



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

in cooperation with
Fraunhofer



TECNOPOLO
RAVENNA
EMILIA-ROMAGNA 



cifla
Centro per l'innovazione
tecnologica e sociale

Simposio 2G-C

Confronto sulle traiettorie di decarbonizzazione attraverso
la produzione di carboni di seconda generazione

Report

Simposio 2G-C – Prima Edizione

Report

Autori:

Donata Chiari* (Università di Bologna – DIFA, CIRSA), donata.chiari2@unibo.it

Floriana Coppola* (Università di Bologna – CIRSA), floriana.coppola2@unibo.it

Andrea Cavina* (Università di Bologna – DBC), andrea.cavina8@unibo.it

Federico De Nardo (Università di Bologna – DIFA, CIRSA)

Enrico Balugani (Università di Bologna – DIFA)

Serena Righi (Università di Bologna – CIRI-FRAME, DIFA, CIRSA)

Diego Marazza (Università di Bologna – CIRI-FRAME, DIFA, CIRSA)

*Corresponding authors

DOI:

<https://doi.org/10.6092/unibo/amsacta/8489>

Settembre 2025

Quest'opera è pubblicata con licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>



26

GIUGNO
2025

9:30 -18:00

**Tecnopolo di Ravenna -
CENTRO DI RICERCA AMBIENTE
ENERGIA E MARE**

VIALE CIRO MENOTTI, 48 - 48123
MARINA DI RAVENNA

Organizzato da:

Fraunhofer Innovation Platform for Waste Valorisation and Future Energy Supply at University of Bologna (FIP-WE@UNIBO)

Università di Bologna – Gruppo di ricerca in Gestione Ambientale (Environmental Management Research Group, EMRG)

Centro per l'Innovazione di Fondazione Flaminia – CIFLA per Tecnopolo di Ravenna - Centro di Ricerca Ambiente Energia e Mare (CRAEM)

Ringraziamenti:



Questo evento è stato reso possibile anche grazie al progetto NET-Fuels. Il progetto NET-Fuels è finanziato dall'Unione Europea. Le opinioni e i pareri espressi sono tuttavia esclusivamente quelli dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente quelli dell'Unione Europea o dell'Agenzia esecutiva europea per il clima, le infrastrutture e l'ambiente (CINEA). Né l'Unione Europea né la CINEA possono essere ritenute responsabili per essi.

Sito web:

<https://eventi.unibo.it/simposio2g-c>

Comitato scientifico e organizzativo (Affiliazione e sigla del dipartimento di appartenenza):

Diego Marazza (Università di Bologna – CIRI-FRAME, DIFA, CIRSA)

Enrico Balugani (Università di Bologna – DIFA)

Federico De Nardo (Università di Bologna – DIFA, CIRSA)

Sabrina Mascia (Centro per l'Innovazione di Fondazione Flaminia – CIFLA)

Serena Righi (Università di Bologna – CIRI-FRAME, DIFA, CIRSA)

Nicolas Greggio (Università di Bologna – BIGEA)

Floriana Coppola (Università di Bologna – CIRSA)

Andrea Cavina (Università di Bologna – DBC)

Roberto Soldati (Università di Bologna – CIRI-FRAME)

Donata Chiari (Università di Bologna – DIFA, CIRSA)

Sara El Yamani (Università di Bologna – DIFA)

Indice

Indice	iv
Programma del Simposio	1
Introduzione	2
I temi trattati	3
Sfide globali e strategie di defossilizzazione e decarbonizzazione	3
I 2G-C nel quadro delle soluzioni Bio-CCS e Bio-CCU	3
Aspetti socioeconomici e culturali	4
Approcci biotecnologici e biofilm microbici	4
Applicazioni industriali	5
Il biochar nei suoli	5
Sondaggi	6
Introduzione	6
Sondaggio generale	6
Sondaggio Tecnologie	12
Sondaggio Agricoltura	14
Sondaggio Sostenibilità	15
In conclusione	17
Tavola Rotonda e Conclusioni	18
Barriere legislative ed economiche	18
Crediti di Carbonio in Unione Europea (UE)	18
Terminologia	19
Priorità	19
Conclusioni	19

Programma del Simposio

9:30 Saluti di benvenuto

9:40 Key note

Introduzione ai Carboni di Seconda Generazione

(2G-C): definizioni, applicazioni e prospettive, Diego Marazza

Riassemblare il carbonio: Una prospettiva antropologica sulla questione della permanenza del biochar nel suolo, Andrea Cavina

10:25 Sessione 1 - Tecnologie

Coordina Antonio Primante

Biomasse di scarto per applicazioni elettrochimiche, Elisabetta Petri

Carboni funzionalizzati con microrganismi per il recupero di acque e suoli inquinati, Martina Cappelletti

Progettare carboni per il recupero di nutrienti da reflui: MgOCarbon, Alessia Alcantarini

Confronto aperto tra relatori e pubblico

Pausa Caffè

12:00 Sessione 2 - Agricoltura

Coordina Enrico Balugani

Effetti pedologici di lungo termine: compost e biochar nel suolo LTE di Tebano (RA), Nicolas Greggio

Effetti agronomici di lungo termine: compost e biochar nel vigneto del LTE di Tebano (RA), Pietro Rebeggiani

Il Biochar, prospettive e casi applicativi nel settore del florovivaismo, Silvia Baronti

Confronto aperto tra relatori e pubblico

Pausa pranzo

14:30 Sessione 3 - Sostenibilità

Coordina Serena Righi

Caratterizzazione del biochar a servizio della valutazione ambientale, Alessandro Rombolà

Produzione di biochar in ottica di ciclo di vita attraverso la gassificazione, Francesco Arfelli

Rappresentare e misurare l'interazione tra biochar e suolo: verso modelli unificati, Enrico Balugani

Caso studio di applicazione del modello RothC nell'ambito dell'analisi del ciclo di vita (LCA), Alessandro Buscaroli/Roberto Soldati

Confronto aperto tra relatori e pubblico

Pausa Caffè

16:15 Tavola rotonda

con la partecipazione di ICHAR e ARPAE

coordina Diego Marazza

17:15 Chiusura evento e

presentazione Simposio 2026

17:30 Visita ai laboratori (su iscrizione a parte)

19:00 Cena sociale di networking al BBK (su iscrizione a parte)

Introduzione

La concentrazione atmosferica odierna di anidride carbonica (CO₂) è tra le più alte degli ultimi due milioni di anni, fattore profondamente incisivo per il clima che cambia attorno a noi. Per questo, la riduzione delle emissioni di CO₂ e il suo sequestro con stoccaggio sono alla base della mitigazione climatica e della necessaria defossilizzazione e decarbonizzazione dei nostri sistemi industriali ed economici. In tale contesto i carboni di seconda generazione (*second generation carbons*, 2G-C) si collocano come una delle soluzioni più promettenti.

Il termine 2G-C rappresenta una vasta gamma di sostanze a base di carbonio, diverse per composizione, struttura, proprietà, ed impiego, aventi in comune il processo tecnologico di fabbricazione: sono ottenute attraverso un processo termochimico a partire da sostanze carboniose ed eventuali componenti minerali (metalli, alcali, e altre componenti inorganiche). Oltre a rappresentare una delle più promettenti soluzioni per il sequestro di carbonio, grazie alle loro proprietà e possibilità di funzionalizzazione possono esprimere, tra le altre, proprietà sorbenti, redox, e di supporto microbiologico. Le possibili applicazioni spaziano dall'agricoltura, al trattamento delle acque reflue, all'elettrochimica, per finire con la sostituzione di substrati florovivaistici composti da torba.

Il Simposio 2G-C 2025 (di seguito: Simposio) ha voluto creare un momento di incontro e confronto per esplorare le soluzioni offerte dai 2G-C. Si tratta di soluzioni che vertono su processi di carbonizzazione multifunzionali, sia per la riduzione delle emissioni che per lo stoccaggio della CO₂, e che consentono la produzione di materiali avanzati. Il presente documento si propone di presentare le principali tematiche e considerazioni emerse durante l'evento grazie agli interventi delle numerose esperte e dei numerosi esperti che si sono susseguiti nel corso della giornata (Programma del Simposio, pag. 1), nonché di riportare in sintesi gli esiti di sondaggi somministrati alle/i partecipanti. In questo modo, si offre una panoramica integrata che combina il contributo scientifico delle esperte e degli esperti con la percezione e le priorità della comunità delle/i partecipanti.

Nell'arco dell'evento, le esperte e gli esperti presenti hanno illustrato punti di vista scientifici, tecnici, e politici sui 2G-C, oltre che mostrare come la ricerca continui a sviluppare sempre nuove conoscenze e competenze sui loro processi di produzione e utilizzo. La versatilità di tali materiali genera spazi di innovazione e di discussione in diversi ambiti, dalla loro integrazione in agricoltura alla loro applicazione per la depurazione delle acque reflue. Proprio tale ampiezza di possibilità crea la necessità di punti d'incontro, come questo, per rafforzare collaborazioni e comprendere lo stato dell'arte dei 2G-C nei diversi campi di ricerca. Il Simposio è stato il primo di una serie di appuntamenti periodici intesi a costruire una strategia di transizione verso economie mirate alla decarbonizzazione e alla defossilizzazione. Consapevoli del potenziale valore e delle sfide sociali per conseguire gli obiettivi di mitigazione della crisi climatica, le/i partecipanti hanno mirato con questo primo evento a definire le priorità e condividere i passaggi per il coinvolgimento dei soggetti industriali e dei decisori politici.

