

# Bioenergia e tecnologie di cattura e stoccaggio della CO<sub>2</sub>, un connubio possibile?

La diffusione di sistemi bioenergetici accoppiati a tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub> e al suo stoccaggio geologico è una tra le opzioni negli scenari internazionali per la riduzione delle emissioni. La loro applicazione nel contesto italiano presenta tuttavia difficoltà oggettive

DOI 10.12910/EAI2018-038

di **Alessandro Agostini e Nicola Colonna**, ENEA

**C**on la firma dell'accordo di Parigi, 195 Stati si sono impegnati a limitare l'aumento della temperatura media globale al di sotto dei 2 °C sopra i livelli preindustriali. Si è inoltre raggiunto l'accordo di cercare di limitare l'aumento a 1,5 °C [1]. Tale obiettivo richiede il raggiungimento dell'equilibrio tra emissioni antropogeniche e rimozioni di gas climalteranti, nella seconda metà del 21° secolo. Ciò richiede alternativamente, o una rapida riduzione a zero delle emissioni di gas serra, oppure il bilanciamento delle emissioni residue attraverso delle emissioni negative (Carbon Dioxide Removal; CDR

technologies).

L'interesse per il ruolo delle tecnologie a emissioni negative è in costante ascesa, dato il loro potenziale ruolo nel raggiungimento degli obiettivi dell'accordo UNFCCC di Parigi [1]. In particolare, la bioenergia con la cattura e lo stoccaggio del carbonio (*BioEnergy with Carbon Capture and Storage*; BECCS) svolge un ruolo fondamentale nella maggior parte delle traiettorie di riduzione delle emissioni di gas climalteranti (*GreenHouse Gases*; GHG) [2].

In pratica le BECCS sono basate sulla coltivazione e/o raccolta di biomassa, con la conseguente rimozione di carbonio dall'atmosfera, per

produrre successivamente energia, mentre la CO<sub>2</sub> derivante dalla combustione della biomassa viene catturata ed iniettata in formazioni geologiche adatte.

Come si può notare dalla Figura 1, dove è riportata la mediana dei risultati dei 76 scenari dell'IPCC AR5 che probabilmente sono coerenti con il limite dei 2 °C di aumento della temperatura media globale, al fine di mantenere l'aumento di temperatura al di sotto dei 2 °C sarà necessario un imponente ricorso alle tecnologie ad emissioni negative, consistenti per la quasi totalità in BECCS.

Dalla stessa figura si nota come già, in realtà, con gli impegni dell'accor-



do di Parigi, ci si allontana dalle traiettorie che consentirebbero di mantenere l'aumento di temperatura al di sotto dei 2 °C; saranno quindi necessarie ulteriori riduzioni di emissioni dopo il 2030, oppure un impiego ancora maggiore di BECCS.

Il messaggio che vorremmo veicolare con questa analisi sintetica è che il largo impiego di BECCS è solamente basato su assunzioni di fattibilità

economica, tecnologica ed ambientale ed i rischi ad esse connesse non sono stati pienamente valutati dalla comunità scientifica internazionale e sicuramente non sono percepiti dal pubblico e dai decisori politici [3,4]. In pratica l'assunzione di una grande disponibilità di tecnologie ad emissioni negative a basso costo per il futuro permette, mantenendo fisso il risultato dei 2 °C, di continuare ad

emettere nel breve termine, lasciando alle future generazioni l'onere di rimuovere la CO<sub>2</sub> emessa [5]. Oltre ad essere iniquo dal punto di vista intergenerazionale, questo approccio appare ingiusto dal punto di vista sociale, in quanto il loro fallimento peserebbe maggiormente sulle comunità a bassa emissione che sono geograficamente e finanziariamente più vulnerabili a un clima in rapida evoluzione [5].

