



Mitigazione del Cambiamento Climatico: il Contributo di Agricoltura e Foreste

Roma 7 Ottobre 2022

Integrazione delle Rinnovabili nelle Imprese Agricole



Università di Foggia

Prof. Massimo Monteleone

Sistemi d'Integrazione

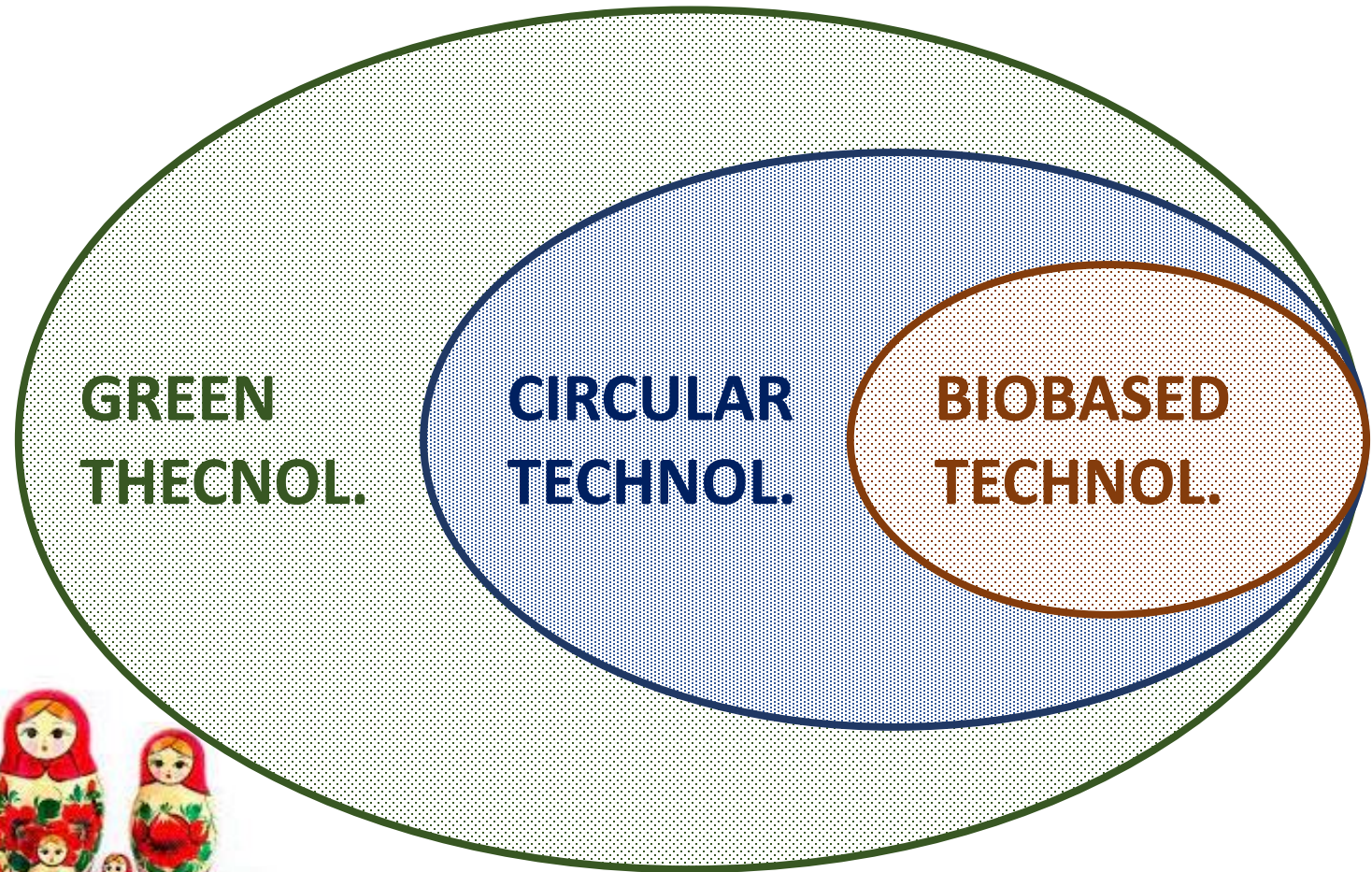
- **Integrazione tecnologica**
- **Integrazione nello spazio e nel tempo**
- **Integrazione fra le materie prime organiche («biomass feedstock»)**
- **Integrazione delle strategie di mitigazione climatica**
- **Integrazione lungo la filiera agroalimentare**
- **Circolarità della filiera agroalimentare**

Integrazione degli Ambiti Tecnologici

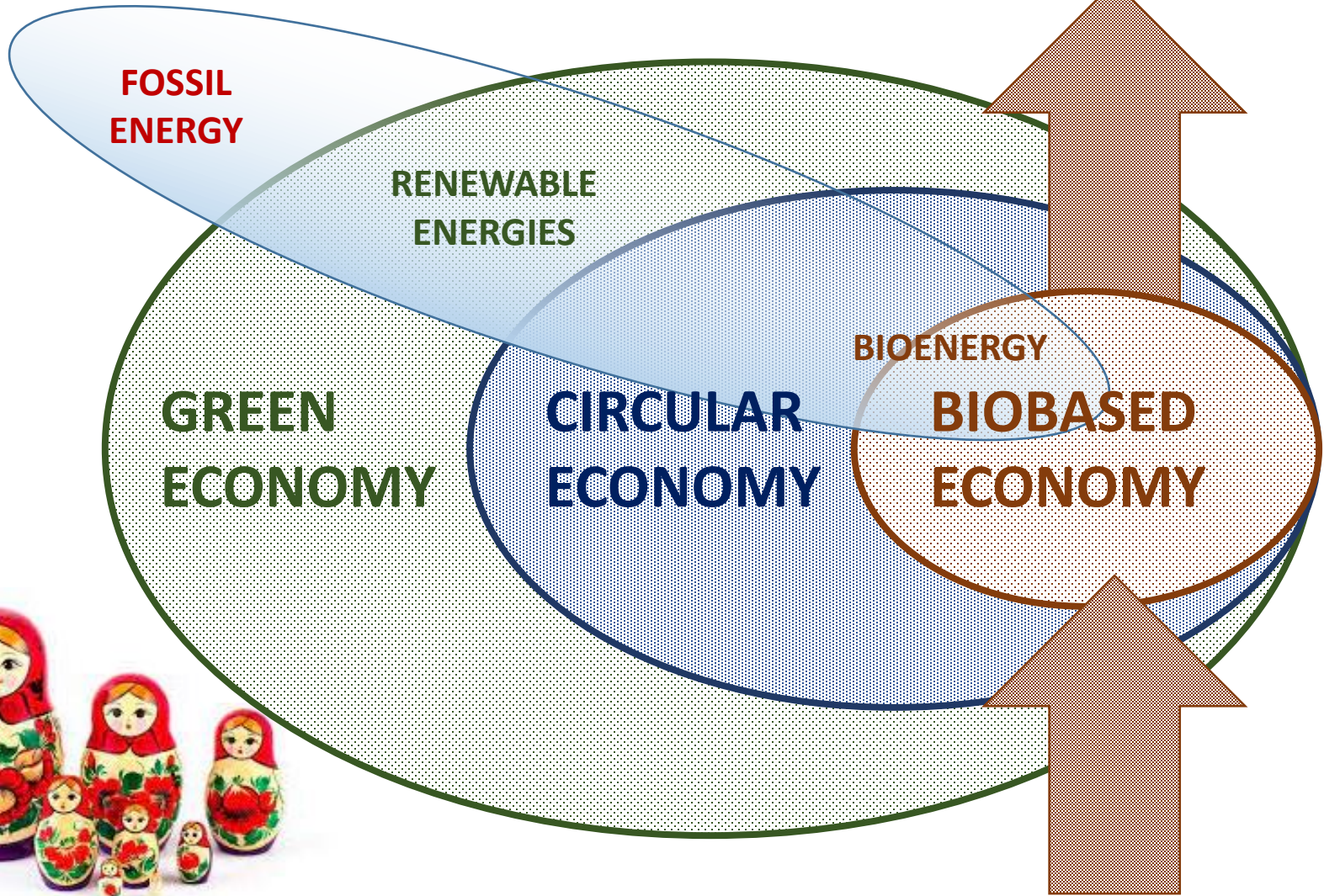


- **GREEN TECHNOLOGIES:** Sistemi produttivi ad elevato valore ambientale, compatibili, a risparmio d'energia, ad elevata efficienza d'uso delle risorse
- **CIRCULAR TECHNOLOGIES:** Sistemi produttivi «green» in grado di operare un sistematico riutilizzo, riciclo e recupero delle materie prime
- **BIOBASED TECHNOLOGIES:** Sistemi produttivi «green» e «circolari» contraddistinti dall'uso esclusivo di materie prime di origine organica estratte secondo criteri di rigorosa sostenibilità ecologica