I temi trattati

Sfide globali e strategie di defossilizzazione e decarbonizzazione

Il sesto rapporto di valutazione dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)¹ ha rivelato che le emissioni globali **nette** di gas serra di origine antropica sono state nel 2019 pari a circa 60 miliardi di tonnellate di CO₂-equivalente (GtCO₂-eq), di cui circa i due terzi da CO₂, circa il 12% (6,5 GtCO₂-eq) in più rispetto al 2010 e il 54% (21 GtCO₂-eq) in più rispetto al 1990. Una quantità e un ritmo di crescita insostenibili. Le politiche a disposizione seguono oggi due macro-approcci complementari: da una parte c'è la **riduzione** delle emissioni (e.g., sostituzione di energia fossile con rinnovabile) e dall'altra c'è la **rimozione** della CO₂ tramite “pozzi” naturali o artificiali. Le due strategie non sono equivalenti per efficacia e costi.

Tra le tecnologie di rimozione, le più promettenti sono quelle che combinano elevate maturità tecnologica (*Technology Readiness Level*, TRL) e competitività economica, come nel caso del biochar, una tipologia di 2G-C tra le più conosciute e utilizzate. Rispetto a soluzioni come la cattura e lo stoccaggio della CO₂ (*Carbon Capture and Storage*, CCS) — puramente *end-of-pipe* — la carbonizzazione unita alla produzione di 2G-C rappresenta un'alternativa di sistema, tecnicamente in parte più accessibile e disponibile della sola CCS, in grado di contribuire al sequestro di carbonio con co-benefici in campo agricolo, industriale, e ambientale.

I 2G-C nel quadro delle soluzioni Bio-CCS e Bio-CCU

La soluzione proposta va pensata come innovazione di sistema, di processo, di prodotto, che investe le filiere economiche e la finanza, spostando il valore dalla produzione di energia alla mitigazione climatica. L'innovazione dell'operazione di carbonizzazione offre un processo multifunzionale che può includere lo smaltimento e la gestione di residui ligno-cellulosici, la produzione di carboni funzionalizzati ed ingegnerizzati — qui appunto definiti 2G-C — e la co-produzione di calore, di intermedi chimici ed energetici, e di flussi di CO₂ destinabile alla via CCS o all'utilizzo industriale (*Carbon Capture and Utilization*, CCU).

¹ IPCC (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Lee, H. and Romero J. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

In questo senso l'utilizzo di biomassa con CCS o l'utilizzo industriale prendono il nome rispettivamente di Bio-CCS e Bio-CCU.² Il progetto NET-Fuels condotto dalla Università di Bologna è un esempio di questo tipo di soluzioni.³

Aspetti socioeconomici e culturali

La soluzione proposta è una soluzione di sistema, pertanto il cambiamento tecnologico e industriale deve essere anche ecologico e culturale. Per esempio, in contesti agricoli tradizionali, l'adozione di nuove pratiche come l'applicazione di biochar è spesso ostacolata da fattori generazionali, organizzativi, e di percezione. Inoltre, è bene che il sequestro di carbonio non sia l'unico obiettivo che motivi l'utilizzo del biochar. Così come per altre soluzioni climatiche, avere un approccio che consideri anche i co-benefici porta ad un impatto positivo maggiore sull'intero sistema ed una migliore accettabilità sociale.

È necessario costruire nuove filiere industriali e territoriali attorno ai 2G-C, con nuove professioni, infrastrutture, e reti logistiche, coinvolgendo attivamente agricoltrici e agricoltori e stakeholders locali. In questo senso, è essenziale affiancare un'analisi della sostenibilità ambientale dell'intera filiera. Strumenti come l'Analisi del Ciclo di Vita (*Life Cycle Assessment*, LCA) permettono di misurare tutti gli impatti ambientali associati alla produzione, trasformazione, trasporto, e applicazione dei 2G-C. Questo approccio consente di evitare effetti indesiderati, come lo *shifting* degli impatti, ossia lo spostamento del danno ambientale da una fase ad un'altra del ciclo di vita o da una categoria d'impatto ad un'altra (e.g., una riduzione delle emissioni di CO₂ accompagnata da un aumento del consumo di risorse o delle emissioni di particolato atmosferico).

Approcci biotecnologici e biofilm microbici

Si è approfondito il tema dei 2G-C funzionalizzati con microrganismi e nello specifico il ruolo dei biofilm microbici nei carboni funzionalizzati: i microrganismi aderiscono alla superficie dei carboni (biochar o carboni attivi) creando strutture tridimensionali che migliorano la resistenza agli stress ambientali. Attraverso lo sviluppo di consorzi microbici mirati, si possono ottimizzare processi di biorisanamento di acque contaminate o di rigenerazione di carboni esausti.

² Vedi https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/06/IEA-Bioenergy-2-page-Summary-Bio_CCUS_FINAL_29.6.2018.pdf

³ NET-Fuels è un progetto quadriennale finanziato dal programma Horizon Europe della Commissione Europea per sviluppare e convalidare processi chimici e termici integrati per la produzione di combustibili ed energia sostenibili da biomasse di scarto di bassa qualità. Il sistema integrato è progettato per riutilizzare e ridurre al minimo le emissioni di CO₂ del processo e, in combinazione con l'arricchimento del suolo mediante il biochar ottenuto dal processo, consentirà di ottenere emissioni di gas serra negative certificate. Vedi <https://netfuelsproject.org/>.

Applicazioni industriali

I residui di digestato possono essere trasformati in 2G-C ad alta prestazione per applicazioni elettrochimiche, come collettori di corrente. Il processo prevede pirolisi ad alta temperatura e trattamenti chimici che ne amplino la superficie specifica. I sottoprodotti (bio-petrolio e syngas) possono essere recuperati energeticamente, aumentando l'efficienza complessiva.

Il biochar nei suoli

È necessario sviluppare modelli previsionali affidabili per valutare la persistenza del carbonio nei suoli che includano anche l'effetto "priming" del biochar, ossia la variazione del ciclo del carbonio nel suolo. Alcune evidenze sperimentali indicano che, in alcune condizioni pedoclimatiche, il biochar può subire degradazione significativa nell'arco di 10–50 anni, mentre altre indicano periodi di persistenza molto più lunghi. Per valutarne la stabilità, si può utilizzare anche la pirolisi analitica e alcuni marker chimici (poliaromatici, policondensati) che indicano il grado di carbonizzazione.

Modelli come il RothC, raccomandati dalla FAO, richiedono dati sperimentali di lungo periodo, di cui c'è ancora scarsità. Durante l'evento sono stati presentati risultati dei cosiddetti esperimenti di lungo termine (*Long Term Experiments*, LTE),⁴ ancora poco diffusi sia in Italia che nel mondo. Alcuni di questi esperimenti hanno evidenziato come le dosi di biochar nel suolo abbiano un effetto significativo sulle colture. Ad esempio, l'applicazione di biochar nei suoli adibiti alla viticoltura può influenzare positivamente la qualità del mosto e dei vini, agendo sui parametri di acidità, zuccheri, e alcoli. Si è inoltre visto, tuttavia, come l'effetto in agricoltura sia variabile a seconda delle condizioni di contorno (tipo di suolo, regime idrologico, etc.). Alla luce di queste considerazioni, valutare la sostenibilità ambientale in chiave integrata con modelli di dinamica di carbonio nel suolo (come RothC) diventa fondamentale. Ciò implica prendere in esame non solo il potenziale di sequestro di carbonio, ma anche la provenienza della biomassa, l'efficienza energetica dei processi di pirolisi, la gestione dei co-prodotti (syngas, bio-petrolio), e le condizioni specifiche di applicazione nei suoli. Questi fattori possono influenzare in modo sostanziale la persistenza del carbonio e gli effetti sul ciclo dei nutrienti, contribuendo a determinare benefici e co-benefici dell'uso di biochar. Le attività presentate fanno anche riferimento al progetto BIO-C-VITE.⁵

⁴ Vedi <https://site.unibo.it/environmental-management-research-group/en/activities/long-term-platform>

⁵ BIO-C-VITE è un progetto biennale PRIN2022 finalizzato alla valutazione e valorizzazione degli effetti a lungo termine dell'ammendamento del suolo con biochar, con l'obiettivo di promuovere la salute del suolo, lo stoccaggio del carbonio e la viticoltura sostenibile. Basandosi su quattro esperimenti di lungo periodo (4–12 anni), il progetto integra la modellazione del carbonio nel suolo (modello RothC) con l'analisi del ciclo di vita (LCA) dei vigneti, al fine di stimare i benefici ambientali e il potenziale di sequestro del carbonio nei suoli ammendati. Vedi <https://bio-c-vite.org/the-project/>.

Sondaggi

Introduzione

Durante il Simposio sono stati sottoposti alle/i partecipanti dei sondaggi per raccogliere in modo sistematico le loro opinioni e le aree di interesse, al fine di delineare un quadro aggiornato delle tendenze e delle prospettive future del campo di ricerca sui 2G-C. Le risposte⁶ sono state raccolte in modo completamente anonimo; sono state considerate valide anche le compilazioni parziali. I sondaggi sono stati somministrati ed i risultati elaborati utilizzando la piattaforma Qualtrics^{XM}.