Oltre al rischio, sociale ed economico, legato al cambiamento climatico, altri impatti ambientali legati alle BECCS sembrano ampiamente sottovalutati. Un sostanzioso ricorso alle BECCS determinerebbe profondi impatti sull'ambiente. Utilizzando il concetto di *planetary boundaries* (PB), ovvero i confini ambientali di sfruttamento delle risorse del pianeta, è evidente che, se implementate alla scala necessaria per contrastare il cambiamento climatico, vi sarebbero impatti ingenti su altri comparti ambientali. Anche se difficili da stimare correttamente, uno studio recente ha mostrato che, mentre le BECCS

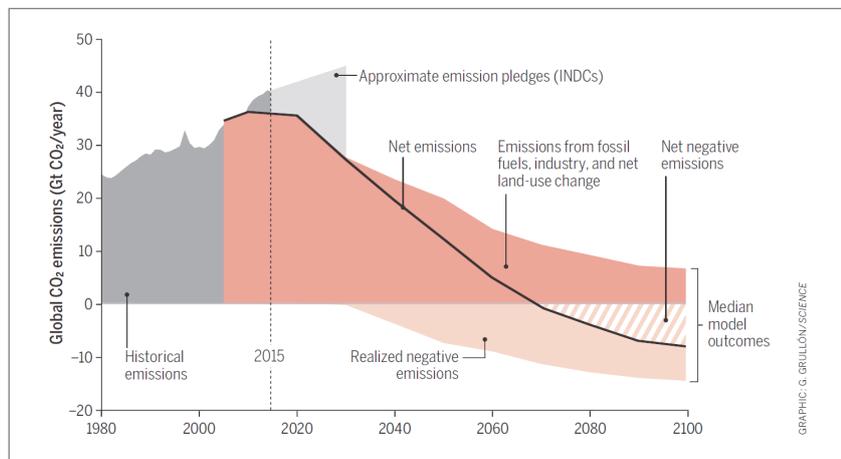


Fig.1 Scenari di riduzione delle emissioni climalteranti[3] INDCs (Intended Nationally Determined Contributions) rappresenta il totale dei contributi promessi a livello nazionale presentati a Parigi. Notare, la quantità di emissioni negative previste nella seconda metà del 21° secolo

