

L'Amministratore Delegato

Ns. rif. 19012387

Data 16/12/2019

Ill.ma On.
Barbara Saltamartini
Presidente
X Commissione
Attività produttive, commercio e turismo
Camera dei Deputati

Piazza di Monte Citorio, 1
00186 Roma

Gentilissima Presidente,

desidero ringraziarLa in primis per l'attenzione mostrata da Lei e dagli Onorevoli Membri della X Commissione nei confronti della nostra Società, in occasione dell'audizione dello scorso 3 dicembre, nell'ambito dell'indagine conoscitiva sulle prospettive di attuazione e di adeguamento della Strategia Energetica Nazionale al Piano Nazionale Energia e Clima per il 2030.

Come concordato in sede di audizione, Le invio la nota contenente le risposte ai quesiti formulati e posti dalla Commissione nella sopraccitata seduta.

Rimanendo a disposizione per eventuali ulteriori informazioni e/o azioni in materia, l'occasione mi è gradita per rivolgerLe i miei più vivi e cordiali saluti.

Maurizio Delfanti



Ricerca sul Sistema Energetico – RSE S.p.A.

Società con unico socio soggetta alla direzione ed al coordinamento di GSE S.p.A.
Sede Legale - 20134 Milano - Via R. Rubattino, 54
Tel. +39 023992.1 - Fax +39 023992.5128 - PEC rse@legalmail.it
Reg. Imprese di Milano, P.IVA e C.F. 05058230961
R.E.A. di Milano n. 1793295
Cap. Soc. € 1.100.000 i.v.

[Mod. LETVAita V. 04]





Indagine conoscitiva

Prospettive di attuazione e di adeguamento della
Strategia Energetica Nazionale al Piano Nazionale
Energia e Clima per il 2030

Camera dei Deputati

X Commissione Attività produttive, commercio e turismo

Risposte scritte alle domande formulate nel corso dell'audizione

16 Dicembre 2019

Indice

PREMESSA.....	3
1. RUOLO E PROSPETTIVE DELL'IDROGENO	4
1.1 IDROGENO COME VETTORE ENERGETICO	4
1.2 IDROGENO PER ACCUMULO DI ENERGIA ELETTRICA	5
2. ATTIVITÀ DI RICERCA SULLE BATTERIE IN ITALIA.....	7
2.1 NUOVE CHIMICHE E NUOVI MATERIALI	7
2.2 SISTEMI DI GESTIONE E DIAGNOSTICA	7
2.3 LA “SECONDA VITA” DELLE BATTERIE VEICOLARI.....	8
3. ADEGUAMENTO DEL PNIEC AD OBIETTIVI PIÙ AMBIZIOSI.....	9
4. TECNOLOGIE PER LA CATTURA DELLA CO2	12

Premessa

Il giorno 3 dicembre 2019, RSE S.p.A. è intervenuta in audizione presso la X Commissione Attività produttive, commercio e turismo della Camera dei Deputati, nell'ambito dell'indagine conoscitiva sulle prospettive di attuazione e di adeguamento della Strategia Energetica Nazionale al Piano Nazionale Energia e Clima per il 2030.

Nel corso dell'audizione sono state poste domande da alcuni degli Onorevoli Deputati presenti, richiedendo di inviare successivamente le risposte in forma scritta. In relazione alle questioni poste sono, dunque, forniti nel seguito gli elementi richiesti. Al contempo, considerando che tutte le domande trattano temi articolati sia in ampiezza che complessità, RSE ribadisce sin da ora la piena disponibilità ad approfondire o integrare i diversi temi trattati.

Nel dettaglio, una **prima domanda** è stata posta dall'On. Benamati il quale ha chiesto di avere il punto di vista di RSE sul ruolo dell'idrogeno non solo come vettore, ma anche come stoccaggio di energia. L'Onorevole ha inoltre richiesto quale sia lo stadio della ricerca a livello nazionale sulle batterie. Gli elementi di risposta alle questioni poste sono rinvenibili nei seguenti *paragrafi 1 e 2*.

