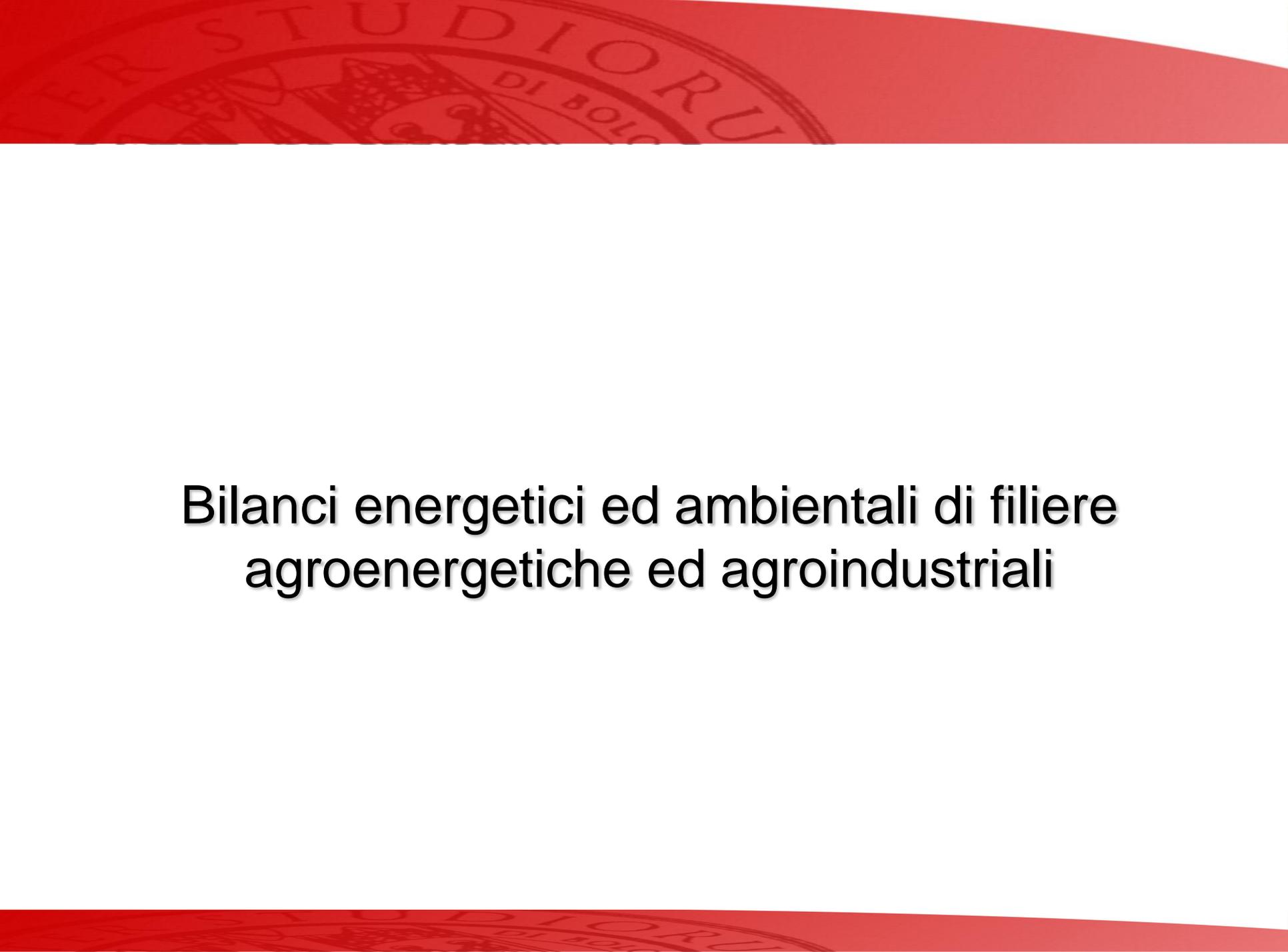
- - - **Cradle to farm gate:** permette analisi su base ettaro che rendono comparabili sistemi produttivi che forniscono prodotti diversi (e.g. food – fuel).
- - - **Cradle to grave:** permette confronti fra sistemi produttivi che forniscono prodotti surrogabili, anche di diversa origine (es. combustibili fossili vs biofuels, biodiesel vs etanolo, etc.).

Unità funzionali per la comparazione di sistemi bioenergetici

Impatti per ha



Impatti per MJ o kWh



Bilanci energetici ed ambientali di filiere agroenergetiche ed agroindustriali

Indicatori energetici in agricoltura

tre indicatori sono normalmente utilizzati:

Cumulative energy demand (CED) = somma degli input

Energy Balance (E.B.) = Output - Input

Energy Efficiency (E.E.) = Output / Input

I requisiti minimi per una coltura energetica sono $E.B. > 0$, $E.E. > 1$.

Una buona coltura energetica presenta performance elevate sia su EE che su EB (per mais ad esempio $E.B. = 60$ GJ/ha ed $E.E. = 2.5$; nelle lignocellulosiche poliennali $E.B.$ può superare i 500 GJ/ha ed EE può essere superiore a 30).