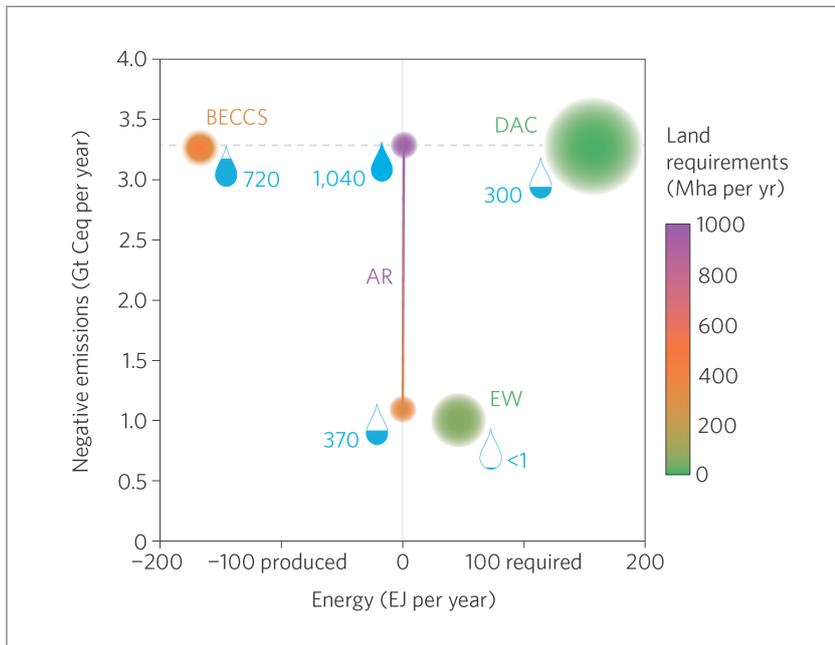


Fig.2 Impatti, potenziali e costi delle tecnologie ad emissioni negative necessarie per soddisfare l'obiettivo di 2 °C. DAC = Direct Air Capture: cattura diretta della CO<sub>2</sub> atmosferica e stoccaggio geologico; EW = Enhanced Weathering: fissazione della CO<sub>2</sub> atmosferica e stoccaggio in minerali; AR = Afforestation and Reforestation: stoccaggio della CO<sub>2</sub> atmosferica sotto forma di sostanza organica. Il fabbisogno idrico è indicato come gocce d'acqua, con quantità in km<sup>3</sup> anni<sup>-1</sup>. Le dimensioni dei cerchi rappresentano i costi. Tutti i valori sono riferiti all'anno 2100 tranne i costi relativi, che sono per il 2050 [4]

potrebbero essere efficaci per quanto riguarda il cambiamento climatico, molto probabilmente il sistema Terra si avvicinerebbe pericolosamente al proprio PB per l'uso di acqua dolce mentre verrebbero superati i PB riguardanti l'uso del suolo, la biodiversità, ed i flussi biogeochimici (eutrofizzazione in primis). In pratica la superficie coltivata necessaria specificatamente per produrre la biomassa da combustione per poi catturarne la CO<sub>2</sub> sarebbe di diverse centinaia di milioni di ettari (fino a circa 700 Mha, a confronto, la superficie totale dell'Italia è 30 Mha) con un incremento totale di superficie coltivata vicino al 20%, (con una conversione di foreste fino a circa 600 Mha). Risultando, ovviamente, in uno spropositato utilizzo aggiun-

tivo di fertilizzanti (fino a circa 50 Mt di azoto) ed acqua per usi irrigui (fino a +1000 km<sup>3</sup>) [3,4,5,6]. Chiaramente le quantità riportate sono indicative, ma danno bene l'idea dell'ordine di grandezza e delle possibili ripercussioni sul pianeta. Altre tecnologie a emissioni negative sono disponibili per ridurre la CO<sub>2</sub> atmosferica. In Figura 2 sono riportati i costi (dimensione dei cerchi), l'utilizzo di suolo, acqua la produzione di energia ed i relativi potenziali per le tecnologie considerate più plausibili [4]. Data l'urgente necessità di ridurre le emissioni di gas serra, un obiettivo chiave deve essere la priorità della salvaguardia degli attuali sistemi che naturalmente catturano carbonio atmosferico (foreste, torbiere, zone

umide e praterie naturali in particolare). È verosimile che misure di protezione di questi serbatoi naturali di carbonio abbiano impatti ambientali e sociali positivi rispetto ad altre opzioni in quanto forniscono servizi ecosistemici di vitale importanza (migliorano la qualità dell'acqua, proteggono dalle inondazioni, migliorano la salute del suolo, forniscono un habitat per la biodiversità e migliorano la resilienza ai cambiamenti climatici) [7].

Simili risultati sono forniti dalle misure di aumento del carbonio organico contenuto nel suolo in agricoltura (*Soil Organic Carbon, SOC*). Un'iniziativa in ambito COP21 mira a incrementare il SOC del 4 per 1000 [8]. Tale quantità sarebbe sufficiente a "catturare" tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> antropiche, oltre a migliorare la qualità dei suoli (fertilità, ritenzione idrica, biodiversità, resilienza al cambiamento climatico).

Senza entrare ulteriormente nella valutazione di dettaglio delle molteplici implicazioni della diffusione delle BECCS e degli scenari proposti a livello internazionale, vogliamo analizzare due aspetti rilevanti che possono meglio evidenziare il contrasto delle soluzioni proposte con la realtà produttiva e territoriale del nostro Paese ma anche, più in generale, dell'applicazione delle tecnologie CCS al settore delle bioenergie. Il primo aspetto è quello della localizzazione dei siti idonei per lo stoccaggio geologico. Il tema del CCS è stato a lungo oggetto di analisi e valutazioni al fine di identificare i luoghi migliori ove poterlo realizzare e, indubbiamente, i pozzi esauriti di estrazione del petrolio, le ex miniere di carbone o determinate formazioni geologiche, quali gli acquiferi salini, sono particolarmente vocati [9]. Per quanto il potenziale