Il primo sondaggio da nove domande, compilato alla fine degli interventi di apertura, ha avuto carattere generale, mentre altri tre sondaggi da circa tre domande ciascuno, somministrati alla fine di ogni sessione tematica — i.e., Tecnologie, Agricoltura, e Sostenibilità — hanno indagato aspetti specifici. Questa sezione del report presenta e analizza le risposte fornite dalle/i partecipanti. Delle 30 persone presenti al Simposio, tutte hanno risposto al primo sondaggio, mentre il secondo ha ricevuto 29 risposte, il terzo 24, ed il quarto 26. Con numeri così contenuti, non è possibile condurre un'analisi statistica né formulare conclusioni rappresentative. Le considerazioni che seguono si basano pertanto su un'interpretazione qualitativa delle risposte, da intendersi solo come potenzialmente indicativa delle opinioni presenti nella comunità scientifica.

Sondaggio generale

Il confronto e, ove possibile, l'armonizzazione delle opinioni, anche in merito alla terminologia da adottare, è stato uno degli obiettivi del Simposio. Alla domanda sul termine ritenuto più adeguato a descrivere la sostanza carboniosa pirolizzata che sia in grado di includere le innovative tecnologie di produzione e le molteplici applicazioni, la maggioranza relativa delle/i partecipanti (45%, $R = 29$) ha espresso una chiara preferenza per “Carboni di seconda generazione, o second generation carbons (2G-C)”, seguito da “Biochar” (31%) e “Carboni vegetali” (10%) (*Grafico 1*).

⁶ Cavina, A.; Coppola, F.; Chiari, D.; De Nardo, F.; Balugani, E.; Primante, A; Righi, S.; Marazza, D. (2025) Simposio 2G-C 2025: Sondaggi. Università di Bologna. DOI 10.6092/unibo/amsacta/8428.

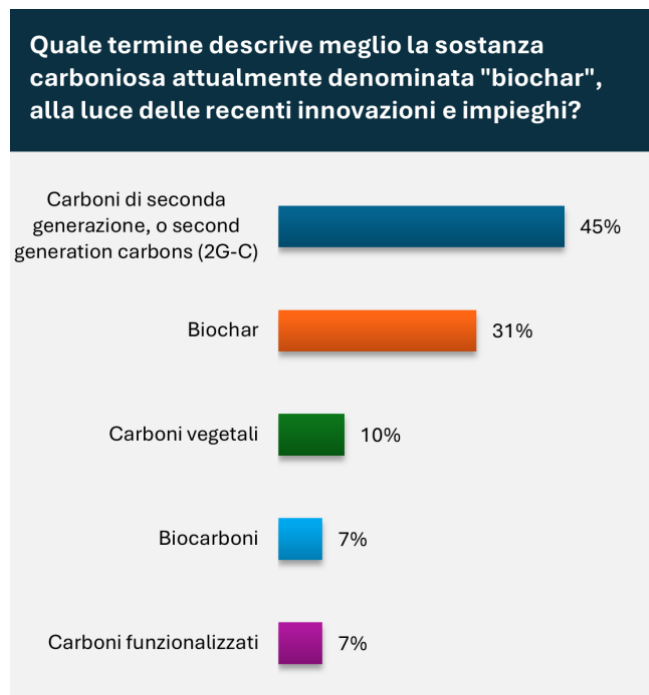


Grafico 1. Risultati sondaggio domanda sulla terminologia

Alla domanda relativa alle proprie attività e aree di interesse scientifico ($R = 30$), il 63% delle/i partecipanti (19) ha indicato un orientamento disciplinare verso le scienze ambientali e agrarie (SAA), il 20% (6) verso le scienze chimiche e biotecnologiche (SCB), e il 17% (5) verso gli studi sociali sul clima e l'economia circolare (SSEC). Il *Grafico 2* presenta una visualizzazione dettagliata delle risposte.

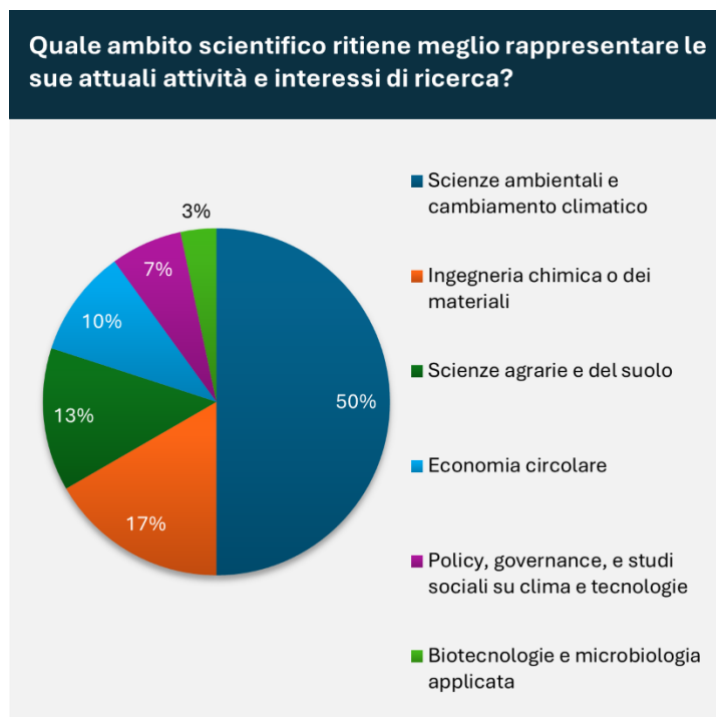


Grafico 2. Risultati sondaggio domanda su ambito scientifico dei partecipanti.

Nonostante non sia possibile identificare relazioni statisticamente significative, si possono notare delle comprensibili quanto interessanti tendenze tra l'orientamento disciplinare e le risposte alle altre domande del sondaggio. Alla domanda sulle priorità di ricerca e sviluppo legate alle applicazioni dei 2G-C (*Grafico 3*), che prevedeva la possibilità di risposte multiple, la “Rimozione di CO₂” (69%) è risultata l'opzione più selezionata, seguita dalla “Bonifica ambientale” (45%) e dal “Trattamento di acque reflue e fanghi di depurazione” (38%). Disaggregando le risposte per ambito disciplinare (*Grafico 4*), il gruppo SAA ($R = 18$) ha selezionato tutte le opzioni disponibili, con una marcata preferenza per rimozione e bonifica. Oltre a queste due, il gruppo SCB ($R = 6$) ha attribuito ancor maggiore rilevanza al trattamento di reflui e fanghi, indicando tuttavia zero priorità per “Ammendamento del suolo”, “Substrati di coltivazione”, e “Supporto alla digestione anaerobica”. Anche il gruppo SSEC ($R = 5$) non ha selezionato “Supporto alla digestione anaerobica” né “Catalisi e materiali per energia pulita”, indicando la rimozione di CO₂ come l'applicazione prioritaria. Questo evidenzia, da un lato, l'elevata versatilità dei materiali 2G-C e, dall'altro, la necessità di un approccio multidisciplinare per esplorarne e valorizzarne appieno tutte le potenzialità.

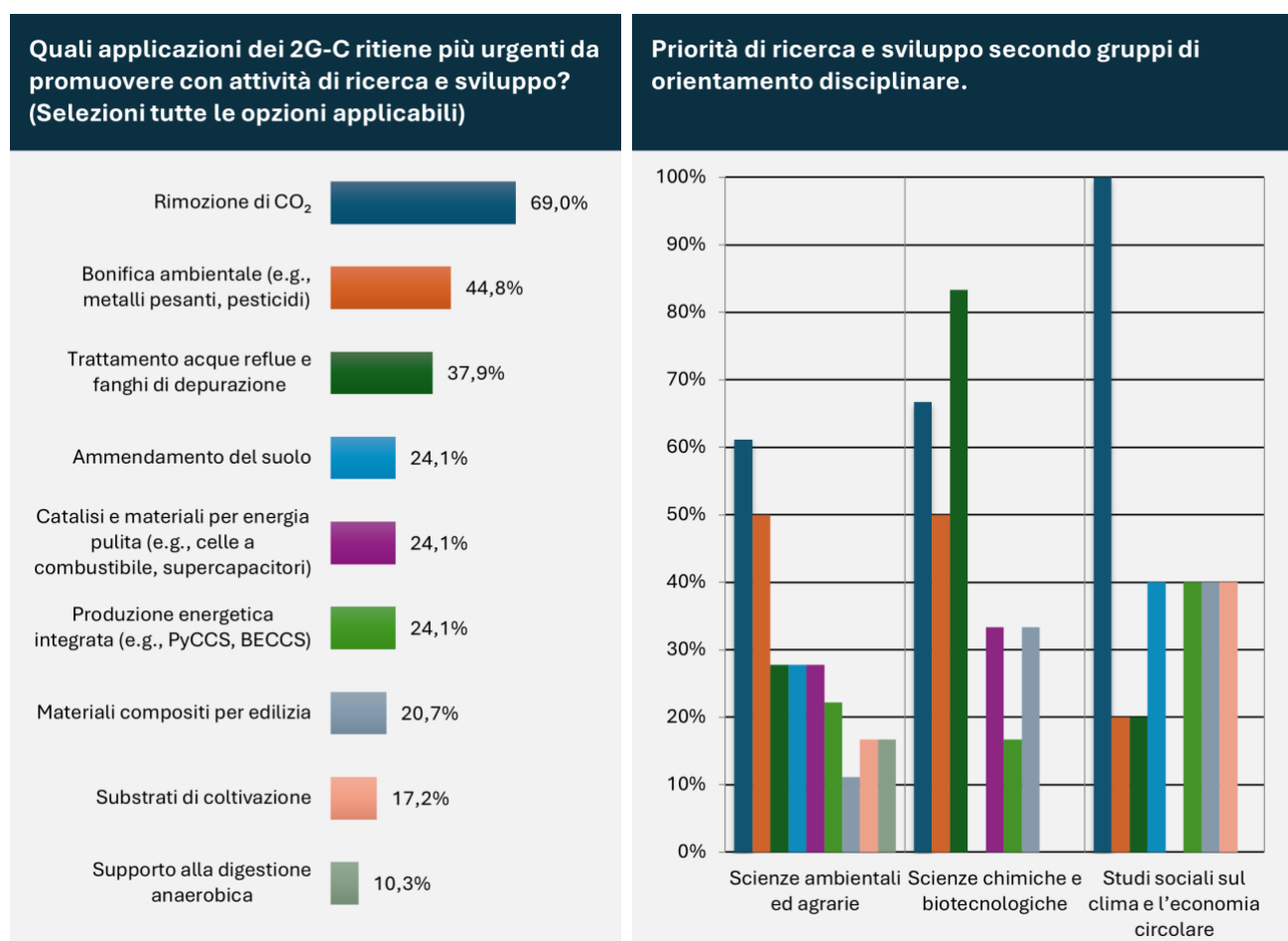


Grafico 3 (sinistra) e Grafico 4 (destra). Risultati sondaggio domande su applicazioni più urgenti e priorità di ricerca, rispettivamente.