Stima degli input energetici e delle emissioni

Diretti : Energia (elettricità, combustibili, etc.) direttamente consumati nel processo e relative emissioni. Altre sostanze emesse in aria, acqua e suolo (e.g. lisciviazione fertilizzanti, residui di pesticidi, etc.).

Indiretti : energia intrinseca, cioè quella spesa per produrre i fattori di produzione agricola (concimi, sementi, fitochimici, macchine, edifici rurali, etc.). Emissioni generate nei processi per la produzione di tali fattori.

Stima delle emissioni e dei consumi energetici

Input indiretti:

Beni consumati in un ciclo produttivo (e.g. fertilizzanti, pesticidi):

Energy input = input energetico unitario* x quantità impiegata

Emissioni = emissioni unitarie x quantità impiegata

Beni e infrastrutture consumate parzialmente (es. macchine, edifici):

Energy input = input energetico unitario x quantità utilizzata x % uso

Emissioni = emissioni unitarie x quantità impiegata x % uso

*energia spesa per la produzione, non quella contenuta nel bene.

Negli input diretti va considerato anche il dispendio energetico e l'emissione per la loro produzione (es. energia propria del gasolio = 44 MJ/kg ; come input = 53 MJ/kg).

Calcolo dell'output energetico delle colture

Si utilizza il potere calorifico inferiore (PCI o LHV) per definire il contenuto energetico della biomassa o della frazione di essa che viene destinata alla conversione energetica.

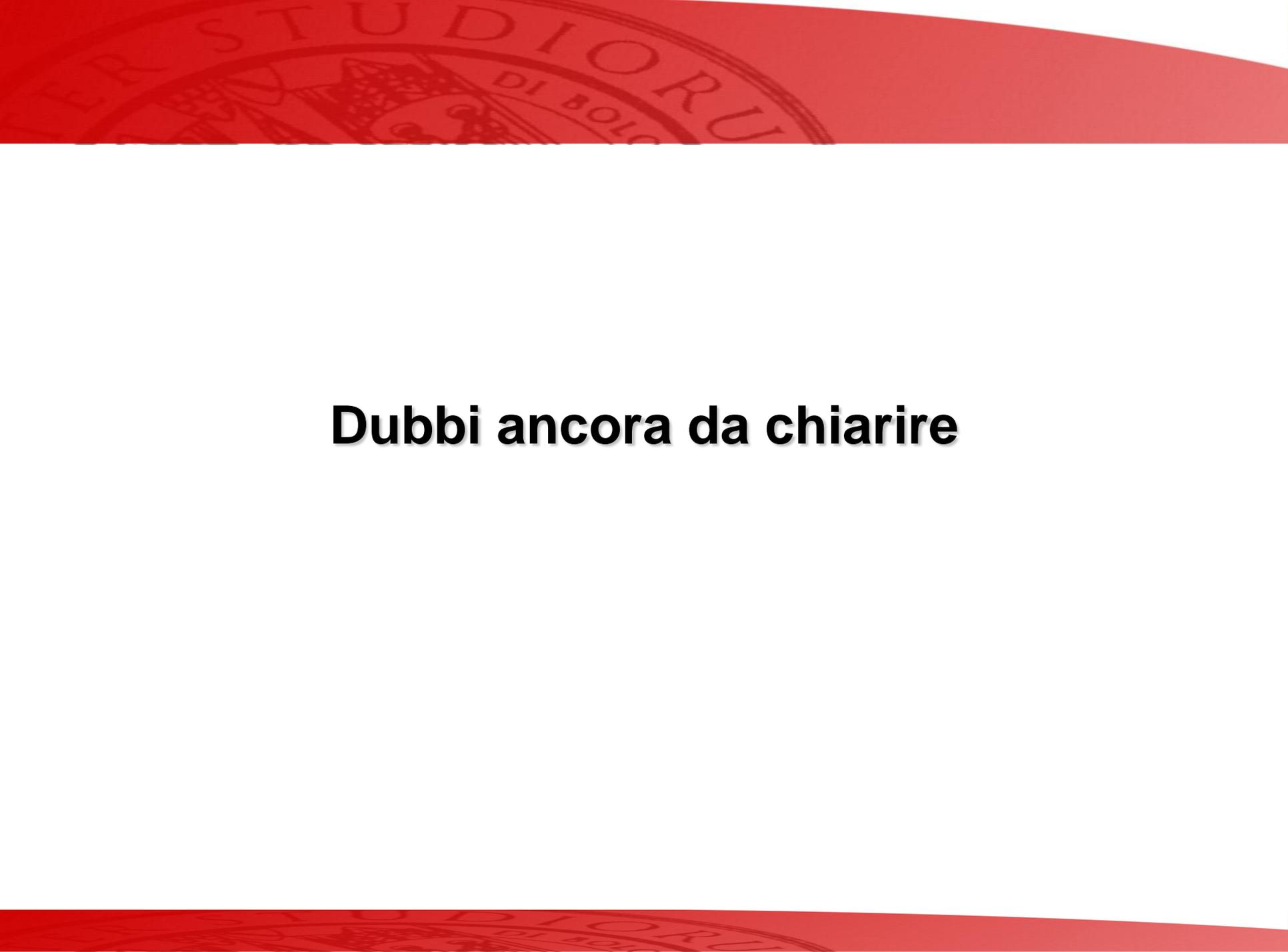
output energetico da biomassa per unità di superficie:

$$\begin{array}{ccc} \text{CONTENUTO} & \times & \text{RESA} \\ \text{ENERGETICO} & & \text{BIOMASSA} \\ \text{[GJ t}^{-1}\text{]} & & \text{[t ha}^{-1}\text{]} \\ & = & \text{OUTPUT} \\ & & \text{ENERGIA} \\ & & \text{[GJ ha}^{-1}\text{]} \end{array}$$

Annuali e Poliennali

Nel caso di colture annuali, gli input energetici, le emissioni e la resa sono riferite ad un anno produttivo.

Nel caso di colture poliennali, occorre calcolare un **valore annuo equivalente** di input, emissioni e resa, in modo da poter spalmare le operazioni d'impianto sull'intero ciclo produttivo, e mediare la variabilità produttiva della coltura.



Dubbi ancora da chiarire

Limiti metodologici e della qualità dei dati in campo agricolo

- La metodologia LCA è nata con lo scopo di studiare sistemi prevalentemente industriali con variabili ambientali minime o nulle (es. condizioni climatiche, tipo di suolo, esposizione, pendenza, risposta delle colture agli input, etc.).
- Alcuni fattori agroambientali che influenzano le emissioni non sono considerati direttamente (es. lisciviazione dei nitrati in relazione al metodo di concimazione, alla piovosità e alla captazione da parte delle piante, emissioni di protossido d'azoto dalle coltivazioni, etc.) altri non vengono considerati nei modelli (es. erosione, rischio incendi, compattamento del suolo, etc.).

Limiti metodologici e della qualità dei dati in campo agricolo

- I crediti ambientali diretti (es. sequestro permanente del carbonio da parte delle colture), non sono implementabili direttamente nei software se non mediante l'utilizzo di un credito derivante da un prodotto evitato.
- L'impatto sul cambiamento indiretto di uso del suolo (ILUC – Indirect Land Use Change) non viene ad oggi considerato nei modelli; data la rilevanza che assume in certi casi questo indicatore, il rischio di errori di valutazione è alto.

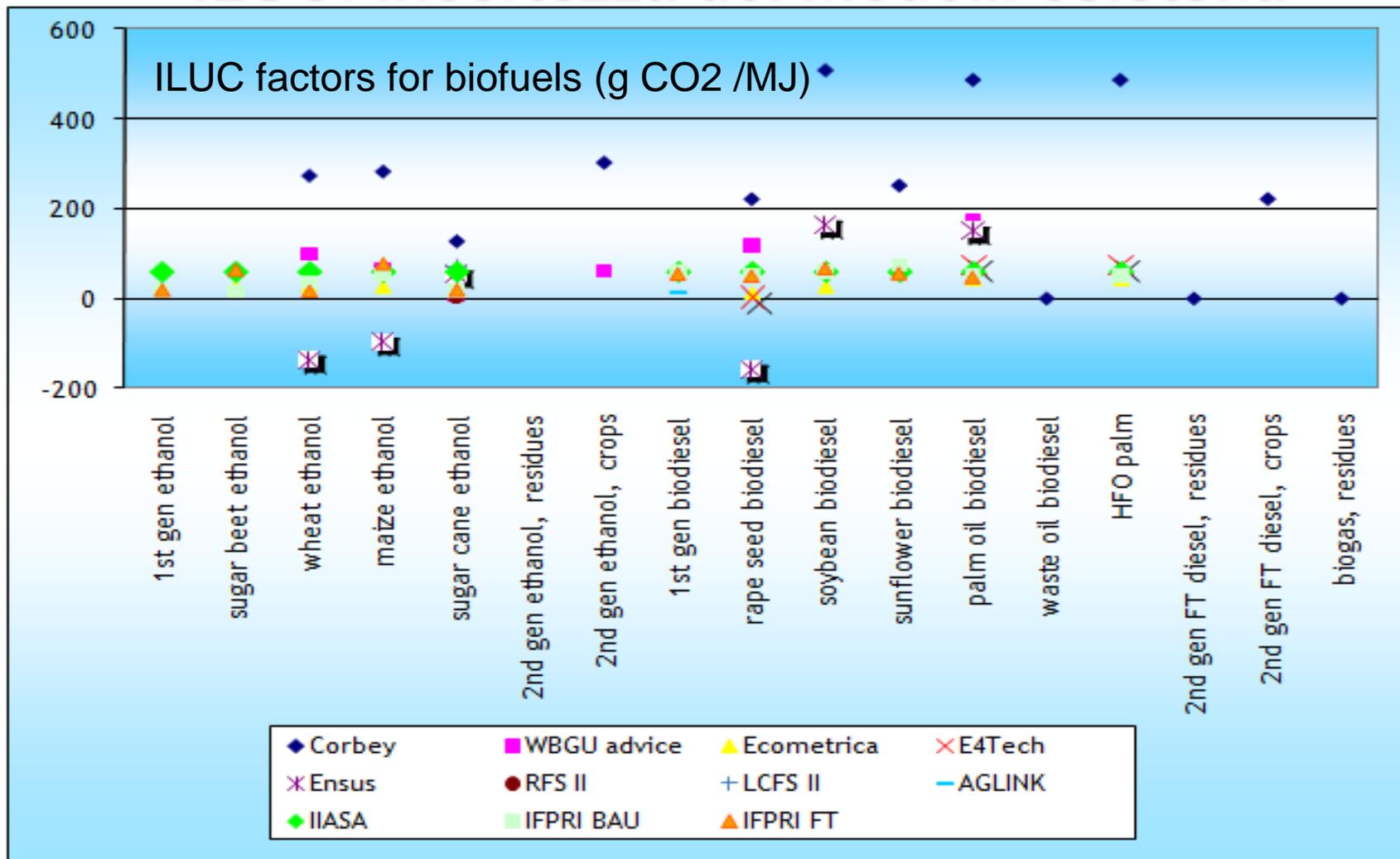
Il dilemma dell' ILUC rispetto alle bioenergie