complessivo di stoccaggio sia elevato essi sono presenti solo in specifiche aree ben definite ed appare chiaro che ogni soluzione del tipo di quelle proposte per le BECCS dovrebbe vedere la tecnologia di generazione posta nelle immediate vicinanze di tali siti. D'altra parte, il costo dell'applicazione delle tecnologie di *carbon capture* e del successivo trasporto e pompaggio, nelle profondità del suolo, della CO<sub>2</sub>, allo stato attuale, presuppone scale dell'intervento di grandi dimensioni e questo secondo elemento ha implicazioni rilevanti per il settore delle biomasse. Ne consegue, a prescindere da quale delle tante possibili filiere *biomass to energy* stiamo valutando, che dovremmo realizzare dei grandi impianti di produzione di energia da biomasse in siti specifici, magari anche lontani dai luoghi di elezione della produzione/raccolta di biomasse ed è pertanto necessario implementare filiere di approvvigionamento di grandi quantitativi di biomasse su ampie aree del territorio. Inoltre, l'opzione del trasporto della CO<sub>2</sub> "catturata", tramite condotte in pressione, che potenzialmente risolverebbe il problema della vicinanza tra luoghi di produzione della biomassa e della sua trasformazione energetica, ha costi di investimento e gestione che presuppongono taglie di intervento grandi, tipiche di grandi centrali termoelettriche alimentate da combustibili fossili.

Questo è esattamente il contrario di quanto negli ultimi anni si è andato affermando nel nostro Paese nel settore delle biomasse, impianti medi e piccoli, diffusi sul territorio seguendo l'assioma che se la risorsa è distribuita deve esserla anche la generazione di energia. La produttività di biomassa specifica per ettaro può aggirarsi nei nostri contesti pedocli-

matici tra le 2 e le 15 t di sostanza secca per ettaro per anno dipendendo da molteplici fattori, quali la specie impiegata, il tipo di suolo, le disponibilità idriche. Per quanto diffuse e ubiquitarie, le biomasse sono disperse sul territorio e devono essere coltivate e/o raccolte e concentrate con oneri logistici e costi elevati per poter approvvigionare un grande impianto con continuità. Le tecnologie termoelettriche tradizionali, con turbina a vapore, consumano indicativamente circa 9-10.000 tonnellate di biomassa per anno per MW di potenza installata e questo evidenzia sia la complessità dell'approvvigionamento che la necessità di ampi stoccaggi.

Nel nostro Paese abbiamo sostanzialmente tre tipologie di impianti a biomassa: quelli che impiegano biomasse solide, biomasse fermentescibili e liquide. Se escludiamo quelli alimentati con fanghi o con rifiuti, disponiamo di quasi 2.300 impianti per una potenza totale installata di quasi 2.700 MWe che equivale ad una media di taglia di impianto di poco più di 1 MWe (Tabella 1). Tali dimensioni sono ben lontane dalle esigenze di impianti che possano integrare tecnologie di CCS.

Con il termine bioenergie si indica

un panorama di filiere tecnologiche molto ampio, ognuna delle quali ha una sua specificità rispetto alla biomassa impiegata e alla relazione con il territorio che la produce o fornisce. Le biomasse solide, normalmente valorizzate attraverso la combustione diretta, possono essere conservate e stoccate a lungo e questo le rende idonee a essere valorizzate in impianti di medie o grandi dimensioni. Nel nostro Paese gli impianti termoelettrici di maggiori dimensioni, alimentati con biomasse solide, hanno una potenza elettrica di circa 20 MWe, ma ve ne sono anche di dimensioni inferiori al MWe.

