

Italia 2030

**La Chimica Verde italiana:
il ponte verso il futuro della bioeconomia
alla luce del Green New Deal Europeo**



Sommario

Abstract	4
1. Introduzione (3352/3500)	5
2. La situazione attuale (16657/17500)	6
3 I trend di medio-lungo termine (17275/21000)	13
4. Le sfide per il rilancio del Paese (17296/21000).....	18
4.1 I rischi e le opportunità per lo sviluppo del Paese	18
4.2 Il settore della chimica verde in Italia come motore dell'economia circolare	19
4.3 La visione sistemica a livello nazionale per aumentare la competitività dei prodotti biobased e il potenziamento della simbiosi industriale	20
4.5 Sfruttare le eccellenze nazionali del settore Chimica Verde per migliorare il posizionamento nazionale a livello Europeo	22
4.6 L'efficienza nello sfruttamento delle risorse e le potenzialità di sviluppo di consorzi.....	22
4.7 Innalzare il livello di competenza attraverso la formazione universitaria nell'ottica di formare nuove professionalità e creare nuovi posti di lavoro	23
5. Ipotesi di policy (9024/10500)	24
5.1 Quadro politico e legislativo: lo scenario di riferimento applicativo e il contesto europeo e nazionale.	24
5.2 Misure fiscali e di policy volte a sostenere le soluzioni ambientalmente più sostenibili.....	25
5.3 Analisi e superamento delle problematiche legate al tema dell'End of Waste in sinergia con le politiche Europee.	25
5.4 L'innalzamento della cultura della Chimica Verde – strumenti di comunicazione e formazione per la cittadinanza.....	27
Appendice A:	28
Parametri di valutazione delle performance e sostenibilità delle bioraffinerie per la loro implementazione in contesti locali e specifici. (Bioeconomia Italia, 2019).....	28
Appendice B:	29
Bioprodotto ottenibili da un sistema di bioraffineria	29
Riferimenti bibliografici.....	31

Abstract

Il presente Discussion Paper analizza lo sviluppo della bioeconomia e della Chimica Verde in Italia contestualizzandole in un quadro legislativo nazionale ed europeo per rilanciare la posizione dell'Italia in Europa, sostenendo lo sviluppo economico e la tutela ambientale già in fase di progetto. A tal fine, il lavoro esamina il concetto di bioeconomia, Chimica Verde e bioraffineria nella prospettiva dell'Economia Circolare, evidenziando le potenziali tendenze di sviluppo nel medio-lungo termine, a partire dall'analisi critica della situazione attuale. L'analisi effettuata considera il quadro politico e legislativo, nazionale e internazionale di riferimento, e le problematiche legate alla gestione dell'End of Waste, tenendo conto delle politiche europee per la crescita della cultura della Chimica Verde attraverso la comunicazione e la formazione per la cittadinanza (MacLaren et al.2020).

Dall'analisi della letteratura risulta che la Chimica Verde, definita anche Chimica Sostenibile, sia uno dei principali strumenti per attuare gli obiettivi della bioeconomia. La Chimica Verde trova piena realizzazione nelle bioraffinerie, ovvero nell'ottimizzazione su scala reale delle filiere di valorizzazione delle biomasse, siano esse colture dedicate o residuali, della CO₂ e dei flussi di scarto di derivazione fossile, in contesti locali attraverso lo sviluppo di piattaforme tecnologiche integrate.

In Italia, la bioeconomia ha un fatturato annuo di oltre €330 miliardi e le principali filiere tecnologiche che contribuiscono al suo sviluppo sono: il ciclo idrico integrato, il trattamento dei rifiuti organici, il settore agricolo, l'industria alimentare, la cattura e la valorizzazione della CO₂, il settore carta, il settore manifatturiero e del legname, il settore dei polimeri biodegradabili e compostabili, il settore tessile e la bioeconomia marina. La Chimica Verde promuove la produzione sia di composti chimici e biocarburanti che di energie biobased derivanti da rinnovabili e/o matrici di scarto. Inoltre, la realizzazione di impianti di bioraffineria incentiva la riconversione di impianti dismessi, rappresentando così un'opportunità per riqualificare aree marginali senza consumare suolo vergine.

La quota di mercato dei prodotti biobased e/o da matrici rinnovabile, ottenuti attraverso processi tecnologici chimici, termochimici e biologici, mostra una tendenza in rapida crescita, grazie alla maggiore consapevolezza della disponibilità di prodotti nei mercati nazionali e internazionali e all'innovazione delle tecnologie stesse. Un supporto alla realizzazione di queste condizioni è l'introduzione di una metodologia condivisa per analizzare in via preliminare le possibilità di sfruttamento in chiave circolare delle risorse del Paese, attraverso una visione sistemica a livello nazionale per aumentare la competitività dei prodotti biobased e il potenziamento della simbiosi industriale. In fine, si evidenzia la necessità di un più chiaro e definito quadro legislativo, con particolare attenzione alla definizione univoca dei criteri di End of Waste di scarti e sottoprodotti per rendere dinamico il sistema di recupero, ricircolo e valorizzazione.

1. Introduzione

La bioeconomia risponde alle principali sfide ambientali che il mondo deve oggi fronteggiare: cambiamenti climatici, depauperamento di risorse e conseguente perdita di biodiversità (Global Resource, 2019; Green New Deal, 2020).

Basandosi su approcci tecnologici, la bioeconomia massimizza l'utilizzo di rifiuti e risorse, sia di origine biologica, terrestre e marina, che non biologica, CO₂ e flussi di scarto di derivazione fossile, come risorse per la produzione industriale ed energetica, attuando una logica circolare atta a massimizzare le opportunità di riutilizzo, riciclo e recupero (OCSE, 2020).

In Europa, la bioeconomia ha un fatturato annuo di oltre €2 trilioni, impiegando 18 milioni di persone (10% dell'occupazione dell'EU) (EU, Bioeconomy, 2018).

In Italia, la bioeconomia attiva 2 milioni di posti di lavoro con un fatturato annuo di oltre €330 miliardi dei quali circa €55 miliardi connessi alla produzione agricola e €140 miliardi alla produzione industriale alimentare (BIT, 2020).

Per implementare la bioeconomia, l'Europa ha stanziato €4 miliardi per il programma di ricerca Horizon SC2(2014-2020) e per la public-private partnership per la biobased industry (PPP BBI) (2014-2020) e €10 miliardi nel nuovo Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione (2021-2027). I fattori determinanti per il rafforzamento della bioeconomia sono: l'apertura e la protezione dei mercati emergenti, la riduzione dell'impatto ambientale dei prodotti attraverso l'adozione di Life Cycle Thinking e la definizione di indicatori di performance tecnica ed economica (Pellis et al., 2016) (McLauren et al., 2020) che promuovano il "market uptake" dei prodotti biobased (EU, Bioeconomy, 2018) (Bilal et al.2020).

La Chimica Verde è uno dei principali strumenti per attuare gli obiettivi-della bioeconomia, perché realizza processi per convertire sottoprodotti e scarti dell'agricoltura, degli allevamenti e dell'industria alimentare, i rifiuti, acque reflue e le emissioni di CO₂ in composti chimici (come ad esempio prodotti biobased, biodegradabili e compostabili) e combustibili ad alto valore aggiunto, garantendo il recupero della frazione organica residua a favore dei suoli, migliorandone la fertilità e limitando la perdita di biodiversità (EC, 2018).

In Europa, la produzione di materiali biobased è 4.7 Mt/anno, circa il 3% della produzione totale, con una prospettiva di incremento del 21% per il 2025 (WEF, 2020).

La **Chimica Verde** è anche definita **Chimica Sostenibile** che in base alla definizione dell'OCSE, è un concetto scientifico per migliorare l'efficienza con cui le risorse naturali e di scarto vengono valorizzate per soddisfare le esigenze umane di prodotti e servizi chimici. La Chimica Sostenibile comprende la progettazione, la fabbricazione e l'uso di processi e prodotti chimici efficienti, efficaci, sicuri e più rispettosi dell'ambiente (Hoffman et al., 2020)

La **bioraffineria** consente la realizzazione della Chimica Verde su scala reale, ottimizzando le filiere di valorizzazione delle biomasse, ad hoc e di scarto, della CO₂ e dei flussi di scarto di derivazione fossile, in contesti locali sviluppando piattaforme tecnologiche integrate e schemi di *cascading use*.

Inoltre, nell'ottica dell'estensione della vita utile degli asset esistenti, la realizzazione di impianti di bioraffineria incentiva la riconversione di impianti dismessi, rappresentando così un'opportunità per riqualificare aree marginali senza consumare suolo vergine (RGI, 2020).

L'obiettivo del presente Discussion Paper è l'analisi del trend di sviluppo della bioeconomia e Chimica Verde in Italia contestualizzandole in un quadro legislativo nazionale ed europeo per rilanciare la posizione dell'Italia in Europa alla luce dei principi del Green New Deal. La politica, delineando le opportunità di crescita futura del Paese, potrebbe stimolare gli investimenti privati e tracciare le linee guida di un modello di società consapevole delle opportunità, dei rischi e partecipe della fase di cambiamento.

2. La situazione attuale

La Chimica Verde consente la realizzazione di nuove filiere integrate e connesse con il mondo agricolo, volte a valorizzare le risorse del territorio e ottimizzare l'utilizzo di terreni marginali e contaminati, promuovendo sia lo sviluppo economico in aree rurali sia il risanamento ambientale. Fondamentale è dunque la co-partecipazione del mondo agricolo e delle sue politiche territoriali a livello sia nazionale che regionale. La Chimica Verde promuove processi di conversione altamente efficienti a elevato potenziale di mitigazione climatica che consentiranno una riduzione delle emissioni di CO₂ equivalente da 1 a 2.5 miliardi di tonnellate entro il 2030 (Bang et al., 2009).

In quest'ottica, la bioraffineria è lo strumento chiave per lo sviluppo della Chimica Verde nella Bioeconomia, perché include processi tecnologici attraverso cui una vasta gamma di matrici può essere convertita in un ampio spettro di prodotti a elevato valore aggiunto (Maity et al., 2015). Dal punto di vista di processo le bioraffinerie sono simili alle raffinerie petrolchimiche, ma a differenza di quest'ultime, sono alimentate da diverse tipologie di materie prime di origine biologica e rinnovabile o da un prodotto di scarto. La bioraffineria è costituita da tre unità: matrice in ingresso, processo e prodotti finali.

L'origine della matrice in ingresso classifica la bioraffineria in tre tipologie e "generazioni" (De Jong, 2015): *crop-based* (1G), *advanced* (2G) e *no-food and waste biomass* (3G). La bioraffineria 1G è alimentata da colture ad hoc in parte soggette al dibattito etico-sociale, perché possono sottrarre terreno coltivato e/o coltivabile. Tuttavia, le bioraffinerie 1G superano tale dilemma con le aridocolture adatte a crescere in terreni marginali non in competizione con il cibo e la realizzazione di prodotti che richiedono quantitativi ridotti di biomassa. Le bioraffinerie 2G, alimentate da biomasse di scarto o da biomasse lignocellulosiche di tipo non alimentare risolvono il dilemma etico-sociale cibo-energia gestendo grandi quantità di biomassa di scarto, circa 50 miliardi di tonnellate (Eurostat, 2018). La bioraffineria 3G è alimentata da alghe e microalghe, la cui produzione è ambientalmente sostenibile (Banu et al., 2020). La **natura chimico fisica della matrice in ingresso** determina la tipologia di bioraffineria:

- i) bioraffinerie per matrici amidacee e zuccherine, lignocellulosiche e lipidiche,

- ii) ii) bioraffinerie per alghe e microalghe,
- iii) iii) bioraffinerie per matrice organica da rifiuti e
- iv) iv) bioraffinerie da scarti inorganici: in cui si ha la cattura-conversione di flussi gassosi di sintesi e flussi residuali gassosi degli impianti industriali di vario tipo.

In prospettiva i processi biotecnologici integrati sostituiranno, laddove possibile, la chimica tradizionale e contribuiranno allo sviluppo di nuovi prodotti chimici, materie plastiche ed energia. Polimeri di natura biologica, come l'acido polilattico (PLA) e le bioplastiche da amido sintetizzati chimicamente, sono già disponibili a scala industriale.

La bioconversione di CO₂ e l'elettrocatalisi microbica contribuiscono alla produzione di building blocks e monomeri rinnovabili. Tuttavia, la polimerizzazione biocatalizzata non è ancora economicamente vantaggiosa, perché le configurazioni di processo convenzionali e i reattori utilizzati nella sintesi non soddisfano la complessità dei sistemi (Pellis et al., 2016).

La trasposizione dei processi tecnologici, promossi dalla Chimica Verde, da scala laboratorio a realtà industriale è complicata, perché comporta ingenti costi di investimento e un'elevata incertezza di performance nello scale-up. Questi fattori non favoriscono lo sviluppo delle bioraffinerie rispetto agli impianti chimici classici, spiegando così la dicotomia tra quanto promosso dal mondo accademico e il limitato sfruttamento commerciale (Blank et al., 2019). Per quanto riguarda, l'incremento dell'efficienza dei processi di conversione, questo avviene attraverso attività di Ricerca e Sviluppo combinate con la costruzione di impianti pilota e dimostratori per ridurre il *time to market* dei nuovi bioprodotto.