Integrazione degli Ambiti Tecnologici



**SECONDARY SECTOR
(INDUSTRY & MANUFACTURING)**

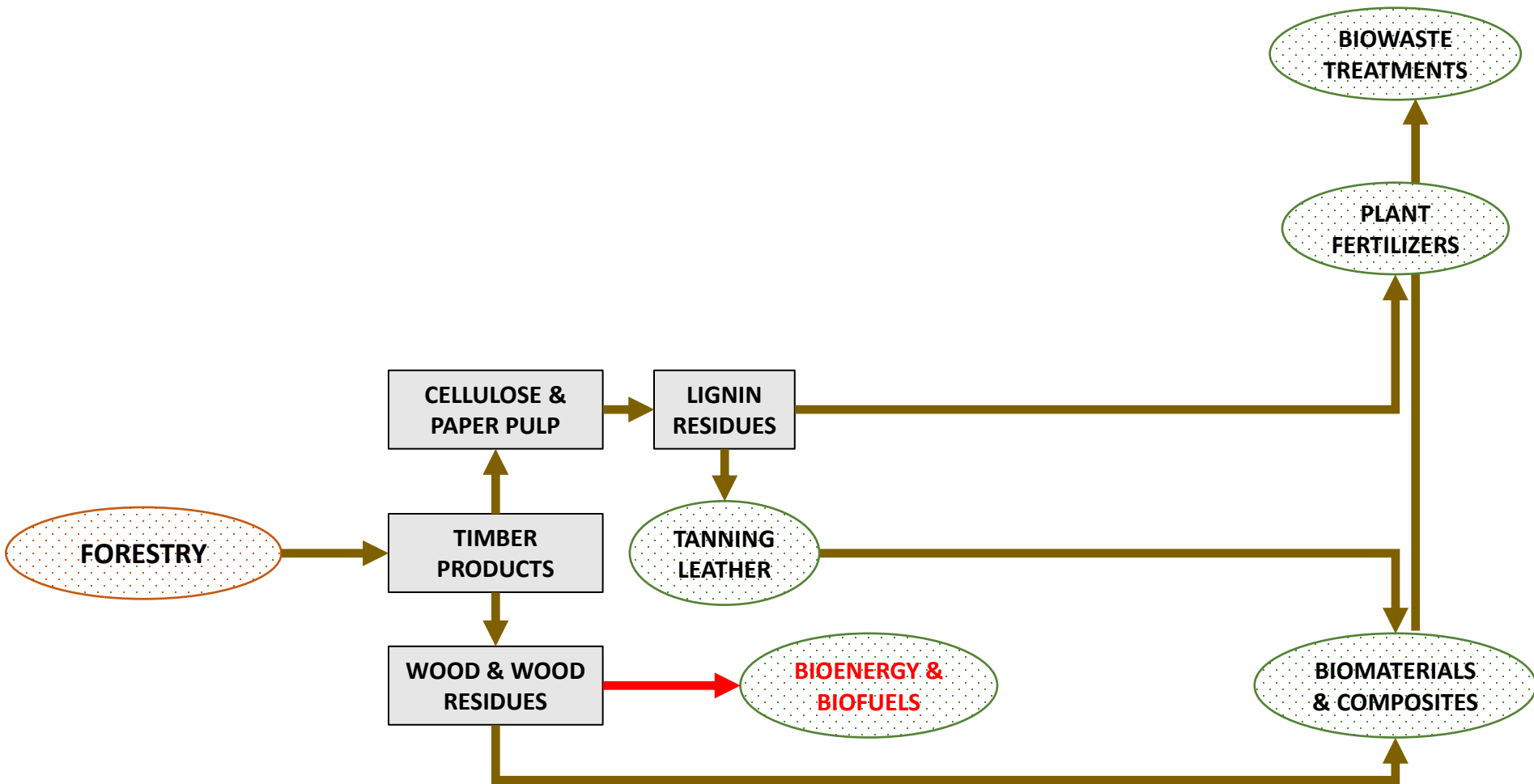


**PRIMARY SECTOR
(AGRICULTURE, FORESTRY & FISHERY)**

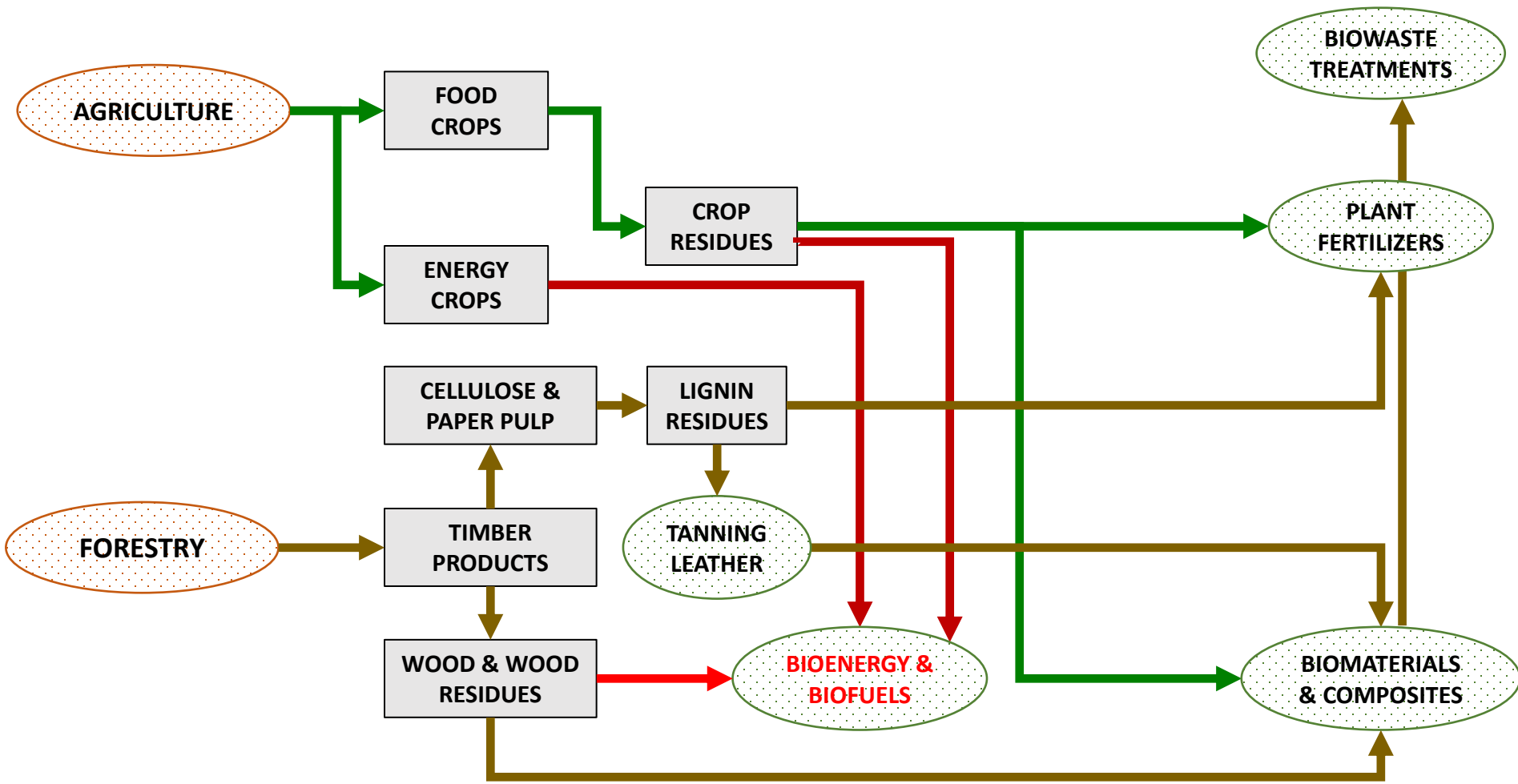


**Integrazione degli
Ambiti Tecnologici**

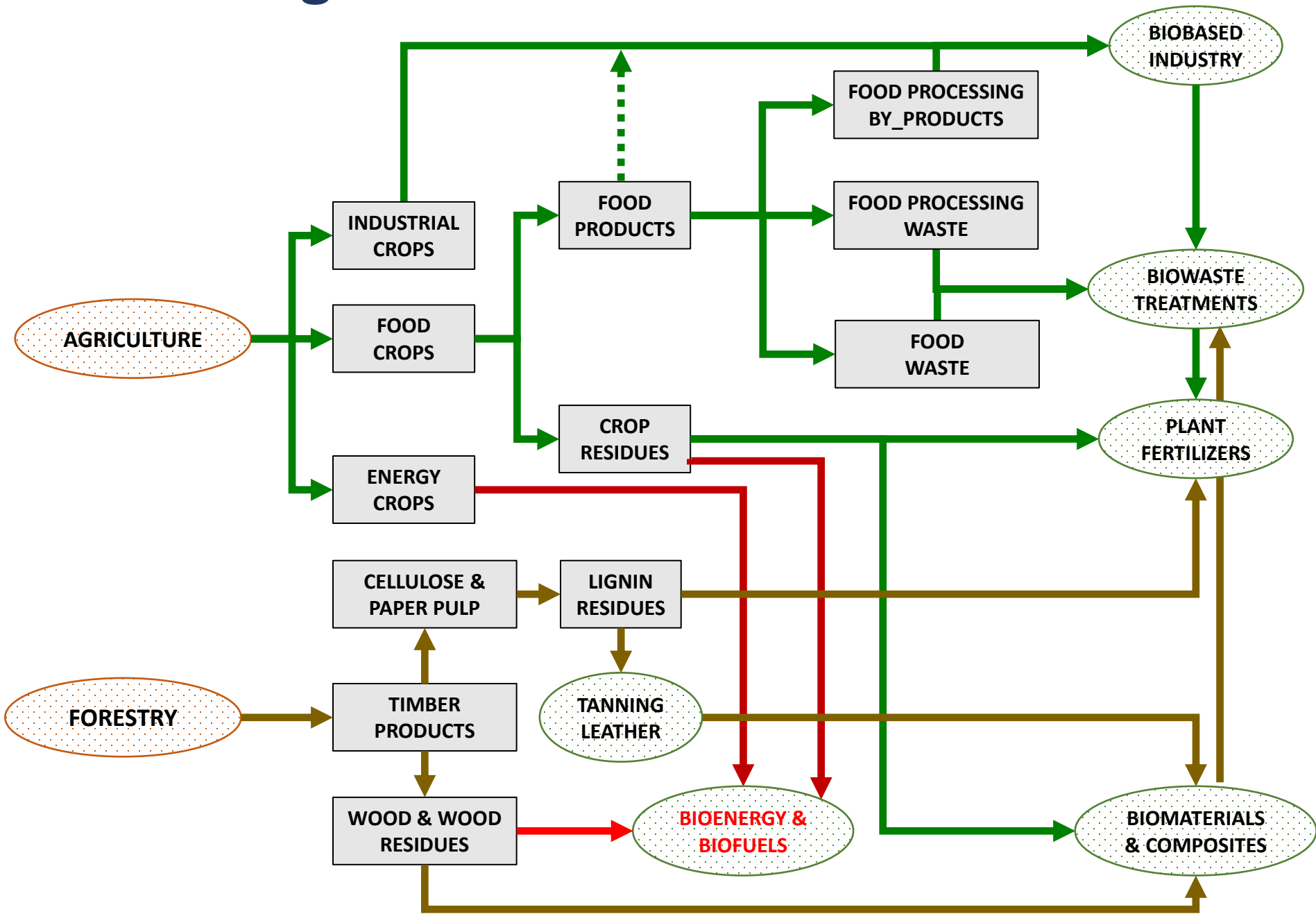
Integrazione «biomass feedstock»

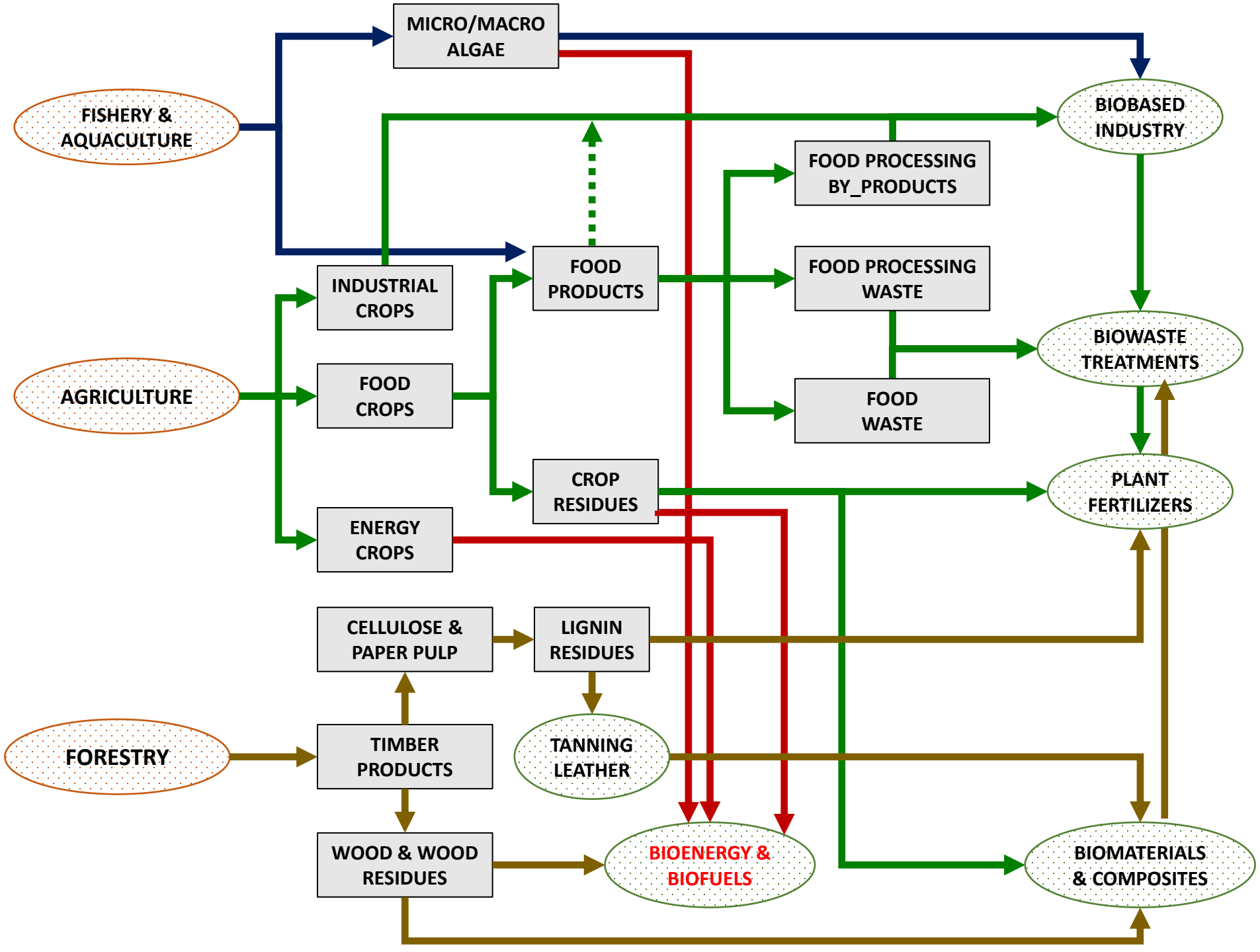


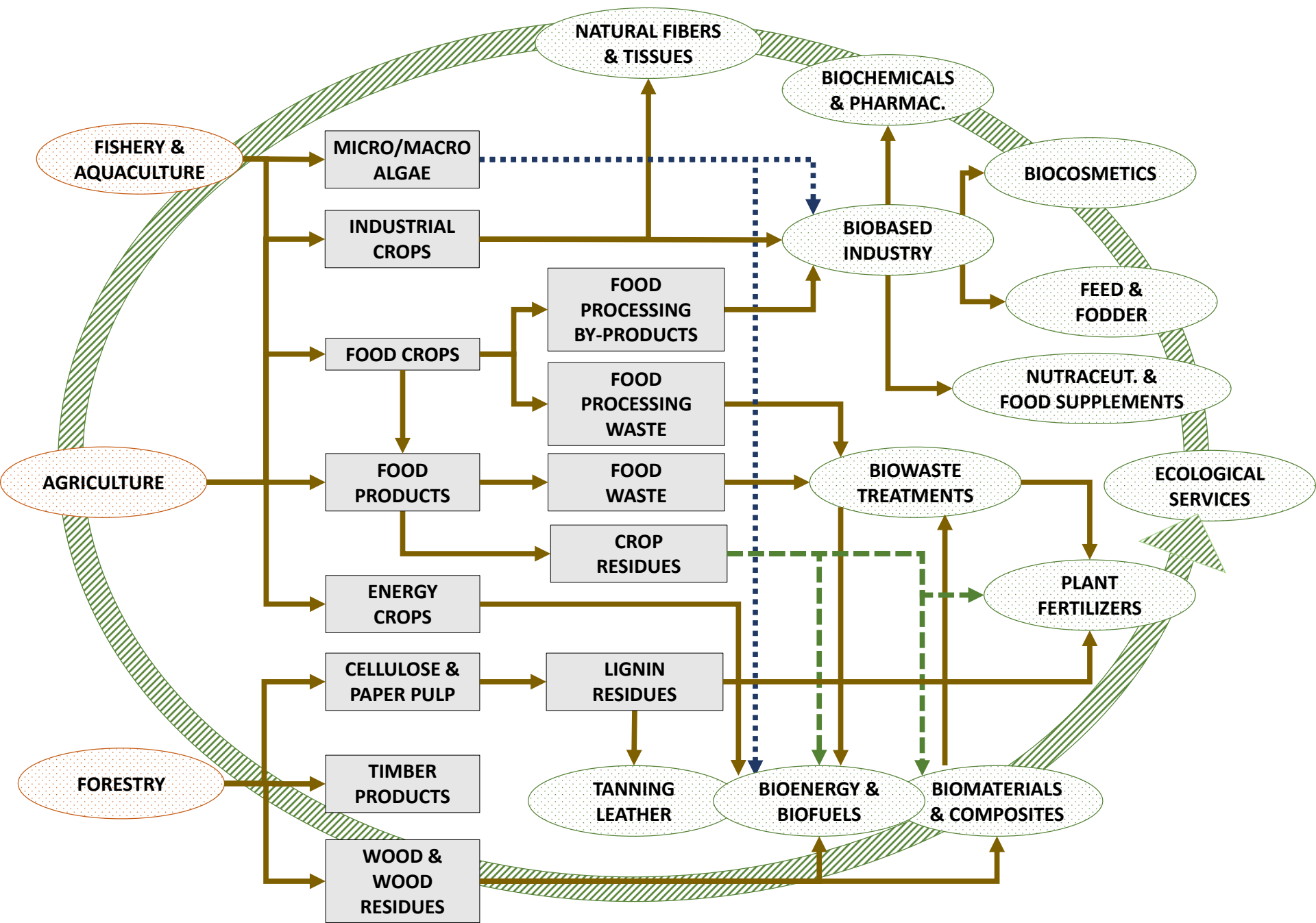
Integrazione «biomass feedstock»