- **Problema del nesso causale:** le bioenergie non sono l'unico "driver" che interviene su ILUC. Intervengono ad esempio il cambiamento delle abitudini alimentari, la crescita economica e l'aumento demografico. In questo contesto imputare chiaramente le responsabilità degli impatti dell' ILUC risulta difficile (Feess et al., 2009; DeFries et al., 2010; Rudel et al., 2009).
- **Problema della misurazione:** la porzione di suolo messo a coltura per via dell'espansione di domanda di cibo, energia e altre esigenze non è chiara, non si può stimare con esattezza quanto della nuova domanda sarà soddisfatto mettendo a coltura nuovo terreno e quanto sarà invece ottenuto grazie all'incremento delle rese. Non ci sono inoltre dati sul ruolo dei coprodotti su LUC e ILUC (Edwards et al., 2010; Fehrenbach et al., 2009; Fritsche and Wiegmann, 2008).

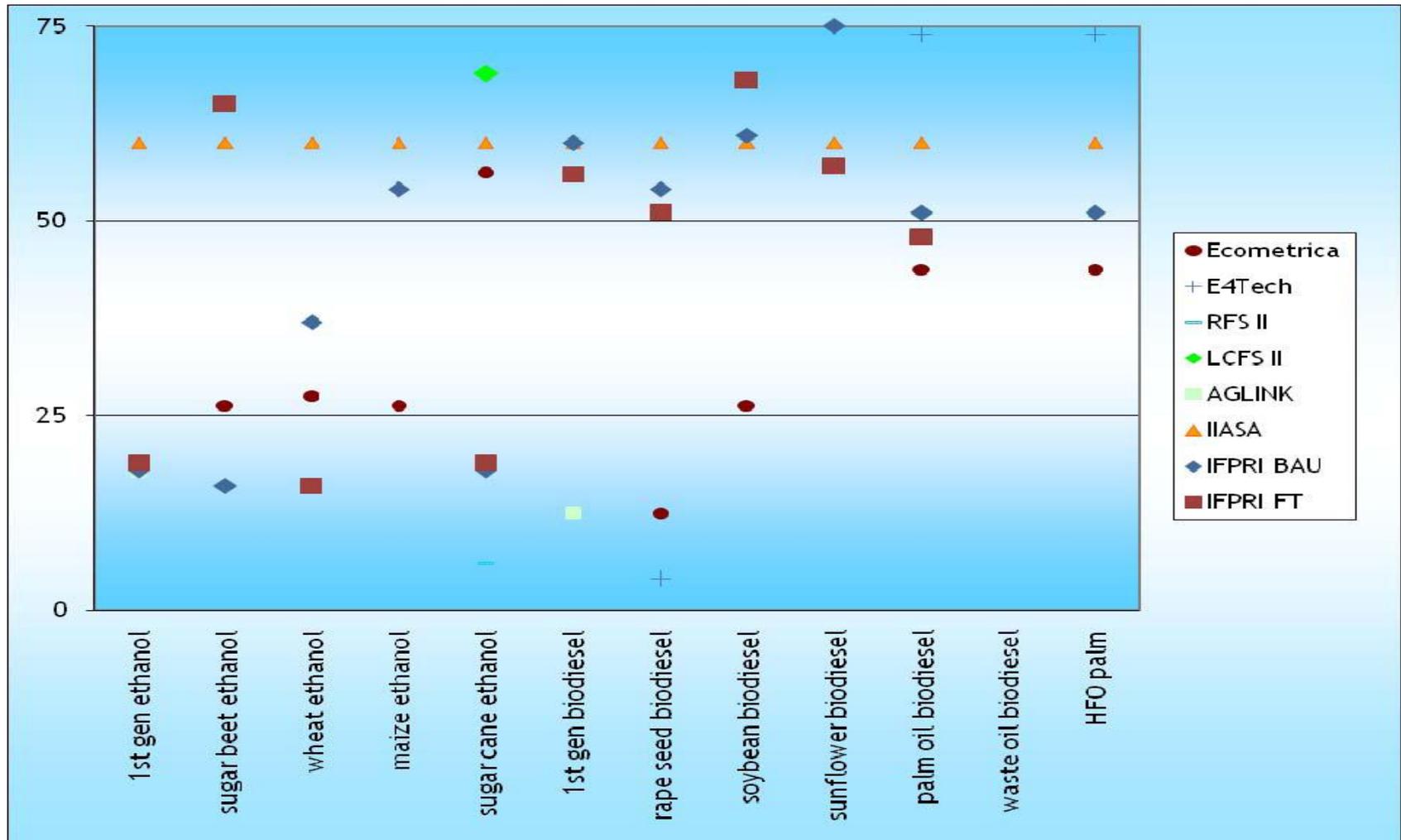
Il dilemma dell' ILUC rispetto alle bioenergie