Un tentativo in questa direzione è stato fatto con il finanziamento dei progetti Horizon, in cui l'Italia è al di sotto della media europea per tasso di successo (14.59%) e **ultima** tra i grandi paesi dell'UE.

Dal **punto di vista di processo** la bioraffineria può essere divisa in: termochimica (pirolisi, gassificazione, incenerimento e liquefazione) chimica (idrolisi, processi chimico-catalitici di trasformazione di platform molecules, transesterificazione e distillazione) e biologica (digestione anaerobica, compostaggio, fermentazione di substrati gassosi, saccarificazione e (co-fermentazione, fermentazione lattica ed idrolisi enzimatica) e combinazioni di queste.

La pianificazione territoriale è improntata al ripristino della fertilità di ambienti agricoli, in particolare quelli aridi, degradati e contaminati, incentivando processi di recupero dei suoli attraverso la selezione e l'impiego di colture resistenti ai cambiamenti climatici, ad avversità di natura biotica (patogeni, fitofagi) e la gestione ecocompatibile degli agro-ecosistemi, fornendo un'opportunità di reddito integrativo per il mondo agricolo (Spring, 2019).

La crescita del settore biobased valorizza le potenzialità intrinseche dei territori: le bioraffinerie multi-input e multi-products valorizzano gli scarti di filiere di eccellenza della produzione italiana. L'integrazione di queste soluzioni con le specificità locali aumenta la sostenibilità del sistema, perché agevola l'accesso alle forniture di biomasse e/o matrici di scarto locali, per le quali i costi e l'impatto ambientale del trasporto hanno particolare rilevanza.

La realizzazione di bioraffinerie richiede quindi **la mappatura delle caratteristiche** delle matrici di ingresso/tecnologie/attori della filiera presenti sui vari territori e la definizione delle filiere-chiave, allo scopo di favorire il consolidamento del settore della Chimica Verde. L'identificazione delle aree con maggior potenziale di sviluppo della bioeconomia massimizza le opportunità offerte dai territori locali, valorizzando anche siti dismessi in diversi territori italiani.

Lo sviluppo delle bioraffinerie è favorito dalla realizzazione di impianti di dimensioni minori rispetto a quelli tipici del settore petrolchimico minerale, consentendo l'integrazione sinergica nel territorio e una maggiore flessibilità del sistema produttivo.

In *Appendice A* sono riportati i parametri di valutazione delle prestazioni delle bioraffinerie in contesti locali.

In Italia, le **filiera tecnologiche con un elevato grado di maturità sono:**

- il ciclo idrico integrato,
- i rifiuti organici,
- il settore agricolo,
- l'industria alimentare,
- la cattura e la valorizzazione della CO₂,
- il settore carta,
- il settore manifatturiero e del legname,
- il settore polimeri biodegradabili e compostabili,
- il settore tessile
- la bioeconomia marina.

Il **ciclo idrico** include la captazione dell'acqua, la potabilizzazione e distribuzione alle utenze abitative e industriali, la gestione dei canali di irrigazione, il trattamento dei reflui tramite la rete fognaria e il processo di depurazione. La depurazione dei reflui mitiga l'impatto ambientale, consentendo il riutilizzo e la valorizzazione dei reflui e dei fanghi. I fanghi prodotti durante il processo di depurazione delle acque reflue civili, industriali e zootecniche, sono una fonte importante di biomassa, che consente la produzione di energia come biogas e biometano, il recupero di nutrienti come il fosforo e la produzione di materiali biocompatibili e bioplastiche (Chen et al., 2020). L'acqua depurata può essere riutilizzata nelle attività agricole e nei processi industriali e civili consentiti per ridurre il prelievo delle risorse idriche naturali. Il valore complessivo della produzione del ciclo idrico integrato è pari a €12.1 miliardi nel 2017 (Eurostat, 2020).

Il **trattamento dei rifiuti solidi** comprende la gestione dei rifiuti solidi urbani e speciali. In Italia, nel 2018, il quantitativo totale di rifiuti prodotti è pari a 163995 Mt e la frazione organica (urbana e speciale) rappresenta il 28%v/v (Eurostat, 2020).

Nei rifiuti solidi urbani, la frazione organica rappresenta la componente più importante: circa il 30-35%v/v del totale prodotto, seguito dalla carta e dalla plastica.

Il ciclo dei rifiuti comprende le attività di raccolta, gestione e trattamento dei rifiuti ed è l'unica forma di gestione del rifiuto che consente le successive attività di lavorazione e conversione in prodotti. I rifiuti raccolti in modo differenziato sono destinati per il 90%v/v al recupero, attraverso

i trattamenti biologici (per la frazione organica) e altri processi di selezione e valorizzazione del rifiuto (per la frazione secca). La parte residuale pari al 10% v/v della raccolta differenziata è trattata con processi meccanico-biologici, incenerita e in ultimo smaltita in discarica (Spring, 2019).

L'**agricoltura** è un importante settore economico in Italia, con un valore di €33 miliardi (Istat, 2018). Nel 2017, il valore della produzione dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dalla pesca e dell'acquacoltura è stato pari a €57 miliardi con un impiego di 912.000 persone. L'agricoltura e la silvicoltura hanno un elevato potenziale nel contesto della bioeconomia, perché incentivano la gestione efficiente delle risorse, la biodiversità, la protezione del capitale ambiente, la gestione sostenibile del suolo, la produzione di servizi ecologici e sociali, il potenziamento e il riutilizzo di rifiuti, nonché la produzione di bioenergia e bioprodotto attraverso l'adozione di modelli di produzione sostenibili e l'uso efficiente di risorse (Intesa Sanpaolo, 2019).

Il settore industriale è invece costituito da piccole-medie imprese, che si è dimostrato un settore resiliente, in grado di crescere anche in periodi di crisi economica (Spring, 2019). Il *National Agrifood Technology Cluster "CL. A.N."*, una rete multi-stakeholder dei principali attori nazionali della catena agroalimentare, ha elaborato un piano d'azione che individua le priorità di ricerca per l'industria alimentare nel riutilizzo dei rifiuti (BIT II, 2019).

La **superficie forestale** in Italia è pari a 11 milioni di ettari, il 39% del territorio italiano. Nel 2017, l'intera filiera del legno impiega 400000 persone con un fatturato annuo di €40 miliardi, mentre il settore della cellulosa ha un fatturato annuo di circa €22 miliardi con 72.000 dipendenti. Ad oggi, il "legno lavorato" è convertito in prodotti a basso valore, quando invece potrebbe avere un ruolo strategico per l'implementazione del settore della costruzione. L'attuale mancanza di integrazione tra produzione primaria e industria della lavorazione del legno limita sia la crescita socioeconomica che la competitività internazionale.

Per quanto concerne la gestione delle **emissioni di CO₂** di origine antropica nell'atmosfera, l'attenzione è posta sullo sviluppo di processi biotecnologici, elettrochimici (elettrolisi bassa e alta temperatura) e termochimici (recupero di CO₂ da esausti e atmosfera, conversioni termocatalitiche, conversione per *chemical looping* con solare a concentrazione) per il recupero e la conversione di flussi di CO₂ ed H₂O in prodotti a elevato valore aggiunto (platform chemicals, combustibili sintetici, prodotti sintetici), con un approccio olistico che consenta l'utilizzo della CO₂ di scarto come matrice di input in alternativa all'uso di carbonio non rinnovabile. La conversione di CO₂ in molecole e prodotti a elevato valore aggiunto, per essere sostenibile, richiede energia rinnovabile, come elettricità/calore e riducenti chimici da fonti rinnovabili ed energia solare. Successivamente è necessario un processo che termodinamicamente richieda il minor consumo energetico in ordine crescente: biologico, elettro-catalitico, fotocatalitico, catalitico e termico (Saracco, 2017).

Le **materie plastiche e la gomma biobased** in Italia hanno un fatturato di €1690 milioni e coinvolgono 7000 dipendenti. I biomateriali hanno molteplici applicazioni nel settore della costruzione e nel packaging alimentare (BIIT II, 2019). La filiera dei polimeri biodegradabili e compostabili è un successo della Chimica Verde italiana. Nel 2018 in Italia, la filiera delle bioplastiche comprende 250 operatori (per un totale di circa 2550 addetti), di cui 5 nel settore degli intermedi e dei composti chimici di base, 20 nel settore dei granuli, 162 nella prima

trasformazione e 65 nelle seconde lavorazioni. Il fatturato complessivo è di €685 milioni (Plastic Consult,2019).

La bioenergia ha un fatturato di €2035 milioni, pari allo 0.6 % della bioeconomia e 2000 dipendenti e i biocarburanti hanno un fatturato di €169 milioni (BIT II, 2019). La **biofarmaceutica** ha un fatturato di €15022 milioni e rappresenta il 4.6 % della bioeconomia con 36000 biocosmetici (BIT II, 2019; Intesa Sanpaolo,2019)

L'abbigliamento biobased riveste un ruolo cruciale nella bioeconomia con un fatturato di €32804 milioni pari al 10 % della bioeconomia ed è fortemente connesso alle produzioni manifatturiere made in Italy.

Anche la **bioeconomia marina** riveste un ruolo fondamentale in Italia, contribuendo per il 20% del fatturato e delle opportunità di lavoro nell'economia di mare, pari a €45 miliardi (EEA, 2020). Maggiori informazioni si possono reperire nel Position Paper "Leadership Green: Economia del mare"

Lo sviluppo delle biotecnologie e prima fra tutte **l'ingegneria genetica** ha consentito di dare lancio allo sviluppo di **monomeri chimici**, già noti, ma non ancora prodotti a livello industriale. È così possibile oggi estendere la gamma delle poliammidi sviluppando applicazioni nei settori tessili e plastico. Ne sono un esempio alcuni monomeri quali l'acido dodecandioico, il butandiolo, l'acido succinico o il caprolattame di recente annunciato. Le modifiche genetiche introdotte su lieviti e batteri hanno permesso di creare piattaforme di lavoro che consentono partendo da matrici di origine naturale quali oli, acidi grassi e zuccheri di arrivare a intermedi chimici base per la produzione di poliammidi di caratteristiche alternative a quelle classiche, prodotte sino a oggi attraverso le tecnologie tradizionali a partire da derivati del petrolio.

Studi di fattibilità tecnica e analisi di mercato dimostrano che i bioprodotto ottenibili da un sistema di bioraffineria sono, per i composti chimici, etanolo (C2), , propano (C3), acido lattico (C3), acido propionico (C3), propandiolo (C3), acido -idrossipropionico (HPA) (C3), glicerolo (C3), acido succinico (C4),acido malico (C4), acido fumarico (C4) butandiolo (C4), acido butirrico (C4), acido itaconico (C5), xilitolo (C5), furfurale (C5), acido levulinico (C5) 5-idrossimetilfurfurale (C6), BTX (C6-C8), derivati fenolici, PHA , acido azelaico (C9), acido pelargonico (C9), acido adipico da acidi grassi. Vengono inoltre prodotti bioerbicidi, biolubrificanti, biopolimeri e biopoliesteri e per i biocombustibili, comprendendo bioetanolo, biooil, syngas, biogas, biodiesel, metanolo e bioidrogeno. Si riporta in *Appendice C* una tabella riassuntiva con i valori di mercato e rese di produzioni dei prodotti sopra citati attraverso sistemi di bioraffineria. In **Piemonte** sono presenti tre impianti di bioraffineria: la ENI-Versalis a Vercelli per la produzione di bioetanolo da biomasse lignocellulosiche, la Novamont S.p.A. con sede a Novara e stabilimento principale a Terni per la produzione di bioplastiche biodegradabili e compostabili "Mater-Bi", realizzate a partire da amidi, cellulose, oli vegetali e delle loro combinazioni e in ultimo Reverdia a Cassano Spinola (Al) per la produzione di acido succinico da insilati.

In **Emilia-Romagna**, Caviro Extra converte vinacce e fecce in prodotti ad alto valore aggiunto.

In **Veneto**, ad Adria è presente Mater-Biotech (società al 100% controllata da Novamont) per la produzione di bio-butandiolo e a Porto Marghera (Ve) Bio raffineria di Eni è il primo caso al mondo

di riconversione di una raffineria petrolchimica in bioraffineria 2G, atta a convertire biomasse di scarto in biocarburanti.

Nel **Lazio** a Patrica (Fr) è presente Mater-Biopolymer (società al 100% controllata da Novamont), per la produzione di biopoliesteri e biolubrificanti, integrata con la filiera agricola.

In **Campania** è presente GFBiochemicals di Caserta, un impianto pilota per la produzione di acido levulinico da biomassa. In **Sardegna** a Porto Torres, Novamont e Versalis hanno realizzato Matrica la bioraffineria per la produzione di acido azelaico e pelargonico. Infine, in **Sicilia** nell'estate 2019 è stata avviata la bioraffineria Eni presso il sito di Gela, che costituisce il più innovativo impianto per la produzione di biocarburanti in Europa e potrà utilizzare come cariche materie di seconda generazione, cariche advanced e unconventional fino al 100% della capacità di lavorazione. Sarà in grado di trattare progressivamente quantità elevate di oli vegetali esausti e di frittura, grassi animali, alghe e sottoprodotti di scarto per produrre biocarburanti di alta qualità.