Integrazione «biomass feedstock»







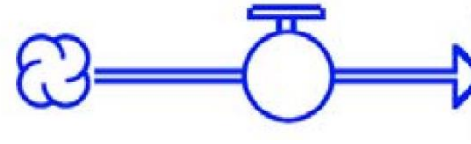
Integrazione nel Tempo e nello Spazio



STOCK

Le **fonti fossili** sono uno «**stock**» per cui la loro disponibilità è concentrata:

- non hanno limitazioni temporali
- Hanno stringenti limitazioni spaziali
- sono più idonee alla realizzazione di impianti ad elevata potenza
- il sistema energetico gerarchicamente strutturato

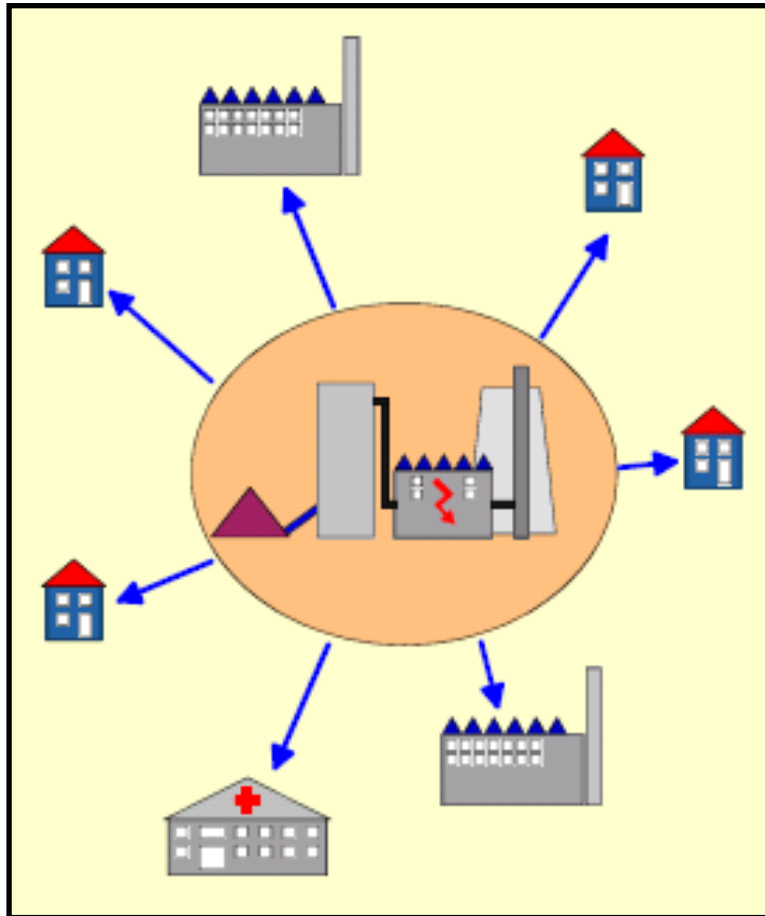


FLOW

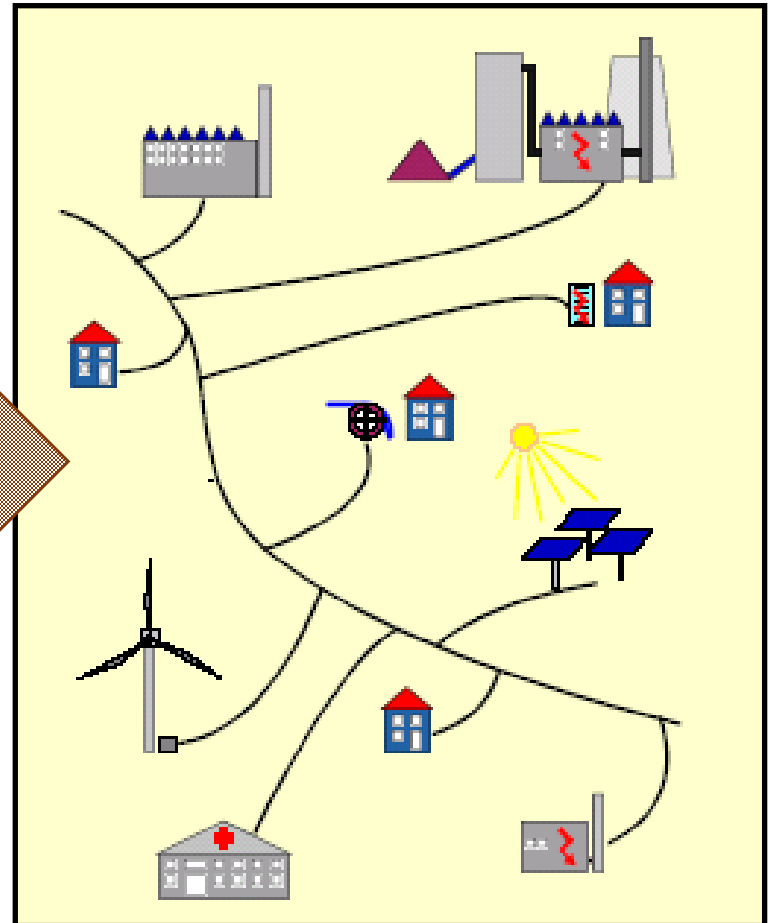
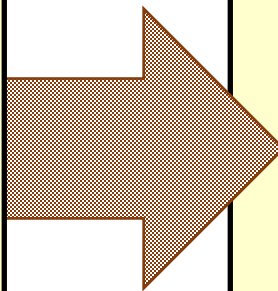
Le **fonti rinnovabili** sono un «**flusso**» per cui la loro disponibilità è distribuita:

- hanno stringenti limitazioni temporali
- non hanno limitazioni spaziali
- sono più idonee alla realizzazione di impianti a potenza limitata ma delocalizzati
- il sistema energetico ha struttura reticolare

Quale modello energetico ?

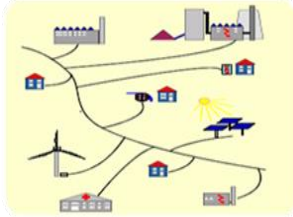


**MODELLO
CENTRALIZZATO**



**MODELLO
DISTRIBUITO**

Quale modello energetico ?



MODELLO DISTRIBUITO

Generazione distribuita dell'energia

Disponibilità locale delle biomasse

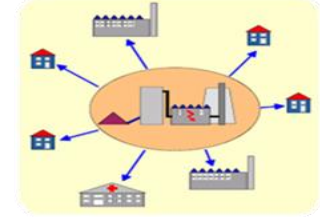
Filiera corta

Prevalente autoconsumo energetico

Possibile inclusione produttiva di aree agricole estensive e marginali

Ruolo prevalente del settore agricolo

MODELLO CENTRALIZ.



Generazione centralizzata dell'energia

Acquisizione extra-territoriale delle biomasse

Filiera lunga

Prevalente vendita energetica

Prevalente attivazione di sistemi produttivi agricoli a carattere intensivo

Ruolo prevalente del settore industriale



few large power plants

production



many small power producers

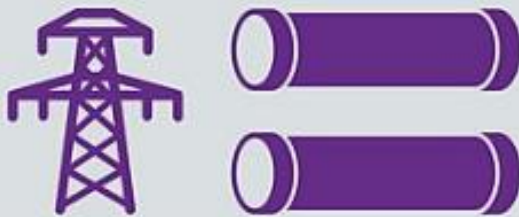


centralized, mostly national

market



decentralized, ignoring boundaries



based on large power lines and pipelines

transmission



including small-scale transmission and regional supply compensation



top to bottom

distribution



both directions



passive, only paying

consumer

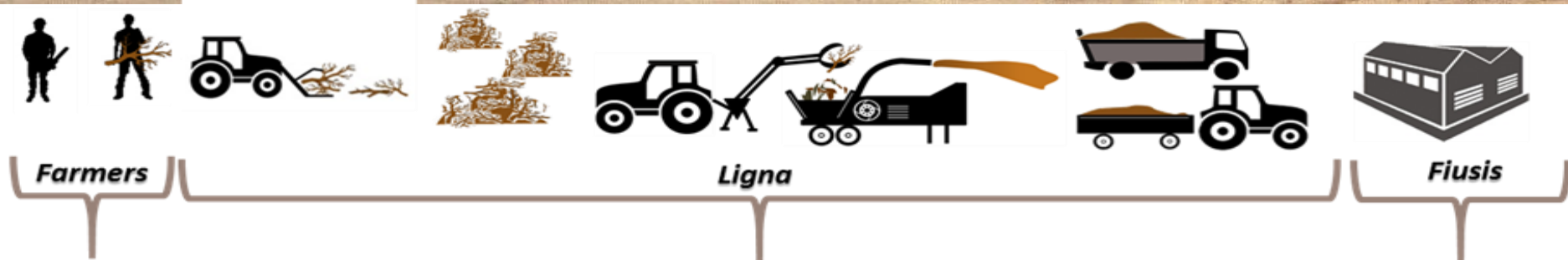


active, participating in the system

La **centrale Enel Federico II** è un impianto termoelettrico a carbone con una potenza di **2.640 MW**. Si trova presso la località Cerano (BR). E' la seconda più grande centrale termoelettrica d'Italia ed una delle più grandi d'Europa.



L'impianto a biomasse (alimentato a paglie e cippato di patate) a **S. Agata di Puglia (FG)** ha una potenza elettrica di **25 MW (termica 80 MW) II**. E' tra gli impianti a biomassa più grandi d'Europa (circa 150 kt di paglie = 100 kha).