Alla domanda relativa a quale settore sia prioritario per l'integrazione di sistemi basati su 2G-C finalizzata a favorire processi efficaci di defossilizzazione e decarbonizzazione e lo sviluppo di modelli economici sostenibili ($R = 29$), le risposte si sono concentrate prevalentemente sul "Settore agricolo e forestale" (48%) e sul "Settore industriale" (45%). Anche in questo caso si osserva una correlazione con l'orientamento disciplinare: il 61% del gruppo SAA ha indicato come prioritario il settore agricolo e forestale, mentre i gruppi SCB e SSEC hanno mostrato una preferenza per l'integrazione nel settore industriale, con rispettivamente il 50% e il 60% delle risposte. La domanda successiva chiedeva di indicare quale aspetto della filiera 2G-C, all'interno del settore precedentemente selezionato, fosse prioritario sviluppare. Per il settore agricolo e forestale (*Grafico 5*), il 50% delle/i rispondenti ($R = 12$) ha individuato come prioritario lo sviluppo di "Sistemi di applicazione dei 2G-C e valorizzazione dei co-benefici". Per il settore industriale (*Grafico 6*), il 46% ($R = 13$) ha invece indicato i "Sistemi integrati di produzione energetica e utilizzo dei co-prodotti" come area di sviluppo prioritaria.

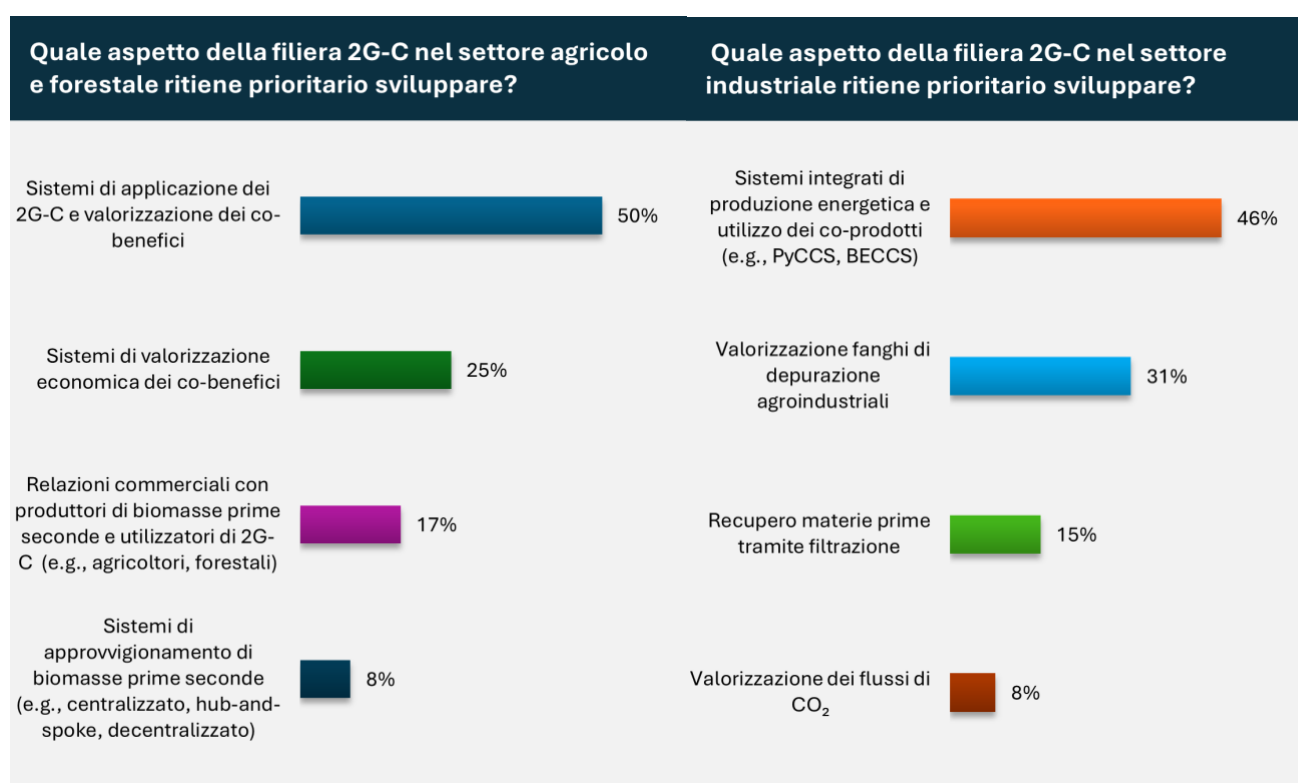


Grafico 5 (sinistra) e Grafico 6 (destra). Risultati sondaggio domande su aspetti prioritari nella filiera 2G-C nel settore agricolo-forestale e nel settore industriale, rispettivamente.

L'aspetto del potenziale di mitigazione climatica dei 2G-C maggiormente influenzato da incertezze e lacune scientifiche (*Grafico 7*) è risultato essere "Il tempo medio di permanenza del carbonio dei 2G-C nel suolo e i metodi di rilevazione e modellazione" ($R = 28$).⁷ Anche in questo

⁷ Durante il simposio, è stato suggerito il termine "persistenza" in quanto inclusivo sia delle caratteristiche intrinseche dei 2G-C, sia di quelle estrinseche ambientali. In questa sezione del report, continuiamo ad utilizzare invece "permanenza" come nei sondaggi somministrati ai partecipanti.

caso, le risposte mostrano una correlazione con l'orientamento disciplinare: il gruppo SAA ha espresso una netta preferenza per il tema della permanenza (53%), mentre il gruppo SSEC ha privilegiato “Gli effetti sul ciclo dell'azoto nel suolo ed emissioni di gas serra non-CO₂ dal suolo” (50%). Il gruppo SCB, infine, ha distribuito equamente le risposte tra “I metodi di carbonizzazione e delle configurazioni che massimizzino gli assorbimenti” e “La fitomassa e le sorgenti di materiali carboniosi effettivamente disponibili e accessibili per la carbonizzazione” (33% ciascuno). Sebbene il numero limitato delle/i rispondenti non consenta generalizzazioni, si può però ipotizzare che una diversa composizione disciplinare del campione avrebbe prodotto una distribuzione differente delle risposte.

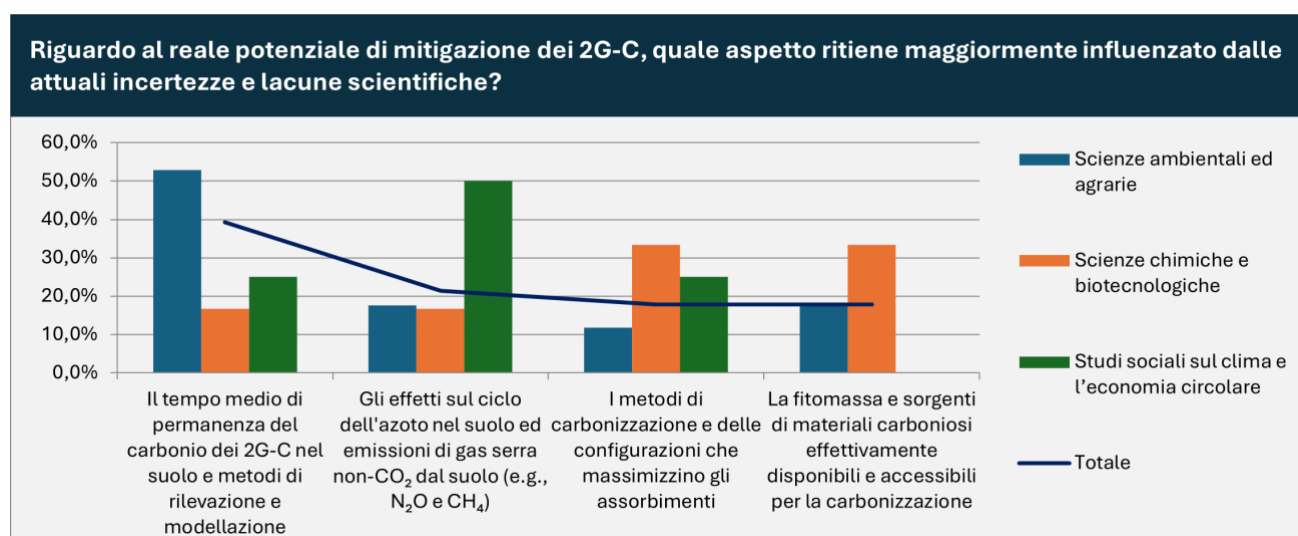


Grafico 7. Risultati sondaggio domanda su incertezze e lacune scientifiche relative al potenziale di mitigazione dei 2G-C.