Una **seconda domanda** è stata posta dall'On. Squeri. La domanda ha preso spunto dalla risoluzione recentemente votata in Europa per innalzare l'obiettivo 2030 di riduzione delle emissioni innalzato dal -40% al -55%. Partendo da ciò, l'On. Squeri ha richiesto come dovrebbe essere modificato il PNIEC per raggiungere questi nuovi e più sfidanti obiettivi, anche alla luce del recente studio RSE secondo cui le biomasse in un contesto cogenerativo potrebbero dare un contributo rilevante. A riguardo, l'Onorevole Squeri ha espresso preoccupazione in quanto, a suo avviso, il PNIEC non è in grado di raggiungere neppure gli obiettivi attuali, in quanto è stato tutto concentrato su FV ed eolico e ha marginalizzato bioenergie, idrico e geotermico. Gli elementi di risposta alle questioni poste sono rinvenibili nel *paragrafo 3*.

Una **terza domanda** è stata posta dall'On. Galli, che, dopo aver ravvisato elementi di condivisione con i due precedenti interventi, ha sottolineato un elemento di novità nell'ultima slide della presentazione di RSE sul tema delle politiche attive sulla CO2. In particolare, laddove si prospettano, oltre alla riduzione di tali emissioni, ipotesi di cattura e/o generazione ad emissioni negative. A questo riguardo, è richiesto quale sia il ventaglio di possibilità tecnologiche. Gli elementi di risposta alle questioni poste sono rinvenibili nel *paragrafo 4*.

1. Ruolo e prospettive dell'idrogeno

Vengono nel seguito analizzate le prospettive dell'impiego dell'idrogeno sia come vettore energetico che come sistema di accumulo dell'energia.

1.1 Idrogeno come vettore energetico

Si tratta di un'opzione, facente parte del concetto "Power to Gas", che viene presa in attenta considerazione a livello internazionale, per due principali motivazioni:

- **Sfruttamento**, sia pure con efficienza limitata, **di energia elettrica eccedente da FER** non programmabili. La prevista, intensa, crescita della capacità di generazione da energia solare ed eolica determinerà in misura dapprima limitata, poi sempre più estesa, situazioni di generazione elettrica, quasi a zero emissioni e zero costo marginale, superiore al carico sulla rete nazionale inclusa la capacità di esportazione. Ciò può essere entro certi limiti fronteggiato utilizzando la gestione attiva della domanda e investendo in sistemi di accumulo (pompaggi e batterie) ma, al crescere della intensità e durata della "overgeneration", può diventare conveniente sfruttare anche la multisettorialità energetica, convertendo energia elettrica in combustibili, prontamente utilizzabili o stoccabili con infrastrutture esistenti o comunque a basso costo specifico. La tecnica più semplice e immediatamente disponibile è l'elettrolisi dell'acqua, che genera un flusso di idrogeno con efficienza tipica del 70%. L'idrogeno prodotto potrà essere utilizzato tal quale, evitando per quanto possibile ulteriori investimenti e perdite di energia in successive trasformazioni, oppure si potrà costruire una filiera di idrocarburi di sintesi, a cominciare dal metano "rinnovabile", che, sebbene presenti perdite energetiche maggiori, potrebbe consentire di avere un fuel facilmente trasportabile e stoccabile a costi contenuti;
- **de-carbonizzazione di settori** relativamente più "difficili" rispetto a quello elettrico e agli usi termici civili, come alcuni settori **industriali e il trasporto pesante/collettivo**.

Il costo di produzione dell'idrogeno è governato da due fattori:

- **Il costo dell'energia elettrica** utilizzata: dando per scontato che l'energia venga acquistata al netto di oneri (equiparando l'idrogeno ad altre tecniche usate per servizi al sistema, come l'accumulo), il prezzo medio di mercato (oggi 50-60 Euro/MWh) è comunque troppo elevato per ottenere un costo di produzione ragionevole, ma il fatto di utilizzare eccedenze dovrebbe portare al ritiro di

energia ad un prezzo compreso fra lo zero e quello del bilanciamento “a scendere”, oggi tipicamente di 20-30 Euro/MWh;

- **l’investimento per l’impianto di produzione:** un elettrolizzatore ha oggi un prezzo dell’ordine di 1 M€/MWe, vi sarà probabilmente un calo al diffondersi della tecnologia, ma il costo specifico resterà comunque un valore elevato. L’incidenza dell’ammortamento dipende in maniera inversa dalle ore annue di funzionamento, e risulterà ragionevole solo se queste ore saranno almeno dell’ordine delle 2000 – 3000.