Tra le nuove soluzioni di Economia Circolare attraverso la valorizzazione dei rifiuti è utile riportare lo sviluppo da parte di Eni di tecnologia denominata Waste to Hydrogen/Methanol, che permette di ottenere idrogeno o metanolo da *Plasmix* e combustibile solido secondario (CSS). Il *Plasmix* è costituito dalla frazione non riciclabile dei rifiuti plastici e, secondo Corepla, ogni anno in Italia circa 500.000 tonnellate di Plasmix vengono prodotte e destinate a termovalorizzazione o discarica. Il costituisce la frazione residuale separata a valle del trattamento meccanico dei rifiuti non differenziati e, secondo Ispra, ogni anno si producono circa 1,3 milioni di tonnellate di CSS che non viene considerato rifiuto.

A differenza dell'inceneritore, dove i fumi vengono trattati e poi rilasciati in atmosfera, la tecnologia *Waste to Hydrogen/ Methanol* permette la produzione di syngas con una reazione termica controllata, in ambiente chiuso e quindi senza emissioni dirette in camino ed avviene a condizioni di temperatura tali da vetrificare gli inquinanti e renderli inerti e stabili. Presso la Raffineria di Livorno, è in corso di valutazione uno studio di fattibilità che prevede la produzione di metanolo a partire da Plasmix e CSS, con un sistema di purificazione, lavaggio e assorbimento selettivo che permette di minimizzare gli inquinanti in uscita dall'impianto. Il metanolo può essere impiegato come intermedio per le benzine (per uso captivo); benzina in miscela con bioetanolo per la formulazione di carburante A20, un nuovo carburante in via di sperimentazione tra Eni e FCA contenente il 20% di alcoli e che consente di ridurre le emissioni di CO₂; come base chimica ed in questo caso il processo si configurerebbe come un riciclo chimico. Inoltre, si sta procedendo con la verifica della fattibilità tecnico-economica di un impianto *waste to Hydrogen* per la bioraffineria di Venezia.

Si riporta in Figura 1, la distribuzione delle bioraffinerie in Europa, censite al 2017, suddivise per tipologia (Nova-Institute, 2017).

Biorefineries in Europe 2017

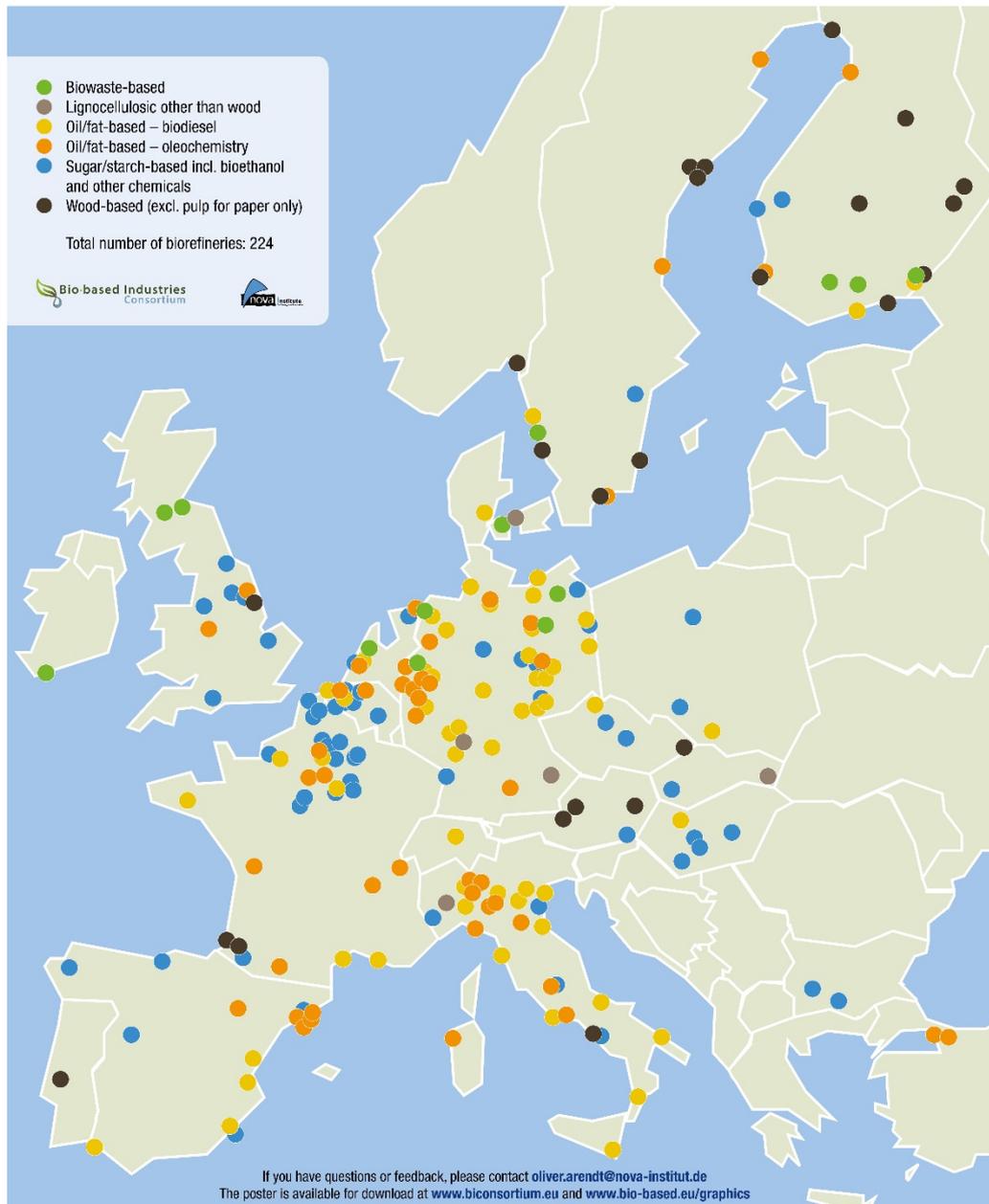


Figura 1: Distribuzione delle bioraffinerie in Europa, censite al 2017, suddivise per tipologia (Nova-Institute, 2017)

3. I trend di medio-lungo termine

Oggi, la Banca mondiale e i governi di tutte le nazioni sono impegnati a fronteggiare una crisi sanitaria innescata dal COVID-19.

La priorità è sostenere i sistemi sanitari, i lavoratori e imprenditori che vengono duramente colpiti. Tuttavia, questa attuale crisi può e deve diventare l'occasione per modificare i sistemi produttivi e il comportamento sociale-culturale dei consumatori e cittadini verso un futuro più resiliente e sostenibile.

Ora, l'obiettivo principale è sostenere medici e infermieri, per garantire un forte sistema sanitario in grado di garantire cure e che le case e gli ospedali dispongano di energia e acqua, che i rifiuti siano smaltiti e che il cibo sia disponibile. A oggi, l'economia mira a mitigare lo shock prodotto dalla pandemia del COVID19 attraverso azioni redistributive. Successivamente, si dovranno progettare sistemi economici e processi produttivi resilienti pronti ad affrontare simili crisi. Esempi di resilienza sono tutte quelle aziende che hanno saputo sospendere le proprie attività per realizzare mascherine e respiratori, rispondendo a uno dei principali problemi legati alla pandemia generata dal COVID19 (Martelloni et al, 2020).

Per rispondere alla crisi, sistemi economici e processi produttivi utilizzeranno i progetti già identificati nei masterplan nazionali o settoriali dei singoli paesi, così come i piani di adattamento ai cambiamenti climatici e i contributi determinati a livello nazionale dell'accordo di Parigi (Alizadeh et al., 2020).

La quota di mercato dei prodotti a base biologica nell'UE è in rapida crescita, grazie alla maggiore consapevolezza e alla disponibilità di prodotti nei mercati dell'UE.

Nel 2010 l'industria chimica europea ha utilizzato circa l'8-10% di materiali rinnovabili per produrre varie sostanze chimiche e polimeri. Si stima che nel 2030 fino al 30% delle sostanze chimiche e dei materiali a base petrolio saranno sostituiti da alternative biologiche.

Per il mercato EU delle bioplastiche e dei biolubrificanti si stima una crescita del 55% nel 2020 (Eurostat, 2020).

Il mercato dei tensioattivi biobased raggiungerà circa €1.3 miliardi nel 2030, con un 91% di crescita, rispetto al 2018 (EU, Bioeconomy, 2019).

Lo sviluppo delle politiche Europee nel settore delle biomasse e in particolare delle bioenergie si è evoluto lungo un ampio arco di tempo.

A valle del Protocollo di Kyoto, considerato come riferimento iniziale dell'analisi, nel periodo 2003 – 2009 si sono susseguite ben tre importanti direttive (Biofuel-DAFI, RED ed FQD), seguite dalla Direttiva ILUC (2015) e recentemente REDII (2018).

Tutto questo rilevante corpus di politiche europee trova oggi un nuovo impulso nel Green New Deal, che prevede l'integrazione degli obiettivi energetico-ambientali con quelli economici e sociali (Lombardi et al, 2020).

Le politiche attive sono essenziali per lo sviluppo dei mercati, in quanto le industrie e le filiere produttive richiedono quadri normativi certi, stabili e favorevoli per giustificare gli investimenti e ammortizzarli (Dowling et al., 2020).

Inoltre, le evoluzioni dei mercati a valle della REDII e delle policies in corso di definizione nel settore dei carburanti per trasporti (per esempio il programma CORSIA su Sustainable Aviation Fuels, e lo stesso EU Green Deal) probabilmente modificheranno gli scenari definiti nel corso del 2018.

Il ruolo delle biomasse nel settore energetico e in particolare dei trasporti sarà fondamentale entro il 2050, ed essenziale per gli obiettivi EU (Alizadeh et al., 2020) (Anejionu et al., 2020). A livello globale, il contributo delle biomasse rimane e rimarrà rilevante, secondo la IEA, fissato al 50% del consumo complessivo. È quindi necessario identificare un punto di equilibrio tra impiego energetico, essenziale comunque per la decarbonizzazione del sistema e quello della trasformazione in bioprodotto (Giuntoli et al., 2020)

Sempre secondo la IEA, per poter convertire completamente la produzione chimica in *bio-based chemicals* (Clean Technology Scenario) sarebbe necessaria circa la metà della produzione mondiale di biomassa al 2050. Nel Reference Technology Scenario, invece, le materie prime alternative non copriranno più del 2% del totale al 2050.

Le tecnologie per la valorizzazione dei rifiuti e della CO₂ hanno visto un grande sviluppo nel corso degli ultimi anni. Diversi sistemi sono oggi in grado di trasformare i rifiuti post-selezione e recupero in un gas, a sua volta trasformato in prodotti come metanolo e/o etanolo, che possono poi essere utilizzati sia come building blocks chimici che come combustibili. La società Lanzatech fornisce soluzioni innovative per la produzione di etanolo, impiegabile come diesel, benzina o carburante per aviazione e come precursore della plastica e dei polimeri. e prodotti chimici di alto valore provenienti dai flussi di gas, compresi gli scarti industriali provenienti da acciaierie e leghe; raffinerie di petrolio, complessi petrolchimici e impianti di trattamento del gas; syngas generato da qualsiasi risorsa di biomassa (ad esempio rifiuti solidi urbani, rifiuti industriali organici, rifiuti agricoli); e biogas riformato. NextChem e LanzaTech hanno recentemente sottoscritto un accordo per la licenza in Italia della linea di processo "Rifiuti a Etanolo".

La **Nuova Strategia per la Bioeconomia italiana** (2019), si è allineata con la **Strategia per la Bioeconomia Europea** (Ottobre 2018), con i nuovi investimenti previsti dal **Programma Quadro Horizon 2021-2027** e dall'Impresa Comune per le Bioindustrie (**BBI JU**) **per lo sviluppo di un settore industriale sostenibile basato sul *biobased* in Europa.**

Attualmente, l'Italia è terza in Europa dopo la Germania e la Francia nel campo della Bioeconomia, seconda in Europa nel settore Ricerca e Innovazione e prima per ricchezza in biodiversità e prodotti innovativi di qualità immessi sul mercato. Tuttavia, uno tra i principali fattori di ostacolo al pieno progresso della bioeconomia italiana è la *carezza di coordinamento tra istituzioni e attori del pubblico e privato che operano nel settore*; pertanto l'obiettivo futuro è il miglioramento dell'*interconnessione della componente scientifica e di quella politica, convogliando le forze per aumentare il PIL e l'occupazione e salvaguardando allo stesso tempo salute e ambiente.*

Per lo sviluppo della Bioeconomia l'Italia ha adottato anche il **Piano Industria 4.0** (Industria Biobased, 2018), descritto approfonditamente nel Position Paper "Innovazione per l'economia circolare: materiali e digitale",

L'obiettivo della bioeconomia italiana è la connessione di ambiente, economia e società, promossa dalla presidenza del Consiglio dei Ministri. La strategia ha come scopo quello di aumentare

l'attuale fatturato e l'occupazione della bioeconomia italiana rispettivamente di €50 miliardi e di 350.000 nuovi posti di lavoro entro il 2030 (Ecoscienza, 2017).