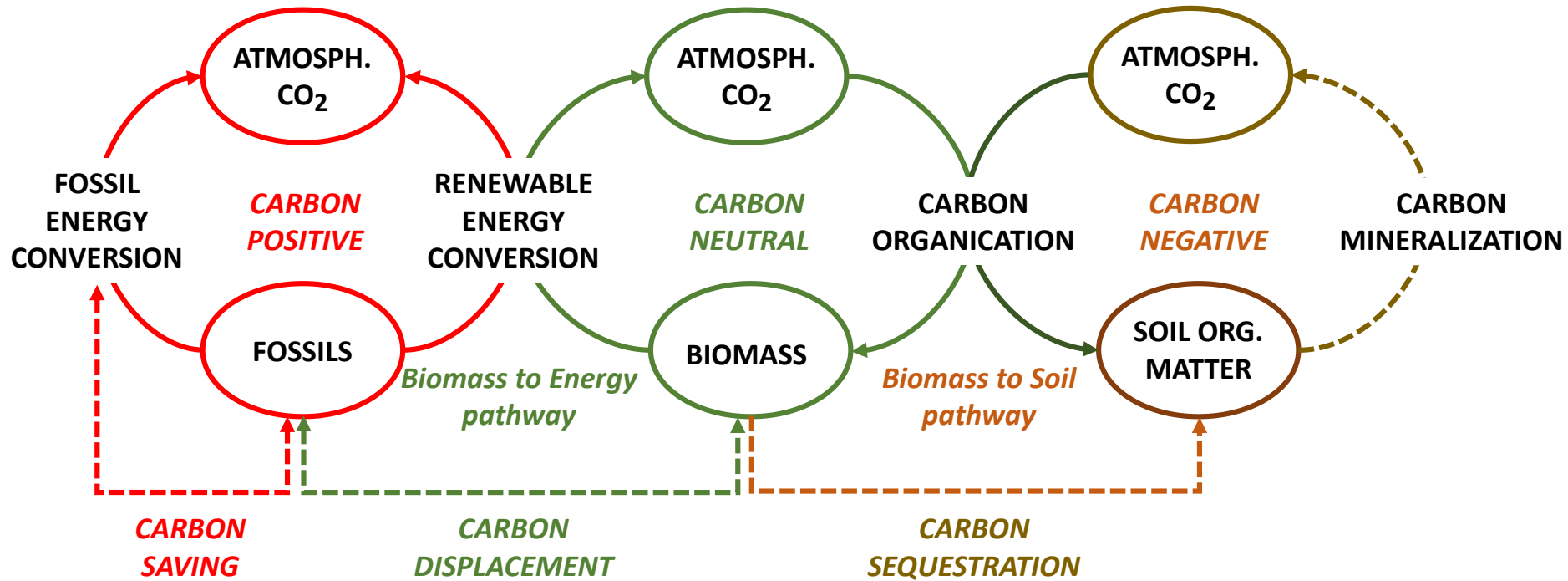
L'impianto termoelettrico **FIUSIS** alimentato solo da cippato di potature di olivo, a **Calimera (LE)** ha una potenza elettrica di **1,0 MW**, opera in cogenerazione. Inoltre, **pellet da legno d'olivo** e compostaggio delle ceneri



Integrazione delle Strategie di Mitigazione

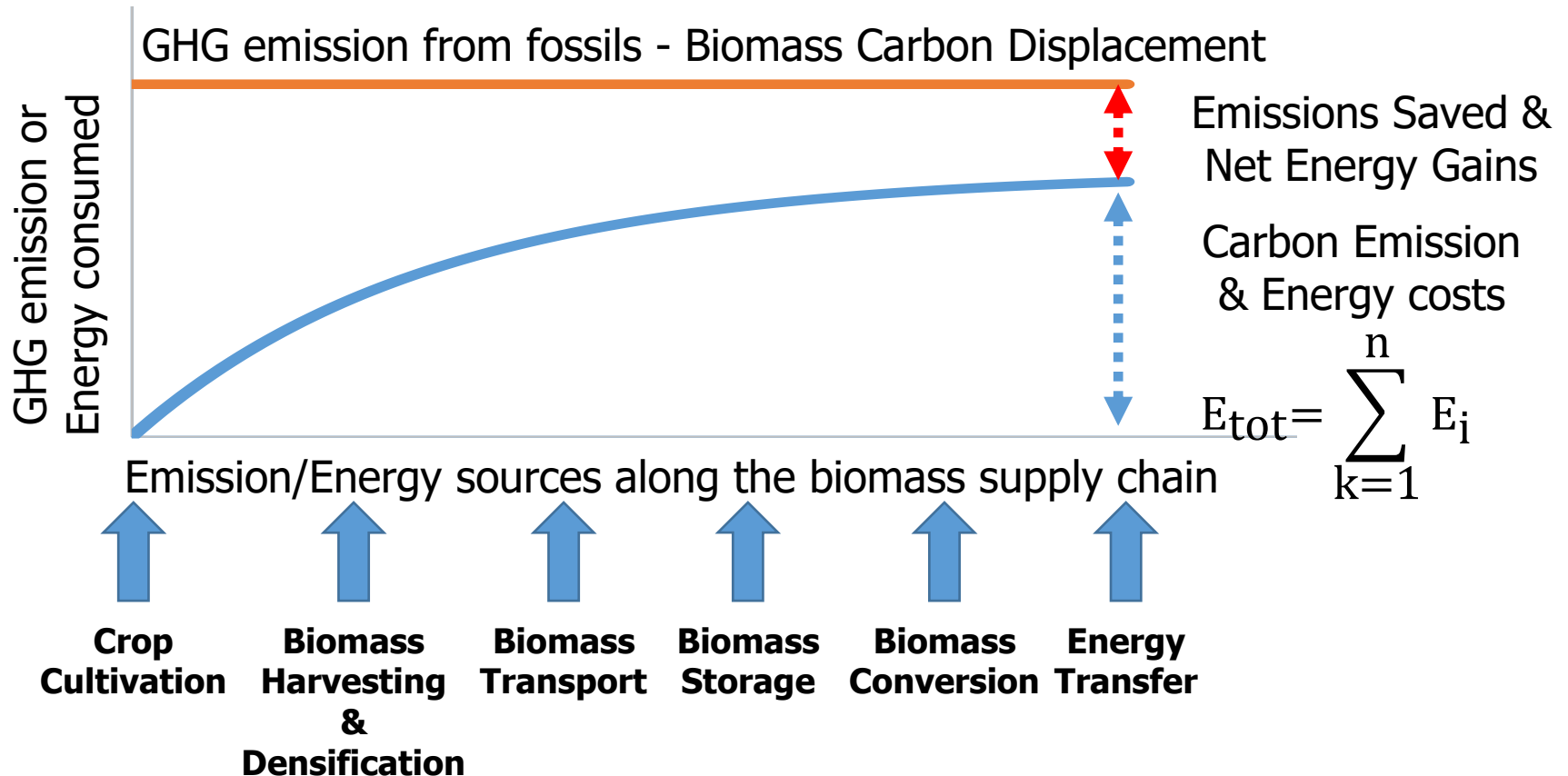
- **«Carbon Saving»**
risparmio energetico e taglio delle emissioni
- **«Carbon Capture & Storage»**
cattura e sequestro del carbonio – nature based solutions
- **«Carbon Displacement»**
sostituzione delle fonti fossili d'energia con fonti rinnovabili

Trade-off: Biomass to Energy vs. Biomass to Soil



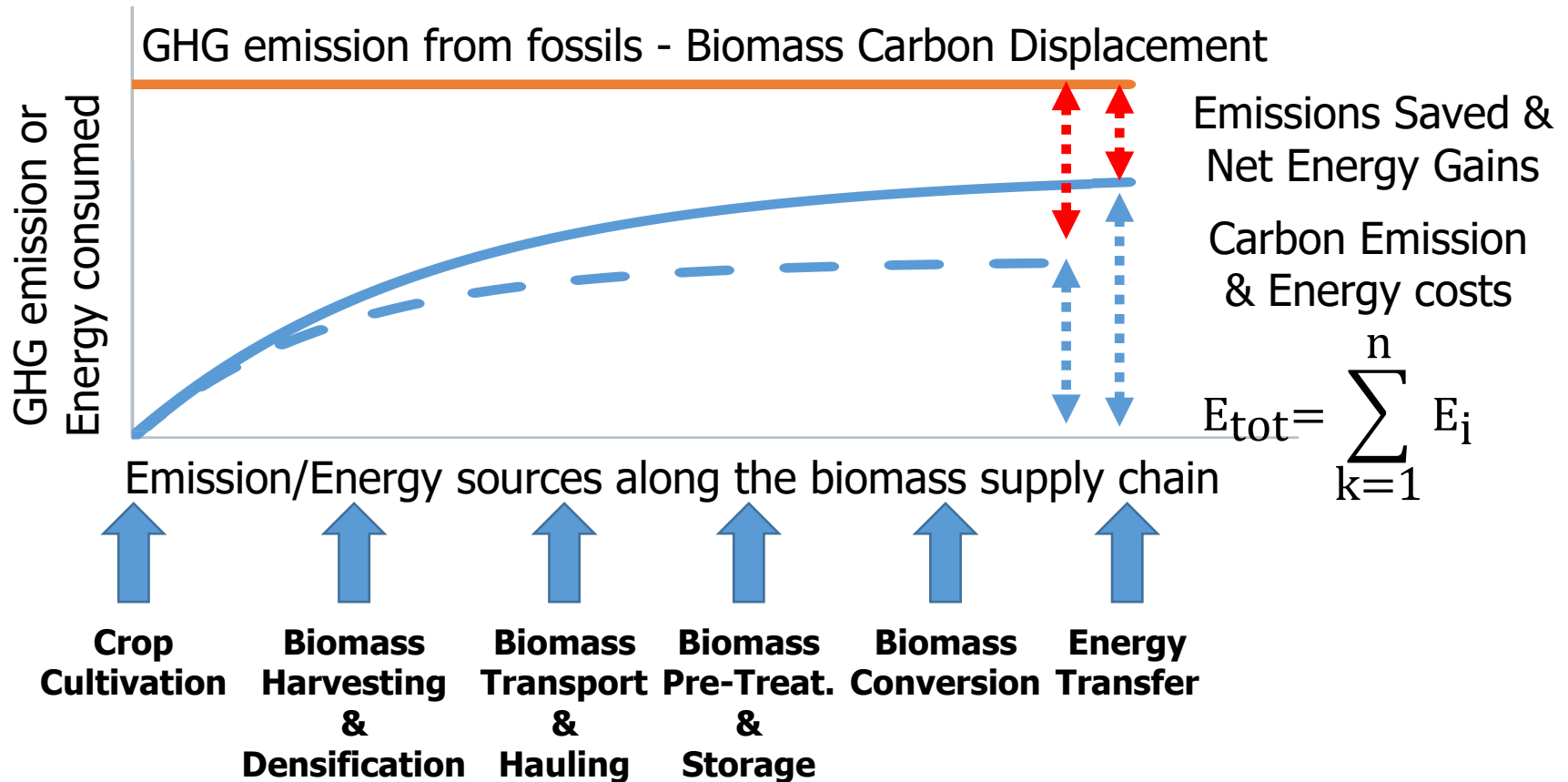
Essential criteria to be met:

- Approaching Carbon “neutrality” as much as possible
- Gaining “maximized” net energy and “minimized” GHG emissions
- Achieving a real replacement of fossil fuels



Essential criteria to be met:

- Approaching Carbon “neutrality” as much as possible
- Gaining “maximized” net energy and “minimized” GHG emissions
- Achieving an effective fossil displacement (no energy increase)



Bilancio emissivo di una filiera bioenergetica

$$E_{BIL} = E_{CREDITO} - E_{DEBITO} \begin{cases} E_{CREDITO} = E_{FOS} \\ E_{DEBITO} = E_{RIN} \end{cases}$$

$$E_{RIN} = E_{COLT} + E_{RAC} + E_{TRASP} + E_{IMP}$$

$$E_{BIL} = E_{FOS} - E_{COLT} - E_{RAC} - E_{TRASP} - E_{IMP}$$

$$\frac{dE_{BIL}}{dR} = \frac{dE_{FOS}}{dR} - \frac{E_{COLT}}{dR} - \frac{E_{RAC}}{dR} - \frac{dE_{TRASP}}{dR} - \frac{dE_{IMP}}{dR} = 0$$

$$R^* = \frac{1}{2\tau} * \frac{C_U}{E_{U.TRASP}} * \left[\eta_{E.RIN} * PC * (E_{U.FOS} - E_{U.IMP}) - E_{U.RAC} - \frac{E_{U.COLT}}{Dens} \right]$$

Diagram illustrating the units for the variables in the equation for R^* :

- $\frac{1}{2\tau}$ leads to $Km/(Kg\ CO_2\text{-eq.}/ton)$, which then leads to Km .
- $\frac{C_U}{E_{U.TRASP}}$ leads to MWh/ton .
- $\eta_{E.RIN}$ (circled in red) leads to MWh/ton .
- PC (circled in red) leads to $Kg\ CO_2\text{-eq.}/MWh$.
- $(E_{U.FOS} - E_{U.IMP})$ (circled in red) leads to $Kg\ CO_2\text{-eq.}/MWh$.
- $E_{U.RAC}$ and $\frac{E_{U.COLT}}{Dens}$ (circled in red) both lead to $Kg\ CO_2\text{-eq.}/ton$.
- The final result R^* is Km .