Dunque, è da attendersi che una più ampia diffusione del “vettore idrogeno” si verificherà nel momento in cui le situazioni di overgeneration da FER aleatorie diverranno così rilevanti e prolungate da determinare una disponibilità di energia elettrica ritirabile a prezzo molto basso e con una certa continuità nel corso dell’anno.

1.2 Idrogeno per accumulo di energia elettrica

In questo caso, verrebbe realizzato **uno solo dei due obiettivi** citati nell’uso dell’idrogeno come vettore, cioè lo **sfruttamento differito nel tempo di energia elettrica eccedente** da FER. Oltre ciò, vanno aggiunte alcune ulteriori considerazioni:

- in termini di **efficienza**, la doppia conversione elettricità → idrogeno → elettricità determina una rilevante **penalità**: l’efficienza nel ciclo completo, con le migliori tecniche disponibili, difficilmente può superare il 40% (da confrontare con l’80% e oltre che oggi è normalmente ottenibile sia con l’accumulo idroelettrico che con quello elettrochimico);
- il **costo di investimento** per unità di energia stoccata per il ciclo di accumulo basato sull’idrogeno (elettrolizzatore + fuel cell), pur se in prospettiva integrabili in un’unica apparecchiatura reversibile, è **molto simile a quello tipico sia del pompaggio che a quello odierno delle batterie**; per giunta, quest’ultimo sta scendendo in modo abbastanza netto, grazie alla maggiore maturità tecnologica, nonché alle economie di scala trascinate dalle prospettive della mobilità elettrica.

Va inoltre osservato che, dai primi risultati ottenuti da RSE nell’ambito del gruppo di lavoro Interministeriale per la cd “**Long Term Strategy**” al 2050, l’esigenza di accumulo stagionale **delle eccedenze di produzione di FER elettriche** (cd overgeneration) viene gestita attraverso la produzione di metano rinnovabile (P2G)

che viene poi utilizzato nei momenti di minore disponibilità di rinnovabili non programmabili.

Una elevata parte delle overgeneration, inoltre, può essere sfruttata per la produzione di idrogeno come vettore per “aggregare” settori altrimenti difficilmente decarbonizzabili, in quanto non elevatamente elettrificabili (ad esempio settori industriali e trasporto pesante/collettivo).

Pertanto, se pure non si può escludere, nel lunghissimo termine, che l’opzione dell’idrogeno come stoccaggio possa rivelarsi di interesse, le considerazioni svolte portano a ritenere che vi è una bassa probabilità di penetrazione di questa opzione tecnologica nel prossimo decennio.

Dunque, nella più immediata logica dell’impiego dell’idrogeno come vettore, atto al trasferimento di parte dell’energia elettrica da rinnovabili verso altri settori di utilizzo, ci sono **una serie di azioni che la ricerca**, pubblica e privata, **può utilmente svolgere**. Di seguito i principali temi da sviluppare:

- **analisi di scenario, a livello di sistema energetico integrato**, per comparare le diverse opzioni e acquisire sensibilità sugli effetti delle possibili politiche attive;
- sperimentazioni sulla **compatibilità dell’uso di idrogeno in miscela con gas naturale**, rispetto alle infrastrutture di trasporto, distribuzione e stoccaggio esistenti e rispetto alle apparecchiature di utilizzo (ricerca di carattere anche pre-normativo). Il trasporto e utilizzo dell’idrogeno in miscela con il GN è infatti l’opzione di breve-medio termine più realistica come sbocco per rilevanti quantità di tale vettore;
- progetti **pilota sull’uso industriale e nei trasporti** dell’idrogeno;
- sviluppo di **processi di metanazione efficienti e a basso costo**, a partire da idrogeno da FER e CO₂ di origine biologica. Tale opzione, di più lungo termine, avrebbe il vantaggio di impiegare processi a bassa temperatura, più efficienti e meno costosi, e di generare un **prodotto a “zero emissioni” e pienamente compatibile con tutte le infrastrutture e gli usi finali del GN**. Nel lungo termine, infatti, il tendenziale incremento della concentrazione di idrogeno potrebbe rendere inaccettabile l’uso di miscele H₂-GN (idrogeno - metano) con la componentistica esistente.