Uno strumento di policy settoriale che ha sostenuto la crescita del settore è stato il Piano Strategico per l'Innovazione e la Ricerca nel settore agricolo, alimentare e forestale.

Il piano promuove l'uso sostenibile delle risorse biologiche a fini energetici e industriali mediante uno sviluppo razionale e controllato delle filiere di biocarburanti e di biomasse con adeguati requisiti di sostenibilità ambientale-economica e lo sviluppo di bioraffinerie per la produzione di materiali industriali e mezzi tecnici a partire da residui e scarti agricoli nell'ottica dell'adeguata remunerazione del settore agricolo.

Nel dettaglio, la filiera della biochimica in Italia punta sulla produzione di prodotti chimici da fonti rinnovabili e di scarto per sostituire i tradizionali prodotti da fonti petrolifere (Bioplastic, 2019). Le restrizioni dei prodotti in plastica convenzionali sono spesso supportate dalla legislazione e, contemporaneamente, molte aziende leader nel settore sviluppano le proprie iniziative per ridurre l'impronta di carbonio. Ad esempio, aziende come Coca-Cola, Danone, Ikea, Samsung, Procter & Gamble, Heinz e altri hanno già alcuni dei loro prodotti e/o delle loro confezioni in bioplastica. Tali imballaggi garantiscono inoltre la possibilità di essere smaltite all'interno della frazione umida, insieme ai residui organici contenuti.

La catena di supermercati Iceland pianifica solo imballaggi non in plastica per i propri marchi e anche i supermercati Tesco vorrebbero utilizzare solo imballaggi interamente riciclabili.

Entro il 2030, LEGO Italia immetterà sul mercato prodotti in bioplastica non biodegradabile.

Grande attenzione verrà ulteriormente posta entro il 2030 per i produttori di auto, i quali stanno costantemente aumentando l'uso di materie plastiche riciclate per rivestimenti, i sedili e altre componenti degli interni delle auto.

Un altro settore in crescita e proliferante per la bioeconomia sarà la **cattura e valorizzazione della CO₂** (Climate-Neutral-EU, 2020). In particolare, le previsioni nella finestra temporale 2017-2030 indicano l'uso della CO₂ per: i) convertire la CO₂, derivante da cementifici per la produzione del clinker e decomposizione delle rocce calcaree, in additivi quali acido formico e ossalico (ottenuti mediante elettro-riduzione di CO₂) indispensabili per la produzione di cemento, ii) processi elettrochimici basati su celle elettro-catalitiche alimentate da energia rinnovabile atte a convertire reflui gassosi e liquidi in molecole piattaforma quali H₂, CO, CH₃OH, e prodotti finiti e iii) processi termochimici basati su sistemi catalitici alimentati da energia rinnovabile in forma termica.

Uno degli obiettivi principe della bioindustria italiana è l'avvio di nuovi mercati e di bioprodotto in quella che viene definita la **rivoluzione verde della chimica** basata sullo stretto contatto con la filiera agricola e forestale, supportando uno sviluppo economico attento alla resilienza e conservazione dell'ambiente in accordo con gli obiettivi della Biodiversity Strategy (Eu, 2018; Biodiversity Strategy, 2020)

Uno dei principi cardine della Chimica Verde è il sistema produttivo che cambia la materia prima da cui produce i mezzi tecnici, sostituendo la chimica di sintesi con biomasse, tutte le fasi successive del processo dovranno diversificarsi, definendo a loro volta nuove strategie colturali. Questo comporta che, per un reale cambiamento nella gestione agricola, non è più sufficiente

cercare innovazioni di prodotto, ma soprattutto verranno definite innovazioni di sistema (Rete Nazionale, 2018).

La dimensione potenziale di questo nuovo mercato è difficile da stimare in quanto strettamente dipendente delle scelte sulle politiche ambientali che saranno attuate nei prossimi decenni.

Così nel settore dell'agricoltura, prodotti sicuramente molto utilizzati sono i teli per pacciamatura biodegradabili al suolo, utilizzati in orticoltura per mantenere le condizioni termiche più favorevoli allo sviluppo delle colture, preservare il terreno dalla perdita di umidità e contenere lo sviluppo di infestanti tra e sulle file, in sostituzione ai tradizionali film plastici in LDPE o EVA che, a fine vita, devono essere smaltiti con costi economici, ambientali ed emissione di sostanze nocive nell'atmosfera e nel suolo.

Studi di LCA dimostrano che uso e smaltimenti dei teli tradizionali comporta l'emissione di 890kg CO₂eq/ettaro, invece l'uso di teli pacciamanti biodegradabili determina l'emissione di 450 kg CO₂eq/ettaro e a fine vita, possono essere smaltiti direttamente nel terreno dove sono rapidamente degradati svolgendo un ruolo di fertilizzazione (Razza et al., 2019).

La valorizzazione del rifiuto organico urbano rappresenta un'altra fonte importantissima per la produzione di compost di qualità e contemporaneamente ovviare alle problematiche relative allo smaltimento di tale frazione. Essenziale diventa quindi garantire la qualità del rifiuto organico, promuovendo l'utilizzo di quei prodotti in grado di evitarne la contaminazione, come per l'appunto le bioplastiche compostabili, per tutti quei prodotti a contatto con sostanze organiche (come ad esempio **sacchi per la raccolta e shopper, stoviglie, capsule per il caffè**). La frazione solida del digestato può essere ulteriormente sottoposta a una fase di finissaggio, tramite compostaggio aerobico, prevedendo una miscelazione con materiale lignocellulosico.

Come per il compost, l'aggiunta al suolo di biochar favorisce l'attività microbica e la salute delle piante, la riduzione delle perdite causate dall'erosione, il miglioramento della stabilità strutturale, la disponibilità di elementi nutritivi e l'assorbimento da parte delle piante, l'aumento della ritenzione idrica e lo stoccaggio a lungo termine di carbonio nel suolo. Anche sottoprodotti animali possono essere trasformati in biochar, contenente oltre il 30% di fosforo organico (Someus e Pugliese, 2018).

Nel settore degli agrofarmaci biologici si stanno sviluppando, con diverse strategie, prodotti che hanno condotto alla definizione di nuove classi merceologiche, quali ad esempio i corroboranti e le sostanze di base. Inoltre, con l'entrata in vigore del nuovo Regolamento Europeo sui fertilizzanti (Reg. UE 1009/2019), nuove categorie di fertilizzanti, quali i biostimolanti, saranno ufficialmente riconosciute ed utilizzabili per la riduzione di stress abiotici nelle piante.

Il Piano Nazionale Integrato per l'energia e il clima (PNIEC), appena trasmesso dall'Italia a Bruxelles, pone grande attenzione alla produzione e uso di biocombustibili avanzati per migliorare l'aspetto green del settore trasporti. Il PNIEC è approfondito nel Position Paper "Fonti rinnovabili ed efficienza energetica".

L'Italia, il 30 giugno 2021 recepirà la direttiva RED II, in linea con gli obiettivi PNIEC e conseguentemente aggiornerà il quadro normativo sui biocarburanti e le quote obbligatorie di immissione al consumo, inoltre definirà la disciplina per l'utilizzo dell'idrogeno da fonti rinnovabili e dei recycled carbon fuels.

Eni, nella produzione dei biocarburanti, ha fissato come obiettivo il raggiungimento della neutralità carbonica nel settore upstream entro il 2030. Il Piano Strategico 2019 – 2022 di ENI focalizza l'attenzione sul concetto di decarbonizzazione puntando sui biocarburanti. Nel 2019, il gruppo Eni ha investito €8 miliardi di cui 2.4 sono destinati all'Italia per attività di ricerca e sviluppo verde, supportando il Progetto Italia che prevede la conversione delle aree industriali bonificate in aree per la produzione di energia da fonti rinnovabili. Ad oggi, il gruppo ENI ha individuato oltre 400 ettari di terreno disponibile, in 12 regioni italiane.

In termini di tecnologia, la maggior parte dei progetti si baserà sul fotovoltaico, ma non si escludono altre tecnologie come biomassa e/o solare.

Un altro progetto in via di sviluppo da parte del gruppo Eni si incentra sulla produzione di biocarburanti dagli oli alimentari esausti e vegetali. Il Centro Ricerche Eni Upstream e Downstream di San Donato Milanese sta testando il biocarburante-**Bio Diesel** ottenuto dall'idrogenazione di oli vegetali per il quale sono attese caratteristiche migliori dei tradizionali biodiesel. Test e attività di benchmarking su carburanti venduti in Italia dimostrano che Eni Diesel + è il nuovo gasolio premium di Eni con il 15% di componente rinnovabile prodotta da HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) presso le bioraffinerie di Venezia e Gela, attraverso la tecnologia proprietaria Ecofining. Grazie alla presenza nella sua formulazione della componente rinnovabile e di speciali additivi detergenti, l'utilizzo di Eni Diesel + determina una maggiore cura del motore e prestazioni più elevate: Sempre il gruppo ENI, attraverso la società del gruppo Eni Rewind, sfrutta e valorizza la frazione organica per la produzione di biocarburanti, recuperando anche il suo contenuto d'acqua (circa 70%v/v).

Attraverso la liquefazione il contenuto energetico della biomassa di scarto iniziale viene concentrato quasi tutto nel bio-olio, a sua volta convertito in biocarburante, con una resa del 10% olio/biomassa in alimento. Attualmente, il pilota di Gela ha una capacità produttiva di bio-olio di 70 litri per giorno ed è alimentato con 700 kg al giorno di rifiuti organici. Nella roadmap Eni di decarbonizzazione a supporto della transizione energetica è presente a Ragusa, Centro Oli Eni, un impianto pilota per la bio-fissazione della CO₂. Qui viene prodotta una nuova materia prima biologica per la preparazione di Bio Diesel: la farina di un'alga dalla quale è estratto l'olio, di tipo advanced, perché non è in competizione con le coltivazioni agricole per uso alimentare, che alimenterà le bioraffinerie in sostituzione all'attuale olio di palma. Tra i biocarburanti, il bioetanolo ha un ruolo fondamentale nella decarbonizzazione dei trasporti, perché contribuisce a una riduzione delle emissioni di CO₂ equivalente pari al 70% (AssoDistil, 2018).

Versalis ha un impianto, unico al mondo su scala industriale, per la produzione di bioetanolo da scarti lignocellulosici. La tecnologia applicata prevede la conversione delle biomasse lignocellulosiche a etanolo per mezzo di processi biologici di idrolisi enzimatica e fermentazione, senza alcun utilizzo di sostanze chimiche organiche. Oltre al bioetanolo, vi è la produzione di lignina, oggi utilizzata per la produzione di energia elettrica rinnovabile, domani utilizzabile come additivo/intermedio per la produzione di vernici, resine e bitumi.

Il centro di ricerca Enea della Casaccia sta realizzando un progetto di bioraffineria per la produzione di **bioenergia da insetti**, in particolare un dittero chiamato Mosca Soldato Nera (Tutto Green, 2020).

Gli insetti si nutrono di materia organica, quale i fanghi di depurazione di acque reflue, letame e scarti dell'industria agro-alimentare o della gestione del verde per la produzione di biocarburanti

avanzati, materiali innovativi biodegradabili, fertilizzanti e ammendanti agricoli trasformandoli in lipidi, proteine e polisaccaridi con applicazione in campo energetico, cosmetico, farmaceutico e agroindustriale.

4. Le sfide per il rilancio del Paese

4.1 I rischi e le opportunità per lo sviluppo del Paese

L'ultimo rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change dell'ONU dichiara che per limitare il riscaldamento globale a 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali ed evitare così le conseguenze che oggi si profilano, entro il 2030 si dovranno ridurre del 45% le emissioni globali di carbonio rispetto al 2010 e si dovrà arrivare alla neutralità carbonica entro il 2050 (azzerare l'impronta di carbonio mondiale).

L'economia mondiale si trova nella urgente necessità di delineare una transizione verso l'era post petrolifera ed è quindi sempre più spinta nella direzione della green economy e dell'economia circolare con un cambiamento di paradigma anche finanziario, rispetto al passato, che rappresenta una grande opportunità.

Gli Accordi di Parigi sui cambiamenti climatici e i Sustainable Developments Goals delle Nazioni Unite evidenziano la necessità di ricostruire l'equilibrio fra attività antropica e natura e identificano obiettivi sfidanti comuni e prioritari verso cui indirizzare le politiche energetiche, industriali, finanziarie, di innovazione e di istruzione.

L'esaurimento delle risorse rappresenta una limitazione alla crescita, non solo italiana ma mondiale: già nel 1972 un libro (successivamente aggiornato al 2004) commissionato dal Club di Roma¹ al MIT² analizzava, mediante simulazione informatica di dati, le conseguenze della continua crescita della popolazione sull'ecosistema terrestre prefigurando uno scenario di inevitabile limitazione allo sviluppo sul Pianeta con relativo declino improvviso ed incontrollabile della popolazione e della capacità industriale.