Gli impianti di digestione anaerobica per la produzione di biogas sono, tipicamente, quelli più intrinsecamente collegati alla realtà territoriale locale in quanto impiegano tipologie di biomasse di difficile conservabilità, fatta eccezione per pochi substrati. La corretta progettazione di un impianto, sia per gli aspetti tecnici che economici, richiede che esso sia dimensionato sulla capacità produttiva del territorio limitrofo sia relativamente alle biomasse in ingresso che per la distribuzione del digestato in uscita. Essi impiegano materiali di scarto, sfusi, liquidi o semiliquidi,

	Impianti (n.)	Potenza installata (MW)	Potenza media (kW)
Biomasse solide	300	658,9	2.196,4
Biogas da deiezioni animali	493	217,0	440,1
Biogas da attività agricole	973	745,6	766,3
Bioliquidi da oli vegetali grezzi	436	892,4	2.046,8
Bioliquidi altri	89	146,0	1.640,0
Totale	2.291,0	2.659,9	1.161,0

Tab. 1 Impianti di bioenergia in Italia: numerosità, potenza installata e potenza media per le diverse tipologie di biomasse, esclusi gli impianti alimentati con rifiuti e fanghi

Fonte: GSE statistiche 2015

e/o colture dedicate, conservate tramite la tecnica dell'insilamento, il cui potere metanigeno per metro cubo o tonnellata rende indispensabile la vicinanza tra luogo di approvvigionamento ed impiego. Fanno eccezione alcune tipologie di scarti di processi agroindustriali che sono naturalmente concentrati in un unico luogo, in grandi quantità, e che possono alimentare impianti di alcuni MW di potenza elettrica. Ciascuna tipologia di biomassa residuale è naturalmente collegata alla vocazione produttiva del territorio: abbiamo infatti molti reflui nelle aree vocate per la zootecnia, molti scarti orticoli nelle aree di elezione della coltivazione del pomodoro e degli ortaggi e così via, fanno eccezione gli impianti legati alla filiera di distillazione che tipicamente sono grandi e raccolgono i sottoprodotti della filiera vitivinicola su ampi territori.

Gli impianti alimentati a oli vegetali e bioliquidi hanno taglie medie, simili a quelli alimentati a biomassa solida e fanno largo impiego di biocombustibili di importazione, in gran parte provenienti da Paesi dell'Est Europa o dall'Asia e sono, per oltre il 70%, alimentati da olio di palma (10) importato da Malesia ed Indonesia. In questo caso la loro relazione con il territorio è nulla in termini produttivi e possono essere collocati ovunque vi siano buone connessioni con i principali porti commerciali.

Per quanto riguarda la produzione di colture dedicate a uso energetico, le quali, più delle biomasse residuali e di scarto, ben rappresentano il paradigma delle BECCS, allo stato attuale nel nostro Paese esse occupano una superficie agricola molto limitata. L'ampiamiento di tali superfici può solo avvenire in un'ottica di integrazione con il sistema agroalimentare,

il quale rappresenta il primo settore economico nazionale per fatturato ed è largamente deficitario di materie prime per sostenere la dinamica agroindustria vocata all'export [11]. Il sostegno alle tecnologie BECCS rischia di creare conflitti con le vocazioni produttive agroalimentari italiane e a causa della orografia complessa, delle differenze pedoclimatiche e della estrema frammentazione delle proprietà agricole è difficile immaginare di realizzare colture dedicate su ampie aree ed un sistema logistico adeguato ad approvvigionare grandi impianti di generazione di energia da biomasse cui accoppiare le tecnologie di CCS.

Pur se è vero che negli ultimi anni la quota di terreni agricoli abbandonati è aumentata, con una significativa diminuzione della superficie agricola utilizzata, e questo lascia pensare a una larga disponibilità di terre per produrre biomasse è pur vero che le aree oggi non coltivate sono quelle economicamente marginali per oggettive condizioni orografiche e/o pedoclimatiche e dove la coltivazione di biomasse per energia difficilmente può risultare economicamente competitiva.