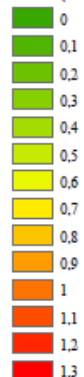
MAPPA PROVINCIA DI FOGGIA DEI RESIDUI CEREALICOLI

CARTA DELLA DENSITA' TERRITORIALE DEI RESIDUI CEREALICOLI (PAGLIE)

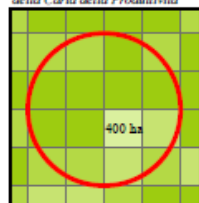
con l'integrazione dei dati ACIA2 (Caliandro et al., 2005)

Legenda

Densità (t/ha)*

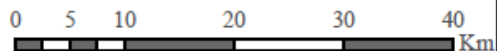


*media dei valori di densità riferiti ad un intorno di 5024 ha della Carta della Produttività

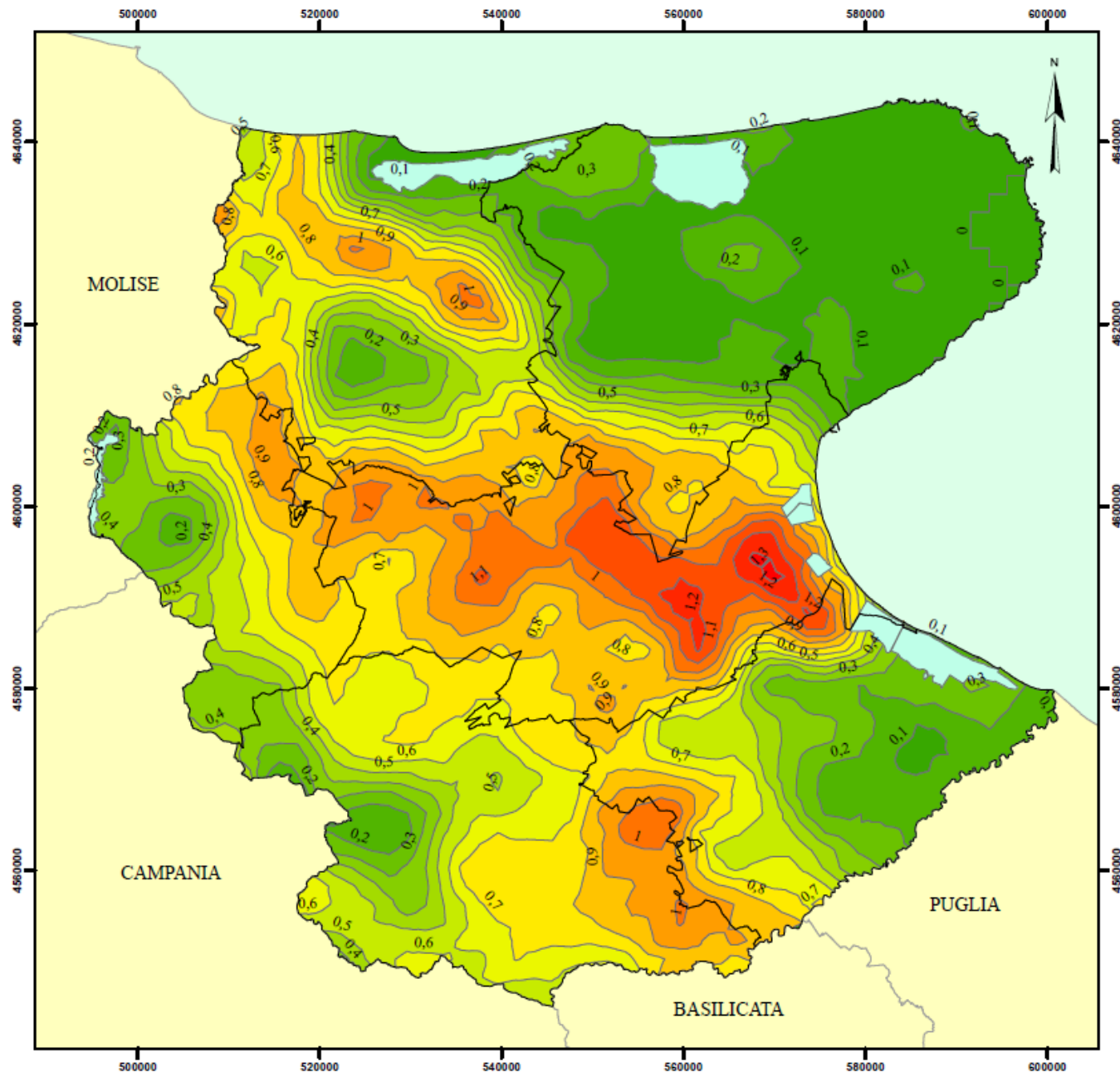


- Confini regionali
- Raggruppamenti territoriali

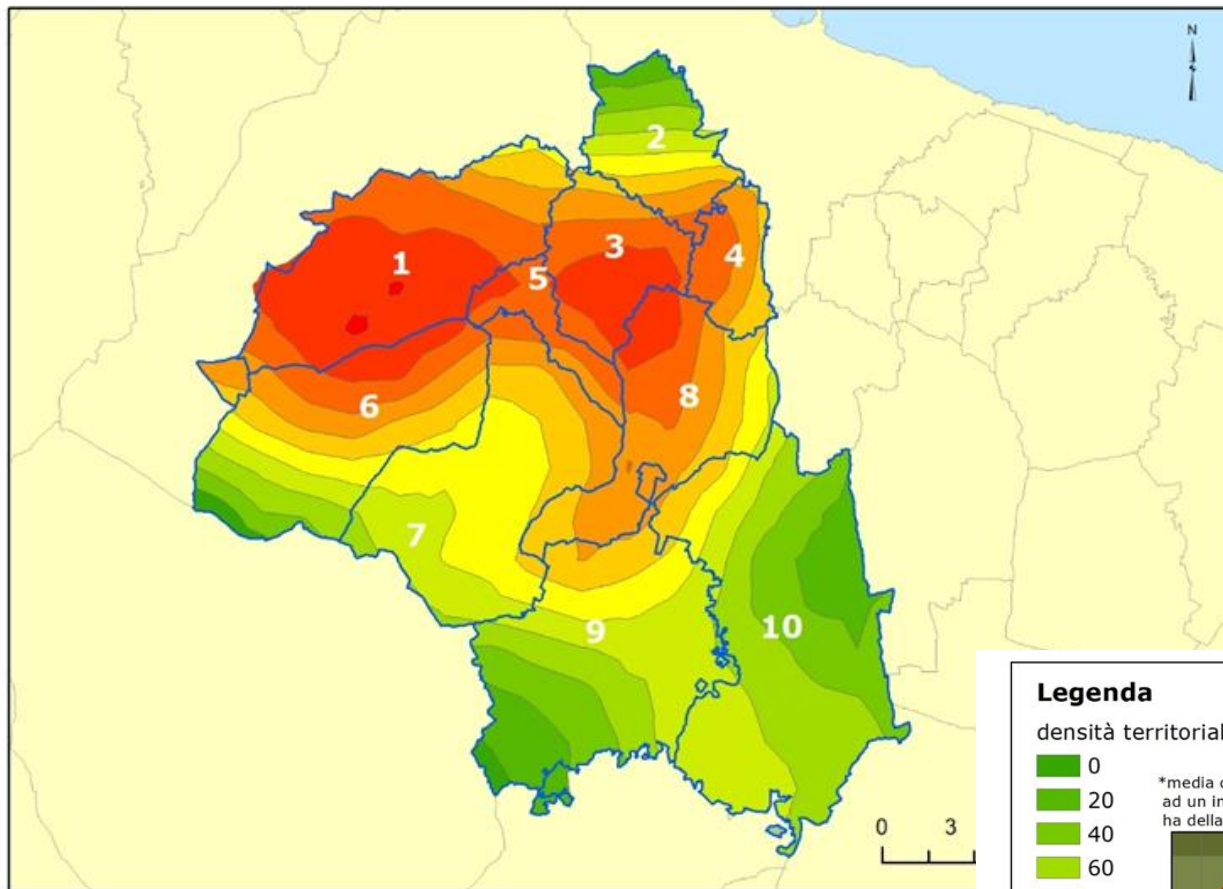
scala
1:600.000



UTM WGS84 33N

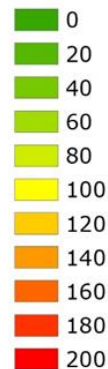


MAPPA RESIDUI POTATURA OLIVETI (OVEST BARESE)

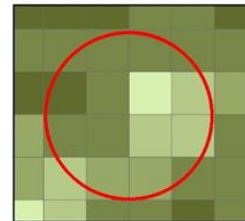


Legenda

densità territoriale t/kmq*



*media dei valori di densità riferiti ad un intorno di circa 50 kmq ha della Carta della Produttività



ELENCO COMUNI

- 1 PALO DEL COLLE
- 2 MODUGNO
- 3 BITETTO
- 4 BITRITTO
- 5 BINETTO
- 6 TORITTO
- 7 GRUMO APPULA
- 8 SANNICANDRO DI BARI
- 9 CASSANO DELLE MURGE
- 10 ACQUAVIVA DELLE FONTI