Da questa sfida globale scaturisce l'opportunità di intraprendere, attraverso **una rivoluzione sostenibile coordinata a livello mondiale**, un percorso di crescita tecnico-economica differente e non limitato al solo sfruttamento delle risorse disponibili. Questa nuova rivoluzione industriale dovrà allargare il campo di influenza dalla sola produzione industriale ad una ricerca di equilibrio a livello globale comprendendo competenze ed esigenze dell'uomo, della natura, dei mercati, delle leggi, del settore privato e pubblico, degli incentivi e dell'inclusione sociale.

Una delle sfide sarà anche quella di **ripensare criticamente all'intero sistema della produzione**, divenuto insostenibile che genera l'opportunità di una maggiore valorizzazione del territorio con una conseguente crescita del posizionamento dell'Italia nello scenario Europeo.

L'Italia presenta una forte propensione al riciclo e al riuso dei rifiuti: l'attenzione alla corretta gestione dei materiali post-consumo con le attività di raccolta differenziata e di riciclo è ormai entrata nel quotidiano.

¹ Il Club di Roma è una associazione non governativa, non-profit, di scienziati, economisti, uomini d'affari, attivisti dei diritti civili, alti dirigenti pubblici internazionali e capi di Stato di tutti e cinque i continenti.

² Massachusetts Institute of Technology, MIT - Boston

Sono in particolare tre i settori che hanno visto crescere la loro rilevanza sul totale della bioeconomia negli ultimi anni: l'industria alimentare e delle bevande e i servizi legati al ciclo idrico e di gestione dei rifiuti.

Il confronto europeo evidenzia, in termini assoluti, il ruolo della Germania, con un valore della produzione della bioeconomia stimato pari a €402.8 miliardi, seguita dalla Francia con un valore di €357.7 miliardi. L'Italia si posiziona al terzo posto, con un output pari a €328 miliardi, prima di Spagna (€220.6 miliardi) e Regno Unito (€189.8 miliardi) (BIT, 2019).

È necessario che il contesto che si verrà a creare in Italia negli anni a venire determini le condizioni fondamentali per neutralizzare i rischi sopra citati in materia di finanza, sviluppo, produzione ed economia.

Un supporto alla creazione di queste condizioni potrebbe derivare dall'introduzione di una metodologia condivisa per analizzare in via preliminare le possibilità di sfruttamento in chiave circolare delle risorse del Paese (Ghisellini et al, 2020).

Tale metodologia potrebbe essere così declinata:

- quantificazione delle risorse realmente disponibili;
- loro attuale valorizzazione o costi connessi alla loro gestione;
- identificazione delle tecnologie disponibili per la conversione e valorizzazione;
- identificazione del TRL delle tecnologie disponibili;
- localizzazione di infrastrutture esistenti in grado di fornire dati, informazioni, test demo sulle tecnologie identificate;
- identificazione degli investimenti necessari;
- identificazione delle competenze necessarie;
- identificazione dei rischi connessi all'investimento;
- analisi del mercato di sbocco dei prodotti generati.

L'analisi dei rischi rappresenta un tassello fondamentale del pacchetto di informazioni da mettere a sistema in quanto necessaria per evitare i fallimenti economici ed i rischi connessi alla salute umana.

Tale analisi dovrà necessariamente comprendere competenze multidisciplinari in grado di valutare costi di investimento, gestione ed evoluzione del mercato da una parte.

Dall'altra dovrà invece tenere bene in considerazione, nell'applicazione del riciclo dei flussi di materia, tutte le trasformazioni e contaminazioni possibili derivanti dai processi di conversione e riutilizzo di materiali di scarto e rifiuti e l'impatto che la circolarità, con la conseguente reiterazione di utilizzo della materia, possa implicare a livello di sicurezza ambientale e della salute umana.

Necessariamente connessa e legata a questa necessità è l'evoluzione dell'ambito normativo di riferimento e lo sviluppo delle procedure autorizzative idonee a categorizzare i prodotti e le sostanze 'rinnovate' adeguando schede tecniche e requisiti qualitativi (Ghisellini et al., 2020).

[4.2 Il settore della chimica verde in Italia come motore dell'economia circolare](#)

La scelta di investire nella sostenibilità non è un'idea di nicchia ma sta attraendo considerevoli capitali incominciando ad avere un impatto significativo su scala globale. Secondo Morgan Stanley oggi sono investiti in modo sostenibile oltre \$22.800 miliardi, che rappresentano oltre un quarto del denaro amministrato da gestori professionisti.

Sempre secondo lo stesso studio il 60% degli investitori istituzionali ha integrato i fattori ESG (environmental, social and governance) nel proprio processo di investimento negli ultimi quattro anni e il 37% negli ultimi due anni.

A partire dallo stato di evoluzione del settore della Chimica Verde in Italia identificato nei precedenti paragrafi, è possibile tracciare uno scenario di sviluppo nazionale che tenga conto di queste *expertises* applicate alle risorse disponibili nell'ottica dell'Economia Circolare.

La COP21 tenutasi a Parigi nel 2015 e ratificata nell'ottobre 2016 da 74 paesi, ha fatto balzare il tema del riscaldamento globale in cima all'agenda degli investitori (analisi EY 2016 e di Morgan Stanley 2018).

Il valore del patrimonio finanziario a rischio per il riscaldamento globale è stato stimato in 2500 miliardi di dollari dalla London Schools of Economics e dall'Economist.

4.3 La visione sistemica a livello nazionale per aumentare la competitività dei prodotti biobased e il potenziamento della simbiosi industriale

La visione sistemica delle risorse e delle competenze del paese comporta inevitabilmente il considerare i rifiuti come fonte di risorse e la loro conversione in materie da re-immettere nei cicli produttivi. Questo implica la definizione dei necessari cambiamenti nella progettazione dei materiali, per ottenere la semplificazione e le garanzie in termini di sicurezza connesse alla rigenerazione della materia. In questo quadro il concetto di sostenibilità dovrebbe essere valutato e misurato attraverso l'utilizzo di un approccio di Life Cycle Assessment, che tenga conto delle esternalità ambientali e del ciclo di vita integrale dei prodotti.

Tale scenario comporta inoltre un profondo cambiamento anche nelle scelte dei consumatori con la relativa necessità di innalzamento della consapevolezza e del coinvolgimento del pubblico. A livello nazionale sarà necessario analizzare il grado di accettazione dei consumatori nei confronti dei prodotti biobased, sia di quelli ottenuti da processi a partire da sostanze rinnovabili, sia di quelli da processi circolari che comportino il riutilizzo di materie attualmente scartate. Sarà necessario partire anche da ricerche di mercato che evidenzino le esigenze in termini di prodotti richiesti dal mercato e il confronto con le prestazioni e le caratteristiche dei prodotti realizzati tradizionalmente da fonti di tipo fossile (Mura et al., 2020)

Il documento '**Innovating for Sustainable Growth: a bioeconomy for Europe**' definisce la bioeconomia come produzione di risorse biologiche rinnovabili e trasformazione di tali risorse e dei flussi di rifiuti prodotti. Questo implica il coinvolgimento di molti settori industriali caratterizzati da un forte potenziale di innovazione e con competenze multidisciplinari nei settori scientifici e delle tecnologie industriali ed abilitanti.

In questa visione la simbiosi industriale rappresenterà un tassello di sviluppo inevitabile legato alle necessità di cambiamento tecnologico e che dovrà essere supportato da una visione sistemica a livello di organizzazione politico e della società.

L'identificazione dei processi necessari allo sviluppo della circolarità delle risorse, che colleghino gli scarti di una attività alle materie prime necessarie in un'altra e lo sviluppo delle azioni di networking utili allo sviluppo condiviso della tecnologia necessaria per la realizzazione di questi

processi rappresenteranno la sfida, in parte già affrontata per singole iniziative nel nostro Paese, che se affrontate opportunamente, potrà portare alla nascita di una nuova società industriale competitiva nel resto del mondo.

I bisogni per favorire la transizione sono di tipo economico, legislativo, tecnologico, di sinergia e di networking e di coinvolgimento ed aumento della consapevolezza della popolazione.

4.4 La collocazione e la sostenibilità dei bioprodotti: i nuovi mercati biobased

La Chimica Verde applicata all'Economia Circolare comporta la produzione di prodotti biobased e il loro inserimento nel mercato esistente o la creazione di nuovi mercati supportati da un allineamento a livello legislativo e procedurale (si veda sezione successiva), da supporto agli investimenti e dal coinvolgimento coordinato dei differenti settori.

Il mercato è in questo momento in una fase di evoluzione con esigenza di soddisfare i bisogni garantendo la salvaguardia del pianeta, si vedano anche le recenti manifestazioni giovanili, e non solo, dedicate a queste tematiche. Questa spinta *bottom-up* chiede risposte di tipo politico e dovrà rappresentare uno stimolo e un supporto allo sviluppo di mercati favorevoli all'introduzione di prodotti biobased.

Per il rilancio del paese, un ruolo fondamentale è svolto dalla Chimica Fine, la quale sta subendo una profonda trasformazione orientata alla sostenibilità ed eco-compatibilità.

La Chimica Fine è una *chimica target oriented*, che parte dai *platform chemicals* e li converte in *target fine chemicals*.

Tra i più importanti settori di applicazione dei prodotti biobased senza dubbio vi è il tessile, per l'abbigliamento e per la casa. L'attuale utilizzo di materiali non riciclabili o con una longevità limitata, dovuta anche alla strategia *fast fashion* di molti brand della moda, apre ai materiali biobased riciclabili uno spazio notevole. L'ottenimento attraverso processi biobased di materiali altamente performanti aprirà nuovi scenari. La sostituzione dei filati cotonieri con biopolimeri, e la conseguente riduzione delle estensioni altamente impattanti di piantagioni di cotone, creeranno applicazioni rispondenti alla filosofia dell'economia circolare e con applicazioni tessili molto più performanti e durevoli (Awasti et al., 2020).

Anche le applicazioni plastiche, grazie alla opportunità offerte dai polimeri biobased consentirà il superamento del paradigma plastica=inquinamento. La riciclabilità e la biodegradabilità di materiali plastici biobased, molto meglio accettati dall'opinione pubblica, consentiranno il corretto utilizzo dei manufatti di bioplastiche, e di conseguenza un notevole risparmio energetico e di risorse non rinnovabili durante l'uso dei prodotti stessi. L'utilizzo delle bioplastiche è già oggi possibile non solo per la produzione di imballaggi flessibili e rigidi ma anche per la produzione di tecnopolimeri ad alte prestazioni come le poliammidi che trovano largo impiego in molti settori quali l'automotive e l'elettrico (Mura et al., 2020).

Ulteriore impulso e nuovi mercati biobased sono inoltre promossi nell'ambito del nuovo Regolamento Europeo sui fertilizzanti (Reg. UE 1009/2019) che include nuove categorie di fertilizzanti, quali i biostimolanti.

4.5 Sfruttare le eccellenze nazionali del settore Chimica Verde per migliorare il posizionamento nazionale a livello Europeo

La politica, delineando le opportunità di crescita futura del Paese, potrebbe stimolare gli investimenti privati e tracciare le linee guida di un modello di società consapevole delle opportunità, dei rischi e partecipe della fase di cambiamento. L'accelerazione dei cambiamenti strutturali e l'adozione dell'innovazione nell'industria sono in primo piano nell'agenda della crescita europea. Le realtà maggiormente privilegiate dagli investimenti pubblici e privati su scala europea sono tipicamente caratterizzate da inclusività, capacità di coinvolgere imprese, investitori, ricerca e sviluppo, e decisori politici, e dal rafforzamento di specializzazione - da un lato - e complementarietà - dall'altro. Per questa ragione, gli ecosistemi regionali (cluster) di industrie e competenze correlate, caratterizzati da un'ampia gamma di interdipendenze industriali, sono snodi fondamentali per plasmare la crescita dell'industria chimica verde italiana su scala europea. Oltre a favorire innovazione e imprenditorialità, l'attuazione di ecosistemi imprenditoriali può meglio aderire alle linee guida dell'economia circolare. Rafforzando i cluster esistenti e/o facilitando la nascita di nuovi cluster, è infatti possibile sostenere la nascita e lo sviluppo di innovative catene del valore industriale che possano inserirsi su scala globale. La specializzazione intelligente e la sinergia tra punti di forza complementari, che sono elementi chiave di quest'approccio sistemico, tendono al superamento dei confini settoriali e geografici. Il quadro europeo rende disponibili politiche, programmi e strumenti diversi per la costruzione di partnership strategiche transnazionali. Le European Strategic Cluster Partnerships for Excellence (ESCP-4x) hanno l'obiettivo di aumentare la competitività delle piccole medie imprese (PMI) rafforzando l'eccellenza nella gestione dei cluster, facilitando gli scambi strategici e la collaborazione transnazionale tra ecosistemi industriali europei specializzati. E' auspicabile che le eccellenze della industria Chimica Verde italiana si dimostrino proattive nello sviluppo e nell'implementazione di politiche imprenditoriali sistemiche avanzate e nella partecipazione ai programmi ad esse correlati come, per esempio, il programma pilota ClusterXchange a sostegno degli scambi a breve termine per connettere gli ecosistemi industriali europei.