- **Il problema dell'attribuzione:** La dimensione globale del problema rende spesso necessario attribuire l'ILUC a un altro paese, in maniera ipotetica. Questo genera un numero di variabili ancora maggiore, ad esempio in termini di tipologia degli ecosistemi coinvolti nel LUC e differenti sistemi agricoli (difficilmente si può stimare una sostituzione 1:1 in termini di superficie).
- **il problema della governance:** vista la natura internazionale dell'ILUC, le politiche ad esso correlate andrebbero concertate a livello globale e non per singoli stati o aree geografiche; in altre parole uno stato che genera ILUC altrove dovrebbe sviluppare politiche per mitigare gli effetti correlati che abbiano valenza in uno stato estero.

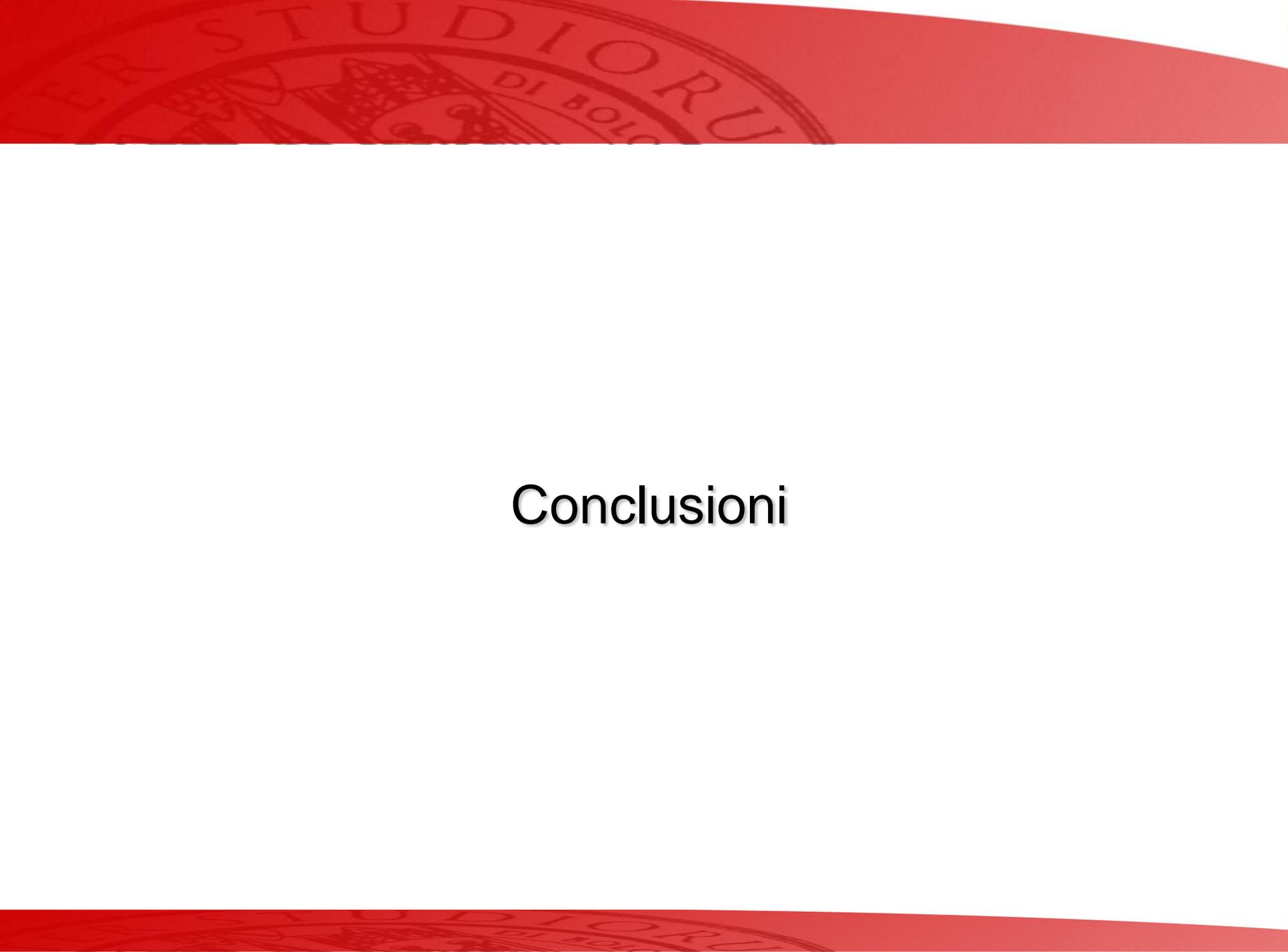
ILUC: Incertezza dei modelli esistenti



ILUC: incertezza dei modelli esistenti



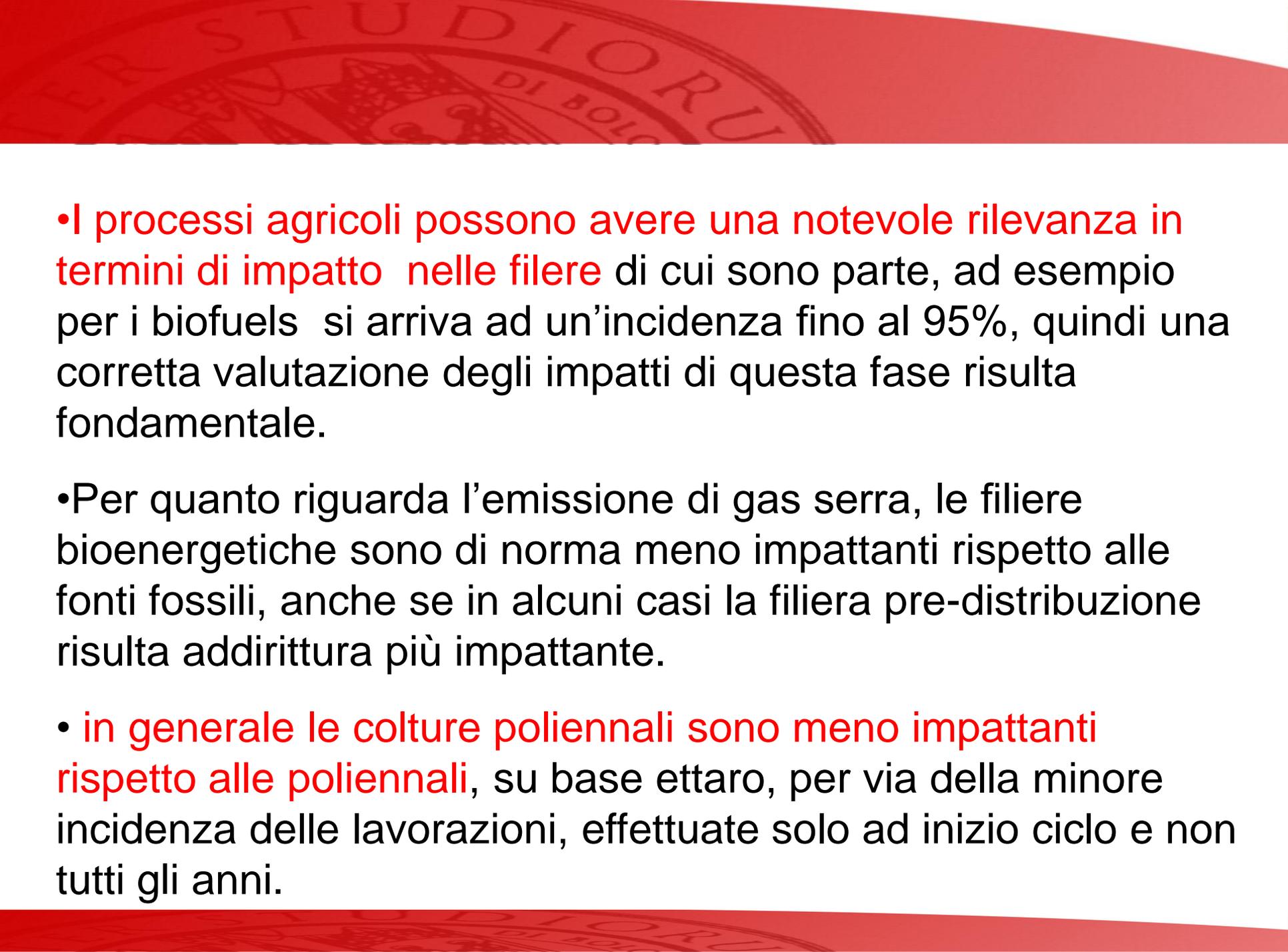
ILUC factors for biofuels (g CO₂ /MJ)