Uno dei temi centrali — se non il principale — del Simposio ha riguardato la permanenza dei 2G-C nel suolo e le metodologie per certificarla, in particolare in relazione al loro impiego per la rimozione di carbonio atmosferico e alla generazione di crediti di carbonio. Il *Grafico 8* presenta in forma combinata le risposte delle/i partecipanti ($R = 29$): la linea rappresenta la stima del tempo medio di permanenza espressa in anni per i 2G-C attualmente in commercio e applicati a un tipico suolo agricolo italiano, mentre le colonne indicano gli approcci metodologici considerati validi a supporto di tale stima, con possibilità di selezione multipla. Il tema è attualmente oggetto di acceso dibattito nella comunità scientifica e, come evidenziato in precedenza, è stato indicato come il principale nodo di incertezza rispetto al reale potenziale di mitigazione climatica dei 2G-C.

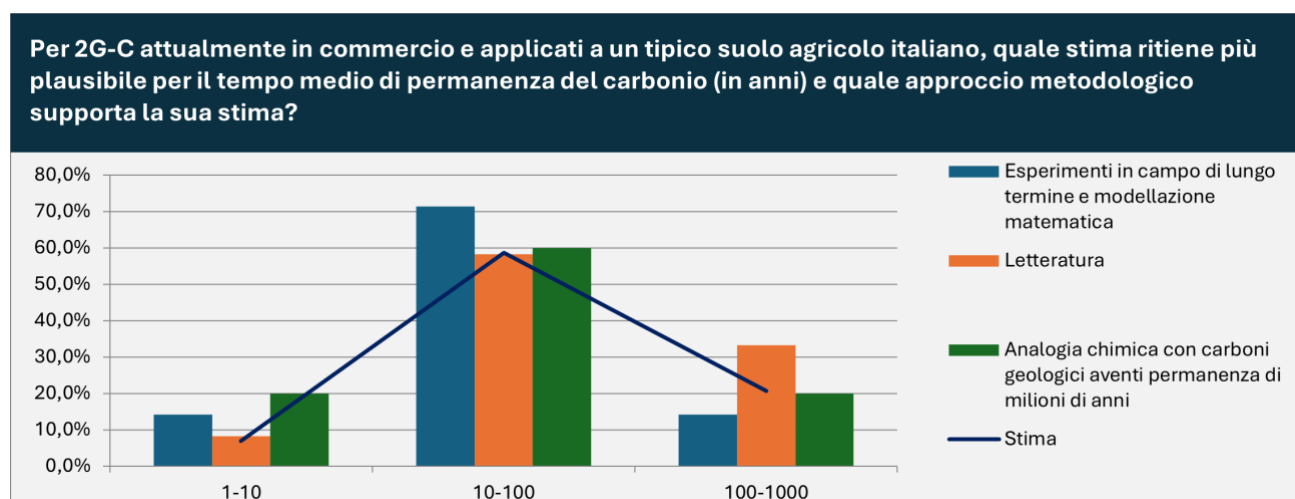


Grafico 8. Risultati sondaggio domanda su tempo di permanenza medio del carbonio nel suolo.

Le risposte raccolte sono emblematiche dell'incertezza che ancora caratterizza questa questione. Sebbene la maggioranza delle/i rispondenti (58%) abbia stimato un intervallo di permanenza compreso tra 10 e 100 anni, tale stima è stata sorprendentemente giustificata sia attraverso “Esperimenti in campo di lungo termine e modellazione matematica” (72%), sia mediante “Analogia chimica con carboni geologici aventi permanenza di milioni di anni” (60%). Secondo la letteratura scientifica sulla questione, ci si sarebbe invece attesi una maggiore coerenza metodologica, con stime inferiori ai 100 anni associate prevalentemente alla prima opzione, e quelle superiori alla seconda. A questo riguardo, va inoltre segnalato —sebbene si tratti verosimilmente di errori— il caso di un partecipante che ha indicato una permanenza di 1–10 anni, giustificandola mediante analogia chimica con carboni geologici, e quello di altre/i due rispondenti che hanno stimato una durata di 100–1000 anni, sostenendola invece con esperimenti in campo e modellazione matematica.

Il *Grafico 9* riporta le risposte alla domanda sull'inserimento dei crediti di rimozione di CO₂ generati tramite 2G-C nel sistema europeo di scambio delle emissioni (EU ETS). La maggioranza delle/i rispondenti (64%, $R = 28$) si è espressa favorevolmente, motivando la scelta con argomentazioni quali: la necessità di incentivare l'adozione dei 2G-C da parte degli utilizzatori e utilizzatrici finali, la potenziale utilità di ogni strategia di rimozione, e l'importanza di una visione integrata e completa dei flussi di CO₂. Il 21% si è invece dichiarato contrario, evidenziando criticità di ordine etico e politico, come la contrarietà al sistema dei crediti di carbonio in quanto forma di privatizzazione e generazione di profitto attraverso l'uso di risorse naturali, o criticando la selettività delle evidenze scientifiche utilizzate per dimostrare l'efficacia dei 2G-C nella rimozione di carbonio atmosferico.

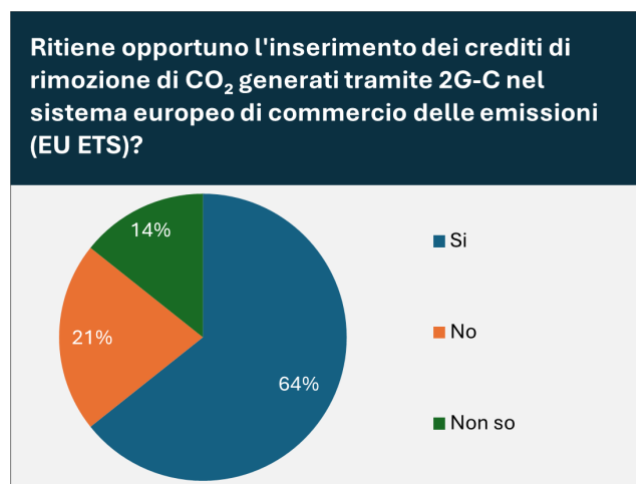


Grafico 9. Risultati sondaggio domanda su inserimento nell'EU ETS dei crediti di rimozione di CO₂.

Il *Grafico 10* mostra invece in che misura le/i rispondenti ($R = 26$) hanno dichiarato di conoscere i regolamenti, direttive, o atti normativi dell'Unione Europea elencati e quanto questi, a loro avviso, promuovano l'applicazione dei 2G-C. A fronte di una limitata conoscenza generale di questi atti, il regolamento europeo *Carbon Removals and Carbon Farming* (CRCF) è risultato essere sia il più conosciuto sia quello considerato maggiormente favorevole allo sviluppo e all'integrazione dei 2G-C.

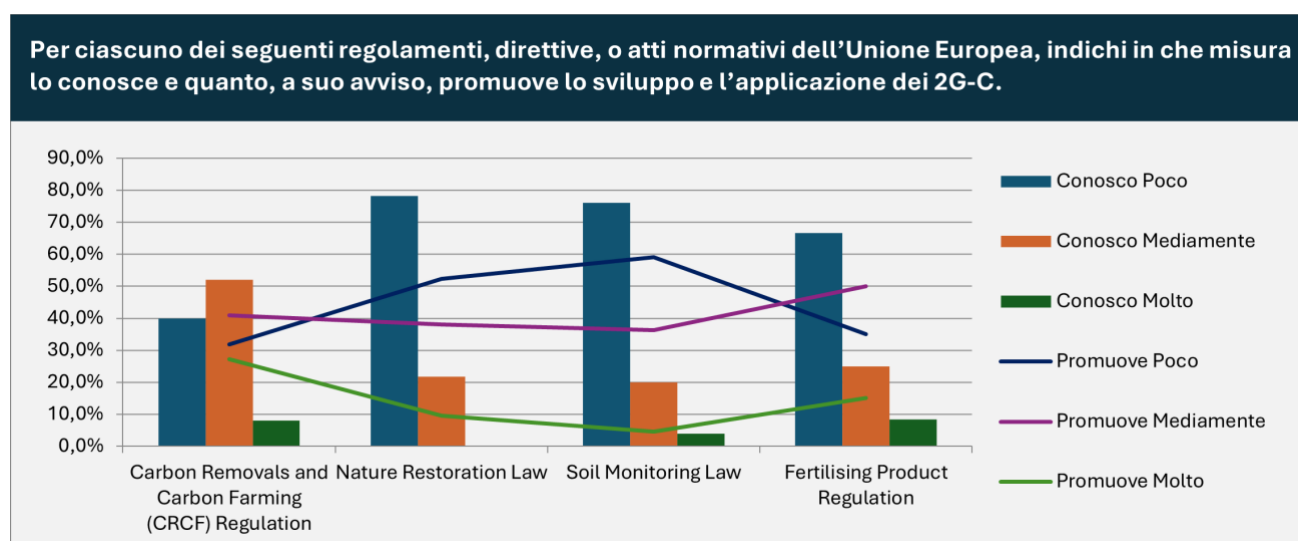


Grafico 10. Risultati sondaggio domanda su conoscenza del quadro normativo europeo e relativa efficacia.