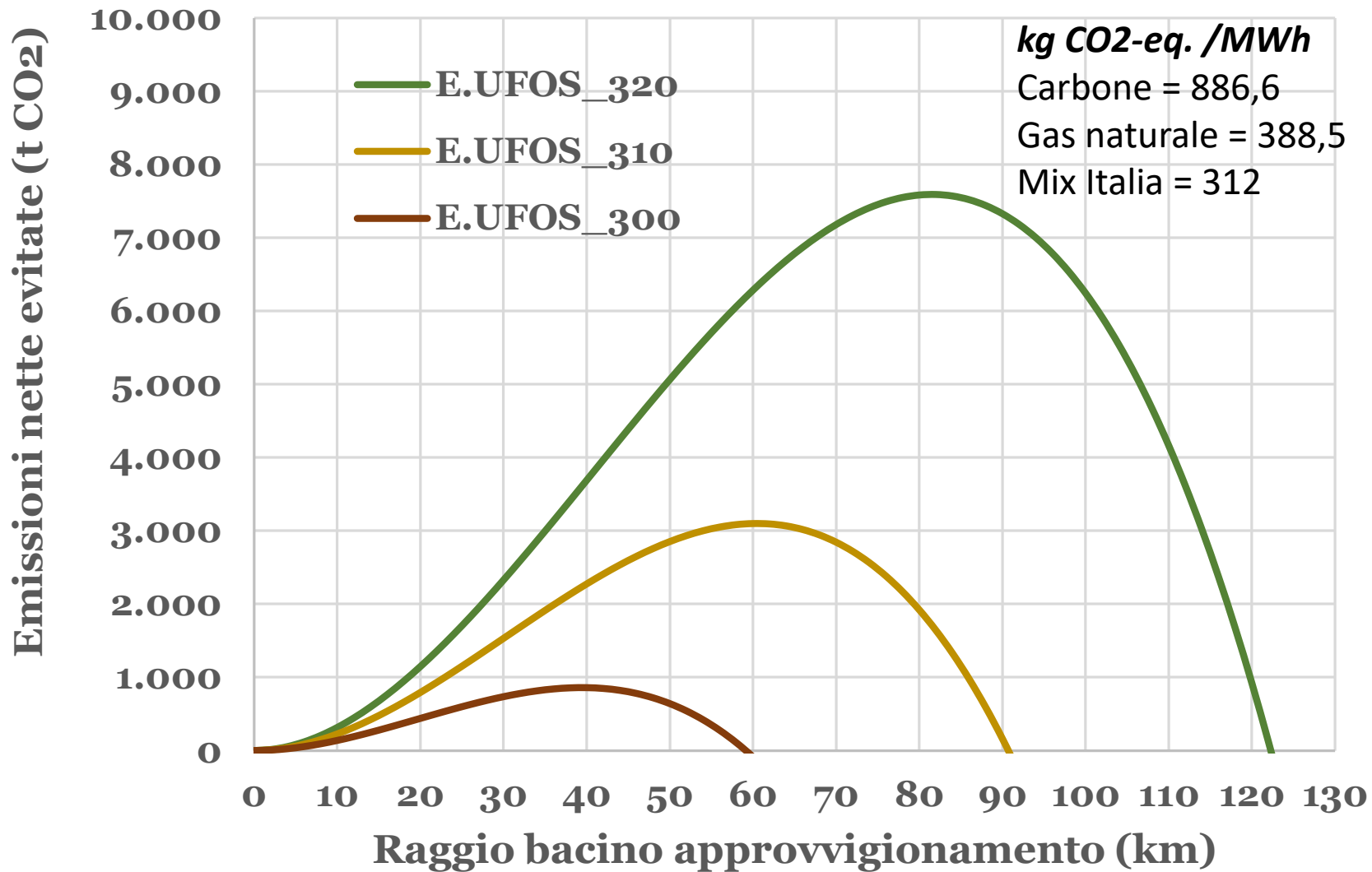


Scenari di approvvigionamento

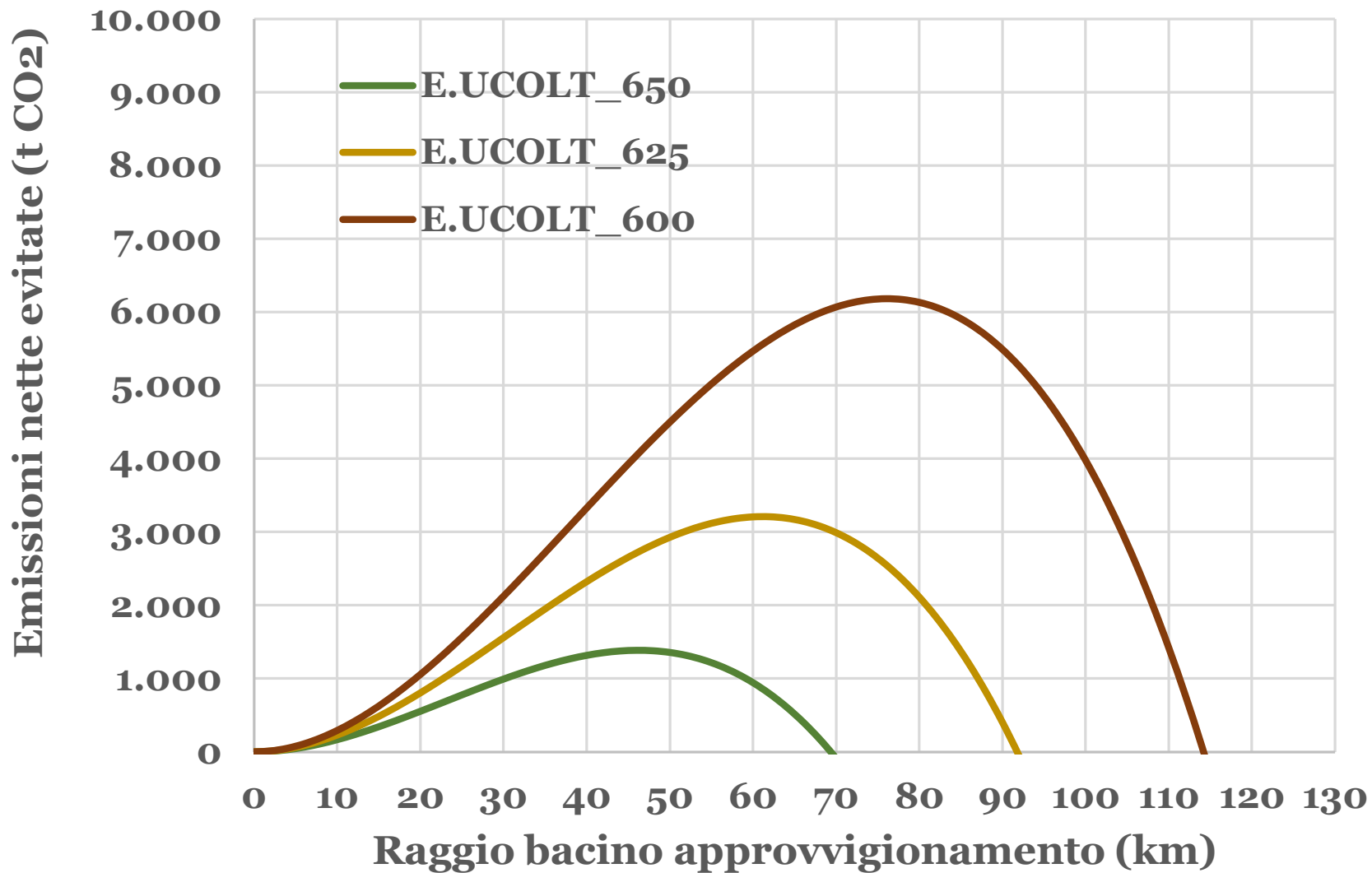
	Biomasse Peso (15% U)	Fabbisogni relativi
Coltivazione	<i>t ha⁻¹</i>	<i>%</i>
Frumento (paglie)	1,44	100,0
Triticale (erbaio)	12,00	12,4
Avvicendamento		
Frum+Frum+Frum	1,44	100,0
Frum+Frum+Tritic	4,96	29,0

**Effetto dell'inserimento di un erbaio di triticale
nell'avvicendamento culturale incentrato sulla
coltivazione del frumento**

Bilancio emissivo di una filiera bioenergetica



Bilancio emissivo di una filiera bioenergetica



Confronto fra sistemi di coltivazione incentrati sul frumento

W0

**Frumento in monosuccessione
Lavorazioni del suolo di tipo convenzionale
Interramento delle paglie dopo trinciatura**

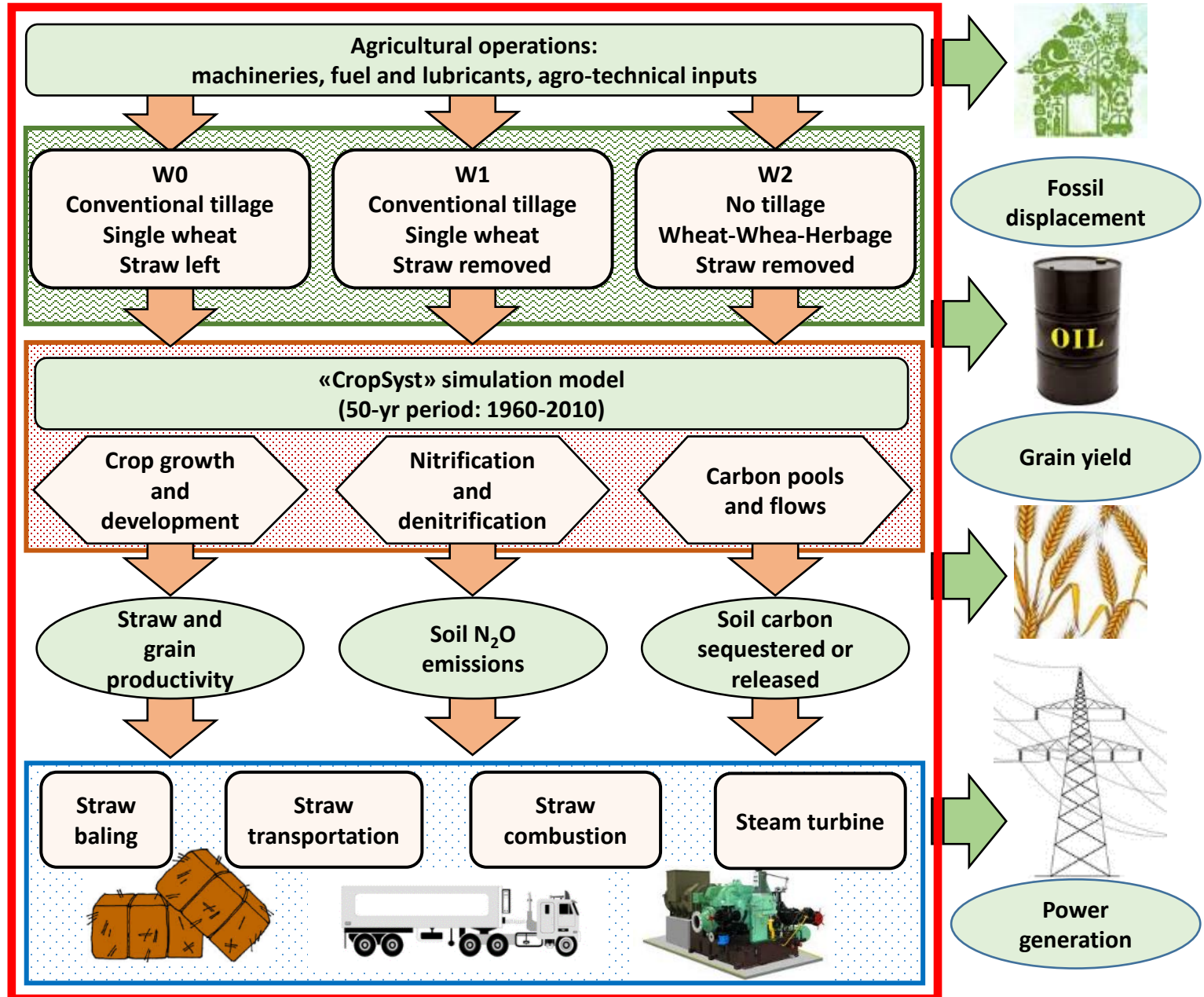
W1

**Frumento in monosuccessione
Lavorazioni del suolo di tipo convenzionale
Asportazione delle paglie (imballatura)**

W2

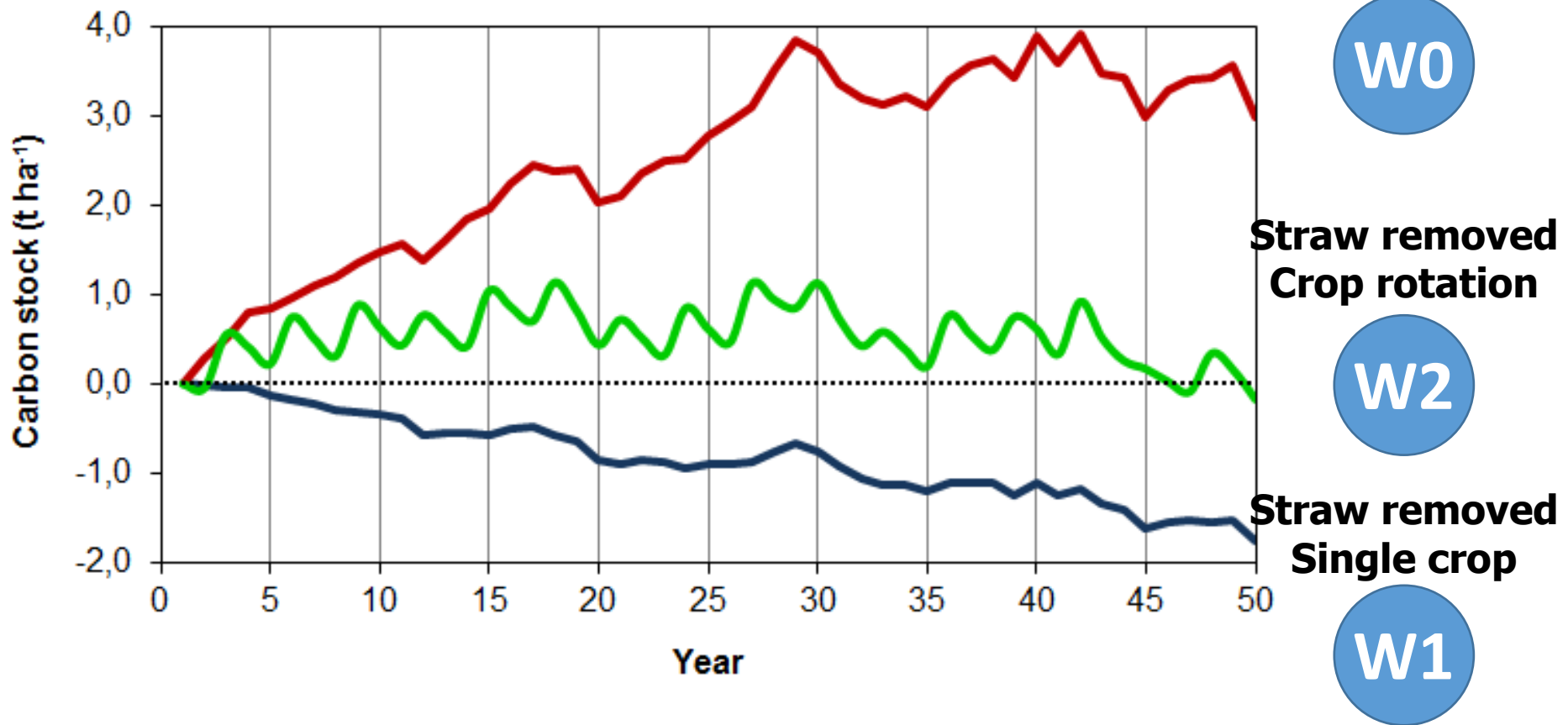
**Rotazione con inserimento “erbaio”
(triticale) un anno su due
Semina diretta
Asportazione delle paglie (imballatura)
Metà della biomassa erbaio lasciata al suolo**

Cropping Systems



Cropping Systems Simulations

Starting value of SOM: 1.2 %
A soil depth of 0.30 m was considered



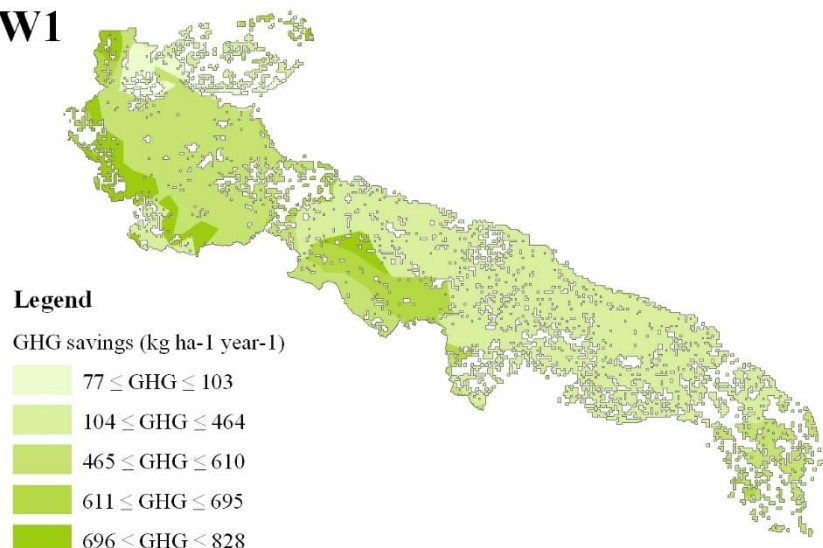
GHG Emission Balance (*kg CO₂-eq. ha⁻¹*)

	W0	W1	W2
Farm stage			
Wheat cultivation	1,378.66	1,378.66	1,185.65
<i>Delta due to the farming stage</i>	=	=	-193.01
Straw chopping	10.15	=	=
Change in soil carbon content	-374.00	154.00	-102.67
N₂O emission due to wheat cultivation	451.90	263.64	409.28
Compensation of the straw fertilizing value	=	39.67	26.45
Compensation for reduced grain in rotation	=	=	395.22
<i>Delta due to land use change</i>	88.04	457.32	728.28
Post farm stage			
Straw baling	=	17.50	35.00
Straw transportation	=	5.88	2.16
<i>Delta due to post farm stage</i>	=	23.38	37.16
GHG debts	88.04	480.70	572.42
GHG credits (Carbon displacement)	=	-787.68	-1,558.15
Total balance	88.04	-306.98	-985.73
<i>Delta with respect to W0</i>	=	-395.02	-1,073.77