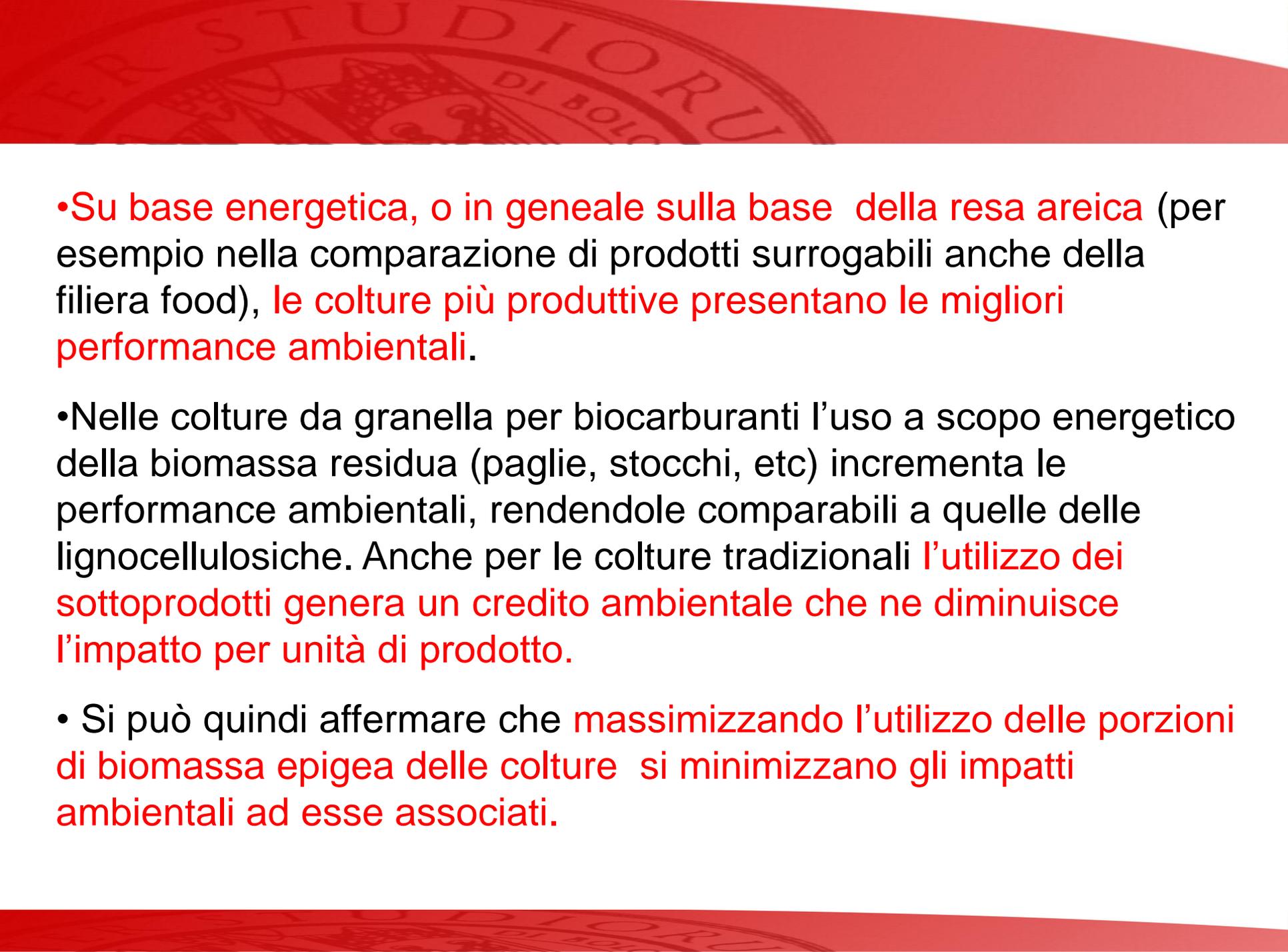


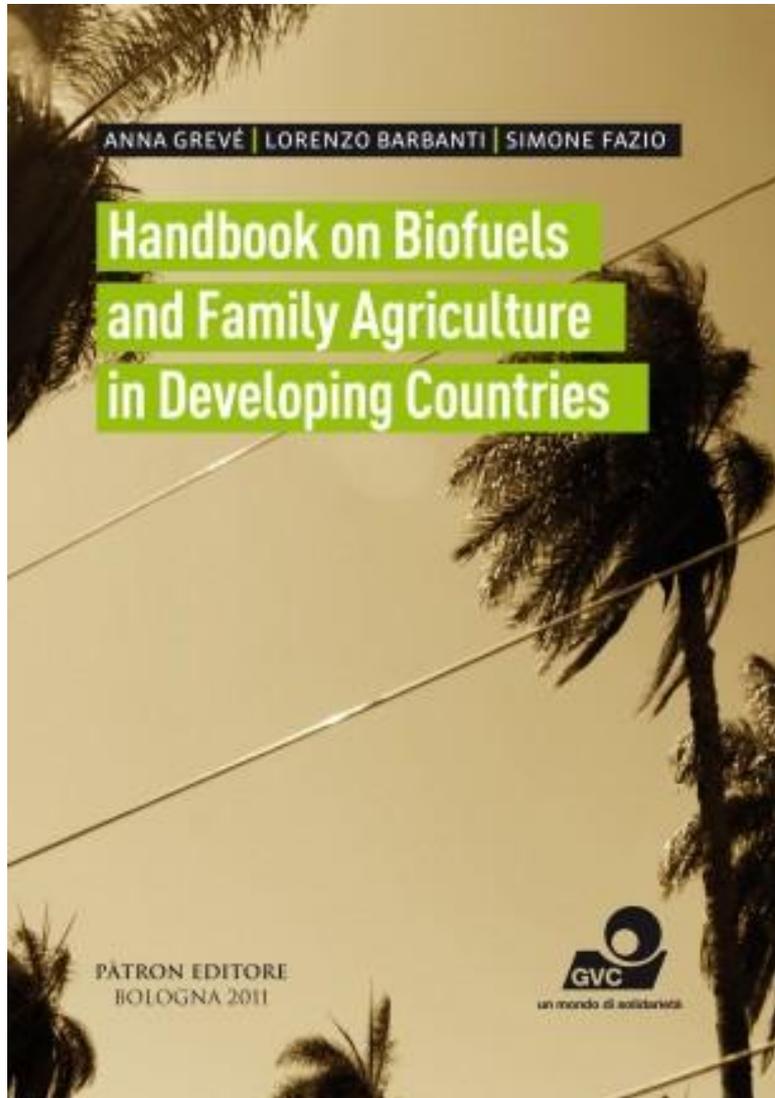
Conclusioni

- 
- L' LCA è uno strumento avanzato di comparazione fra scenari e filiere che coinvolgono la fase agricola, in grado di evidenziare i cambiamenti diretti sull'ambiente dovuti al mutare dell'uso del suolo. Si possono riscontrare alcuni errori e divergenze rispetto alla realtà, ma il ranking delle performance ambientali è comunque valido.
 - Per le nuove colture **devono essere considerati o almeno discussi gli scenari di ILUC** specialmente nella valutazione delle emissioni climalteranti, altrimenti il rischio di sottostima è elevato.
 - Salvo casi specifici, **gli studi LCA sulla fase agricola dovrebbero utilizzare dati medi di tecniche produttive di riferimento**, specie nelle analisi cradle-to-grave, perchè la produzione agricola risulta differenziata nelle diverse aziende anche nella medesima area geografica, e analizzare ogni singola variabile è molto difficile, a meno che il numero di aziende coinvolte nella filiera non sia esiguo.
- 

- Il calcolo di altri fattori ambientali come i flussi di C nel suolo, l'emissione di N₂O specifica, l'erosione etc. dovrebbero essere integrati negli studi LCA o trattati con appositi modelli di studio.
- L'emissione di un certo quantitativo di sostanze inquinanti (midpoint) non è sempre correlata ad un impatto ambientale di pari portata (endpoint); tuttavia l'analisi end point comporta intrinsecamente una maggiore possibilità di errore, quindi l'analisi andrebbe fatta con entrambi gli approcci.
- Le concimazioni di sintesi e le lavorazioni sono le operazioni più impattanti nei sistemi agricoli, quindi tecniche di minimum tillage e apporto di fertilizzanti organici possono sensibilmente ridurre gli impatti.

- 