4.6 L'efficienza nello sfruttamento delle risorse e le potenzialità di sviluppo di consorzi

La necessaria razionalizzazione nell'utilizzo delle risorse potrà essere raggiunta attraverso l'utilizzo di processi della Chimica Verde in grado di incrementare l'efficienza dell'utilizzo dei materiali. L'efficienza nello sfruttamento delle risorse disponibili, supportata dallo sviluppo tecnologico e dagli investimenti, dovrà essere accompagnata dal coinvolgimento delle comunità, dalla promozione di accordi nazionali ed internazionali, dall'approvazione di leggi e regolamentazioni che siano a garanzia della salute umana e dell'ambiente (Falcone et al., 2018)

Il coinvolgimento delle comunità passerà anche attraverso la creazione del dialogo fra i differenti settori coordinato a livello nazionale in maniera da creare le condizioni per la realizzazione di piattaforme attrezzate condivise (consorzi) in grado di sviluppare le tecnologie necessarie alla transizione verso l'economia circolare traendo vantaggio da forme di investimento condivise e da fattori di scala competitivi.

4.7 Innalzare il livello di competenza attraverso la formazione universitaria nell'ottica di formare nuove professionalità e creare nuovi posti di lavoro

La portata dei cambiamenti indotti dalla necessità di sviluppo della simbiosi industriale e della Chimica Verde a sostegno dell'economia circolare è supportata da logiche economiche nuove che necessitano di uno sviluppo tecnico-scientifico, di competenze e figure professionali specifiche, e che riconosca un ruolo fondamentale anche al rapporto fra tecnologia, economia e società.

Questa spinta verso una nuova rivoluzione industriale dovrà essere sostenuta dall'innalzamento del livello di competenza inevitabilmente legato a un contemporaneo sviluppo degli enti di formazione in particolare professionalizzanti ed universitari. Questi dovranno essere di conseguenza supportati da investimenti pubblico/privati nel loro rapido percorso di innovazione e adeguamento alle nuove necessità industriali.

La transizione di cui dovrà essere protagonista l'industria mondiale, ed in particolare il contributo che lo sviluppo e l'applicazione dei processi della Chimica Verde ad essa potrà dare, richiede una forza lavoro qualificata in maniera specifica e quindi la ridefinizione dei programmi formativi delle scuole e delle università (Luhmann, 2020).

La formazione è una variabile fondamentale per la creazione delle infrastrutture e del mercato per i bioprodotto, insieme alla corretta comunicazione all'opinione pubblica e una politica di sostegno alla domanda anche attraverso il sistema degli appalti pubblici verdi (Conferenza di Utrecht, 2016).

Un esempio rilevante in ottica formazione è il **Master Bioeconomy in the Circular Economy (Biocirce)**, il primo Master interdisciplinare e internazionale finalizzato a formare figure professionali specializzate nel settore della bioeconomia circolare e sull'uso responsabile e sostenibile delle risorse rinnovabili e dei processi biotecnologici. Il Master nasce nel 2017 dall'iniziativa congiunta di quattro università - l'Università degli Studi di Milano Bicocca, l'Università degli Studi Federico II di Napoli, l'Università di Bologna e l'Università degli Studi di Torino e di alcune realtà non accademiche che si confrontano a diversi livelli con il mondo della bioeconomia e dell'Economia Circolare: Intesa Sanpaolo, Novamont, GFBiochemicals e PTP Science Park di Lodi. Il master è supportato anche da altri soggetti direttamente collegati al mondo della bioeconomia, come il Cluster SPRING e Assobiotec.

Un altro esempio rilevante di alta formazione è il Master **Gestione e progettazione di processi e impianti chimici sostenibili**, promosso dal Politecnico di Torino e iniziato a Gennaio 2020, che si prefigge di fornire un supporto formativo della durata di 2 anni per gli apprendisti laureati. La forte dinamicità del settore chimico, e in particolare la gestione ottimale della conversione della chimica da fonti petrolifere o comunque fossili a quelle rinnovabili, determina interessanti opportunità di lavoro sia per aziende consolidate sia per la nuova imprenditoria.

5. Ipotesi di policy

5.1 Quadro politico e legislativo: lo scenario di riferimento applicativo e il contesto europeo e nazionale.

Le politiche europee hanno impresso forte accelerazione a questo settore e all'Economia Circolare in generale dal 2015 in poi, anno dell'uscita del *Circular Economy Package*, e di tutte le strategie e direttive correlate.

Con l'insediamento **della Presidente Von Der Leyen**, la Commissione, in carica dal 1° Dicembre 2019, accentua ulteriormente la sua attenzione per le "politiche verdi" tanto da prevedere una delega speciale per il "**Green Deal Europeo**" per il Commissario per il Clima e vicepresidente Timmermans (Montanarella et al., 2021)

Parte centrale del Green Deal è il rafforzamento e l'ulteriore sviluppo del settore della bioeconomia con particolare attenzione alla Chimica Verde per la sua capacità di incidere direttamente sulla riduzione di emissioni di gas clima alteranti.

Il nuovo *Piano d'azione per l'economia circolare. Per un'Europa più pulita e più competitiva* di cui alla Comunicazione della Commissione Ue COM (2020) 98, riconosce la circolarità come elemento essenziale di una trasformazione dell'industria verso la neutralità climatica e la competitività a lungo termine. Il Piano si concentra su tre assi principali: i) riciclo e riuso delle materie prime, ii) riduzione dei rifiuti, iii) implementazione della "plastic strategy". L'incremento della circolarità nell'industria sarà stimolato anche agevolando la simbiosi industriale e promuovendo il settore della bioeconomia con un piano d'azione dedicato, in sinergia con gli obiettivi delineati nella strategia per l'industria, sostenibile e circolare (Montanarella et al., 2021).

Il regolamento CE 1907 del 2006, cosiddetto REACH, concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche mira da un lato a migliorare la conoscenza circa i rischi e pericolosità delle sostanze chimiche esistenti (formulate e commercializzate prima del 1981) e nuove (dopo il 1981) oltre a rafforzare la capacità di innovazione e competitività dell'industria chimica europea.

Un ulteriore tema aperto per le sostanze prodotte da rifiuto è poi quello dell'accettabilità del mercato, sia in termini di rispondenza a criteri definiti da bandi di gara (Criteri Minimi Ambientali), sia in termini di vera e propria accettabilità da parte del consumatore.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) diffondono le tecnologie ambientali e i prodotti ambientalmente preferibili e producono una leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione.

In Italia, l'efficacia dei CAM è stata assicurata grazie all'art. 18 della L. 221/2015 e, successivamente, all'art. 34 recante "Criteri di sostenibilità energetica e ambientale" del D.lgs. 50/2016 "Codice degli appalti" (modificato dal D.lgs 56/2017), che ne hanno reso obbligatoria l'applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti.

Questo obbligo garantisce che la politica nazionale in materia di appalti pubblici verdi sia incisiva non solo nell'obiettivo di ridurre gli impatti ambientali, ma nell'obiettivo di promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibili, circolari e nel diffondere l'occupazione "verde".

Oltre alla valorizzazione della qualità ambientale e al rispetto dei criteri sociali, l'applicazione dei CAM risponde anche all'esigenza della Pubblica Amministrazione di razionalizzare i propri consumi, riducendone ove possibile la spesa.

A ora sono stati adottati CAM per 17 categorie di forniture ed affidamenti.

5.2 Misure fiscali e di policy volte a sostenere le soluzioni ambientalmente più sostenibili

Questo quadro include la creazione di standard di qualità e misure di sostegno alla domanda (a partire dal rispetto dei CAM e dalla promozione di appalti pubblici verdi), incentivi alla ricerca e all'innovazione (intesa anche come industrializzazione dei risultati e finalizzata allo scopo di individuare nuovi business circolari), provvedimenti atti a far emergere e limitare costi ed esternalità ambientali, promuovendo la circolarità dell'economia e la riduzione degli impatti ambientali.

La bioeconomia e la biobased industry rappresentano in Europa e in Italia una realtà industriale consolidata, in grado di mobilitare capitali e attività di ricerca e sviluppo in molteplici settori industriali, maturi e innovativi. Rimangono tuttavia da valutare i benefici sociali e ambientali associati alla bioeconomia, soprattutto nell'ottica di una riduzione delle esternalità negative generate dall'industria. Sempre con un approccio oggettivo andranno create norme e metodologie standardizzate per la valutazione e la comunicazione della sostenibilità dei bioprodotti. La bioeconomia infatti non è un nuovo settore economico, ma un nuovo modo di organizzare la produzione industriale (Mastini et al., 2021). Un modo più sostenibile e responsabile che essendo relativamente giovane necessita di opportune tutele dei consumatori e adeguati indirizzi di policy.

5.3 Analisi e superamento delle problematiche legate al tema dell'End of Waste in sinergia con le politiche Europee.

Una criticità fondamentale, per il pieno sviluppo dell'Economia Circolare, è la corretta applicazione del concetto di *End-of-Waste*, inteso come l'intero e controllato processo che permette al rifiuto di tornare a svolgere un ruolo utile come prodotto, incrementando il fattore di circolarità.

L'applicazione di tale percorso, come già evidenziato, è resa difficile in Italia, a causa dei vincoli imposti dalla normativa nazionale che è risultata spesso frammentata e opaca per effetto delle diverse norme che si sono susseguite e stratificate negli ultimi anni e che ancora oggi non ne consentono un'efficace ed estesa applicazione (Johansson et al., 2020) (Figura 2).

Con il *Decreto sblocca cantieri* la facoltà di concedere le autorizzazioni compete alle Regioni e il riferimento per la cessazione della qualifica di rifiuto ritorna a essere il Decreto Ministeriale del 5 febbraio 1998 e s.m. Per tale motivo è intervenuta la legge n. 128/2019 prevede che, in mancanza di criteri specifici adottati tramite i consueti regolamenti ministeriali, le autorizzazioni per lo svolgimento di operazioni di recupero siano rilasciate o rinnovate direttamente nel rispetto delle condizioni di cui all'articolo 6 della direttiva 2008/98/CE e sulla base di criteri dettagliati, definiti nell'ambito dei medesimi procedimenti autorizzativi. Tale legge rappresenta un passo in avanti ma permangono ancora non poche criticità che riguardano nello specifico la disomogeneità di approccio autorizzativo dovute alla discrezionalità da parte delle diverse regioni e l'analoga disomogeneità del sistema e delle modalità dei controlli.

Il lungo iter burocratico e le incertezze dei mercati per la commercializzazione dei nuovi prodotti rappresentano oggi i più grandi ostacoli allo sviluppo del settore della bioeconomia. Risulta quindi indispensabile un profondo cambiamento del percorso autorizzativo, che garantisca agli operatori del settore poche regole chiare ed efficaci (Johansson et al., 2020)

L'attuale quadro normativo propone approcci che non appaiono essere in grado di affrontare le dinamiche di sviluppo attese dal settore della bioeconomia. Già oggi, tra le principali criticità del settore vi è la disomogenea applicazione delle norme sul territorio nazionale e la relativa interpretazione da parte degli enti di controllo (Antonioni et al., 2019).

Per questi motivi si ritiene utile un confronto circa la necessità di promuovere criteri uniformi ed omogenei sul territorio nazionale oltre alla necessità di promuovere meccanismi più semplici e flessibili per lo sviluppo dell'Economia circolare.

Per incentivare meccanismi, che considerino la dinamica con cui si sviluppa e si svilupperà l'economia circolare, è necessario promuovere una distinzione tra un prodotto (e.g. una molecola) sostitutivo di un prodotto già presente sul mercato e un prodotto nuovo, inteso come non esistente sul mercato o non riconducibile a una regolazione esistente (Johansson et al., 2020) (Gebremarian et al., 2020).