2. Attività di ricerca sulle batterie in Italia

Le realtà italiane attive nel campo della ricerca sulle batterie sono:

- nell'ambito della **ricerca pubblica**, i tre affidatari della Ricerca di Sistema (CNR, ENEA, RSE) e diverse Università;
- nell'ambito del **settore privato**, i principali costruttori, fra cui si citano il Gruppo SERI/FAAM, attivo sulle batterie al litio (che include la ex-startup Lithops), e FZ Sonick, detentore a livello mondiale della tecnologia Sodio-Nickel (con sedi in Italia e Svizzera).

I temi di ricerca sviluppati si possono raggruppare nelle aree descritte nel seguito.

2.1 Nuove chimiche e nuovi materiali

Le ricerche sono indirizzate allo sviluppo di nuovi materiali (anodi, catodi, elettroliti) per:

- il miglioramento delle **prestazioni** delle tecnologie già commerciali, come le batterie agli Ioni di Litio e le Sodio-Nickel (maggiori densità di potenza ed energia, vita utile più lunga, costi più bassi, maggiore sicurezza);
- la realizzazione di nuovi concetti e **nuove chimiche**, come le batterie agli Ioni di Sodio e le batterie a flusso non basate sul Vanadio. In particolare, le Sodio-Ioni hanno in prospettiva caratteristiche confrontabili con le batterie al Litio, oggi leader sia nelle applicazioni di accumulo di energia che di mobilità elettrica, ma non utilizzano materiali critici dal punto di vista dell'approvvigionamento delle materie prime, e giustificano quindi una prospettiva di produzione su grandissima scala.

2.2 Sistemi di gestione e diagnostica

Le batterie di oggi e del futuro non sono più solo un assieme di celle elettrochimiche in serie, ma un sistema di una certa complessità, dotato di **elettronica di potenza**, di **sistemi di misura, controllo e diagnostica**, che concorrono in misura determinante ad assicurare le prestazioni, l'affidabilità, la sicurezza nonché la loro rispondenza alle funzioni di accumulo energetico e di mobilità elettrica. La ricerca italiana affronta questi temi, sviluppando nuove soluzioni che potranno essere industrializzate dalle numerose e competitive aziende nazionali del settore. Ciò consente non solo di estrarre maggior valore dalle singole batterie, ma anche di gestire sistemi di accumulo di maggiore complessità:

- sistemi ibridi che combinano vantaggiosamente le prestazioni di tecnologie diverse;

- aggregazioni di batterie di varia tipologia al fine di formare “unità virtuali” di maggiori dimensioni, a vantaggio della stabilità del sistema elettrico. Ciò può coinvolgere sia batterie stazionarie, tipicamente per autoconsumo domestico, sia batterie veicolari, secondo lo schema “Vehicle to Grid”.

2.3 La “seconda vita” delle batterie veicolari

È una linea di attività che, nella prospettiva di una forte penetrazione della mobilità elettrica, si propone di migliorarne sia la competitività economica, sia soprattutto la **sostenibilità ambientale**. Una batteria che nell’uso veicolare non assicura più l’autonomia necessaria può ancora avere, direttamente come tale o attraverso il disassemblaggio, la selezione dei suoi elementi e il successivo riassemblaggio, una funzionalità sufficiente per altre applicazioni (accumulo stazionario di energia). La ricerca pubblica, in collaborazione con le aziende italiane che si occupano di gestione delle batterie a fine vita, si sta impegnando in questa direzione, per la messa a punto di processi tecnicamente affidabili ed economicamente efficaci.

3. Adeguamento del PNIEC ad obiettivi più ambiziosi

La **risoluzione del Parlamento Europeo**, citata nel corso dell'audizione, propone un'accelerazione del percorso di decarbonizzazione con l'innalzamento del target emissivo europeo dal -40% al -55% al 2030. Lo scorso 11 dicembre 2019, la nuova Commissione UE, nell'ambito della comunicazione sul "green new deal", ha parlato invece di un target di "almeno il 50% e verso il 55% in modo responsabile".

Si tratta, dunque, di primi passi di un **percorso tecnicamente complesso ed articolato** che coinvolgerà la Commissione e gli Stati membri, che porterà a rivedere la legislazione europea in materia e, conseguentemente, i piani energia e clima in corso di redazione.