-0.4 Mg ha⁻¹ -1.1 Mg ha⁻¹

GHG Emission Savings ($kg\ CO_2\text{-eq.}\ ha^{-1}$)

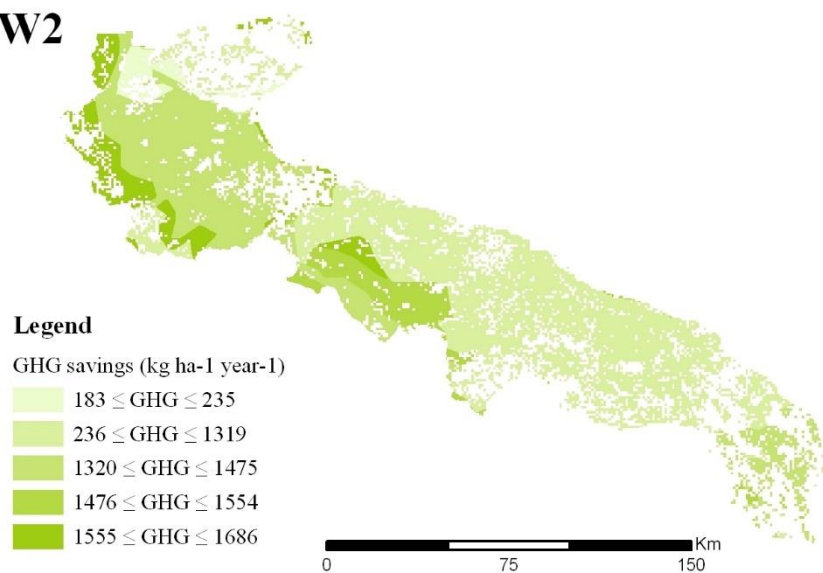
W1



Net GHG savings ($kg\ CO_2\ eq\ ha^{-1}\ y^{-1}$)

Quantile	W0	W1	W2
90%	-	690	1,579
50%	-	563	1,483
10%	-	408	1,241








W2



Net GHG savings (%)

Quantile	W0	W1	W2
90%	-	51.5	84.4
50%	-	43.0	78.8
10%	-	32.5	72.1

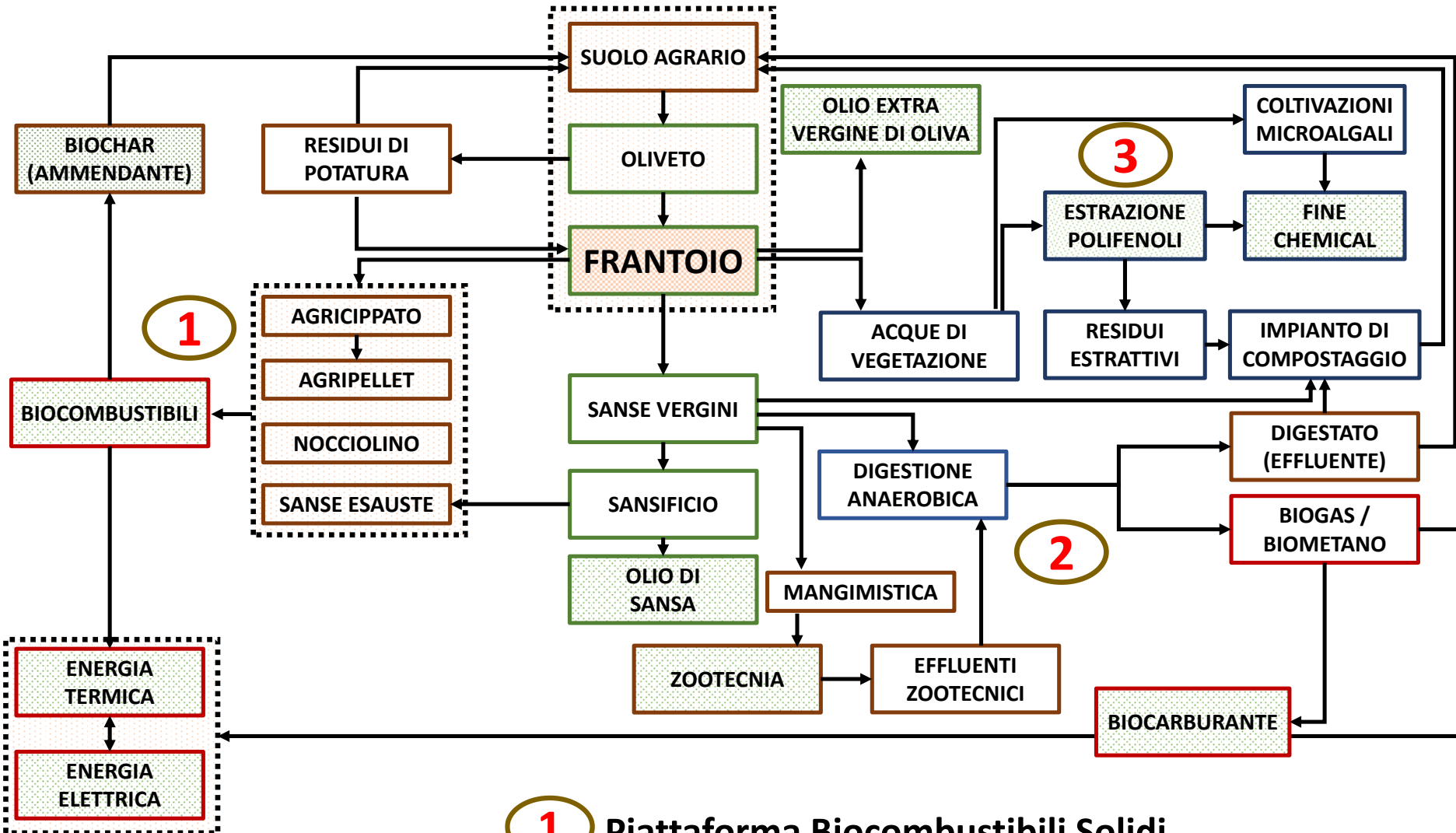
Falcia-Trincia-Caricatrici

	<p>[T1] Andanatura + raccolta eseguita mediante una trinciatrice collocata nella parte anteriore della trattore</p>
	<p>[T2] Andanatura + raccolta eseguita mediante una trinciatrice collocata nella parte posteriore della trattore</p>
	<p>[T3] Andanatura + raccolta eseguita mediante una trinciatrice collocata nella parte posteriore della trattore e munita di un cassone di raccolta e scarico</p>
	<p>[T4] Andanatura + raccolta eseguita mediante una trinciatrice collocata nella parte posteriore della trattore e munita di un big-bag di accumulo</p>
	<p>[T5] Integrazione di andanatura e raccolta in un'unica macchina; per il resto, simile a [T2]</p>
	<p>[T6] Integrazione di andanatura e raccolta in un'unica macchina; per il resto, simile a [T3]</p>
	<p>[T7] Integrazione di andanatura e raccolta in un'unica macchina; per il resto, simile a [T4]</p>



Falcia-Trincia- Caricatrici

Integrazione lungo la Filiera Agro-Alimentare



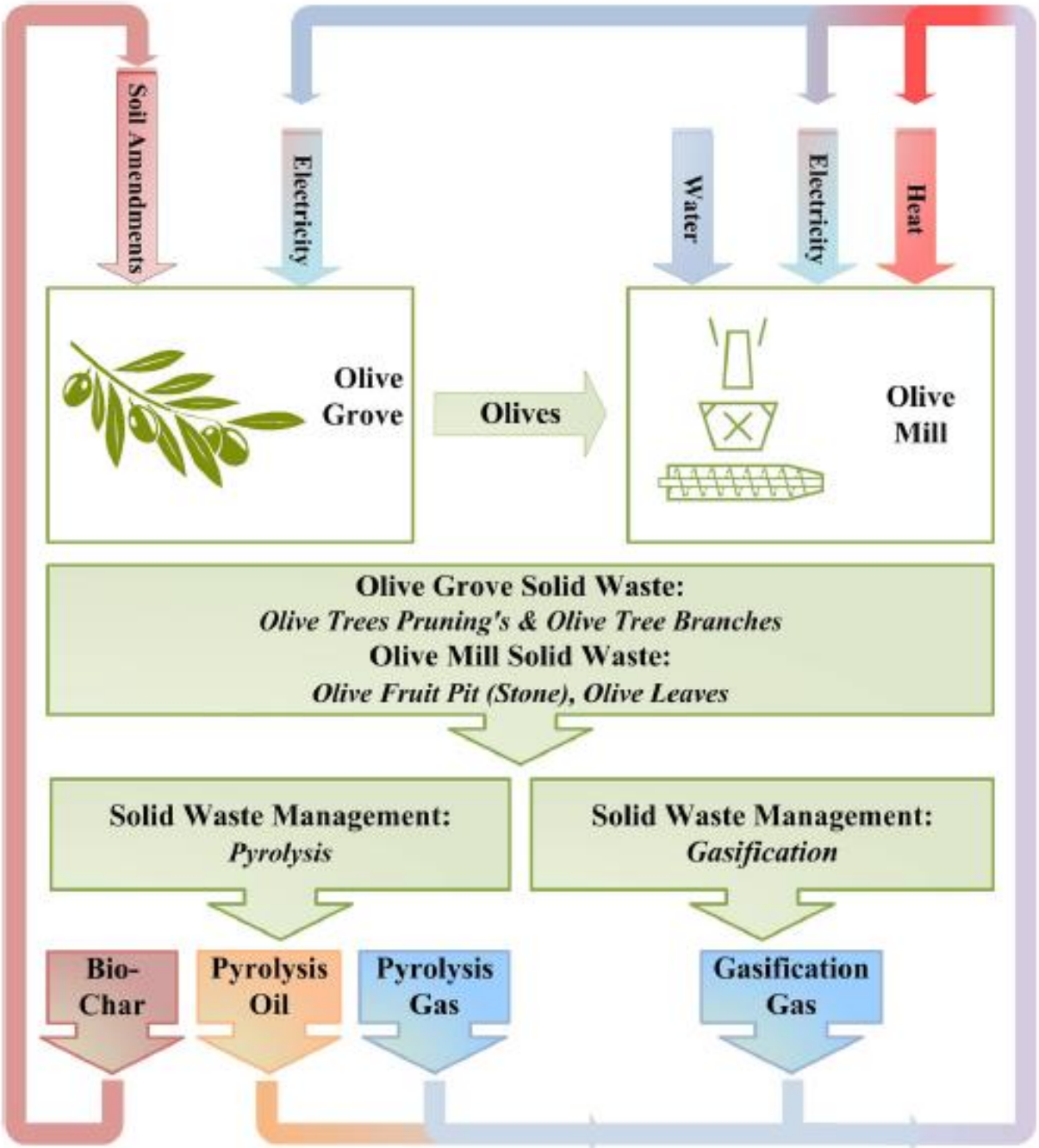
**Piattaforma
Biorefinery**

- 1** Piattaforma Biocombustibili Solidi
- 2** Piattaforma Digestione Anaerobica e Compostaggio
- 3** Piattaforma «Fine Chemicals»

Thermochemical Energy Conversion

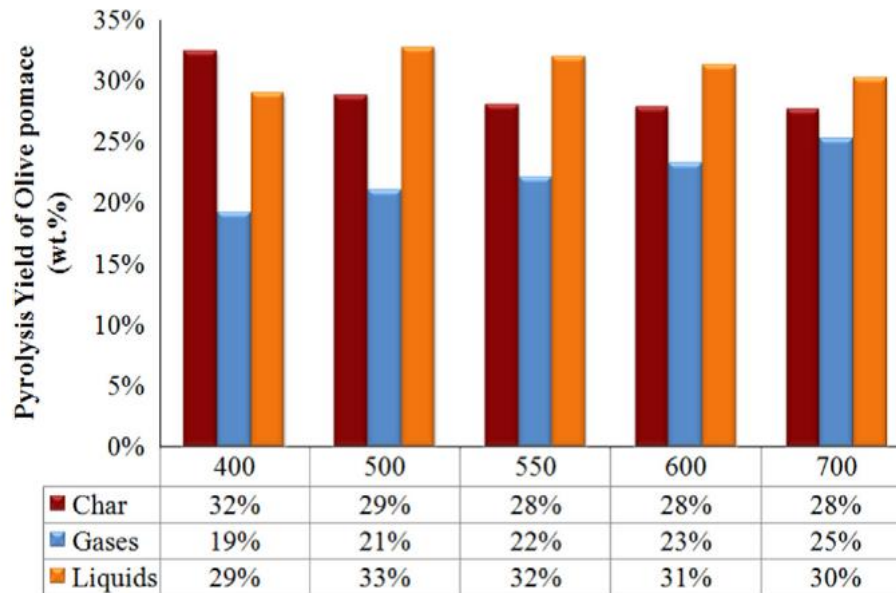
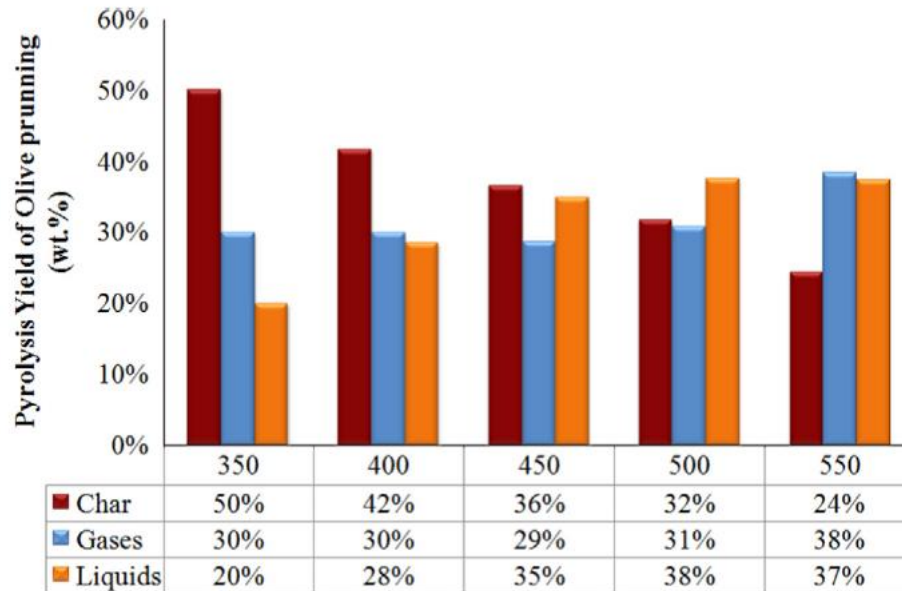
Olive pruning

Olive pomace



Thermochemical Energy Conversion

Olive
pruning



Olive
pomace

INPUT DI BIOMASSA

- Cippato di legno
- Residui organici essiccati e bricchettati (es. digestato, sansa, scarti agroindustriali, potature, ramaglie...)
- Gusci legnosi (mandorle, nocciole...)