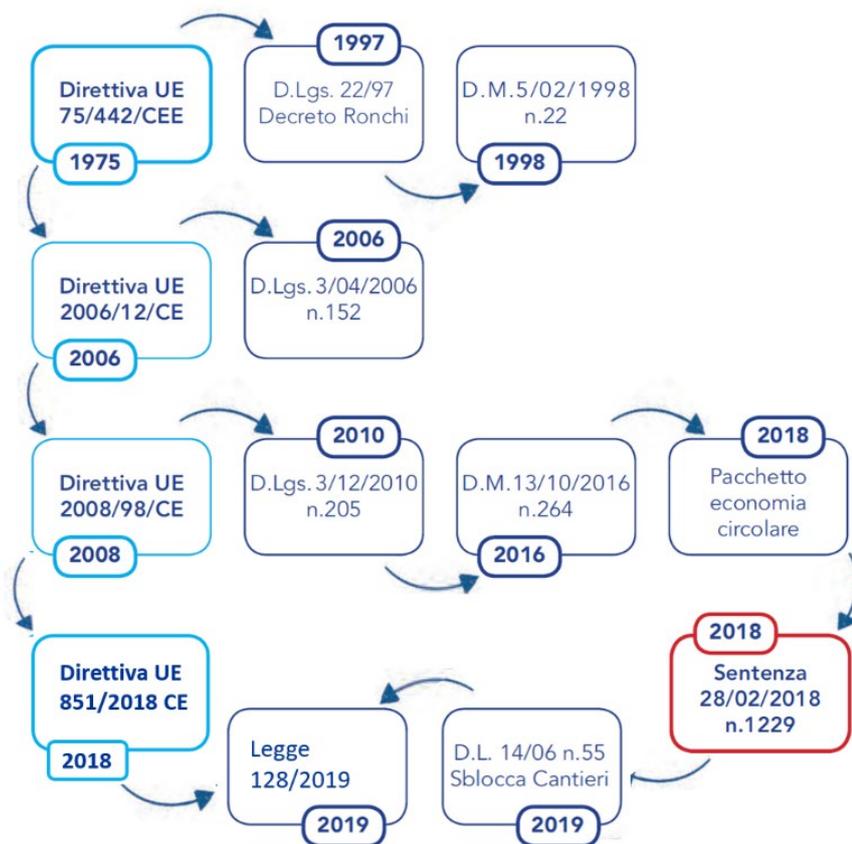


Figura 2: Evoluzione quadro normativo relativo all' End of Waste (EoW)

5.4 L'innalzamento della cultura della Chimica Verde – strumenti di comunicazione e formazione per la cittadinanza.

Un elemento fondamentale del Green New Deal è la formazione dei futuri chimici, biotecnologi e ingegneri chimici e ambientali attraverso un nuovo modo di concepire la chimica nella sua connotazione Green. Scuole e Università italiane stanno ponendo le basi per uno sforzo significativo in questo senso nella progettazione di percorsi di formazione basati sui principi della produzione sostenibile. L'elemento chiave di successo è una nuova impostazione della formazione che avvenga, a differenza degli approcci classici, attraverso una indispensabile contaminazione interdisciplinare dove chimici, biotecnologi, ingegneri chimici, energetici, gestionali e ambientali. Il tema della formazione è ulteriormente approfondito nel Position Paper "Migrazioni".

Appendice A:

Parametri di valutazione delle performance e sostenibilità delle bioraffinerie per la loro implementazione in contesti locali e specifici. (Bioeconomia Italia, 2019)

KPI	Descrizione
Disponibilità biomassa	Produzione di biomassa agricola (kg / capite) Produzione di biomassa blu (kg / capite) Produzione di biomassa forestale (kg / capite) Produzione di biomassa da rifiuti (incluso OFMSW) (kg / capite)
Struttura produttiva	Imprese nei settori totali della bioeconomia (% del totale delle imprese) Imprese nei sottosectori della bioeconomia (% del totale delle imprese) Avviamento innovativo in tutti i settori della bioeconomia (% del totale dell'avviamento innovativo) Avviamento innovativo nei sottosectori della bioeconomia (% del totale dell'avviamento innovativo)
Struttura occupazionale	Occupazione nei settori della bioeconomia totale (% dell'occupazione totale) Occupazione nei sottosectori della bioeconomia (% dell'occupazione totale)
Capacità umana	Istruzione terziaria (% della popolazione totale) Occupazione in R&S in tutti i settori della bioeconomia (% dell'occupazione totale) Occupazione in R&S nei sottosectori della bioeconomia (% dell'occupazione totale) Corsi universitari nei settori della bioeconomia (% del totale dei corsi universitari) Istituti di ricerca nei settori della bioeconomia (% del totale degli istituti di ricerca)
Innovazione	Domande di proprietà intellettuale (brevetti, marchi, design) in tutti i settori della bioeconomia (numero di domanda per 1000 dipendenti) Domande di proprietà intellettuale (brevetti, marchi, design) nei sottosectori della Bioeconomia (numero di domanda per 1000 dipendenti)
Investimento	Investimento privato R&D (index (EU=1)) Investimento pubblico R&D (index (EU=1))
Demografia	Crescita della popolazione [% year] Popolazione 15-65 years (% of total population) GDP (PPP) (index (EU=1))
Mercato	Turnover di tutto il settore bioeconomia Turnover del sotto-settore bioeconomia Valore aggiunto di tutto il settore bioeconomia Valore aggiunto di tutto il sotto-settore bioeconomia Esportazione di tutto il settore bioeconomy relativo a merci (% of total exports) Esportazione di tutto il sotto-settore bioeconomy relativo a merci (% of total exports) Importazione di tutto il settore bioeconomy relativo a merci (% of total imports) Importazione di tutto il sotto-settore bioeconomy relativo a merci (% of total imports)

Appendice B:

Bioprodotti ottenibili da un sistema di bioraffineria

Classe	Formula chimica	Prodotto	Destinazione di mercato (settori)	Valore di mercato	Processo	Rendimento
C2	C ₂ H ₅ OH	Etanolo	Alimentare, farmaceutico, cosmetico, industria	0.34€/kg (2014)	Chimico: idrolisi termica di qualsiasi sostanza contenente glucosio	0.480 g g ⁻¹
					Biologico: fermentazione degli zuccheri	0.511 g g ⁻¹
C3	C ₃ H ₆ O ₃	Acido lattico	Alimentare, farmaceutico, cosmetico, industriale	1.18€/kg per grado di purezza compreso tra 50-90% e 1.35€/kg per purezza>88%.	Chimico: idrolisi acida del lactonitrile Biologico: fermentazione di amidacee	0,63 – 0,81 g g ⁻¹ 0.94 g g ⁻¹ (per grado di purezza del 67%)
C3	C ₃ H ₆ O ₂	Acido propionico	Agricolo Alimentare, farmaceutico, cosmetico, industriale	1.01-1.06€/kg	Chimico: ossidazione dell'etilene Biologico: fermentazione di sostanze zuccherine (glucosio) o grassi (glicerolo)	0.500 g g ⁻¹
C3	C ₃ H ₈ O ₂	1,3-Propandiolo (PDO)	Industriale (produzione di polimeri) Solvente	34.2-45.5 €/kg	Chimico: ossidazione dell'etilene oppure a partire dall'acroleina Biologico: fermentazione del glicerolo	0.485 g g ⁻¹
C3	C ₃ H ₆ O ₃	Acido 3-idrossipropionico (3-HPA)	Industria chimica (prod. PDO)	13 €/kg	Chimico: idratazione dell'acido acrilico, idrolisi del 3-idrossipropionitrile oppure idrolisi del β-propiolattone Biologico: fermentazione del glicerolo oppure degradazione dell'acido acrilico	0.223 g/g da glicerolo
C4	C ₄ H ₆ O ₄	Acido succinico	Industriale, farmaceutico, alimentare	1.96-2.45€/kg	Chimico: riduzione dell'anidride maleica	0.926 g/g.

					Biologico: fermentazione del glicerolo del glucosio	
C4	C ₄ H ₆ O ₅	Acido malico	Alimentare, farmaceutico, cosmetico, industriale	1.48-2.02 €/t	Chimico: idratazione dell'acido maleico o fumarico Biologico: fermentazione di biomassa zuccherina (glucosio)	
C4	C ₄ H ₄ O ₄	Acido fumarico	Alimentare, farmaceutico, chimico	64.5 €/kg	Chimico: isomerizzazione catalitica dell'acido maleico Biologico: fermentazione di biomassa zuccherina	1g /g
C4	C ₄ H ₁₀ O ₂	2,3-Butanediolo (BDO)	Industria chimica (sintesi composti)	0.2-0.26 €/kg	Biologico: fermentazione di sostanze amidacee, zuccherine	0.420 g g ⁻¹
C4	C ₄ H ₈ O ₂	Acido butirrico	Alimentare, farmaceutico, cosmetico, chimico		Biologico: fermentazione di sostanze zuccherine, amidacee e lignocellulosiche	0.448 g g ⁻¹ .
C5	C ₅ H ₆ O ₄	Acido itaconico	Industriale (usato come platform chemical e in diversi processi industriali)	1473€/Mt - 1636€/Mt	Biologico: fermentazione degli zuccheri	nd
C5	C ₅ H ₁₂ O ₅	Xilitolo	Alimentare, farmaceutico	4.9 – 5.7€/kg	Chimico: riduzione dello xilosio Biologico: fermentazione batterica dello xylose o hemicellulosic hydrolyzate oppure fermentazione enzimatica dello xilosio	0,49-0.63 g/g
		PHA	Alimentare, industriale, medico e farmaceutico	1.5-5 €/kg (dei PHB)	Biologico: biosintesi di biomassa carboniosa (glucosio, amidi, xilosio, glicerolo, etc.)	4.69 g/l ()
C6	C ₆ H ₁₀ O ₄	Acido adipico	6,6 nylon	1.0 e 2.0 €/kg	Chimico:	85g/L

					<ul style="list-style-type: none"> da ossidazione del KAOil con acido nitrico Biologico: <ul style="list-style-type: none"> fermentazione di oli vegetali 	
		Bioetanolo	Trasporti	0.42 – 0.53 €/l	Biologico: fermentazione di biomassa zuccherina o lignocellulosica	nd
		Bio-oil	Trasporti Produzione di composti chimici	300 €/t	Termochimico: pirolisi o liquefazione di biomassa lignocellulosica	nd
		Syngas	Produzione di biocombustibili, energia elettrica e calore	0.27 – 1.28 €/l	Termochimico: gassificazione di biomassa lignocellulosica oppure steam/dry reforming di biomassa grassa	nd
		Biometano	Trasporti	0.14-0.24 €/m ³	Biologico: fermentazione di biomassa zuccherina o lignocellulosica e successivo upgrading	0.1-0.9 Nm ³ /kg di solido volatile
		Biodiesel	Trasporti	658-674 €/t	Chimico: transesterificazione dei trigliceridi	nd
		Biodrogeno	Trasporti	0.43-1.51 €/l	Chimico: <ul style="list-style-type: none"> reforming della biomassa zuccherina e non steam reforming del biogas promossa da Biorobur plus Biologico: fermentazione di biomassa lignocellulosica, oppure reforming degli zuccheri	91.03 ml/ g (biologico)

Riferimenti bibliografici

- Alizadeh R., Lund PD., Soltanisehat L. 2020. Outlook on biofuels in future studies: A systematic literature review. Renewable and Sustainable Energy Review. Vol134, pp 110326

- Anejionu OCD., Di Lucia L., Woods J. 2020. Geospatial modelling of environmental and socioeconomic impacts of large-scale production of advanced biofuel. Biomass and Bioenergy. Vol 142, pp105789
- Antoniou NA., Zorpas AA.2019. Quality protocol and procedure development to define end-of-waste criteria for tire pyrolysis oil in the framework of circular economy strategy. Waste Management. Vol.95, pp 161-170.
- Awasthi MK., Surendra Sarsaiya S., Ankita P. 2020. Refining biomass residues for sustainable energy and bio-products: An assessment of technology, its importance, and strategic applications in circular bio-economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol 127, pp 109, pp 109876.
- A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. European Commission. 2018. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf (ultimo accesso 4/03/2020)
- Associazione Nazionale Industriale Distillatori di Alcoli ed Acquaviti, AssoDistil. 2018. <https://assodistil.it/grande-soddisfazione-per-il-workshop-bioetanolo-la-soluzione-disponibile/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Bang K.J., Follér A., Buttazzoni M. (2009) WWF Industrial Biotechnology: More than green fuel in a dirty economy? Exploring the transformational potential of industrial biotechnology on the way to a green economy.
- Banu J.R., Preethi S., Kavith S., Gunasekaran M., Kumar G. 2020. Microalgae based biorefinery promoting circular bioeconomy-techno economic and life-cycle analysis. Bioresource Technoogy.
- Bilal M., Iqbal K., Abdur MK, NasiraA. Current state and barriers to the circular economy in the building sector: Towards a mitigation framework. Journal of Cleaner production, Vol 276, pp 123250
- BIT, 2019. Strategia nazionale Bioeconomia aggiornata, BIT II, Maggio 2019 <http://cnbbsv.palazzochigi.it/en/communication/news/bioeconomy/> <http://cnbbsv.palazzochigi.it/it/materie-di-competenza/bioeconomia/strategia-italiana/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- BIT II, Bioeconomy in Italy. A new bioeconomy strategy for sustainable Italy. https://ec.europa.eu/knowledge4policy/node/2857_fi (ultimo accesso 24/02/2020).
- Biodiversity Strategy. 2020. https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm (ultimo accesso 4/03/2020)
- Bioeconomia per la rigenerazione dei territori – Catia Bastioli – Edizioni per l’ambiente, 2018.
- Bioplastic. 2019. <https://www.resinex.it/industrie/bioplastics-current-important-trend.html> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Biorefineries in Europe 2017, Biobased Industries Consortium ,Nova Institute https://biconsortium.eu/sites/biconsortium.eu/files/downloads/MappingBiorefineriesAppendix_171219.pdf (ultimo accesso 24/02/2020).
- Blank L.M., Narancic T., Mampel J., Till Tiso T., O’Connor K.2019. Biotechnological upcycling of plastic waste and other non-conventional feedstocks in a circular economy. Current Opinion in Biotechnology, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.11.011>
- Che cos’è la bioeconomia, Mario Bonaccorso, Irene Banos Ruiz – Edizioni Ambiente 2019.