Se, dunque, da un lato non è oggi prevedibile quale sarà l'effettivo incremento richiesto, va rilevato che la complessità e la relativa lunghezza del richiamato percorso decisionale porterà molto probabilmente a una **compressione dei tempi di azione** dei "nuovi" Piani aggiornati, necessari per mettere in atto nuove e più sfidanti misure e deviare le traiettorie emissive entro il 2030. Ciò renderà certamente più sfidante il raggiungimento dei nuovi obiettivi.

Più in generale, in merito alle possibilità di incremento degli obiettivi di decarbonizzazione, RSE può fornire alcuni elementi di contesto che stanno emergendo nell'ambito dello sviluppo scenari che la Società sta svolgendo per il gruppo di lavoro Interministeriale per la cd "**Long Term Strategy**" al 2050, nel quale si stanno, appunto, affrontando le sfide di una completa decarbonizzazione nel lungo periodo.

Sebbene lo studio non sia completato, è possibile rilevare infatti elementi utili per comprendere l'effetto di un'accelerazione, anche in ottica 2030. In particolare, quello che emerge è che, per una completa decarbonizzazione, **non ci si potrà limitare alle sole scelte tecnologiche**. Infatti, l'azione dovrà estendersi alla realizzazione delle infrastrutture abilitanti alla diffusione di **nuove tecnologie** carbon free e/o di nuovi vettori green fino a richiedere uno sforzo aggiuntivo su tutti i settori derivante da **scelte comportamentali, modelli e stili di vita** differenti da quelli attuali.

Dunque, accelerare la traiettoria al 2030 comporterà una sfida davvero importante per il nostro Paese, con la conseguente necessità di richiedere uno **sforzo multisetoriale** integrato nel senso già indicato dalle analisi al 2050.

A riguardo, volendo fornire qualche elemento di dettaglio sui settori che potrebbero essere coinvolti in misura maggiore, è possibile osservare che l'attuale obiettivo europeo al 2030 (-40% dei GHG vs 1990) è declinato in due **sotto-obiettivi**: per i

settori ETS a -43% rispetto al 2005 e per i settori non ETS a -30% rispetto al 2005. Il PNIEC, per l'Italia, va ben oltre su entrambi i sotto-obiettivi, rispettivamente al 56% e 35%, che comporta una riduzione complessiva rispetto al 1990 del 38% (vedi tabella 1).

	Obiettivi 2030		
	UE	Obiettivi Italia	PNIEC
Emissioni Gas Serra			
Riduzione complessiva dei gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990	-40%	-	-38%
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti gli impianti vincolati dalla normativa ETS	-43%	-43%*	-56%
Riduzione dei GHG vs 2005 per tutti i settori non ETS	-30%	-33%	-35%

*l'obiettivo ETS non è declinato a livello Stato Membro ma solo a livello europeo

Tabella 1

Sebbene debbano essere adottate tutte le cautele già premesse, l'esame dei sub-obiettivi indicati nella precedente tabella lascia ipotizzare che uno dei settori chiamati ad incrementare le proprie ambizioni per la riduzione emissiva potrebbe essere proprio il **settore non-ETS**, che, attualmente, ha un obiettivo al -35%.

Dunque, con riguardo alla **domanda** formulata, si può affermare che le principali leve a cui ricorrere per accelerare ulteriormente la decarbonizzazione non potranno limitarsi alla produzione da fonti rinnovabili, ma anzi, è verosimile identificare **sforzi aggiuntivi** in efficienza energetica nei settori **non ETS** (soprattutto nel settore civile e trasporti), nell'utilizzo delle bioenergie e vettori green, nella ricerca di **nuove tecnologie**, ma anche nella riduzione dei consumi derivante da diversi **stili di vita**, **approcci comportamentali** ed **economia circolare**.

Per ciascuna di queste opzioni esistono opportunità ma anche difficoltà o criticità.

Accelerare sulla **riduzione dei consumi finali**, rispetto a quanto già previsto dal PNIEC, richiederà un coinvolgimento sempre maggiore sui consumatori sia in termini economici che di stili di vita. Relativamente agli interventi per l'efficienza, ad esempio, si consideri che è già previsto un tasso elevato di ristrutturazione profonda degli edifici pari allo 0,8% annuo, ben superiore ai dati storici.