- Vasca di carico termoventilata per stoccaggio e riduzione umidità
- Sistema automatico di alimentazione al gassificatore

GASSIFICAZIONE

Reattori downdraft a letto fisso

Attraverso reazioni termochimiche a 900 °C ed in carenza di ossigeno la biomassa solida viene trasformata in BioSyngas combustibile e BioChar.



SYNGAS CALDO 600 °C

Composizione media:

- CO 19/22%
- H₂ 15/18%
- CH₄ 1/4%
- CO₂ 9/12%
- N₂ 49/53%

BIOCHAR

Estrazione automatica

- Circa 5% della biomassa introdotta viene trasformata in BioChar di alta qualità ad elevato contenuto di Carbonio (circa 70%)
- Il BioChar rappresenta la quota di CO₂ catturata e rimossa dal ciclo atmosferico
- È un potente ammendante naturale e mezzo filtrante per terreni ed acque contaminate, nonché additivo per compost



COGENERAZIONE

Genset doppio o singolo + recupero termico



- Energia elettrica trifase
- Acqua calda (80/85°C)
- Energia termica recuperata da motore e fumi

RAFFREDDAMENTO E FILTRAGGIO

Rimozione polveri e condensati attraverso:

- Ciclone
- Scambiatori di calore
- Filtri a biomassa
- Scrubber





BOOSTING RURAL BIOECONOMY
NETWORKS FOLLOWING
MULTI-ACTOR APPROACHES



PELLETS OF ALFALFA

Alfalfa incorporates high-quality protein, minerals, vitamins and fiber into animal feed.



PELLETS OF FESTUCA

Our hay has a low lignin content that favors high digestibility and better use.



PELLETS OF AVENA

Oat hay pellets provide high quality fiber as our crops are mown before harvesting.



PELLETS OF PAJA

We produce 16 mm straw and short fiber wheat, barley and rye pellets for bedding, animal feed and biofuel.

Pellettatrice mobile



- Pellettatrice che opera direttamente in campo in un solo passaggio
- Utilizzabile in modalità mobile, oppure stazionaria
- Densità elevata - 600-700 kg/m³ di massa sterica dei pellet
- Produttività di circa 5000 kg/ora



Mitigazione del Cambiamento Climatico: il Contributo di Agricoltura e Foreste

Roma 7 Ottobre 2022

Integrazione delle Rinnovabili
nelle Imprese Agricole



GRAZIE

Università di Foggia

Prof. Massimo Monteleone

QUALE MODELLO ENERGETICO ?

- **Efficienza logistica ed energetica:**
 - ❖ **Bacini di raccolta e di utilizzazione strettamente associati;**
 - ❖ **Abbattimento dei costi di trasporto della materia prima e minore incidenza dei consumi energetici**
 - ❖ **Distretti agro-energetici ottimizzati nella loro estensione e specializzazione produttiva**
 - ❖ **Massima valorizzazione delle produzioni agricole del territorio**

QUALE MODELLO ENERGETICO ?

- **Favorire lo sviluppo locale auto-propulsivo:**
 - ❖ **Filiere agro-energetiche a scala territoriale in grado di favorire l'aggregazione e l'integrazione delle imprese**
 - ❖ **Intese di filiera e stipula di contratti**
 - ❖ **Accettabilità sociale e coinvolgimento partecipativo**
- **Sostenibilità: Porre attenzione alle problematiche ambientali (inquinamento), alla tutela del territorio (dissesto idrogeologico), alla salvaguardia della biodiversità**

QUALE MODELLO ENERGETICO ?

- **Crescita economica: Aumentare le possibilità di incrementare i margini di redditività delle aziende evitando la compressione dei prezzi della materia prima da parte dei grandi collettori**
- **Sviluppo imprenditoriale: Stimolare l'associazionismo fra le imprese, esperienze cooperativistiche ed accordi di filiera**
- **Sviluppo sociale: maggiore accettabilità sociale e coinvolgimento partecipativo**

QUALE MODELLO ENERGETICO ?

- **Per i biocarburanti liquidi (biodiesel e bioetanolo) si richiede un progetto agro-industriale di ampia scala ed una complessa organizzazione di mercato**
- **La produzione e vendita di elettricità dalle biomasse ligno-cellulosiche rappresenta una scelta a carattere più strettamente locale coinvolgendo aziende organizzate in filiera corta**
- **Contesti ambientali differenti: aree ad agricoltura intensiva vs. aree ad agricoltura intensiva**

QUALE MODELLO ENERGETICO ?

- Centrali di grande taglia (potenza > 20 MWe) di tipo non cogenerativo pervengono ad una efficienza limitata (25-30%), necessitano di ampi bacini e determinano una notevole incidenza dei costi di trasporto della biomassa
- Centrali cogenerative di piccola (< 1 MW) e media taglia (< 10 MW), secondo una concezione territorialmente distribuita, valorizzano anche l'energia termica pervenendo ad un'efficienza dell'80% (30% elettrico e 50% termico); possibilità di operare il teleriscaldamento con minori perdite di trasf.

Energy Cultivation Inputs

	"Conventional Tillage"		"Conservation Tillage"	
	Energy Inputs (MJ ha ⁻¹)	Partitioning (%)	Energy Inputs (MJ ha ⁻¹)	Partitioning (%)
Tractors & Machinery	453.97	3.10	230.15	1.89
Fertilizers	7,672.27	52.48	7,672.27	63.00
Seeds & Pesticides	1,580.14	10.81	1,761.97	14.47
Diesel & Lubricants	4,914.29	33.61	2,513.25	20.64
Total	14,620.68	100.00	12,177.65	100.00

14.6 GJ ha⁻¹

12.2 GJ ha⁻¹

GHG Emissions

	"Conventional Tillage"		"Conservation Tillage"	
	Energy Inputs (Kg CO ₂ ha ⁻¹)	Partitioning (%)	Energy Inputs (Kg CO ₂ ha ⁻¹)	Partitioning (%)
Fertilizers	850.65	61.70	850.65	71.75
Seeds & Pesticides	102.35	7.42	117.30	9.89
Diesel & Lubricants	425.67	30.88	217.70	18.36
Total	1,378.66	100.00	1,185.65	100.00

1.4 Mg ha⁻¹

1.2 Mg ha⁻¹

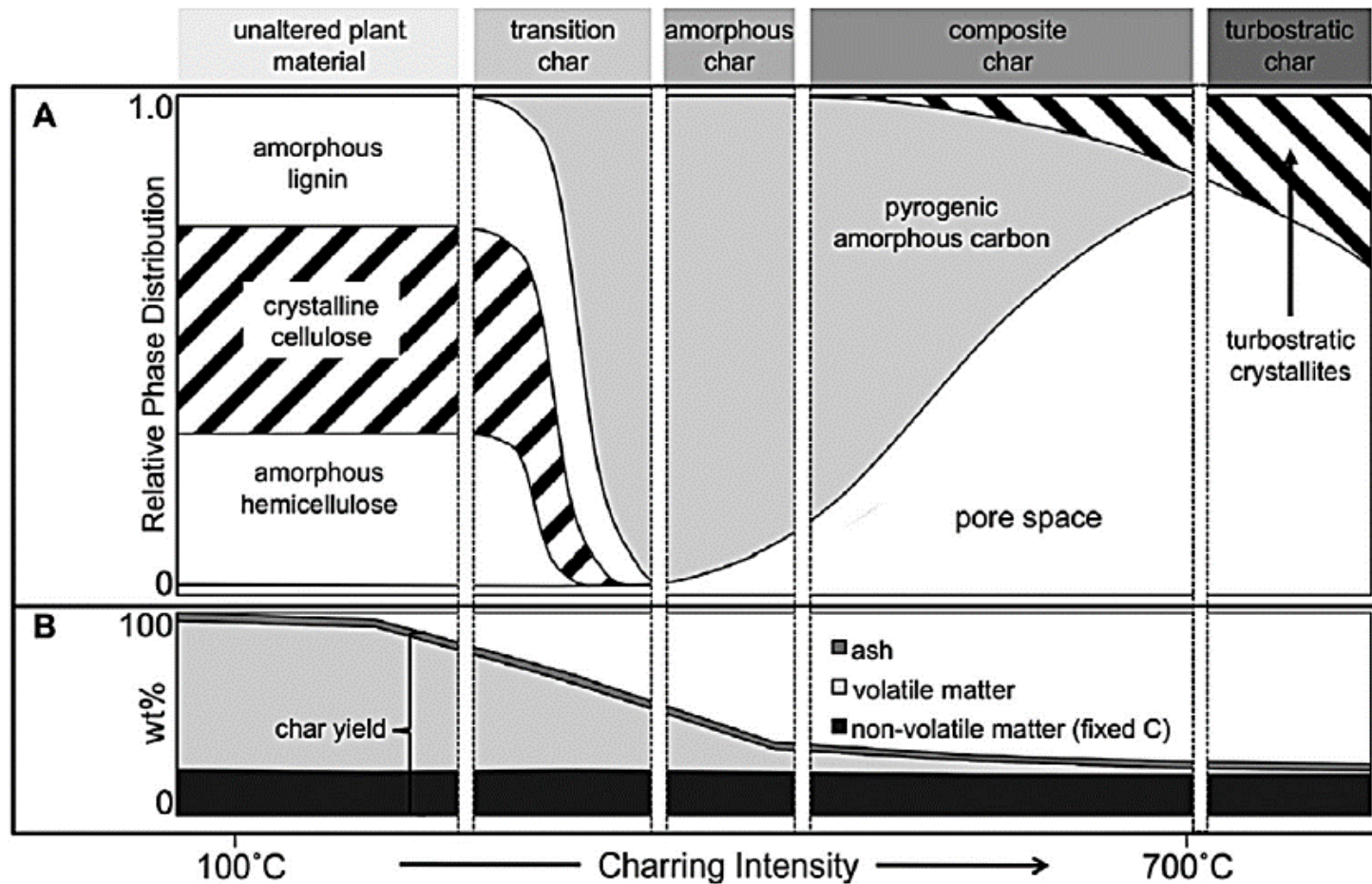
Energy Cultivation Balance (MJ ha⁻¹)

	W0	W1	W2
Farm stage			
Wheat cultivation	14,620.68	14,620.68	12,177.65
<i>Delta due to the farming stage</i>	=	=	-2,568.20
Straw chopping	125.17	=	=
Compensation of the straw fertilizing value	=	383.69	255.79
Compensation for reduced grain yield	=	=	4,059.22
<i>Delta due to land use change</i>	125.17	383.69	4,315.01
Post farm stage			
Straw baling	=	200.16	400.31
Straw transportation	=	67.92	49.16
<i>Delta due to post farm stage</i>		468.23	449.47
Energy debts	125.17	526.59	2,196.28
Energy credits		-6,033.31	-11,934.75
Total balance	125.170	-5,506.72	-9,738.47
<i>Delta with respect to W0</i>		-5,631.89	-9,863.64

-5.6 GJ ha⁻¹

-9.9 GJ ha⁻¹

Il processo pirolitico e la produzione del char



$$\text{Riduzione Emissioni GHG (\%)} = \frac{\text{GHG}_{\text{EF}} - \text{GHG}_{\text{ER}}}{\text{GHG}_{\text{EF}}}$$