Sondaggio Tecnologie

I seguenti due grafici riportano le risposte del sondaggio compilato alla fine della sessione *Tecnologie*. Il *Grafico 11* riporta la classificazione per rilevanza degli ambiti di ricerca sui 2G-C che necessitano di approfondimenti e sviluppo di competenze specifiche, le/i partecipanti ($R = 29$) hanno attribuito maggiore rilevanza agli aspetti legati ai processi produttivi ed economici, mentre hanno considerato di minore priorità l'“Analisi del prodotto” e lo “Studio del feedstock”.

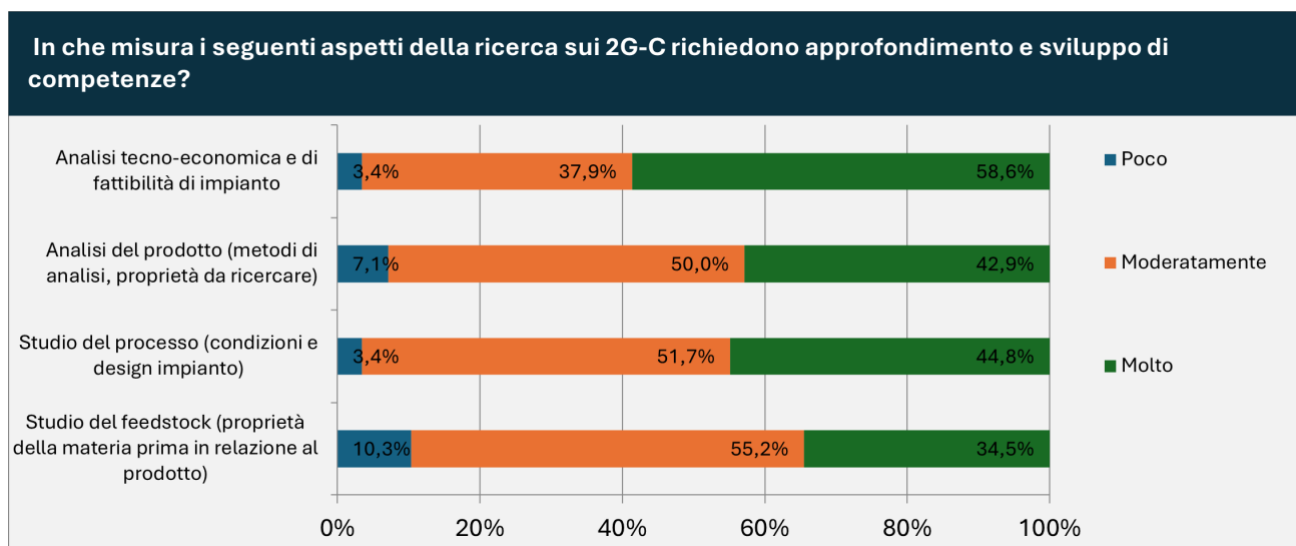


Grafico 11. Risultati sondaggio domanda su aspetti di ricerca da approfondire.

Il *Grafico 12* riporta invece le risposte alla domanda a risposta multipla sui principali ostacoli allo sviluppo di sistemi di defossilizzazione e modelli economici basati sui 2G-C. La barriera più frequentemente segnalata è risultata essere la “Mancanza di consapevolezza delle loro potenzialità tra gli attori chiave” (56%), seguita dalla “Mancanza di standard di qualità e certificazioni” (44%) e dalle “Incertezze e mancanza di conoscenze sul reale potenziale di mitigazione climatica” (41%).

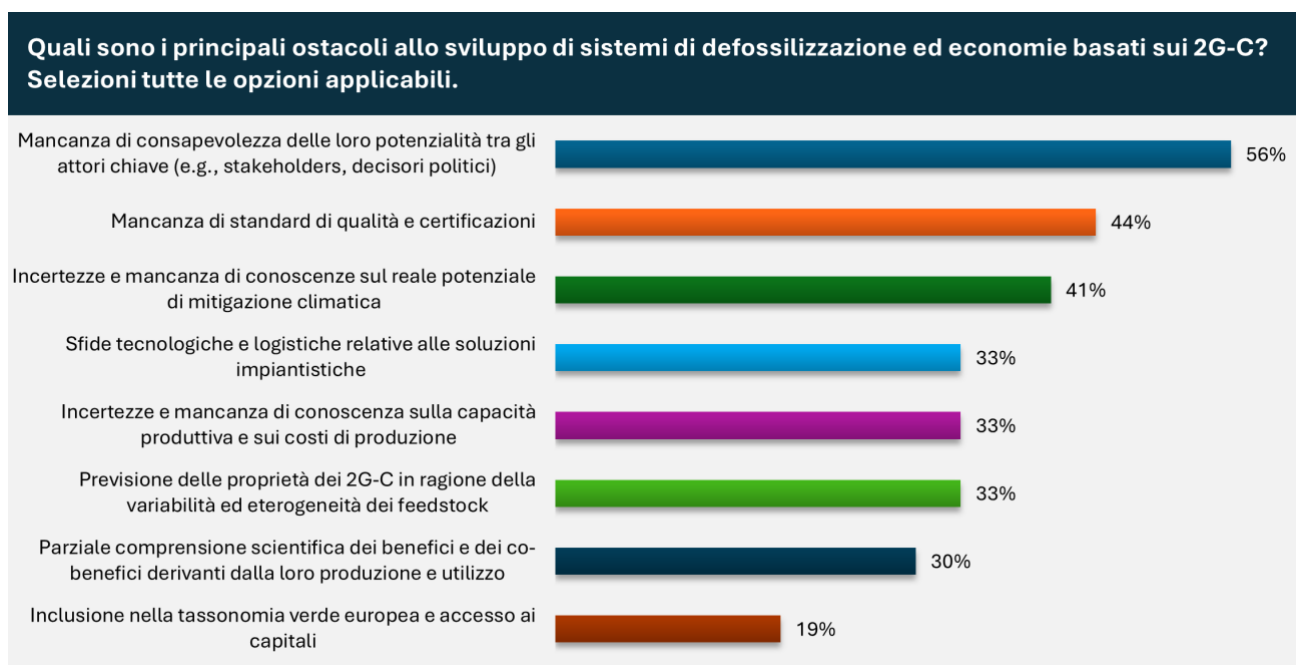


Grafico 12. Risultati sondaggio domanda su ostacoli allo sviluppo di sistemi ed economie basati 2G-C.

Sondaggio Agricoltura

I tre grafici seguenti riportano le risposte al sondaggio relativo alla sessione *Agricoltura* ($R = 24$). Il *Grafico 13* presenta le opinioni delle/i partecipanti in merito ai principali benefici derivanti dall'impiego dei 2G-C in ambito agricolo: i più frequentemente indicati sono risultati il “Miglioramento della struttura del suolo” e il “Sequestro di carbonio” (63% ciascuno), mentre minor rilevanza è stata riconosciuta a “Promuovere biodiversità” e “Aumento di produttività agricola” (21% ciascuno).

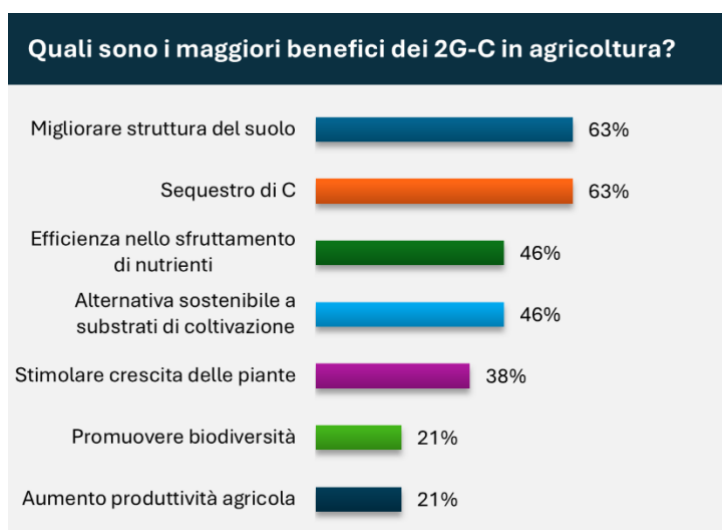


Grafico 13. Risultati sondaggio domanda su benefici in ambito agricolo.

Il *Grafico 14*, invece, sintetizza la classificazione degli ostacoli percepiti allo utilizzo dei 2G-C in agricoltura, tra i quali le/i rispondenti hanno individuato come maggiori la “Competitività economica rispetto ai corrispettivi convenzionali” e la “Mancanza di dati rappresentativi”.