- Chen W., Oldfield T.L., Patsios S.I., Holden N.H. 2020. Hybrid life cycle assessment of agro-industrial wastewater valorisation. *Water research*, Vol 170, pp 115275
- CORDIS, Commissione Europea. 2020. [https://cordis.europa.eu/search/it?q=\(%2Farticle%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'brief'%20OR%20\(%2Fresult%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'deliverable',publication'%20OR%20\(%2Fresult%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'pubsum'%20OR%20contenttype%3D'project'\)\)%20AND%20\('italia'\)&p=3&num=10&srt=Relevance:decreasing](https://cordis.europa.eu/search/it?q=(%2Farticle%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'brief'%20OR%20(%2Fresult%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'deliverable',publication'%20OR%20(%2Fresult%2Frelations%2Fcategories%2Fcollection%2Fcode%3D'pubsum'%20OR%20contenttype%3D'project'))%20AND%20('italia')&p=3&num=10&srt=Relevance:decreasing) (ultimo accesso 24/02/2020).
- De Jong, E.D, Jungmeier G (2015). Biorefinery concepts in Comparison to Petrochemical Refineries. *Industrial Biorefineries and White Biotechnology* <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00001-X>.
- Dietz S., et al. Climate value at risk of global financial assets, *Nature climate change*, 2016.
- Dowling J.A., Rinaldi K.Z., Tyler H., Ruggles T.H., Davis S.J., Yuan M., Tong F., Lewis¹ N.S., Caldeira N. 2020 Role of Long-Duration Energy Storage in Variable Renewable Electricity Systems. *Joule*
- EEA, European Environment Agency, 2020. Progress on resource efficiency and decoupling in the EU-27. <https://www.eea.europa.eu/publications/progress-on-resource-efficiency-and> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Economist intelligence unit, the cost of inaction 2015
- Ecoscienza. 2017. https://www.arpae.it/cms3/documenti/cerca_doc/ecoscienza/ecoscienza2017_2/CrociGrasso_es2017_2.pdf (ultimo accesso 24/02/2020).
- Europe Bioeconomy, 2018. https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_infographic_2018.pdf#view=fit&pagemode=none (ultimo accesso 24/02/2020).
- European Commission, 2018, Final Report of the High-Level Panel of the European Decarbonisation Pathways Initiative - https://ec.europa.eu/info/publications/final-report-high-level-panel-european-decarbonisation-pathways-initiative_en (ultimo accesso 24/02/2020).
- Eurostat (2018) <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00020&plugin=1>, (ultimo accesso 24/02/2020)
- Eurostat, (2020).
- <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00108/default/table?lang=en> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Eurostat Solid Waste (2020). <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00108/default/table?lang=en> (ultimo accesso 24/02/2020).
- EU, Bioeconomy. 2019. <http://www.panacea-h2020.eu/it/2969-2/industrie-bio-based-europee/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- EY, Climate change: the investment perspective, 2016.
- Falcone P.M., Morone P., Sica E. 2018. Greening of the financial system and fuelling a sustainability transition A discursive approach to assess landscape pressures on the Italian financial system. *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.127, pp 23-27
- Gebremariam A.T., Di Maio F., Vahidi A., Rem P. 2020 Innovative technologies for recycling End-of-Life concrete waste in the built environment. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol.163, pp 104911.

- Gisellini P., Ulgiati S. 2020. Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and constraints. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, pp 118360
- Giuntoli J., Searle S., Jonsson R., Agostini A., Robert N., Amaducci S., Marelli L, CamiaA. 2020. Carbon accounting of bioenergy and forest management nexus. A reality-check of modeling assumptions and expectations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 134, pp 110368.
- GreenItaly - rapporto 2018, Fondazione Symbola – Unioncamere
- Global Resource Outlook, 2019. <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/human-health-dire-straits-if-urgent-actions-are-not-made-protect> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Going Climate-neutral by 2050. A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy. European Commission. 2020. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_enhttps://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (ultimo accesso 4/03/2020)
- Golden J.S. et al., An economic Impact Analysis of the US Biobased products industry, USDA2016
- Hoffman KC., Dicks AP., 2020. Shifting the paradigm of chemistry education by Greening the high school laboratory. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. Vol 16, pp 100242
- IEA, 2008 (International Energy Agency) Bioenergy Task 42 on Biorefineries. Minutes of the third task meeting. Copenhagen (DK).
- Industria Biobased. 2018. https://www.accademia-agricoltura.it/notizie_attachments/18/martina_minelli.pdf (ultimo accesso 24/02/2020).
- Innovating for Sustainable Growth: a bioeconomy for Europe- European Commission, 2012.
- International Environmental Agency, 2020. <https://www.ieabioenergy.com/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Intesa SanPaolo, 2019. La bioeconomia in Europa, 5° Rapporto. Direzione Studi e Ricerche. https://group.intesasanpaolo.com/content/dam/portalgroup/repository-documenti/public/Contenuti/RISORSE/Documenti%20PDF/PDF_sepa/CNT-05-000000052D514.pdf (ultimo accesso 24/02/2020).
- Istat, 2018. Rapporto annuale 2018: la situazione del Paese. <https://www.istat.it/storage/rapporto-annuale/2018/Rapportoannuale2018.pdf> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Johansson N., Forsgren C. 2020. Is this the end of end-of-waste? Uncovering the space between waste and products. *Resources, Conservation & Recycling*. Vol 155, pp 104656
- La Bioeconomia in Europa, 5° Rapporto -Direzione Studi e Ricerche - Marzo 2019. Intesa Sanpaolo, federchimica Assobiotech.
- Limits to growth, Donella meadows, Jorgen Randers, Dennis Meadows, 2006 Earthscan.
- Limits to Growth: The 30-Year Update, 2004, Donella Meadows, Jørgen Randers e Dennis Meadows - Chelsea Green Publishing Company.
- Luhmann M. 2020. Whose European bioeconomy? Relations of forces in the shaping of an updated EU bioeconomy strategy. *Environmental Development*. Vol.35, pp 100547
- Francesco Lombardi F., PickeringB., Colombo E., Pfenninge S. 2020. Policy Decision Support for RenewablesDeployment through Spatially ExplicitPractically Optimal Alternatives. *Joule*.

- Maclaren Duncan, Niskanen Johan Ahnsen Joanas. 2020. Reconfiguring repair: Contested politics and values of repair challenge instrumental discourses found in circular economies literature. Resource, recycling and conservation. Vol8, pp 100046
- Maity S.K. 2015. Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I. Renewable and Sustainable Energy Review. Vol. 43, pp 1427-1445.
- Maity S.K. 2015. Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part II. Renewable and Sustainable Energy Review. Vol. 43, pp 1427-1445.
- Mastini R., Kallis G., Hickel G. 2021. A Green New Deal without growth?. Ecological Economics. Vol 179, pp 106832
- Martelloni G, Martelloni G. 2020. Modelling the downhill of the Sars-Cov-2 in Italy and a universal forecast of the epidemic in the world. Chaos, Solitons and Fractals, Vol139, pp 110064
- Montanarella L., Panagos P. 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. Land Use Policy. Vol. 100, pp 104950
- Morgan Stanley, Sustainable signals. Asset owners Embrace sustainability, 2018.
- Mura M., Longo M., Zanni S. 2020. Circular economy in Italian SMEs: A multi-method study. Journal of Cleaner Production, Vol 245, pp 118821
- Nova-Institute, 2017. Renewable Carbon-Bio-and CO2-based Economy. [file:///C:/Users/franc/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/17-12-19-MappingBiorefineriesAppendix%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/franc/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/17-12-19-MappingBiorefineriesAppendix%20(1).pdf) (ultimo accesso 4/03/2020)
- Pellis A. Acero, E. H., Ferrario V., Ribitsch D., Guebitz G. M., Gardossi L. 2016 The Closure of the Cycle: Enzymatic Synthesis and Functionalization of Bio-Based Polyesters. Trends in Biotechnology, Vol.34, pp. 316-328.
- Plastic Consult 2019. La filiera dei polimeri compostabili <https://plasticconsult.it/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- SPRING 2019. SPRING, Sustainable Process and resources for innovation and National growth. <http://www.clusterspring.it/home/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Quale Energia.it. 2020. <https://www.qualenergia.it/articoli/biocarburanti-auto-elettriche-idrogeno-cosa-ce-per-i-trasporti-nel-piano-su-energia-e-clima/> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Razza F., Fieschi M., Innocenti FD, Bastioli C. 2009. Compostable cutlery and waste management: an LCA approach. Waste Management. Vol 29, pp 1424-1433.
- Rapporto dell'OCSE, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo economico. The Bioeconomy to 2030. https://www.esteri.it/mae/it/politica_estera/organizzazioni_internazionali/ocse.html (ultimo accesso 24/02/2020).
- Rapporto sull'economia circolare in Italia, con focus sulla bioeconomia, 2020. Circular Economy Network, ENEA. <https://circulareconomynetwork.it/rapporto-economia-circolare-2020>
- Rete Nazionale 2014-2020. La chimica verde per la sostenibilità dell'ortofrutta. Innovazione. 2018. <http://www.chimicaverde.it/ortofrutticoltura-sostenibile/> (ultimo accesso 24/02/2020).

- RGI, Rapporto green Italy, Fondazione Symbola, 2020. <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/CountriesWWS.pdf> (ultimo accesso 24/02/2020).
- Saracco G., 2017. Chimica Verde 2.0. Zanichelli.
- Someus E., Pugliese M. (2018). Concentrated phosphorus recovery from food grade animal bones. Sustainability, 10, 2349, <https://doi.org/10.3390/su10072349>.
- SPRING 2019. SPRING, Sustainable Process and resources for innovation and National growth.(ultimo accesso 24/02/2020).
- Strategia della Bioeconomia italiana. [Strategia della Bioeconomia Italiana attualmente in fase di consultazione sul sito dell'Agenzia di coesione http://www.agenziacoesione.gov.it/it](http://www.agenziacoesione.gov.it/it) (ultimo accesso 24/02/2020).
- Tutto Green, 2020. <https://www.lastampa.it/tuttogreen/2019/08/18/news/dagli-insetti-bioraffinerie-per-produrre-energia-nuovi-materiali-e-compost-1.37347928//> (ultimo accesso 24/02/2020).
- World Economic Forum (WEF)2020. <https://www.weforum.org/> (ultimo accesso 24/02/2020).

Alini S.^a, Barberis S.^b, Bensaid S.^c, Bigardi A.^d, Bolzonella D.^e, Cavani F.^f, Cesti P.^g, Chiaramonti D.^h, Del Seppia A.ⁱ, Demichelis F.^c, Esposito G.^j, Fatone F.^k, Fava F.^f, Fino D. ^{*c}, Fragapane A.^l, Gregori G.^l, Gullino M.^m, Maia G.^o, Mainero D.^p, Majone M.^q, Mancini G.^r, Manes F.^q, Mello E.^q, Mortara S.^s, Mussino G.^o, Nova I.^t, Pisano A.^s, Prandi. C.^u, Pugliese M.^m, Re A.^v, Resnati G.^t, Russo N. ^c, Tommasi T.^c, Trenti S.^w, Tumiatti V.^x, Zitella P.^y

a - Radici Chimica SpA, Via G. Fauser, 50, 28100 Novara (NO)

b - Rina Consulting SpA, Via Cecchi, 6, 16129 Genova (GE)

c - Politecnico di Torino, Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia

d - Clariant Italia SpA., Via Lainate 26, Pogliano Milanese (Mi), Italia

e - Università di Verona, Dipartimento di Biotecnologie, Via Ca' Vignal 2, Verona, Italia

f - Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale Toso Montanari, Viale del Risorgimento 4, Bologna, Italia

g - IBIS, Innovazione Bio-based and Sustainable products and processes, Corso Cavallotti 25, 28100 Novara, Italia

h - Consorzio RE-CORD, Renewable Energy Consortium for R&D, Viale Kennedy, 182, 50038 Scarperia e San Piero (FI), Italia

i - Versalis SpA., Piazza Boldrini 1, 20097 San Donato Milanese (MI), Italia

j - Università Federico II di Napoli, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Via Claudio 21, 80125, Napoli, Italia

k - Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze ed Ingegneria della Materia, dell'Ambiente e Urbanistica, Piazza Roma 22, 60121 Ancona, Italia

l - Novamont SpA, via Giacomo Fauser 8, 28100 Novara, Italia

m - Centro di Competenza per l'Innovazione in Campo agro-ambientale AGROINNOVA, Università degli Studi di Torino, Largo Paolo Braccini, 2, 10095, Grugliasco, Torino, Italia

o - ASJA Ambiente Italia SpA, Via Ivrea, 70 - 10098 Rivoli (To)

p - Acea Pinerolese, Via Vigone 42, 10064 Pinerolo (TO), Italia

q - Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma, Italia

r - Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica e Informatica, Viale A. Doria 6, 95125, Catania, Italia

s - Eni, Piazzale Enrico Mattei, 1 00144 Roma

t - Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia

u - Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Chimica, Via Giuria 7, 10124 Torino, Italia

v - Istituto Italiano di Tecnologie, Via Livorno 60, 10144, Torino, Italia

w - Intesa Sanpaolo, Piazza San Carlo, 156, 10121 Torino, Italia

x - Sea Marconi SRL, Via Ungheria 20, Collegno, Torino, Italia

y - Environment Park, Parco Scientifico Tecnologico per l'Ambiente, Via Livorno, 60 10144, Torino, Italia

***Autore di riferimento: prof.ssa Debora Fino, Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italia. debora.fino@polito.it.**