- I processi agricoli possono avere una notevole rilevanza in termini di impatto nelle filiere di cui sono parte, ad esempio per i biofuels si arriva ad un'incidenza fino al 95%, quindi una corretta valutazione degli impatti di questa fase risulta fondamentale.
 - Per quanto riguarda l'emissione di gas serra, le filiere bioenergetiche sono di norma meno impattanti rispetto alle fonti fossili, anche se in alcuni casi la filiera pre-distribuzione risulta addirittura più impattante.
 - in generale le colture poliennali sono meno impattanti rispetto alle poliennali, su base ettaro, per via della minore incidenza delle lavorazioni, effettuate solo ad inizio ciclo e non tutti gli anni.

- 
- Su base energetica, o in generale sulla base della resa areica (per esempio nella comparazione di prodotti surrogabili anche della filiera food), le colture più produttive presentano le migliori performance ambientali.
 - Nelle colture da granella per biocarburanti l'uso a scopo energetico della biomassa residua (paglie, stocchi, etc) incrementa le performance ambientali, rendendole comparabili a quelle delle lignocellulosiche. Anche per le colture tradizionali l'utilizzo dei sottoprodotti genera un credito ambientale che ne diminuisce l'impatto per unità di prodotto.
 - Si può quindi affermare che massimizzando l'utilizzo delle porzioni di biomassa epigea delle colture si minimizzano gli impatti ambientali ad esse associati.



Grevè A., Barbanti L., Fazio S.

Handbook on biofuels and family agriculture in developing countries

Pàtron Ed. – Bologna 2011.

<http://ed.gvc-italia.org/Documenti>

Grazie per l'attenzione

S. Fazio, L. Barbanti

sim.faz@libero.it

lorenzo.barbanti@unibo.it

DiSTA (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali)
Università di Bologna