Nel **settore della produzione da fonti rinnovabili**, andrà certamente incrementato lo sforzo finalizzato al massimo sfruttamento di tutte le fonti carbon free, tenendo conto dei potenziali sfruttabili, della disponibilità della risorsa, degli impatti ambientali e dei costi per il sistema energetico. Per le fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico ed eolico), andrà esaminato il possibile contributo

aggiuntivo derivante da configurazioni innovative come le **comunità energetiche** e l'autoconsumo collettivo, necessarie per contenere l'impatto sulla rete elettrica e favorire la produzione e l'autoconsumo istantaneo. Fra le altre fonti, andrà certamente esplorato il potenziale aggiuntivo che potrà esser dato dalle **biomasse**, per le quali, tenendo anche conto delle opzioni di utilizzo non energetico, sarà importante considerare la produzione combinata di elettricità e calore derivante da una corretta gestione del patrimonio forestale.

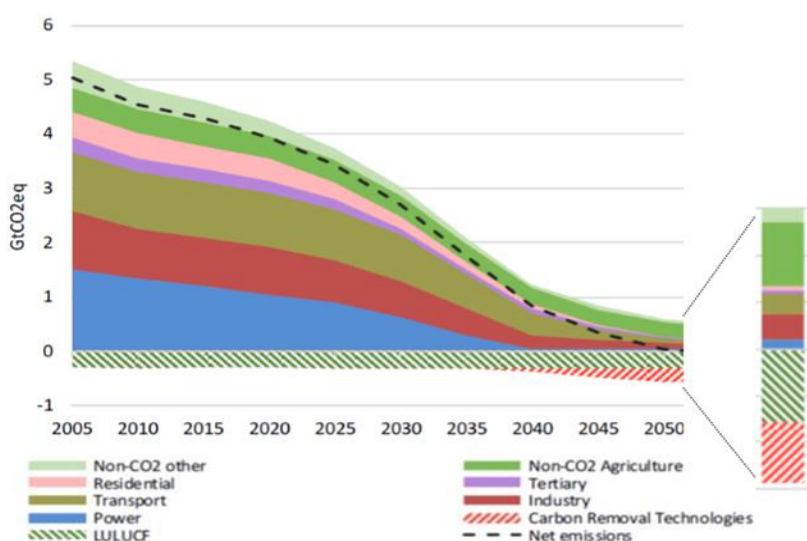
Più in generale, è opportuno rimarcare che, specialmente in ottica 2050, emerge come lo sviluppo **di nuove opzioni tecnologiche** sia una condizione necessaria per il raggiungimento degli obiettivi. Un cambio di passo nelle politiche di **supporto** alla **ricerca**, all'**innovazione** e allo **sviluppo** in affiancamento al settore industriale è certamente una sfida complessa e non affatto scontata, ma può rappresentare un'opportunità per raggiungere gli obiettivi creando, al contempo, competitività del sistema Paese, anche in ottica "green new deal".

In **conclusione**, un'eventuale accelerazione degli obiettivi di decarbonizzazione per il sistema energetico nazionale richiederà una fase di studio e pianificazione complessa. Non si potrà puntare su un'unica soluzione ma, con approccio di sistema, occorrerà lavorare in maniera coordinata e multisettoriale, avendo cura di accelerare nelle politiche di supporto alle attività di ricerca, sviluppo e innovazione.

4. Tecnologie per la cattura della CO₂

Come precedentemente accennato, RSE sta realizzando gli scenari energetici per la **Long Term Strategy nazionale al 2050**; nello sviluppo di queste analisi sono emersi fattori abilitanti, tecnologie e opzioni necessarie per la decarbonizzazione: data l'**incomprimibilità di alcune emissioni settoriali** (ad esempio le emissioni enteriche legate agli allevamenti), per avere emissioni nette pari a zero sarà necessario ricorrere anche ad opzioni di cattura e/o stoccaggio della CO₂.

Traiettoria delle emissioni nette di GHG nello scenario 1.5 Tech (-100%) della Commissione Europea nella Long Term Strategy



Source: PRIMES, GAINS, GLOBIOM.