Una convinta adesione alle BECCS nel nostro Paese è potenzialmente in conflitto con l'attuale sistema di generazione distribuita di energia da biomasse, costituito oggi da centinaia di impianti medio-piccoli oggetto di politiche di incentivazione ad hoc, i quali dovranno dimostrare la loro sostenibilità nel medio lungo periodo e soprattutto oltre il periodo di incentivazione. Inoltre, richiederebbe la destinazione a fini energetici di ampie superfici di seminativi analogamente a quanto paventato dagli scenari di produzione di biodiesel e bioetanolo conseguenza degli im-

pegni del Pacchetto 20-20-20, contenuti nella direttiva 2009/29/CE, secondo i quali per produrre a livello nazionale il biodiesel necessario a sostituire almeno il 10% del gasolio consumato annualmente avremmo dovuto impiegare centinaia di migliaia di ettari, sottraendoli all'uso agroalimentare.

A fronte di quanto emerso dalla nostra breve analisi, appare più interessante per il nostro Paese perseguire l'obiettivo di sottrarre CO<sub>2</sub> all'atmosfera attraverso sistemi appropriati di soil carbon storage impiegando razionalmente le biomasse agricole e agroindustriali o per produrre compost o per generare energia tramite impianti di digestione anaerobica o di gassificazione e recuperare al termine del processo il digestato o il biochar, i quali rappresentano ottime matrici per aumentare la SOC e allo stesso tempo migliorare la fertilità dei suoli italiani, tipicamente affetti da tenori troppo bassi di sostanza organica [12].

Abbiamo circa 7 Mha di seminativi e l'opzione di incrementare annualmente del 4 per 1000 il SOC consentirebbe lo stoccaggio di milioni di tonnellate di carbonio nel breve volgere di pochi anni con benefici effetti sulla stabilità degli aggregati, la capacità di ritenzione idrica dei suoli e, in ultima analisi, la produttività agricola. La ricerca di soluzioni per generare "emissioni negative" vede le biomasse e le bioenergie al centro di una serie di scenari che richiedono ulteriori approfondimenti e valutazioni ma anche azioni di ricerca e sviluppo per identificare le soluzioni migliori e adatte al contesto europeo e nazionale.

*Per saperne di più:  
alessandro.agostini@enea.it*

## BIBLIOGRAFIA

1. UNFCCC, 2015: 'Adoption of the Paris Agreement: Proposal by the President', Draft Decision, 12 December 2015, <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
2. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report; Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp ([https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf))
3. Anderson K e Peters G, 2016: The trouble with negative emissions. *Science*, 354, (6309), 182-183
4. Smith P, Davis S J, Creutzig F, Fuss S, Minx J, Gabrielle B, Kato E. et al., 2016: Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions. *Nat. Clim. Change*, 6 42–50
5. Fuss S, Canadell J G, Peters G P, Tavoni M, Andrew R M, Ciais P, Jackson R B, Jones C D, Kraxner F, Nakicenovic N, Le Querè C, Raupach M R, Sharifi A, Smith P, Yamagata Y, 2014: Betting on negative emissions. In *Nature Climate change* 4 (10), pp. 850–853
6. Heck V, Gerten D, Lucht W, Popp A, 2018: Biomass-based negative emissions difficult to reconcile with planetary boundaries. *Nat Clim Chang* 8:151–155
7. Griscom B W, Lomax G, Miteva D A, Schlesinger W H et al., 2017: 'Natural climate solutions', *Proceedings of the National Academy of Sciences*
8. <https://www.4p1000.org/>
9. Girardi V, Calabrò A, Deiana P, Giammartini S, 2011: Le tecnologie per la cattura della CO<sub>2</sub>. *Energia, Ambiente e Innovazione*. Supplemento Speciale 1-2: 22-31
10. GSE, 2017: *Rapporto statistico: Energia da fonti rinnovabili in Italia 2015*
11. ISMEA, 2017: *La bilancia commerciale agroalimentare italiana. 2017*
12. FAO, 2017: Unlocking the potential of soil organic carbon, Outcome document of the Global symposium on soil organic carbon at FAO headquarters, Rome