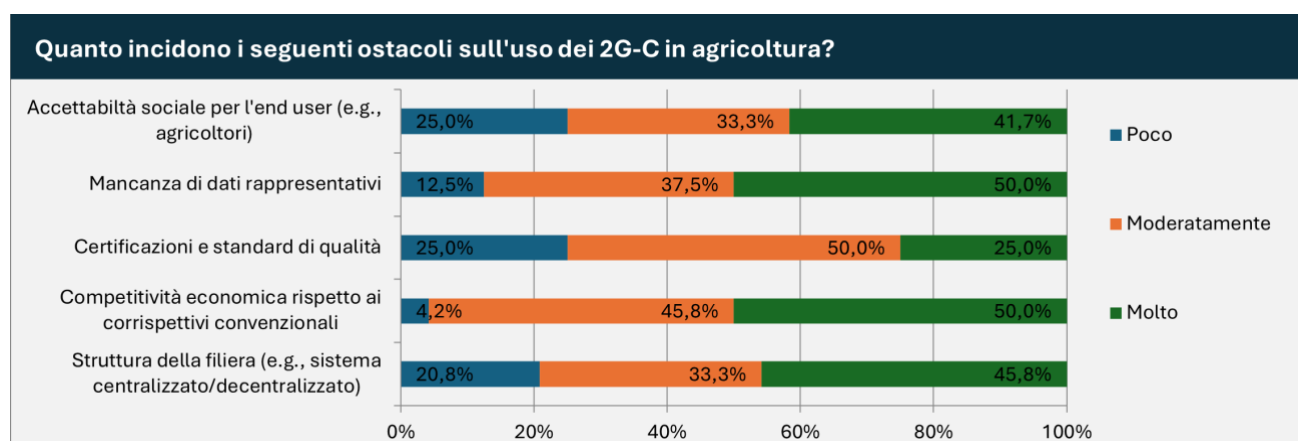


Grafico 14. Risultati sondaggio domanda su ostacoli in ambito agricolo

Il *Grafico 15* riporta la media dei punteggi assegnati (da 1 a 4, dove 1 corrisponde alla valutazione più alta) ai feedstock ritenuti più idonei per la produzione di 2G-C destinati all'agricoltura. Con una media pari a 1,52, i “Residui derivanti da attività agro-forestali” sono stati indicati

chiaramente dalle/i partecipanti come la fonte più promettente, mentre i “Fanghi di depurazione” sono risultati i meno preferiti.

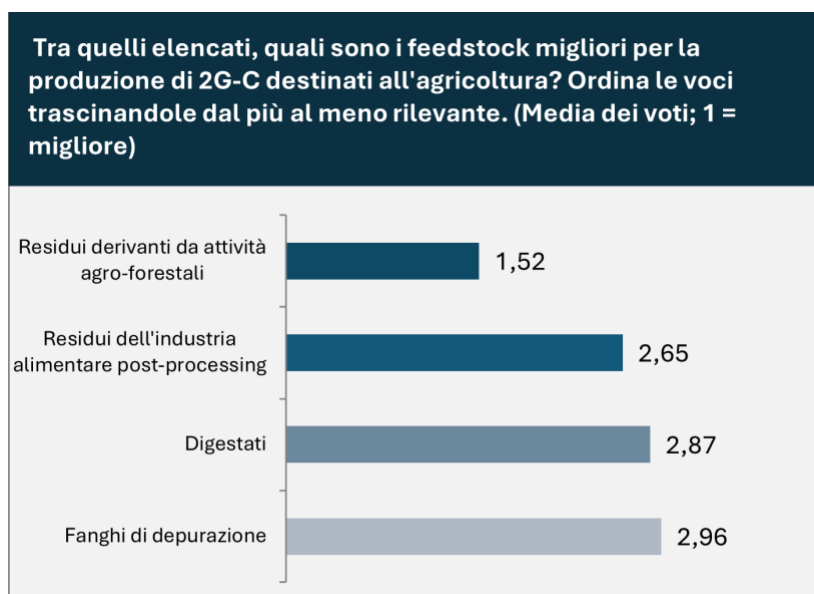


Grafico 15. Risultati sondaggio domanda su migliori feedstock per 2G-C destinati all'agricoltura.

Sondaggio Sostenibilità

Infine, i seguenti tre grafici riportano le risposte all'ultimo sondaggio relativo alla sessione *Sostenibilità* ($R = 25$). Il *Grafico 16* presenta la valutazione delle potenzialità dei 2G-C in termini di sequestro di carbonio e co-benefici ecosistemici in diversi settori d'uso. Le colonne mostrano i punteggi medi attribuiti a ciascuna dimensione, mentre la linea rappresenta la loro somma.

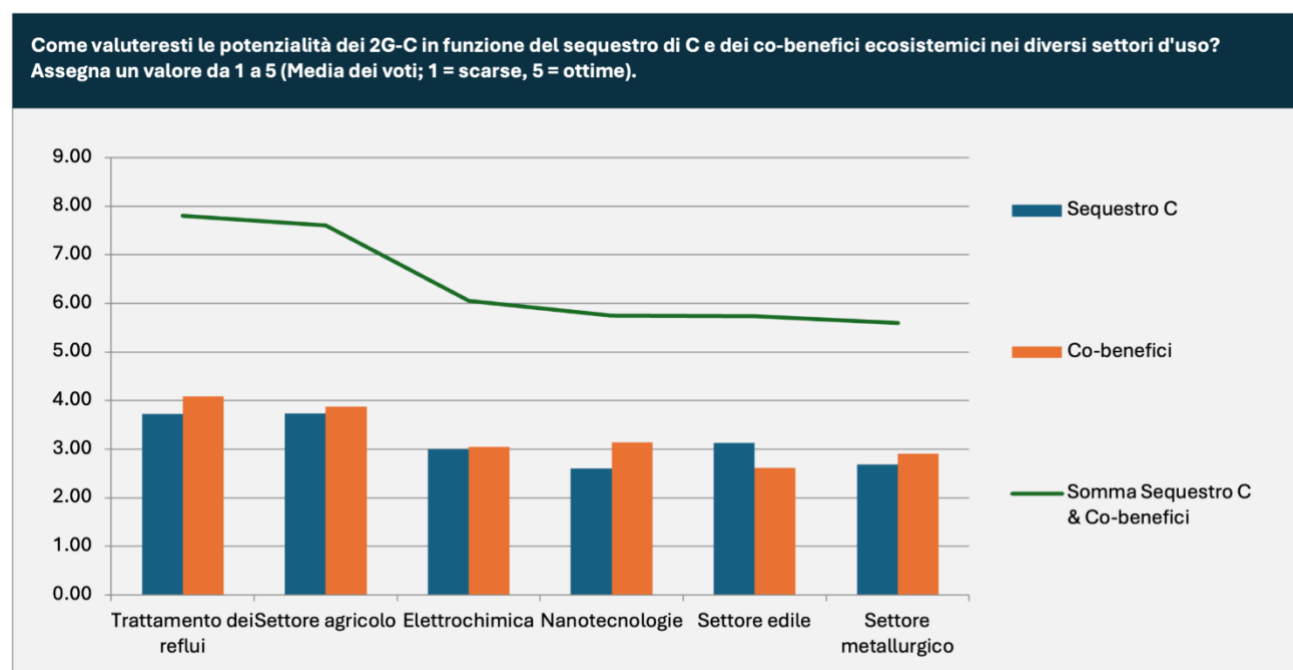


Grafico 16. Risultati sondaggio domanda su potenzialità per diversi settori d'uso.

Il “Trattamento dei reflui” (7,80) e il “Settore agricolo” (7,60) sono stati indicati come i più promettenti, con una leggera preferenza, in entrambi i casi, per i co-benefici ecosistemici. Sebbene fosse prevedibile una valutazione di potenzialità elevata per tali settori, la distribuzione delle risposte appare comunque sorprendente. In particolare, ci si sarebbe aspettati una propensione più marcata ad associare i co-benefici *ecosistemici* all’impiego agricolo, generalmente riconosciuto per i suoi effetti, ad esempio, sulla fertilità e biodiversità del suolo, e sulla ritenzione idrica e dei nutrienti. Sorge dunque spontanea la domanda su quali specifici co-benefici ecosistemici siano stati considerati rilevanti dalle/i rispondenti negli altri settori d’uso. Si tratta di un aspetto che meriterebbe ulteriori approfondimenti, potenzialmente da affrontare nel prossimo simposio.

Il *Grafico 17* mostra le dimensioni ritenute prioritarie dalle/i partecipanti per evitare il fenomeno dello *shifting*, ovvero lo spostamento degli impatti ambientali da una fase del ciclo di vita ad altre fasi o verso differenti categorie di impatto. La dimensione “Tossicità umana ed ecotossicità” ha ottenuto il maggior numero di risposte (56%), seguita da “Cambiamento climatico” (52%), e a parimerito “Uso di risorse” ed “Emissioni di gas inquinanti” (48% ciascuno). Meno prioritaria è risultata essere la dimensione “Produzione di particolato” (40%). Infine, il *Grafico 18* riporta le risposte relative alla priorità attribuita alle due principali macro-strategie di valorizzazione della biomassa dedicata per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità carbonica (*net zero*). L’80% delle/i rispondenti ha indicato la “Produzione di 2G-C” come opzione preferenziale, mentre solo il 20% ha optato per la “Produzione diretta di energia”.