Diverse sono le opzioni che possono essere messe in campo in questa direzione:

- **Afforestamento:** prima opzione tra tutte, e anche la più sostenibile, è fissare la CO₂ direttamente dall'atmosfera tramite pozzi naturali, cioè aumentare la superficie boschiva. Opzione che ha il vantaggio di bassi costi, ma che richiede enormi aree e può andare in competizione con altri usi del suolo, come pascoli e agricoltura. Importante è accompagnare l'afforestamento anche a pratiche agricole sostenibili che contengano il rilascio di CO₂ dal suolo.
- **Carbon Capture and Storage (CCS):** Questa tecnologia permette di catturare e confinare geologicamente la maggior parte della CO₂ emessa da impianti di produzione di energia e impianti industriali. E' un'opzione piuttosto importante per la cattura delle emissioni industriali di processo che risulterebbero altrimenti incomprimibili. Oltre ai costi della tecnologia e al costo energetico non trascurabile, resta da approfondire la questione dello stoccaggio geologico, con l'individuazione di siti idonei e il trasporto dalla sorgente al pozzo.

- **Bio-Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS):** Una variante della CCS con fonti fossili è il sequestro della CO₂ da impianti di produzione di energia alimentati a bioenergie. Questa è una tecnologia potenzialmente molto importante, che porterebbe a contabilizzare “emissioni negative” che non sono più restituite in atmosfera nel ciclo biogenico ma sono confinate in depositi geologici. Come per la CCS fossile i costi attualmente sono ancora piuttosto elevati, vi è inoltre da considerare che la localizzazione non distribuita dei depositi geologici è sfavorevole rispetto ad una fonte energetica di natura diffusa.
- **Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS):** La Carbon Capture and Utilization (CCU) è una tecnologia che combina la cattura di CO₂ col suo riutilizzo inclusa la possibile trasformazione in un vettore energetico. Il vantaggio principale di questa tecnologia è quello di ottenere un prodotto di valore commerciale in grado di mitigare i costi necessari per la cattura delle emissioni. La CO₂ può essere usata per creare un nuovo prodotto ed eventualmente, a seguito di un suo riutilizzo, stoccata in depositi permanenti.
- **Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS):** tramite filtrazione o processi di scrubbing dell'aria con appositi solventi è possibile catturare la CO₂ presente in atmosfera. Questa opzione però presenta diverse criticità: basse efficienze, grossi quantitativi di energia richiesti, costi molto elevati, enormi quantità di aria da trattare.
- **Biochair:** ulteriore opzione per fissare il carbonio al suolo è il ricorso a pirolisi di biomassa: da un lato si ottiene un syngas che si può sfruttare per usi energetici e dall'altro un prodotto solido, il biochair, formato per lo più da carbonio, che può essere fissato al suolo e non rilasciato in atmosfera. Valgono tutte le considerazioni fatte per le biomasse in generale, valutando inoltre il fatto che si tratta di un'opzione caratterizzata da una bassa efficienza.

In sintesi la sottrazione (e il riuso) della CO₂ dai combustibili, piuttosto che dai gas di combustione o direttamente dall'aria, è un argomento di significativo interesse e che potrebbe avere un ruolo non trascurabile nel processo di decarbonizzazione soprattutto per andare incontro alla neutralità carbonica di lungo periodo.

Va anche detto che un ruolo ulteriore potrà esser dato dall'attività di ricerca, che potrebbe portare allo sviluppo di opzioni tecnologiche oggi considerate non disponibili. Si cita, ad esempio, l'attività di ricerca sulle tecniche di Enhanced Weathering (EW) e Ocean Alkalinity Enhancement (OAE). Si tratta di attività che stanno esplorando la possibilità di accelerare la capacità naturale di assorbimento di CO₂ di rocce ed oceano attraverso la diffusione di grandi quantità di silicati

polverizzati e / o minerali carbonatici. Va citato, a tale ultimo riguardo, il progetto di ricerca DESARC – MARSANUM (Decreasing Seawater Acidification Removing Carbon) che mira a ridurre l'acidificazione del mare, proprio grazie al processo di cattura della CO₂.

Concludendo, al netto della forestazione e dalle novità che potranno emergere dalle attività di ricerca e innovazione, difficilmente si assisterà ad uno sviluppo massiccio delle tecnologie elencate se non oltre il 2030.