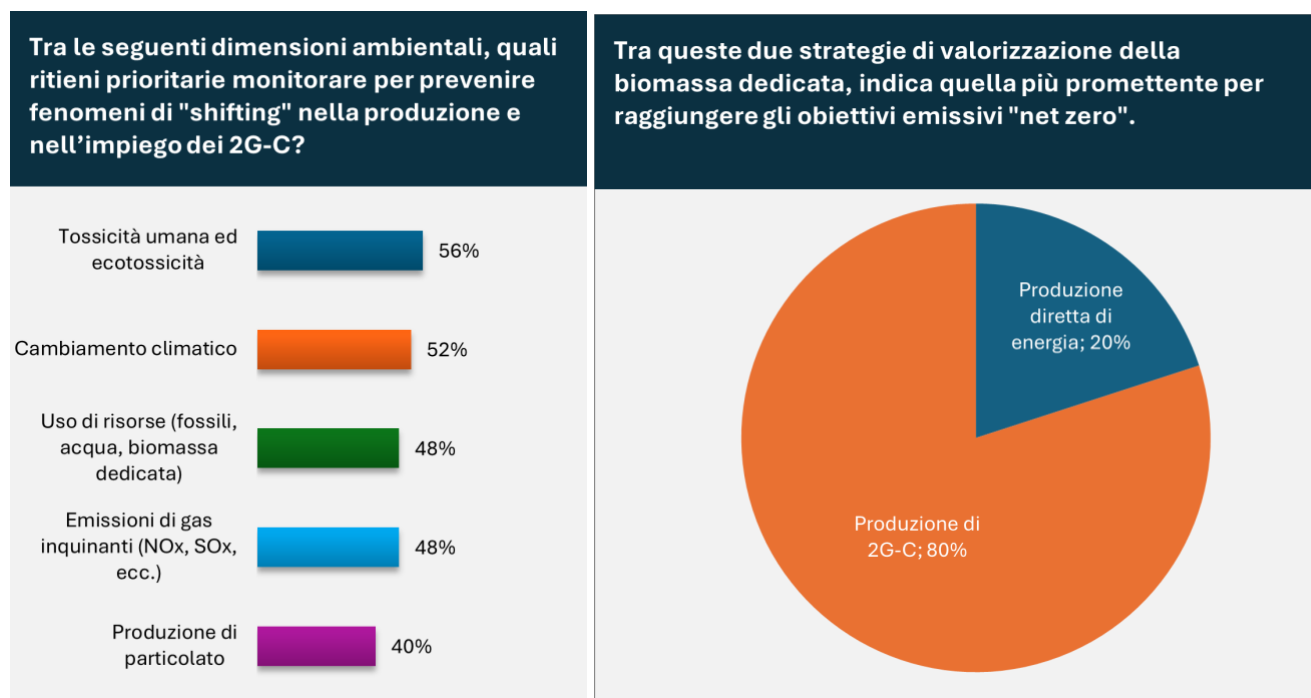


Grafico 17 (sinistra) e Grafico 18 (destra). Risultati sondaggio domande su aspetti ambientali da monitorare e strategia di valorizzazione della biomassa, rispettivamente.

In conclusione

I sondaggi hanno evidenziato alcune aree di convergenza tra le/i partecipanti, tra cui: l'adozione del termine *second generation carbons* (2G-C) per indicare la sostanza carboniosa pirolizzata in modo da includere i suoi sistemi innovativi di produzione e utilizzo; la priorità attribuita alla loro applicazione per la rimozione di CO₂; il riconoscimento della persistenza del carbonio nel suolo quale aspetto del potenziale di mitigazione climatica dei 2G-C maggiormente influenzato da incertezze e lacune scientifiche, nonché l'esigenza di metodi affidabili per rilevarla, modellarla e certificarla; e, infine, l'individuazione della scarsa consapevolezza tra gli attori chiave (e.g., stakeholders, decisori politici) come principale ostacolo allo sviluppo di sistemi di defossilizzazione e decarbonizzazione basati sui 2G-C. La questione del settore prioritario per l'integrazione dei 2G-C ha invece diviso le/i partecipanti, con una distribuzione equilibrata delle preferenze tra ambito agricolo e industriale.

Parallelamente, sono emerse aree di incertezza e controversia. In particolare, la tendenza ad associare in maniera pressoché uniforme il sequestro di carbonio e i co-benefici ecosistemici in tutti i settori d'uso elencati solleva interrogativi sulle modalità con cui tali benefici sono percepiti. Inoltre, nonostante la prevalente indicazione di un intervallo di persistenza compreso tra 10 e 100 anni, le metodologie di stima —dall'analisi chimica e dall'analogia con carboni geologici agli esperimenti di lungo termine e alla modellazione matematica— risultano ancora da consolidare. La carenza di dati rappresentativi e di lungo periodo, la limitata consapevolezza delle potenzialità dei 2G-C presso gli attori chiave, e le incertezze nella valutazione dei co-benefici associati al loro impiego sono state inoltre individuate quali principali lacune da colmare. Tale quadro appare particolarmente rilevante in considerazione della chiara preferenza espressa dalle/i partecipanti per la produzione e l'applicazione dei 2G-C, rispetto alla conversione diretta della biomassa in energia, quale macro-strategia per la valorizzazione della biomassa dedicata nel percorso verso la neutralità climatica.

Tavola Rotonda e Conclusioni

Barriere legislative ed economiche

Molti interventi hanno evidenziato come l'assenza di norme chiare e la complessità autorizzativa rallentino la diffusione degli impianti di pirolisi e gassificazione e dell'uso dei 2G-C. In Emilia-Romagna, l'unico produttore di 2G-C, *Romagna Carbone*, è stato costretto a interrompere le attività proprio a causa di barriere legislative. Un altro aspetto riguarda la biomassa: anche quando disponibile mancano le condizioni per valorizzarla adeguatamente, sia dal punto di vista tecnico che normativo.

Il governo italiano, pur avendo incentivato la produzione di energia (e.g., biogas e biometano), non ha fatto lo stesso con la protezione del suolo. Per quanto riguarda l'uso agronomico, le agricoltrici e gli agricoltori, sebbene inizialmente scettici, potrebbero dimostrarsi interessati se fossero previsti incentivi specifici per la produzione e l'uso del biochar. L'introduzione di tali incentivi potrebbe rappresentare un impulso decisivo per lo sviluppo del mercato.

I benefici della mitigazione climatica sono generalmente dilazionati nel tempo e diffusi nello spazio, mentre i costi sono immediati e locali: questo squilibrio ostacola l'adozione di soluzioni come il biochar su larga scala. Serve quindi una comunicazione più efficace dei co-benefici a breve termine, come il miglioramento della qualità del suolo, la riduzione dell'uso di fertilizzanti, o l'efficienza idrica. Inoltre, è vitale supportare la diffusione di usi che creino valore socioeconomico.

Crediti di Carbonio in Unione Europea (UE)

È in fase di sviluppo il framework europeo per i crediti da sequestro di carbonio — il regolamento CRCF (*Carbon Removal and Carbon Farming*) — il quale includerà anche il biochar. Sarà dunque possibile generare crediti di carbonio dalle applicazioni che non prevedono la combustione del biochar. Il valore dei crediti dipenderà dalla valutazione sulla persistenza effettiva del biochar, su cui è aperta un'accesa discussione. Nonostante ciò, durante l'evento è emerso come sia comune opinione che il degrado del biochar nel suolo non sia un deterrente fondamentale al suo uso per la rimozione di carbonio, a patto che la sua durata nel terreno sia significativamente superiore a quella di un ciclo naturale ordinario (e.g., tempo di degradazione del legno di potatura interrato).

Terminologia

Recalcitranza, permanenza, o persistenza?

Si è affrontato il tema della permanenza del biochar nel suolo, precisando che i termini permanenza e persistenza hanno significati distinti. Persistenza, secondo alcune interpretazioni, rappresenta al meglio tale proprietà, in quanto comprende sia le caratteristiche intrinseche dei 2G-C — di norma note come *recalcitranza* — sia quelle ambientali.

Priorità

Le priorità individuate riguardano principalmente:

- La necessità di avere un confronto con le realtà amministrative del territorio;
- La possibilità di generare crediti di carbonio tramite biochar;
- La necessità di portare a conclusione la discussione su permanenza e persistenza del biochar nel suolo anche tramite una maggiore diffusione di LTE;
- La necessità di comunicare le caratteristiche del biochar in termini di co-benefici, come il miglioramento delle proprietà fisiche, chimiche, e biologiche dei terreni, nonché il contributo alla lotta contro la desertificazione.

Conclusioni

Il Simposio è stato occasione di condivisione di conoscenze e competenze sui diversi mondi dei 2G-C, che hanno aperto e continuano ad aprire svariate possibilità di innovazione per la nostra società. Allo stesso tempo, sono potuti avvenire confronti informali sulle opportunità e sulle sfide che riguardano questi materiali e le loro funzioni.

È emerso che mentre la comunità scientifica concorda su certi benefici e co-benefici, i settori economici e industriali potenzialmente coinvolti in sistemi di defossilizzazione e decarbonizzazione ed economie basate sui 2G-C conoscano scarsamente le opportunità offerte dai sistemi di carbonizzazione. La produzione in Italia genera un'offerta trascurabile rispetto a prodotti convenzionali, ed è limitata a poche categorie di prodotto. Inoltre, il sistema normativo attuale non permette una produzione ed un uso conveniente dei 2G-C.

La via della loro diffusione è dunque ancora lunga e con ostacoli, ma è chiaro come il loro potenziale all'interno di sistemi di economia circolare e di sinergie industriali che coinvolgono diversi settori possa portare consistenti benefici a livello climatico ed ambientale. Il lavoro necessario comprende la continua sensibilizzazione di coloro che hanno ruoli decisionali in politica, delle produttrici e dei produttori, così come delle consumatrici e dei consumatori, non tralasciando di comunicare le caratteristiche che vanno oltre gli aspetti climatici e che possono fare dei 2G-C prodotti desiderabili per molte funzioni.

Un appuntamento periodico come il Simposio può permettere ai vari rami della ricerca di incontrarsi e generare una comune direzione di intenti. Allo stesso modo, è importante confrontarsi sui diversi punti di vista di figure provenienti da diverse realtà: ricerca, industria, agricoltura, politica, etc. Questo per tenere viva la discussione su come i 2G-C possano essere integrati nel nostro mondo bisognoso di processi di defossilizzazione e decarbonizzazione e di sistemi che uniscano la dimensione climatica con quella ambientale e socioeconomica.

In collaborazione con:



