



STRATEGY INNOVATION FORUM



Report 2024

L'IMPATTO DEL DEEP TECH SUI MODELLI DI BUSINESS



Indice

Introduzione	Pag. 4
1.0 Il Deep Tech	6
1.1 Le quattro onde d'innovazione	7
1.2 Gli elementi caratterizzanti	8
1.2.1. L'orientamento ai problemi	10
1.2.2 La convergenza tra gli ambiti disciplinari	12
1.2.3 La convergenza tra i cluster tecnologici	14
1.2.4 Il ciclo Design-Build-Test-Learn	16
1.3 Le sfide fondamentali	18
1.4 Il contributo del Deep Tech al raggiungimento degli SDGs	23
1.5 L'impatto del Deep Tech sui modelli di Business	26
1.5.1 Un modello per valutare l'impatto del Deep Tech sui modelli di business	27
2.0 Il Future Farming	30
2.1 Il Nature Co-Design	30
2.1.1 Ripensare le catene del valore attraverso il Nature Co-Design	34
2.2 La Controlled Environment Agriculture	39
2.3 Il Future Farming	42
2.4 Le applicazioni e l'impatto economico	45
2.5 Il contributo del Future Farming al raggiungimento degli SDGs	48
2.6 L'impatto del Future Farming sui modelli di business	50
3.0 La Space Economy	53
3.1 Definizione di Space Economy	53
3.2 Dalla vecchia alla nuova economia dello spazio	54
3.3 Perché occuparsi di Space Economy	57
3.3.1 I segmenti della Space Economy	60
3.3.2 Le nuove opportunità che offre il sistema	61
3.4 Le prospettive di crescita	66
3.5 Il contributo della Space Economy al raggiungimento degli SDGs	68
3.6 L'impatto della Space Economy sui modelli di business	70
3.6.1 Lo scenario Accessible and Self-sustaining Space Economy	72

4.0 Il Super Computing	Pag. 76
4.1 Il Computer Quantistico	77
4.2 La quantum roadmap	80
4.3 Le strategie per l'implementazione del Super Computing	84
4.4 Le applicazioni e l'impatto economico	86
4.4.1 Gli impatti sul settore chimico-farmaceutico	86
4.4.2 Gli impatti sul settore finanziario	88
4.4.3 Gli impatti sugli altri settori	89
4.5 Il ruolo del Super Computing per il raggiungimento degli SDGs	91
4.6 L'impatto del Super Computing sui modelli di business	93
5.0 La Decarbonization/Carbon Removal	91
5.1 La decarbonizzazione industriale	99
5.1.1 Il contributo dell'energia nucleare alla decarbonizzazione	102
5.2 La Carbon Dioxide Removal (CDR)	107
5.3 Il Carbon Market	112
5.3.1 Le opportunità offerte dal Carbon Market	114
5.4 Investimenti e nuove prospettive	115
5.5 Il contributo della Decarbonization/Carbon Removal al raggiungimento degli SDGs	119
5.6 L'impatto della Decarbonization/Carbon Removal sui modelli di Business	121
Conclusione	126
Bibliografia	129

Introduzione

L'attuale modello di produzione e consumo non è sostenibile per il pianeta e le risorse di cui esso dispone. L'economia lineare, che ha caratterizzato l'attività economica, insieme alla focalizzazione sulla crescita continua e sulla massimizzazione dei profitti, non rappresentano un paradigma sostenibile e perseguibile nel lungo periodo. Nell'ultimo decennio si è focalizzata l'attenzione verso una forma di produzione e consumo più sostenibile, accelerata dalle sfide con le quali la società deve confrontarsi e che non sono più trascurabili. La sostenibilità adotta una prospettiva di circolarità e reimpiego delle risorse, riducendo al minimo la produzione di scarti, ma per il suo successo è necessario un cambio di paradigma.

In questo quadro si inserisce il nuovo approccio all'innovazione che passa sotto il nome di Deep Tech. L'ultimo rappresenta una nuova onda di innovazione che si sta sprigionando e che interesserà, trasversalmente, quasi tutte le tecnologie, imprese, settori industriali e società civile. Il *Deep Tech* fonde diversi approcci e tecnologie avanzate, grazie alla convergenza degli ambiti disciplinari e dei cluster tecnologici, e ha l'obiettivo di risolvere le maggiori sfide e problemi con i quali si confronta oggi la società civile. Queste sfide, per poter essere vinte, necessitano di nuove competenze, innovazioni tecnologiche e nuovi approcci che favoriscano lo sviluppo, il progresso e la creazione di valore condiviso. Il Deep Tech ha l'obiettivo di rendere scalabili e commercializzabili tecnologie dirompenti, oggi in fase di sviluppo, grazie alla democratizzazione della ricerca e alla crescita degli investimenti che stimolano l'innovazione.

Il presente elaborato ha l'obiettivo di analizzare gli impatti che il Deep Tech potrà generare sui modelli di business in molteplici settori.

La struttura dell'elaborato si articola in cinque capitoli, il primo capitolo introduce il Deep Tech, definendone le caratteristiche fondamentali, i pilastri sui quali si fonda e le sfide che incontra per poter sviluppare il suo massimo potenziale. La peculiarità di questo nuovo approccio all'innovazione risiede nel fatto che esso è problem-oriented, anche in ottica di sostenibilità. La maggior parte delle imprese *Deep Tech*, infatti, ha l'obiettivo di contribuire ad almeno uno degli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030, definiti dalle Nazioni Unite.

I quattro capitoli successivi analizzano, ciascuno, un ambito specifico nel quale il Deep Tech esprime a pieno il suo potenziale.

Il secondo capitolo tratta il Future Farming, inteso come la combinazione tra la Controlled Environment Agriculture e il Nature Co-Design. Questi ambiti disciplinari permettono, se

combinati, di superare i reciproci limiti, e abilitare una transizione dal tradizionale paradigma estrattivo delle risorse naturali a uno generativo.

Il terzo capitolo è dedicato alla Space Economy, una frontiera in crescita, ricca di opportunità e nuove applicazioni tecnologiche, sia per lo spazio che per il segmento delle attività terrestri che interessano trasversalmente tutti i settori industriali.

Il quarto capitolo affronta il tema del Super Computing, approfondisce le potenzialità abilitate dal Computer Quantistico e le relative applicazioni cross-settoriali che permetteranno di raggiungere efficaci soluzioni a problemi oggi impossibili da risolvere.

Il quinto e ultimo capitolo approfondisce il tema della Decarbonization e delle tecniche di Carbon (Dioxide) Removal, due approcci fondamentali nel processo di riduzione delle emissioni che abiliteranno nuove opportunità di business in ottica di sostenibilità.

Per ciascuno degli ambiti citati si analizzerà il potenziale impatto delle innovazioni Deep Tech e le relative opportunità abilitabili, verranno inoltre approfonditi i possibili contributi al raggiungimento degli SDGs (Sustainable Development Goals). L'obiettivo finale di questo elaborato, tuttavia, è riflettere sui potenziali impatti che queste innovazioni dirompenti genereranno a livello di modelli di business. Il *Deep Tech* ha il potenziale per creare valore attraverso nuove idee di business e soluzioni tecnologiche, rivoluzionando gli equilibri attuali.

Il Deep Tech

“Il *Deep Tech* non è una nuova tecnologia, ma un nuovo approccio all’innovazione aziendale” (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021).

Il *Deep Tech* è caratterizzato da soluzioni dirompenti che si fondano su scoperte scientifiche uniche o tecnologiche avanzate che sono difficili da replicare e che richiedono una solida base di ricerca; implicano la nascita di nuovi modelli di business che mettano in discussione quelli attuali e, soprattutto, necessitano di ingenti investimenti finanziari (Harlé, N., Soussan, P., & de la Tour, A., 2017). Le innovazioni *Deep Tech* sono spinte anche dalla volontà di offrire soluzioni innovative per superare le sfide e i problemi con i quali si scontra la società civile e questo “porta a cercare non il miglior use case per applicare una nuova tecnologia, ma la migliore tecnologia, nuova o esistente, per risolvere un “vecchio” problema. Risulta così molto più efficace per raggiungere gli SDG definiti dall’ONU e il New Green Deal approvato dalla UE” (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021).

Secondo il concetto di “creative destruction” coniato da Schumpeter nel 1942, si riconosce alle innovazioni tecnologiche la capacità di rovesciare gli equilibri economici, cannibalizzare il mercato e le opzioni affermate per lasciare spazio a nuove soluzioni che generino crescita economica e sviluppo per la società civile. Questo processo implica il fatto che le innovazioni *Deep Tech* di oggi, a seguito della loro diffusione e democratizzazione, diventeranno, inesorabilmente, prima High Tech, poi Tech, fino a Basic Needs, divenendo uno standard diffuso (Siegel, J.E., & Krishnan, S., 2020).

Riconoscere l’importanza e le potenzialità del concetto di creative destruction è fondamentale per favorire l’avanzamento tecnologico e l’affermazione di innovazioni che stimolano la nascita di nuove opportunità, abbandonando la tendenza a perseguire strategie difensive nei confronti di soluzioni affermate e mercati maturi. Le innovazioni *Deep Tech* portano con sé rischi elevati, che hanno però il potenziale per generare altrettanto elevati benefici (Schutselaars, J., et al., 2023). Questo approccio all’innovazione viene descritto come la quarta ondata d’innovazione, la più dirompente tra quelle affermatesi fino ad oggi, che ha il potenziale per “avere un impatto sul business e sulla società pari o superiore a quello creato dall’avvento di Internet” (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021).

1.1 Le quattro onde d'innovazione

Il concetto di creative destruction di Schumpeter è legato all'affermarsi di innovazioni tecnologiche che sostituiscono ciclicamente le precedenti. Queste sono classificabili come le onde di innovazione che hanno caratterizzato l'evoluzione dell'economia.

La prima onda d'innovazione, che si origina in concomitanza della prima rivoluzione industriale, raggiunge il pieno potenziale durante la seconda. Porta con sé "avanzamenti fondamentali nei campi della chimica (es.: la sintesi industriale dell'ammoniaca da parte di Haber-Bosh o il cracking catalitico per la raffinazione del petrolio greggio da parte di Houndry), dei materiali (es.: il convertitore per la produzione industriale dell'acciaio di Bessemer), dell'elettricità e delle comunicazioni attraverso i ponti radio" (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021). I benefici generati da questa prima onda hanno messo le basi per lo sviluppo successivo, questo anche grazie alle intuizioni di grandi innovatori.

A seguito della Seconda guerra mondiale si è affermata la seconda onda d'innovazione aziendale, caratterizzata "dalla creazione dei grandi laboratori di ricerca aziendali che hanno permesso il raggiungimento di risultati eccezionali nei campi della chimica, ma soprattutto dell'ICT. Ad esempio, IBM Research è stato pioniere nello sviluppo dei mainframe computer, mentre Xerox Parc ha sviluppato il primo personal computer dotato di un'interfaccia grafica, la prima stampante laser e la tecnologia Ethernet. Le caratteristiche di tali laboratori sono la multi-disciplinarietà e il focus sulla ricerca di base, coinvolgendo al loro interno esponenti di primo piano della comunità scientifica" (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021).

La terza onda d'innovazione aziendale è connessa alla rivoluzione digitale avvenuta all'inizio degli anni '80 e allo sviluppo della Silicon Valley e, poi, della China's Gold Coast. Poiché ogni onda si basa sulle precedenti, anche in questo caso i risultati raggiunti dai laboratori che hanno caratterizzato la seconda hanno messo le basi per la rivoluzione digitale, ma ha raggiunto il suo massimo potenziale grazie alle start-up "quali Microsoft, Apple e Genentech, seguite da Amazon, Google e Facebook, ma anche Alibaba e Tencent. La crescita esponenziale di questi unicorni è stata favorita dai nascenti fondi di venture capital e dalla scelta di focalizzarsi sulla ricerca applicata, più che su quella di base, che è stata perlopiù posta a carico dei finanziamenti statali" (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021). L'intero ecosistema nato sulla cresta della terza onda d'innovazione si è cristallizzato nel tempo attorno a due principali industrie: l'ICT e le biotecnologie; facendo emergere alcuni limiti congeniti ai modelli di venture capital sviluppati. Infatti, sono stati adottati dei modelli di valutazione degli investimenti standardizzati, adattati

ai due profili di rischio di queste industrie che risultano, peraltro, posizionarsi agli estremi opposti (de la Tour, A., et al., 2021):

- “basso rischio tecnologico e alto rischio di mercato nel caso del settore digitale” - è semplice, ad esempio, creare la piattaforma tecnologica sottostante Airbnb, ma è difficile farla affermare come leader di mercato, che è l'unica posizione competitiva sostenibile nei contesti dove winner takes all;
- “alto rischio tecnologico e basso rischio di mercato in quello biotecnologico” - è difficile sintetizzare una molecola per arrestare l'invecchiamento cellulare, ma per chi ci riesce il successo di mercato è assicurato (Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021).

Al di fuori degli ambiti citati, tuttavia, questi due modelli di valutazione degli investimenti sono applicabili con difficoltà.

La quarta onda di innovazione, che si sta generando a partire dalla precedente, ambisce a rimodellare l'approccio all'innovazione così da superarne i limiti e garantirne l'applicabilità in tutti gli ambiti (de la Tour, A., et al., 2021). Per le realtà che adottano l'approccio all'innovazione *Deep Tech*, le scoperte tecnologiche avanzate rappresentano una fonte di vantaggio competitivo, in quanto sono difficili da replicare e richiedono ingenti investimenti, oltre a competenze tecniche avanzate e lunghi tempi di sviluppo (Dionisio, E.A., et al., 2023).

1.2 Gli elementi caratterizzanti

Le start up *Deep Tech* hanno una caratteristica fondamentale: scalano secondo una curva esponenziale, caratterizzata da una lunga fase iniziale di ricerca e sviluppo; richiedendo perciò tempi e capitali molto superiori se comparati alle altre tipologie di start up. Il Grafico (Figura 1) compara le traiettorie evolutive di start up *Deep Tech*, Tech e Biotech e la relativa dimensione nelle varie fasi, espressa in milioni di euro. Nonostante le start up *Deep Tech* siano percepite come maggiormente rischiose, secondo quanto riportato da Dealroom.co, esse hanno le stesse probabilità di successo e fallimento di quelle Tech (Wijngaarde, Y., 2022).

Affinché il *Deep Tech* sprigioni interamente il suo potenziale è importante creare un ambiente che stimoli l'innovazione. Le condizioni necessarie per favorirne lo sviluppo sono: un contesto politico ed economico favorevole, un ambiente che stimoli la ricerca e la formazione di capitale umano specializzato e, fondamentale, l'accesso al credito, specialmente per le prime fasi di

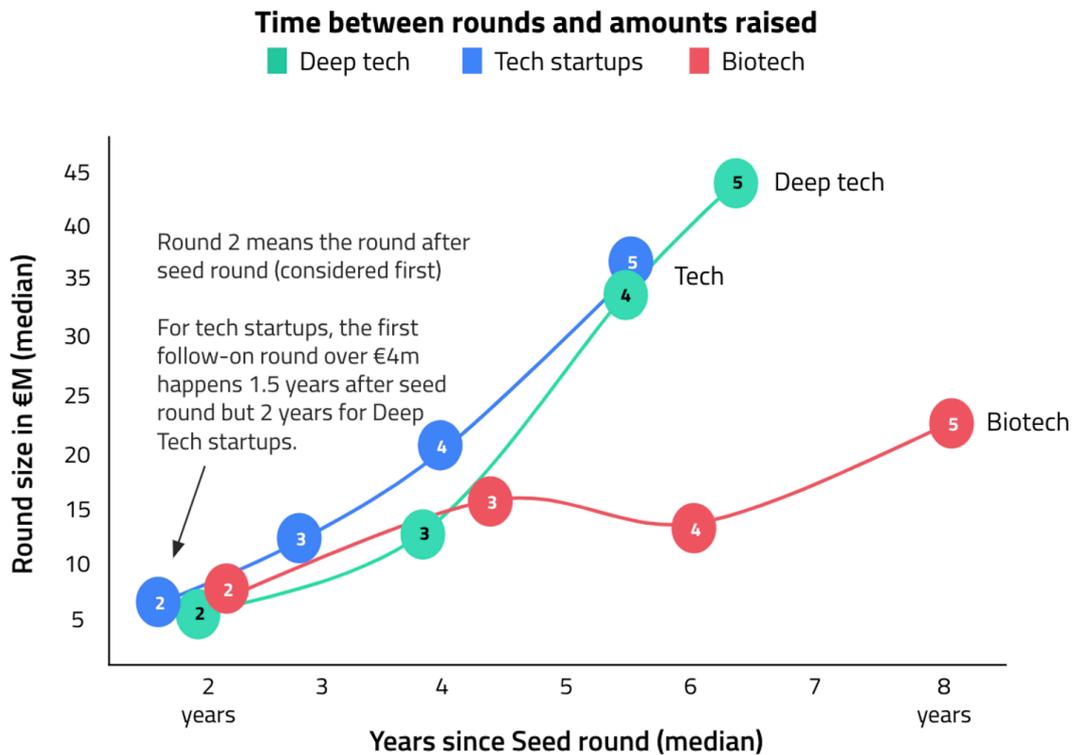


Figura 1: Curve di crescita Start up Deep Tech
Fonte: Wijngaarde, Y., 2022

ricerca e sviluppo (Dionisio, E.A., et al., 2023). Le caratteristiche che contraddistinguono la quarta onda di innovazione *Deep Tech* possono essere descritte attraverso quattro elementi fondamentali, che sono (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021):

1. l'orientamento ai problemi
2. la convergenza tra gli ambiti disciplinari
3. la convergenza tra i cluster tecnologici
4. il ciclo Design-Build-Test-Learn

1.2.1 L'orientamento ai problemi

Le imprese che adottano l'approccio *Deep Tech* mirano ambiziosamente a trovare una soluzione ai più gravi problemi con i quali si scontra la società civile, ai quali le attuali tecnologie non sono in grado di dare risposta, come, ad esempio, le sfide legate al cambiamento climatico, alla salute e all'energia rinnovabile (Romasanta, A., et al., 2021). Il loro focus è la volontà di risolvere un problema reale, non la ricerca di applicazioni per soluzioni tecnologiche nuove. Un esempio è Pivot Bio, "che è riuscita a sviluppare una soluzione rivoluzionaria per risolvere il "vecchio" problema di fissare l'azoto alle radici delle piante, abbandonando il ricorso all'ammoniaca, la cui produzione è altamente inquinante" (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). Il processo di sviluppo di queste tecnologie segue un processo inverso rispetto alla ricerca applicata, poiché "si fondano sullo sviluppo di una ricerca di base, ambendo a una comprensione profonda dei fenomeni, ispirata, da considerazioni sui possibili usi della nuova conoscenza generata" (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

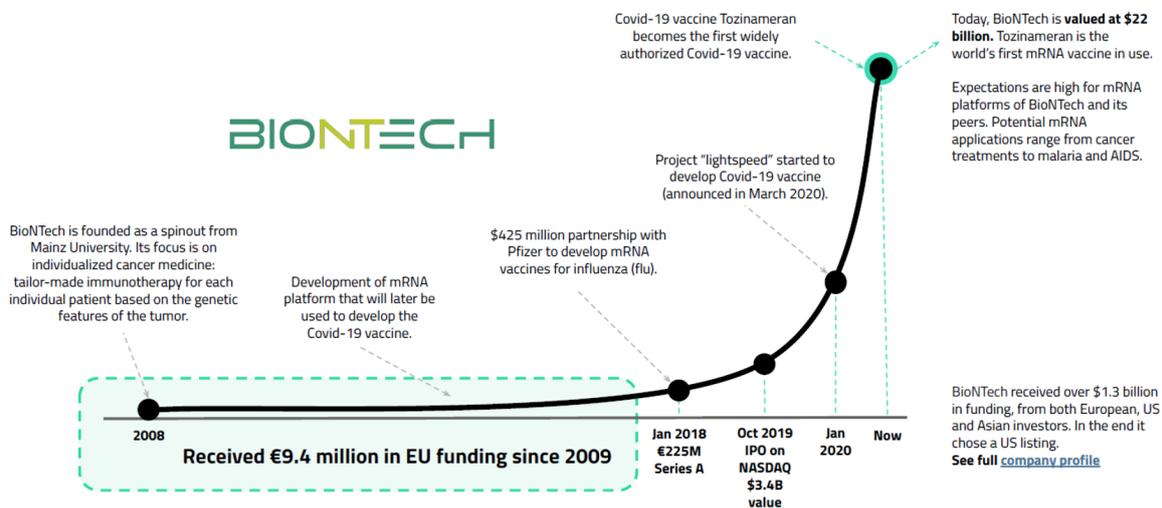
L'approccio da adottare nell'individuare il problema e le modalità per affrontarlo è quello del *design thinking*. Il problema "deve essere, oltre che *human-centered*, abbastanza ampio da avere un impatto reale e consentire l'emergere di soluzioni creative ma, al contempo, abbastanza ristretto per renderne possibile la gestione senza scoraggiare il team che è chiamato ad affrontarlo" (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). Le start up sono spesso focalizzate sulla soluzione tecnologica che hanno sviluppato, allo stesso modo le imprese affermate rischiano di focalizzarsi sul perfezionamento e adattamento della soluzione offerta, ed entrambe rischiano di perdere di vista il problema. In questo contesto le fasi cruciali sono la ricerca di mercato e la comprensione dei bisogni dei clienti target per formulare una soluzione efficace, sviluppare una strategia basata sul valore che garantisca il massimo rendimento e sia scalabile. "Inoltre, il purpose, attraverso l'orientamento al problema, garantisce la fidelizzazione dei talenti, lo slancio globale e un dialogo coerente tra i team multidisciplinari" (de la Tour, A., et al., 2021). Un esempio di start up *Deep Tech*, nata come spinout dell'università di Mainz, ma che è riuscita a scalare è BioNTech.

Un ulteriore esempio di realtà che sta sviluppando una tecnologia partendo da un problema reale è Hyperloop Italia. Il progetto Hyperloop, che promette di rivoluzionare la mobilità e i trasporti, affonda le sue radici nel lontano 1861 quando Thomas Webster Rammel costruì una capsula denominata: "The London Pneumatic Despatch". Dopo di lui vennero progettate diverse altre strutture di trasporto a levitazione magnetica, ma senza risultati apprezzabili. Nel 2013 Elon Musk ha pubblicato un documento (Alpha paper: <https://www.wsj.com/public/resources/documents/Hyperloop08122013.pdf>) per rilanciare il progetto di sviluppare un



L'impresa ha l'obiettivo di portare soluzioni e progressi in ambito medico adottando l'approccio *Deep Tech* e applicando le teorie scientifiche e la ricerca per raggiungere l'eccellenza operativa. È nata nel 2008 con l'ambizione di offrire immunoterapie personalizzate contro il cancro, adattate ai bisogni di ciascun paziente. L'approccio che adotta è quello

di sfruttare il potenziale del sistema immunitario per affrontare le malattie. Come si vede dal grafico pubblicato da Dealroom.co, BioNTech ha ricevuto finanziamenti pubblici nell'iniziale fase di ricerca e sviluppo che è durata diversi anni, è poi riuscita a scalare e stringere delle partnership con aziende affermate, come Pfizer. Grazie alle competenze sviluppate in questi anni e alla continua ricerca è riuscita a sviluppare il primo vaccino a mRNA contro il Covid-19. L'impresa sviluppa inoltre strutture di produzione modulari scalabili che permettono di garantire la produzione decentralizzata, al fine di raggiungere anche località remote (Wijngaarde, Y., 2022).



sistema di trasporto, a levitazione magnetica, che spostasse oggetti e persone quasi alla velocità del suono e che portasse a una soluzione innovativa per risolvere uno dei principali problemi dell'umanità oggi: la mobilità sostenibile. Per lo sviluppo del progetto venne adottato il primo esempio di crowdsourcing globale, ossia il progetto doveva essere sviluppato grazie al contributo volontario di imprese che in cambio avrebbero ricevuto stock options della costituenda startup (Gresta, B., SIF 2022). Hyperloop One, la più strutturata tra le startup che hanno provato a realizzare il sogno di Elon Musk, a dicembre 2023 è fallita, nonostante i 450 milioni di dollari raccolti dai fondi di venture capital ai quali vanno aggiunti altri investimenti minori arrivati dai suoi azionisti, tra i quali Richard Branson di Virgin. Per contro, il Consorzio Hyper Builders, formato da Webuild, in joint-venture con Leonardo, HyperloopTT e Hyperloop Italia si è aggiudicata, a gennaio 2024, il bando promosso da CAV (Concessioni Autostradali Venete) per studiare la fattibilità di realizzare Hyper Transfer: il primo prototipo al mondo del treno sognato da Elon Musk che dovrebbe unire Venezia a Padova.



Hyperloop Italia, presentata da Bibop Gresta, fondatore e CEO di Hyperloop Italia e co-fondatore di HyperloopTT, progetta di sviluppare 21 linee di treni superveloci in Italia. Il progetto mira a rivoluzionare la mobilità sfruttando una combinazione di energie rinnovabili, tra cui solare, eolico, geotermico e un sistema frenante rigenerativo che

produce energia e sfrutta anche l'energia cinetica della capsula stessa. Questa combinazione produrrà fino al 30% di energia in più rispetto a quella consumata.

Hyperloop è una capsula che viaggia in un tubo depressurizzato che può spostarsi quasi alla velocità del suono, anche grazie alla levitazione passiva. La previsione è che si aggancerà alle smart city del futuro, sarà possibile collegarci tutta una serie di facilities (rete, elettricità, acqua). I progetti hanno come obiettivo la sostenibilità del sistema che sarà silenzioso, si muoverà nel vuoto e non creerà barriere architettoniche nel terreno.

Vi sono già alcuni studi di fattibilità in Veneto, Lombardia e Piemonte. L'Italia potrebbe essere protagonista in questa trasformazione (Hyperloop, n.d.)



1.2.2 La convergenza tra gli ambiti disciplinari

Un elemento che contraddistingue le imprese *Deep Tech* è la combinazione di molteplici innovazioni tecnologiche che insieme portano allo sviluppo di soluzioni dirompenti (Romme, A.G.L., et al., 2023). "Si fondano sulla convergenza tra diversi ambiti disciplinari: la scienza avanzata che si caratterizza per la generazione di conoscenza nuova senza porsi il problema dei suoi risvolti pratici; il design interessato, viceversa, allo sfruttamento della conoscenza esistente per soddisfare i bisogni umani, trascendendo la comprensione dei fenomeni sottostanti; e l'ingegneria che, garantendo la fattibilità tecnica ed economica della soluzione, costituisce un ponte tra i primi due ambiti disciplinari (Figura 2).

Gli avanzamenti nei diversi ambiti disciplinari devono procedere in parallelo. Un'impresa *Deep Tech* deve, infatti, porsi tre domande fondamentali fin dall'inizio della sua esistenza: qual è il problema che stiamo affrontando? Come possiamo usare la scienza avanzata per risolverlo in un modo innovativo e migliorativo? Questa soluzione funzionerà anche al di fuori del laboratorio e potrà essere offerta a un prezzo che le permetta di essere competitiva?"

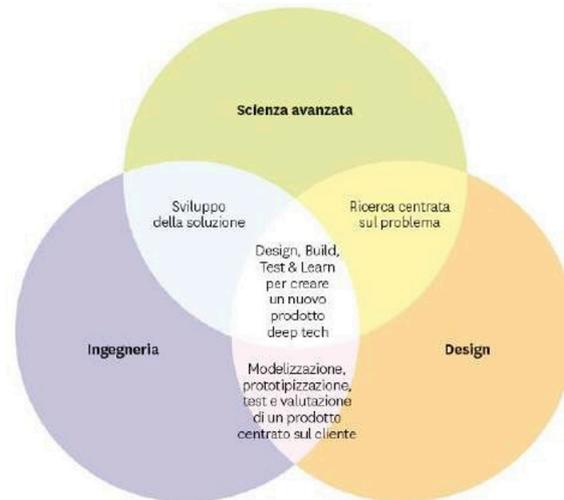


Figura 2: La convergenza delle discipline nell'approccio Deep Tech
Fonte: Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021

(Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

“La convergenza tra diversi ambiti disciplinari rende indispensabile creare team multidisciplinari. Indipendentemente dal ruolo (investitori, start-upper o imprese consolidate), tutti i membri del team devono avere il cosiddetto profilo a “T”: competenze superficiali su più ambiti disciplinari e approfondite su uno specifico. Gli investitori possono definire correttamente un problema e avere una certa comprensione delle possibili soluzioni offerte dalla scienza, ma di solito hanno poco know-how ingegneristico per valutarne la fattibilità tecnica e la convenienza economica, o viceversa. Gli start-upper sono in genere in grado di affrontare le sfide scientifiche, alcuni possono anche riuscire a definire correttamente un problema, ma spesso non hanno know-how ingegneristico. Le ultime, infine, hanno il know-how ingegneristico, ma non sono di solito in grado di definire correttamente il problema, poiché tendono a cercare il miglioramento delle soluzioni esistenti, piuttosto che lo sviluppo di soluzioni disruptive” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). La convergenza dei diversi ambiti disciplinari e la combinazione di competenze trasversali contribuiscono ad accelerare l'apprendimento e le sperimentazioni, diminuire il rischio e la complessità, e aumenta il rendimento degli investimenti nelle innovazioni (Paschkewitz, J., et al., 2022).

Una start up che è nata con l'obiettivo di riunire competenze diverse e trasversali e che collabora con attori diversi, start up, aziende affermate, investitori, è Ginkgo Bioworks.



Ginkgo Bioworks è una startup che sta sviluppando una piattaforma che permetta di ingegnerizzare, attraverso la biologia, basandosi sull'assunto che sia possibile creare qualsiasi cosa in tutti i settori, dalla cosmetica, al cibo fino all'industria farmaceutica. Adottando l'approccio *Deep Tech* mettono a disposizione le proprie competenze e cercano

di sviluppare nuovi progetti con realtà provenienti da industrie cross-settoriali, per contribuire alla generazione di prodotti più sostenibili, attraverso una piattaforma ecosistemica. Adottano il ciclo di DBTL per costruire e produrre materiali sempre più evoluti attraverso una infrastruttura scalabile.

Collaborando con i loro partner hanno raggiunto grandi risultati, con Bayer hanno dato vita ad una joint venture, Joyn Bio, che ha l'obiettivo di produrre fertilizzanti attraverso microbi ingegnerizzati che fissano l'azoto nelle radici delle piante e contribuiscono ad un'agricoltura più sostenibile. Attraverso un altro spinoff, Motif, mirano a produrre cibo e carne vegetale, mentre con Synlogic una piattaforma che collabora per lo sviluppo di medicinali (Ginkgo Bioworks, n.d.).



1.2.3 La convergenza tra i cluster tecnologici

Un elemento caratterizzante è la convergenza delle tecnologie: il 97% delle imprese *Deep Tech* impiega almeno due tecnologie esistenti o emergenti e il 66% più di una. I cluster tecnologici che convergono nel *Deep Tech* sono (Figura 3): "computazione e cognizione (IA e scienze comportamentali e neuronali), sensoristica e movimentazione (IoT e robotica), materia ed energia (nanotecnologie e biologia sintetica)" (Bagnoli C. e Portincaso M., 2021).

Un fattore determinante che abilita e stimola l'innovazione è la nascita di piattaforme tecnologiche che abbassano le barriere per la sperimentazione, stimolano l'innovazione e la collaborazione (Siegel, J.E., & Krishnan, S., 2020). "Il cloud computing sta aumentando le sue performance e il possibile spettro di applicazioni, mentre le bio-foundrie stanno assumendo per la biologia sintetica il ruolo che il cloud computing ha assunto per la computazione. Piattaforme simili stanno crescendo anche nel campo dei materiali avanzati (es.: IBM RoboRNX e VSParticles). Questo rende meno costoso sostenere nuovi business *Deep Tech*,

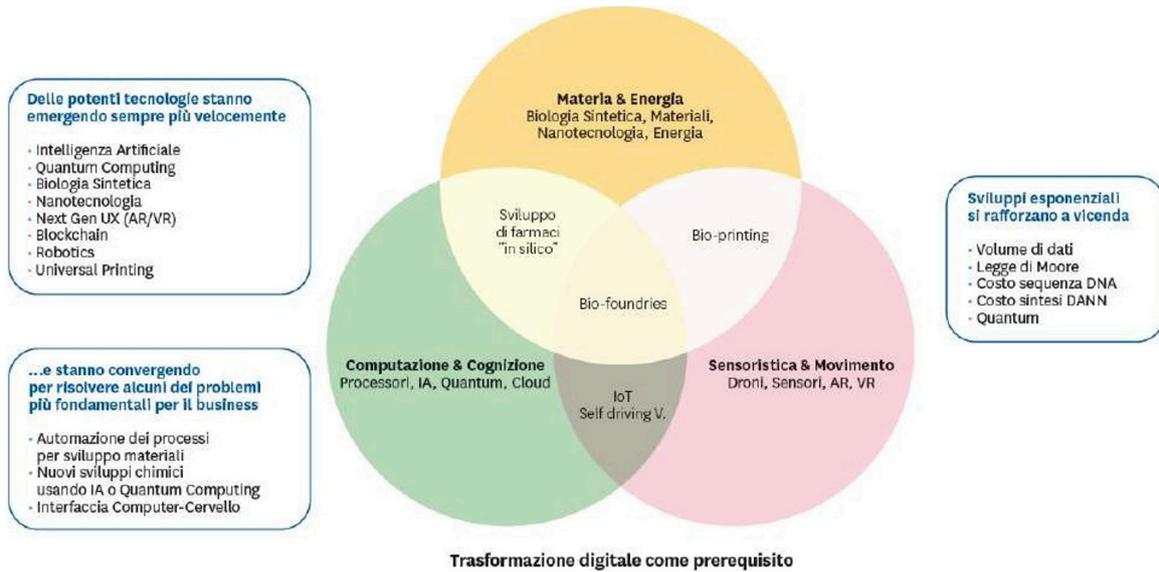


Figura 3: La convergenza delle tecnologie nell'approccio Deep Tech
Fonte: Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021

e la crescita del giro di affari porta a diminuire il costo, ad esempio, delle attrezzature per la manipolazione dei liquidi nei laboratori umidi, delle tecnologie per il sequenziamento e la sintesi del DNA e l'accesso alle infrastrutture necessari a svilupparli (es.: The Engine o il LabCentral)" (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

Per abbassare le barriere ed attivare un processo di innovazione è fondamentale la collaborazione, una delle modalità che si stanno affermando è quella dell'open innovation, per identificare le opportunità d'innovazione e progredire nel processo risultano importanti le piattaforme di Cloud che, grazie alla crescente disponibilità di dati, raccolgono informazioni e permettono di monitorare democraticamente l'innovation cycle (Dimitrova, R., SIF 2022). Anche la crescita dei fondi investiti contribuisce alla crescita e alla sperimentazione in ambito deep tech. Questi che sono passati da 15 miliardi di dollari nel 2016, a più di 60 miliardi nel 2020 (de la Tour, A., et al., 2021).

1.2.4. Il ciclo Design-Build-Test-Learn

Il “motore” che abilita l’approccio all’innovazione *Deep Tech* è il ciclo ingegneristico Design-Build-Test-Learning (DBTL). Questo “ciclo rappresenta di fatto il ponte tra il problema affrontato e la scienza e le tecnologie messe in atto per la sua soluzione. Ogni interazione all’interno del ciclo DBTL è valutata in base alla sua contribuzione a risolvere il problema. L’orientamento al problema diventa, perciò, un elemento ancora più cruciale, in quanto rappresenta anche un prerequisito per l’efficace sviluppo del ciclo DBTL. È attraverso la convergenza delle tecnologie che la forza del ciclo DBTL si sprigiona. Esso permette di selezionare in prima battuta le tecnologie più efficaci per la risoluzione del problema affrontato ma, a ogni interazione, anche di applicare una diversa tecnologia” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

DESIGN: questa è la fase principale del ciclo DBTL, permette di progettare e descrivere le caratteristiche del prodotto che si vuole ottenere. L’accesso a un ampio bacino di dati a costi sempre più contenuti facilita il processo di innovazione *hypotesis-driven*. In questa fase sono determinanti anche la velocità, l’open source, le capacità computazionali e le opportunità di accesso al *Cloud computing*. “Tutto ciò facilita la progettazione di modelli performanti nelle attività di R&D connesse ai nuovi materiali, molecole, immagini, suoni e architetture. Inoltre, il ricorso al generative design amplia l’approccio al design oltre alla semplice fase di *discovery*. I prototipi possono essere scansionati e dotati di sensori che forniscono dati sulle prestazioni in tempo reale che vengono poi reinseriti nel processo di design, in modo che l’oggetto si co-progetti da solo”. Queste possibilità, in fase di design, beneficeranno delle applicazioni del quantum computing che permetterà di “elaborare enormi quantità di informazioni ed eseguire alcuni algoritmi in modo esponenzialmente più veloce, promettendo impatti significativi soprattutto nei campi biopharma, chimica, progettazione dei materiali e dinamica dei fluidi” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). Nanome, ad esempio, permette a team di ricercatori di collaborare allo sviluppo di un prodotto grazie alla realtà virtuale, contemporaneamente e da ovunque si trovano.

BUILD & TEST: questa fase permette di raggiungere economie di scala, accelerare i processi e renderne più precisa l’esecuzione, anche grazie alla “crescente emersione delle piattaforme di Cloud computing e di materiali di biologia sintetica, e la sempre più spinta all’automazione dei processi attraverso l’impiego di robot. Grandi comunità di utilizzatori sfruttano e, allo stesso tempo, contribuiscono allo sviluppo, delle piattaforme emergenti in molteplici campi del *Deep Tech*. Ciò consente anche alle start up di ricorrere a servizi di supporto facilmente scalabili, accedendo a capacità che sarebbero altrimenti troppo onerose in termini sia

monetari che temporali, e/o troppo complesse tecnologicamente da sviluppare internamente” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). Strateos, ad esempio, fornisce un laboratorio in *Cloud* che permette di automatizzare l’analisi chimica e biologica per i programmi di sviluppo di medicinali, rendendo il processo più efficiente e rapido (BCG, 2020).

LEARN: in questa fase si sviluppa l’attività di apprendimento dai risultati ottenuti dal passato ciclo DBTL e permette di dare indicazioni alla fase di design del nuovo ciclo DBTL, accelerando il processo di perfezionamento dei risultati che si vogliono ottenere. “L’enorme mole di dati generati nella fase di *Build & Test* può essere sfruttata per alimentare algoritmi di IA e *machine learning*, accelerando così il processo di apprendimento che passa da settimane o mesi, a giorni o minuti. Gli algoritmi automaticamente apprendono quale tipologia di prodotto sia opportuna e quale no, raffinando le ipotesi inizialmente poste nella fase di design, così da innescare un nuovo circolo di retroazione. Nel campo della scienza dei materiali, ad esempio, la start up statunitense Kebotix combina algoritmi di machine learning per modellare strutture molecolari con un laboratorio di robotica autonomo che sintetizza, testa e reinvia i risultati agli algoritmi” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

Questo ciclo DBTL è simile a quello *Build-Measure-Learn* (BML) proposto all’interno dell’approccio *Lean Startup* (Ries E., 2011). Entrambi, infatti, permettono di aumentare la velocità e l’agilità nello sviluppo di una nuova impresa. I due metodi, tuttavia, si differenziano per alcune fondamentali caratteristiche: 1. il ciclo BML viene proposto per la creazione di startup digitali, mentre il ciclo DBTL per la creazione di startup *Deep Tech* che considerano la dimensione dei bit ma anche quella degli atomi; 2. il ciclo BML non ha una fase di progettazione, che è fonte di vantaggio competitivo per le startup *Deep Tech*; infine “il ciclo DBTL è funzionale anche a ridurre il rischio: ogni iterazione di successo è una pietra miliare nello sviluppo dell’impresa *Deep Tech*” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

Una startup *Deep Tech* che ambisce a raggiungere una sfida fondamentale nel mondo dell’energia, ovvero sviluppare un reattore nucleare a fusione, che produca energia pulita, illimitata, sicura e a basso impatto ambientale è Commonwealth Fusion Systems (CFS), fondata nel 2018 come *spinout* del MIT. Questa start up si inserisce in un ecosistema che le permette di collaborare con università e centri di ricerca di primaria importanza per accelerare il raggiungimento del suo obiettivo, ed è supportata in questo anche da ENI. CFS intende costruire e testare entro il 2025 il primo impianto pilota, un piccolo reattore per la produzione di energia da fusione a confinamento magnetico. Il progetto di ITER nel 2025 dovrebbe creare il suo primo plasma super-riscaldato, per poi raggiungere la piena potenza entro il 2035.

I risultati raggiunti da ITER e CFS sono simili, nonostante ITER stia cercando di raggiungere questo obiettivo dal 2006 e abbia raccolto molti più fondi di CFS, questo dimostra come una startup *Deep Tech* abbia la capacità di essere più agile e veloce di una startup “tradizionale” nel ciclo di sviluppo e di innovazione, grazie a un approccio *problem-oriented* ¹.

1.3 Gli elementi caratterizzanti

Le innovazioni disruptive che caratterizzano le start up deep tech portano con sé una serie di sfide ed ostacoli che queste imprese devono superare affinché possano svilupparsi ed esprimere interamente il proprio potenziale. Le sfide che incontrano queste realtà e gli elevati rischi connessi ad esse sono riconducibili all'elevato rischio di fallimento delle tecnologie avanzate, gli ingenti investimenti necessari ed il time-to-market che richiede tempi lunghi. A queste si aggiungono spesso ostacoli burocratici e legali, che i governi dovrebbero snellire (Schuh, G. & Latz, T., 2022).

Il tasso di fallimento delle realtà deep tech è molto elevato se comparato con altre attività ed il grado di complessità che le caratterizza comporta il fatto che nel processo di sviluppo e successiva commercializzazione esse vanno in contro ad una lunga e profonda *valley of dead*. Questo concetto è legato alla difficoltà di reperire finanziamenti adeguati alle necessità queste realtà. La “valle della morte”, illustrata nella Figura 4, tiene in considerazione due variabili, ovvero il time to market richiesto alla tecnologia per poter essere commercializzata, rappresentato dal Technology Readiness Level (TRL), e le risorse necessarie dalla fase di sviluppo alla commercializzazione. Il TRL misura il grado di maturità dello sviluppo di una determinata tecnologia, può assumere un valore minimo di 1 fino ad un massimo di 9, che prova il successo tecnologico testato in un ambiente operativo e come si vede dalla Figura 4 nella valle si estende tipicamente dal TRL 2 o 3 al TRL 7 o 8 (Romme, A.G.L., et al., 2023).

Molte delle startup *Deep Tech* non riescono a superare il gap tra le risorse iniziali ottenute in fase di ricerca, spesso da fondi pubblici, e quelle private necessarie all'industrializzazione e commercializzazione in fase più avanzata. In conseguenza di ciò la valle risulta molto profonda (sull'asse verticale per le elevate risorse necessarie) e lunga per le caratteristiche tipiche di

¹ Maccatrozzo Laura, *Deep Tech e Nature Co-Design*, Tesi di Laurea Magistrale, 2020-2021, Relatore Prof. Bagnoli Carlo

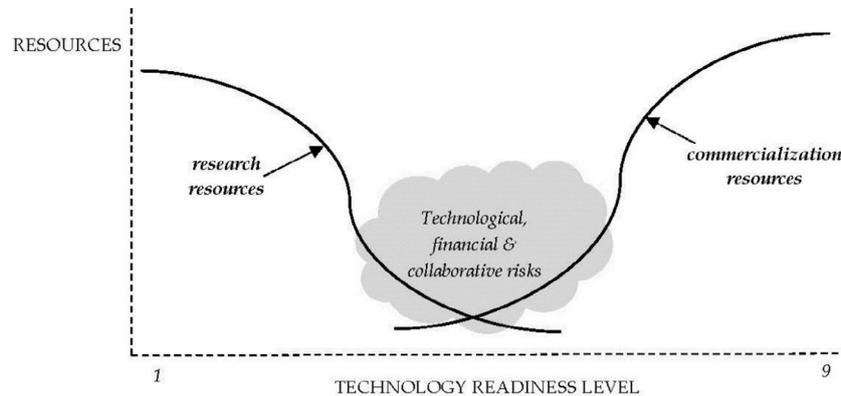


Figura 4: Valley of Death
Fonte: Romme, A.G.L., et al., 2023

queste realtà (Romme, A.G.L. 2022). Tale gap può essere suddiviso in due distinte valli, la prima relativa alla tecnologia e quindi alla difficoltà incontrata nella fase di ricerca e sviluppo, la successiva in fase di implementazione e commercializzazione nel mercato. I modelli di open source contribuiscono a ridurre queste difficoltà snellendo i processi di sviluppo e garantendo l'accesso ad un database di risorse e conoscenze di attori diversi, a partire dalle quali queste realtà possono sviluppare e sperimentare prodotti e tecnologie, accelerando il ciclo di commercializzazione (Nedayvoda, A., et al., 2020).

Dal punto di vista degli investitori queste realtà vengono percepite come complesse e molto rischiose e spesso a causa di una narrativa non sufficientemente trasparente e chiara vengono valutate in modo inaccurato. La Valley of death è utile per avere una prospettiva di quali siano le sfide principali incontrate dagli ecosistemi deep tech (Romme, A.G.L. 2022).

Queste realtà necessitano di un ripensamento delle catene del valore e dei modelli di business, affinché siano adatti a catturarne il valore generato. È inoltre fondamentale la costruzione di una proposta di valore efficace ed un modello che sappia cogliere le opportunità di business e superi le difficoltà che limitano la loro capacità di scalare.

“La sfida di re-immaginare le catene del valore e i modelli di business appare ardua soprattutto per le imprese consolidate che fanno fatica ad abbandonare le certezze, a mettere in discussione i modelli mentali esistenti, ad affrontare l'ignoto e a costruire sulle anomalie e sulle eccezioni” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). Il mercato oggi è molto più dinamico e i processi di innovazione sono continui, le imprese leader nei settori faticano a difendere la posizione per lungo tempo, “nei decenni precedenti, il 77% delle imprese leader di settore era ancora in testa cinque anni dopo; ma oggi questa percentuale si è quasi dimezzata, arrivando al 44%” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). L'ecosistema deep tech richiede un approccio

imprenditoriale focalizzato sulle innovazioni e su un orizzonte di lungo periodo, che stimoli proattivamente la nascita di soluzioni dirompenti e sia favorevole a correre i rischi connessi ad esse per sviluppare il massimo potenziale, stimolando la creatività e l'ambizione delle start up che vi operano (Kask, J. & Linton, G., 2023).

Una delle sfide individuate è la necessità di spingere più in là i confini della scienza. Per raggiungere questo obiettivo è importante costruire una rete di partner con competenze e risorse complementari, in modo da avere accesso alle risorse critiche necessarie ed al know how specifico richiesto dal settore, stimolando la collaborazione per specializzazioni tecnologiche anziché un focus sulle aree geografiche (Kask, J. & Linton, G., 2023). Sono molti gli ambiti in cui la scienza non ha sviluppato il suo massimo potenziale, anche a causa delle complessità tecniche (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021), gli ostacoli dell'accettazione sociale e le limitazioni burocratiche con le quali si deve confrontare.

Le reti sviluppate devono includere attori diversi con competenze trasversali che abilitino collaborazioni tra il settore pubblico, come governi ed università e quello privato delle start up e imprese consolidate, a beneficio del progresso scientifico.

L'effetto di spill-over positivo generato dalla trasversalità degli ambiti delle innovazioni e tecnologie e dalla collaborazione di attori diversi, è molto elevato (Schuh, G. & Latz, T., 2022).

Queste sfide si accompagnano alla difficoltà di scalare un minimum viable product (MVP), sviluppare un MVP è spesso molto complesso, ancora di più "assicurarne la scalabilità, ossia l'ingegnerizzazione necessaria alla sua produzione "industriale". Scalare un prodotto fisico Deep Tech, soprattutto nel caso di MVP biologici o nanotecnologici, è molto più complesso e costoso rispetto a uno digitale. La fase di scale up è cruciale anche per assicurarne la realizzabilità a costi di mercato. Le sfide da affrontare, spesso senza poter contare su esperienze pregresse, riguardano, quindi, tanto gli aspetti tecnici di produzione, quanto quelli economico- finanziari" (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021). La grande barriera che ha impedito ai progressi raggiunti in laboratorio di poter avere un'adozione più ampia è stata finora rappresentata dai costi di biolaborazione. Con l'eccezione del settore farmaceutico - il cui modello di business si basa principalmente su prodotti ad alto margine, a basso volume e poco sensibili ai costi - e di alcune altre categorie di prodotti, la fermentazione di precisione e la biomanifattura non hanno ancora dimostrato di essere economicamente sostenibili su scala commerciale. "Le biofonderie sono strutture progettate, costruite, ottimizzate e standardizzate per la produzione efficiente ed economica di bioprodotto non farmaceutici. Ciascuna di queste strutture può fornire almeno 2 milioni di litri di capacità, raggiungendo una scala commerciale e colmando il divario di costo per le grandi categorie di produzione, come gli alimenti e i

biomateriali, riducendo i costi unitari del 50% e consentendo una certa parità di costo con le tecnologie esistenti" (Bobier, J.-F., et al., 2024).

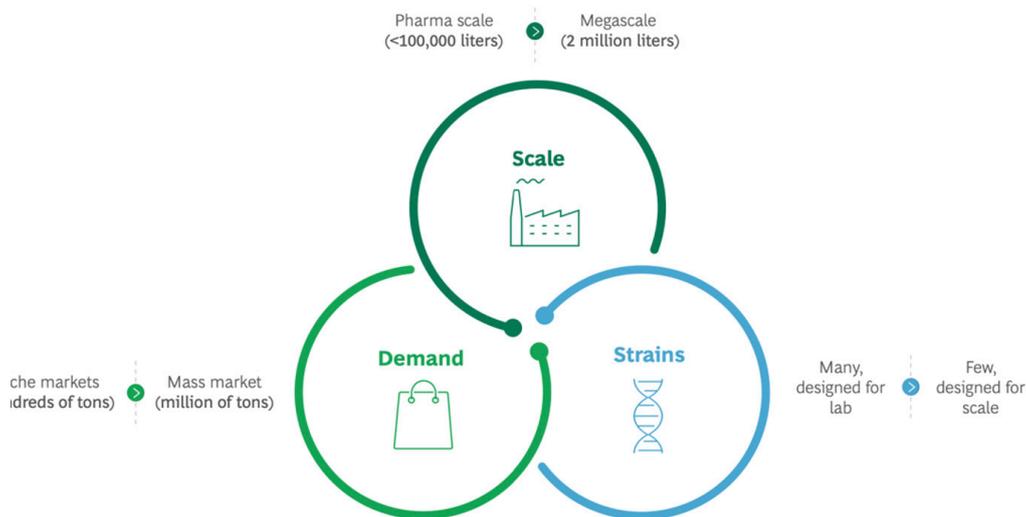


Figura 5: I tre elementi chiave per realizzare il potenziale della biomanifattura
Fonte: Bobier, J.-F., et al., 2024

Con il termine "FOAK" (*First-of-a-Kind*) si intende la fase che precede la scalabilità della soluzione (Figura 6). Le iniziative che si trovano in questa fase solitamente hanno già attraversato diverse "valli della morte", prima dimostrando il funzionamento della loro tecnologia in un laboratorio e, successivamente, nel mondo reale attraverso un progetto pilota. In corrispondenza della fase "FOAK" si deve dimostrare che la soluzione è scalabile in modo efficace e che è possibile ridurre tutti i rischi commerciali, operativi, tecnici e di produzione, rendendo la soluzione attraente per i potenziali finanziatori del progetto (Cohen, G., et al., 2024).

Una delle difficoltà maggiori che incontrano queste realtà è quella di attrarre i finanziamenti adeguati al loro sviluppo, anche a causa dei lunghi tempi e dell'incertezza che caratterizza i processi. Un obiettivo fondamentale è ridurre l'asimmetria informativa che spesso è presente tra start up deep tech e venture capitalists, in modo che essi abbiano le informazioni e le competenze necessarie per valutare le tecnologie e le innovazioni, facilitando così l'accesso ai finanziamenti (Kask, J. & Linton, G., 2023).

Le start up *Deep Tech* vengono supportate da soggetti diversi in ciascuno stadio dello sviluppo, rispetto al quale varia anche il grado di rischio associato, esistono però ancora alcuni gap tra le varie fasi. Nella Figura 7 si evidenzia come a livello europeo esista un gap tra gli investimenti

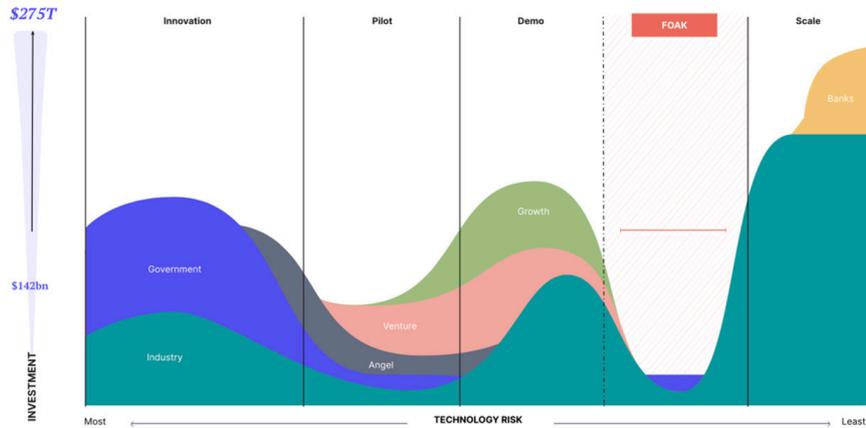


Figura 6: FOAK (Fist-of-a-Kind)
 Fonte: Cohen, G., et al., 2024

che supportano la fase di sviluppo e quelli che subentrano in fase più avanzata di scale up, non coprendo a pieno le necessità della fase di “go-to-market” (Browne, O., 2023). A livello europeo ci sono diversi attori nel panorama degli investimenti in Deep Tech, la maggior parte dei quali però si concentra nelle prime fasi di sviluppo delle start up, ad esempio Apex Ventures, società di venture capital che investe nelle prime fasi di sviluppo di realtà deep tech, e Jolt Capital, che investe invece nelle fasi più avanzate per favorire la crescita e lo scale up delle realtà deep tech. Insieme ai fondi privati di investimento ci sono anche programmi europei a supporto come Horizon Europe, EIC Fund ed EIT InnoEnergy, insieme a programmi attivati a livello nazionale (Browne, O., 2023).

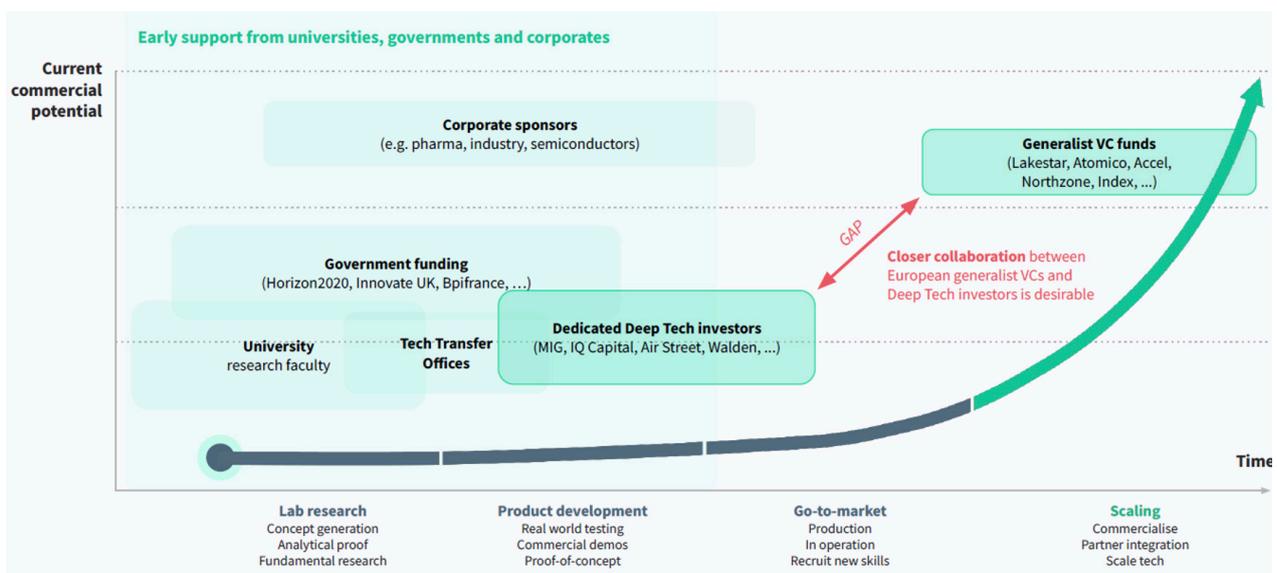


Figura 7: Fasi di evoluzione di una start up deep tech e soggetti finanziatori
 Fonte: Browne, O., 2023

1.4 Il contributo del Deep Tech al raggiungimento degli SDGs

Le imprese che adottano un approccio Deep Tech si caratterizzano per essere orientate verso la risoluzione di un problema reale, come spiegato nei paragrafi precedenti. Uno studio di BCG ed Hello Tomorrow (de la Tour, A., et al., 2021) inoltre dimostra come il 97% delle realtà deep tech intervistate per l'analisi affermi di voler o poter contribuire almeno ad uno dei 17 Sustainable Development Goals (SDGs) dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (Figura 8).



Figura 8: Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile,
Fonte: United Nations. (n.d.).

Gli obiettivi di Sviluppo Sostenibile sono interconnessi ed hanno l'obiettivo di garantire "un futuro migliore e più sostenibile per tutti". Sono stati introdotti nel 2015, ma ad oggi, a metà del periodo di implementazione delle attività in favore del raggiungimento degli obiettivi da parte degli stati membri, come si legge nel report che monitora il progresso dell'impegno e dei risultati raggiunti, i progressi non sono in linea con il raggiungimento della maggior parte degli obiettivi entro il 2030 (UN Secretary General, 2023).

La sostenibilità prende le distanze dal modello economico lineare in favore di una visione circolare dell'economia, rendendo necessario un cambiamento nell'attuale modello economico e la transizione verso un modello di sviluppo sostenibile, ovvero, come definito dal rapporto Brundtland, "lo sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri" (Brundtland, G. H., 1987). Per raggiungere gli obiettivi dell'ONU entro il 2030 sarà necessario raggiungere un paradigma economico di decoupling, ovvero un paradigma caratterizzato dal disaccoppiamento tra il tasso di crescita

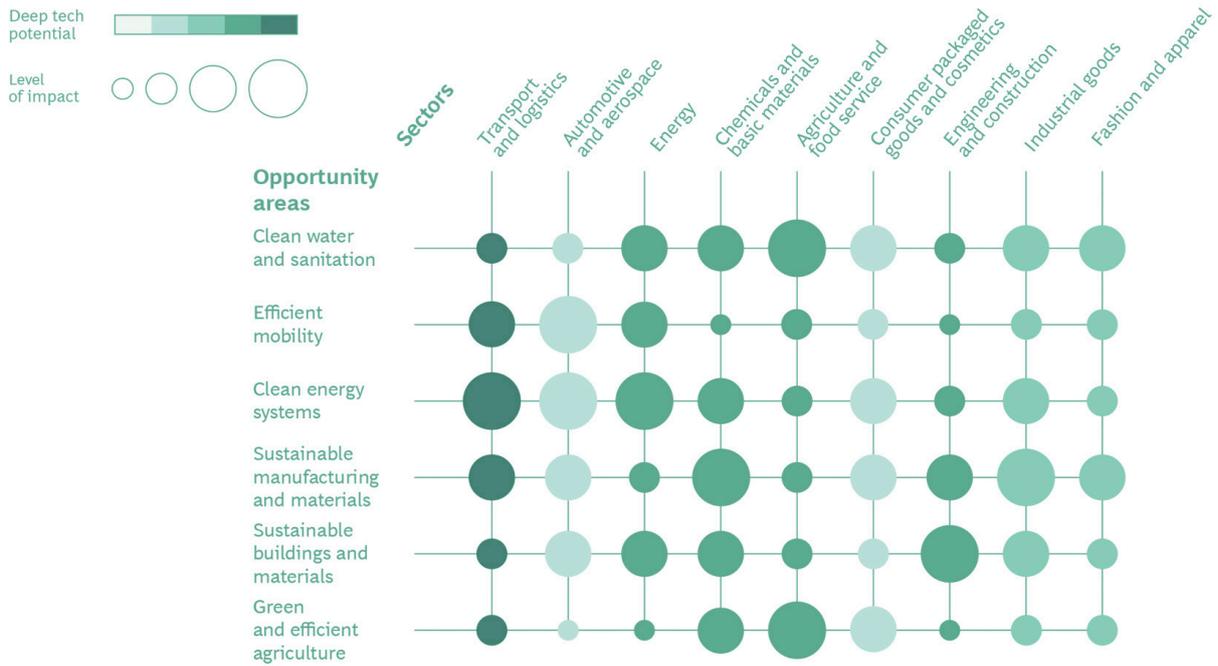
e sviluppo e quello dell'impiego delle risorse e dell'impatto ambientale (Bagnoli, C. & Maura, A., 2021).

Le sfide con le quali si scontrano l'ambiente e la società possono essere superate anche grazie all'elevato potenziale delle innovazioni sviluppate dalle start up deep tech. Il potenziale di queste innovazioni si scontra però, come già esposto, con un elevato tasso di fallimento. I prodotti ed i servizi offerti da queste realtà sono spesso complessi e tecnologicamente molto avanzati, gli investitori mediamente non hanno le competenze scientifiche o ingegneristiche adatte a comprenderli e poterli valutare (Schutselaars, J., et al., 2023). Per attrarre investimenti e superare queste difficoltà più facilmente è importante formulare e comunicare una proposta di valore efficace già nelle prime fasi, rispondendo alle aspettative degli investitori che spesso ricercano in queste realtà un forte impegno verso la sostenibilità anche in riferimento agli SDGs.

Il legame che esiste tra il *Deep Tech* e la sostenibilità è riconosciuto poiché per contrastare il cambiamento climatico e sviluppare un'economia sostenibile è necessario l'ingresso di nuove tecnologie che insieme a nuovi modelli di business e cambiamenti nelle abitudini dei consumatori facilitino questa transizione. Nel report di BCG vengono individuate le opportunità abilitate relativamente a sei aree, che sono:

- la creazione di materiali per la costruzione ed infrastrutture sostenibili, attraverso i nuovi materiali, sensori e l'AI che contribuiscono a ridurre il consumo energetico e permetteranno di ripensare alle strutture residenziali e commerciali;
- i sistemi di energia pulita, il cui sviluppo è garantito dalle nuove fonti di energia pulita, nuovi materiali, batterie, sensori e modalità di stoccaggio;
- la efficient mobility, ovvero l'elettrificazione e decarbonizzazione, che insieme ai veicoli a guida autonoma, i nuovi materiali ed opzioni che nasceranno rappresentano una grande opportunità per i trasporti;
- la produzione ed i materiali sostenibili, che contribuiranno a rendere sostenibili le supply chain di molteplici settori, anche grazie ai materiali ottenuti tramite la biologia sintetica e l'impegno per il riciclo delle materie;
- un'agricoltura efficiente e più green, ripensare all'agricoltura in ottica di sostenibilità per ridurre l'inquinamento generato, accrescendo l'efficienza delle produzioni e la sicurezza nella produzione di cibo sufficiente;
- garantire acqua pulita e sanificata, per contrastare la scarsità d'acqua di molte aree, contribuiranno le tecniche avanzate di desalinizzazione, la scienza dei materiali e la biologia sintetica (Paschkewitz, J., et al., 2022).

Nel report viene presentata una previsione degli impatti in queste aree, relativamente a nove settori rilevanti, presentati nella Figura 9, dove per ciascuna area e ciascun settore vengono identificati il potenziale delle applicazioni deep tech ed il livello di impatto stimato, considerando la dimensione dei settori e la rilevanza della sostenibilità.



Sources: UN; IEA; World Resources Institute; OECD and FAO; industry reports; Pitchbook; expert interviews; BCG analysis.

Figura 9: Il potenziale sostenibile in nove settori Deep Tech
Fonte: Paschkewitz, J., et al. (2022)

1.5 L'impatto del Deep Tech sui modelli di Business

Le nuove opportunità di business abilitate dal deep tech richiedono un cambiamento di mindset da parte dei leader e delle organizzazioni, a differenza dei casi in cui una tecnologia si affermava come leader di mercato, le innovazioni deep tech possono esprimere il loro massimo potenziale se posizionate all'interno di ecosistemi in cui le imprese affermate collaborano con le start up e con enti pubblici. Lo sviluppo di collaborazioni, come le public-private partnership, permettono di ridurre il rischio legato agli ingenti capitali necessari e garantiscono l'utilizzo di infrastrutture pubbliche per la ricerca e lo sviluppo. La collaborazione con aziende affermate invece permette alle start up di accedere a capitali ed ai mercati più facilmente, portando mutui benefici, in quanto ciascuna mette a disposizione le proprie competenze per favorire il progresso. Queste partnership generano soluzioni per rispondere ai bisogni degli stakeholder, l'approccio deep tech richiede di adottare strategie market-driven e non technology driven, come avveniva ad esempio per le realtà tipiche della rivoluzione digitale, in quanto esso mira a risolvere problemi reali e bisogni espliciti o latenti degli stakeholder (Siegel, J.E., & Krishnan, S., 2020).

Questa onda di innovazione valorizza l'intersezione fra competenze, funzioni, tecnologie, prodotti e servizi, che modificheranno ed impatteranno i modelli di business abilitando un'offerta innovativa che richiede di pensare a nuove modalità per accedere ai mercati esistenti o crearne di nuovi, anticipando bisogni che non sono ancora evidenti (Harlé, N., Soussan, P., & de la Tour, A., 2017).

L'importanza di ripensare il modello operativo delle imprese è legata anche al fatto che dal punto di vista tecnologico le aziende non possono più pensare di poter risolvere un problema da sole o di avere tutte le competenze necessarie. Le caratteristiche delle sono cambiate, i confini stanno scomparendo insieme ai costi di transazione, che con le nuove tecnologie si abbassano sempre di più, ed operano in contesti sempre più complessi ed in evoluzione. È fondamentale la collaborazione per costruire e raggiungere nuovi obiettivi, anche tramite competenze esterne e la nascita di modelli di business distribuiti, di ecosistemi e reti di aziende con ruoli differenziati, dove gli stakeholder siano allineati per far emergere e guidare l'innovazione. Questa rete deve essere in grado di costruire l'intera catena del valore e generare valore tramite la collaborazione, comunicazione e l'allineamento verso un obiettivo comune (Portincaso M.², SIF, 2022).

² Portincaso M. è Chairman di Hello Tomorrow, è stato ospite all'evento Strategy Innovation Forum 2022.

Una delle sfide per il *Deep Tech* è quella di re-immaginare le catene del valore ed i modelli di business. Oggi le aziende migliorano e rendono più efficienti le proprie offerte, ma raramente introducono cambiamenti disruptive nel proprio modello di business, la frase *“there is no disruptive that has being launched by an incumbent”*, a sottolineare il ruolo chiave delle start up innovative per stimolare l'innovazione (Gourévitch A. ³, SIF, 2022).

La crescente attenzione verso la sostenibilità ha portato allo sviluppo di business model circolari, ovvero modelli che ampliano l'orizzonte aziendale e che mirano all'eliminazione del concetto di spreco ed alla chiusura dei cicli, poiché la capacità della terra di generare risorse è limitata (Bagnoli, C. & Maura, A., 2021).

Le numerose realtà che adottano l'approccio deep tech ed hanno un focus rilevante sulla sostenibilità e gli SDGs, come nel caso del Nature Co-Design che si fonda su un paradigma generativo per lo sviluppo delle risorse, si prestano all'adozione del paradigma dell'economia circolare ed al superamento dei limiti dell'economia lineare.

1.5.1. Un modello per valutare l'impatto del Deep Tech sui modelli di business

Per ciascuno dei settori e delle tecnologie che adottano l'approccio deep tech presentate nei capitoli seguenti, verrà analizzato il possibile impatto sui modelli di business delle realtà che vi operano. L'analisi verrà svolta attraverso uno strumento declinato nei diversi ambiti al fine di intercettare gli impatti sull'intero modello di business e strategia e non sui singoli building block, così da individuare le tendenze e le opportunità abilitate a livello globale.

I modelli di business tradizionali, adottati nei settori esistenti, possono essere innovati integrando in modo diretto le innovazioni e nuove tecnologie deep tech, oppure re-immaginati a partire da strategie innovative che nasceranno negli ambiti dove viene adottato l'approccio deep tech.

L'impatto, per tutti i settori presentati nei capitoli seguenti, verrà analizzato attraverso la matrice di cui un esempio è presentato dalla Figura 10 (Report SIF, 2019), che analizza a titolo esemplificativo a quanto è avvenuto con l'avvento di Internet e della rivoluzione digitale.

³ Gourévitch Antoine è Managing Director & Senior Partner presso BCG, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.

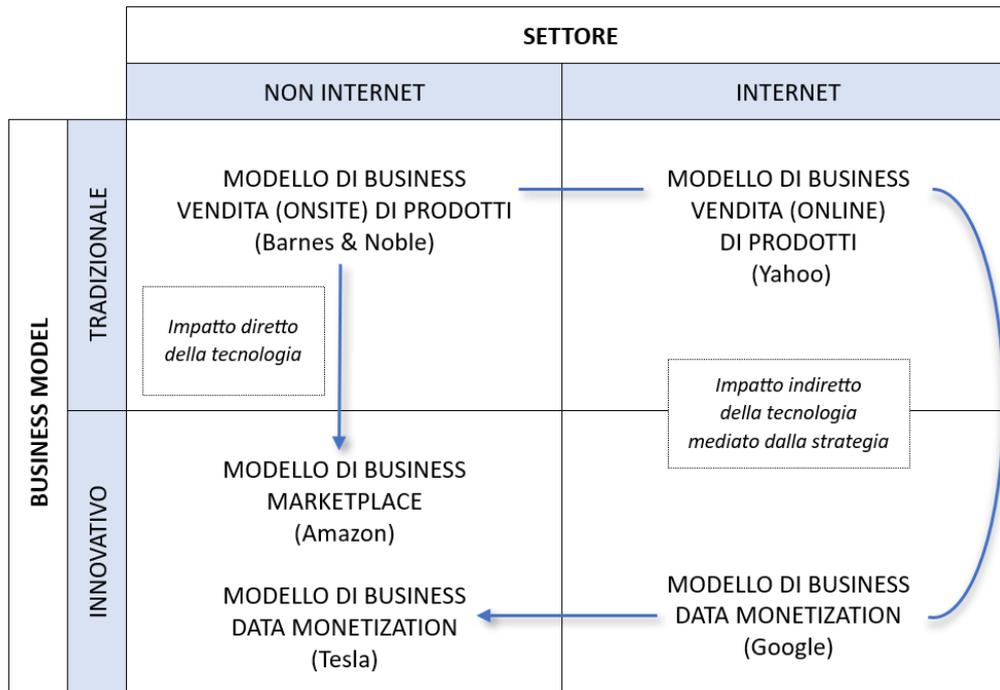


Figura 10: Matrice per l'analisi dell'impatto sui modelli di business
Fonte: Report SIF, 2019

Nel primo quadrante è inserito l'esempio di un modello di business tradizionale che opera in un settore retail non internet e che vende i prodotti onsite. Con l'avvento di Internet, si assiste ad un impatto diretto della tecnologia e si passa dalla vendita onsite di un prodotto alla vendita online. Nel terzo quadrante troviamo infatti il modello Marketplace, come quello di Amazon, che adotta la tecnologia di internet per la vendita di un prodotto non internet (es. i libri). In questo caso, grazie alla tecnologia, cambia il modello di business ed aumentano le opzioni di offerta, per effetto della coda lunga.

Nel secondo quadrante, con l'avvento di Internet il modello della vendita dei prodotti è stato adottato nelle prime fasi anche da alcuni internet providers, tra cui Yahoo, che iniziarono a vendere l'accesso al proprio servizio, come se si trattasse di un prodotto tradizionale. Nel settore Internet si delineano poi nuovi modelli di business, quarto quadrante, che intercettano l'impatto indiretto della tecnologia mediato dalla strategia, come il Free-Business Model o modello Data Monetization. Questo è il modello di Google e dei social network, che offrono un prodotto gratuitamente poiché l'azienda monetizza dalla raccolta e successiva vendita dei dati e non dalla tradizionale vendita del prodotto.

Con l'affermarsi di un modello, si assiste ad una sua adozione ed imitazione in settori sia nuovi che esistenti, come nel caso di Tesla, che opera nel settore dell'automotive e che, copiando il

modello di data monetization, mira a monetizzare attraverso i dati raccolti dai clienti tramite sistemi avanzati, ad esempio tramite il monitoraggio degli spostamenti (Report SIF, 2019).

Questo modello di analisi verrà applicato in ciascun capitolo in riferimento ai diversi ambiti, prendendo come esempi alcuni casi che permettano di intercettare e comprendere i principali impatti generati dalle innovazioni *Deep Tech*.

Il Future Farming

Il Future Farming rappresenta l'intersezione fra Nature Co-Design e Controlled Environment Agriculture (CEA). Il primo può essere definito come il dominio di intervento che trae origine dall'incontro fra la biologia, la scienza dei materiali, la chimica, l'ingegneria, l'informatica ed il design: rappresenta un innovativo paradigma produttivo in grado di generare prodotti destinati a precise applicazioni industriali, utilizzando la Natura come una piattaforma manifatturiera e, quindi, promuovendo un approccio "generativo" coerente con il raggiungimento degli SDG. Il secondo invece fa riferimento all'agricoltura in ambiente controllato, ovvero un'agricoltura tecnologica la cui massima espressione di complessità è il Vertical Farming.

Il Future Farming vede la natura come una "piattaforma manifatturiera", il dominio di riferimento da cui imparare dei paradigmi (Modesto D.⁴, SIF 2022).

2.1 Il Nature Co-Design

Il Nature Co-Design ha le potenzialità per originare una nuova rivoluzione, molto più disruptive dell'Industria 4.0, si fonda sull'incontro tra la biologia, la chimica, la scienza dei materiali e la nanotecnologia.

"Per la prima volta nella storia dell'umanità siamo nella posizione di poter utilizzare la Natura come una piattaforma per progettare, ingegnerizzare e produrre a livello atomico. È perciò possibile passare da un modello economico puramente "estrattivo", figlio della 1° e 2° rivoluzione industriale, a un modello definibile "generativo" in quanto i prodotti vengono generati atomo per atomo. Si sta nuovamente passando dall'essere una società di "cacciatori-raccoglitori", a una di "allevatori- agricoltori", questa volta, però, di materie prime. Si sta dando il La a una nuova forma di civilizzazione (industriale)" (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

La biologia sintetica garantisce un vantaggio competitivo in quanto permette di creare nuovi prodotti ed abilita nuovi processi accrescendone le performance e la durabilità, permette di generare materie prime che sono scarse in natura, ed inoltre adotta un approccio sostenibile in grado di servire i settori più eterogenei (Candelon, F., et al., 2021).

Sono state individuate quattro forze che stimolano e danno forma a questa rivoluzione, ovvero:

⁴ Modesto Daniele è il CEO di ZERO Farms, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

l'abbondanza di dati, la sperimentazione accelerata, il design democratizzato e la corsa ai bio-armamenti. La crescente disponibilità di dati è agevolata dalla facilità, velocità e capacità di raccolta e permette di ampliare le scoperte, aprendo nuove possibilità in tutti gli ambiti, dai cibi ai cosmetici fino all'edilizia. La sperimentazione accelerata viene stimolata dai crescenti investimenti e dallo sviluppo di nuove tecnologie che, anche grazie alla possibilità di accedere a laboratori in cloud e all'automazione, danno maggiori opportunità in modo particolare agli attori di più piccole dimensioni, poiché facilitano le fasi di ricerca e sviluppo iniziali.

Con il termine Design democratizzato si intende il processo di allargamento e diffusione delle bio-progettazioni, che stimolerà la nascita di un ecosistema nel quale saranno presenti realtà accademiche e scienziati indipendenti, che abiliteranno nuove possibilità, percorsi e collaborazioni. Ed infine, l'ultima forza è riconducibile alla corsa ai bio-armamenti, questa si tradurrà in conflitti globali sulla proprietà, ma non senza promuovere un'incredibile innovazione nel campo e ispira gli sforzi degli attivisti per garantire che la ricerca e i suoi strumenti servano il bene pubblico, aprendo la strada a innovatori di ogni tipo.

Le caratteristiche che contraddistinguono il Nature Co-Design sono tre:

1) "Il Nature Co-Design adotta l'approccio all'innovazione Deep Tech essendo problem-oriented, basato sulla convergenza tra diversi ambiti disciplinari e cluster tecnologici, e sul ciclo Design-Build-Test-Learn (DBTL). Negli ultimi anni, l'approccio Deep Tech ha permesso di lanciare dei progetti innovativi tesi a sfruttare non solo la biologia, ma la natura in senso più ampio, sfruttandone i principi di progettazione e le capacità produttive, per affrontare alcune tra le sfide più importanti quale, ad esempio, aumentare la produzione alimentare per sostenere un mondo che presto ospiterà 8 miliardi di persone. I fertilizzanti azotati, ad esempio, hanno dato un significativo contributo ad aumentare la produzione alimentare creando, tuttavia, alcune importanti esternalità negative. Due imprese, Pivot Bio e Joyn Bio, hanno così deciso di produrre fertilizzanti innovativi implementando i principi del Nature Co-Design. Iterando attraverso molteplici cicli di DBTL, hanno identificato i ceppi batterici in grado di fissare l'azoto direttamente sulle radici delle piante. Questo porta a eliminare la necessità di produrre ammoniaca, il cui mercato è stato valutato intorno ai 48 miliardi di dollari nel 2016, ma che si stima raggiungerà i 77 miliardi di dollari entro il 2025. Altre soluzioni disruptive nel settore agricolo, sviluppate implementando i principi del Nature Co-Design, sono, ad esempio, la riduzione della carbon footprint da allevamento aumentando il contenuto proteico nelle piante (Plant Sensory Systems), il miglioramento della capacità di una pianta di sequestrare il carbonio nel suolo (Soil Carbon) e la creazione di insetti controllati per evitare la distruzione delle colture (Oxitech)" (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

Con riferimento alle fasi di Build and Test del ciclo DBTL stanno nascendo numerose piattaforme che permettono di raggiungere più facilmente economie di scala, maggior velocità e precisione, ed una riduzione dei costi. Dal punto di vista della biologia sintetica queste piattaforme permettono di testare più facilmente prodotti innovativi, grazie allo sviluppo di grandi community di utenti, alcuni esempi di piattaforme sono Strateos, Kerobotix ed enEvolv (BCG, 2020).

2) "Il Nature Co-Design opera su materiale sia organico, ricorrendo alla biologia, sia inorganico, ricorrendo alla chimica, alla scienza dei materiali e alla nanotecnologia, per creare le fondamenta di un nuovo paradigma di produzione manifatturiero. La biologia è un laboratorio di ricerca, sviluppo e produzione attivo da tre miliardi di anni. Mette a disposizione il DNA - il sistema di archiviazione d'informazioni più efficiente in assoluto - e i suoi meccanismi di replicazione e selezione per la risoluzione dei problemi, funzionando con composti sia organici che inorganici. Piuttosto che pensare alla biologia (e alla chimica) come a un insieme di vincoli dato, con un dizionario predefinito di principi di progettazione e tecnologie, il Nature Co-Design applica i principi d'ingegneria per progettare materiali organici e inorganici aventi le proprietà e i comportamenti desiderati. La biologia sintetica è il campo di applicazione più avanzato del Nature Co-Design, applicando il ciclo di DBTL e i principi di ingegneria alla biologia. [...] I crescenti investimenti nella biologia sintetica, oltre 95 miliardi di dollari nel periodo 2016-2020, hanno portato alla realizzazione di biofonderie - strutture integrate, anche di piccole dimensioni, dove è possibile progettare, costruire e testare costrutti genetici e allo sviluppo di piattaforme tecnologiche dedicate, che rendono le infrastrutture necessarie per operare, ampiamente accessibili anche alle PMI" (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021). Queste tecnologie genereranno nuovi prodotti e processi e risultano essere molto competitive rispetto alle produzioni tradizionali in quanto offrono prodotti più durevoli, più sostenibili, sia per l'approccio generativo che per l'impiego di risorse tecnicamente più avanzate che hanno un minor impatto ambientale, generano meno scarti e risultano spesso più salutari (Candelon, F., et al., 2021).

3) "Il Nature Co-Design utilizza microrganismi e forze su nanoscala per manipolare singoli atomi e costruire molecole aventi le proprietà desiderate. La comprensione dei fenomeni intrinseci alla nanoscala permette, infatti, di sfruttare le leggi naturali per creare materiali con proprietà inedite. Applicando i principi di assemblaggio presenti in natura, possiamo memorizzare più informazioni in molecole di quanto potremmo mai fare su dischi rigidi. Possiamo creare materiali più flessibili del kevlar e più resistenti dell'acciaio. Possiamo creare magneti con campi elettromagnetici più potenti. Possiamo produrre macchine su scala nanometrica e

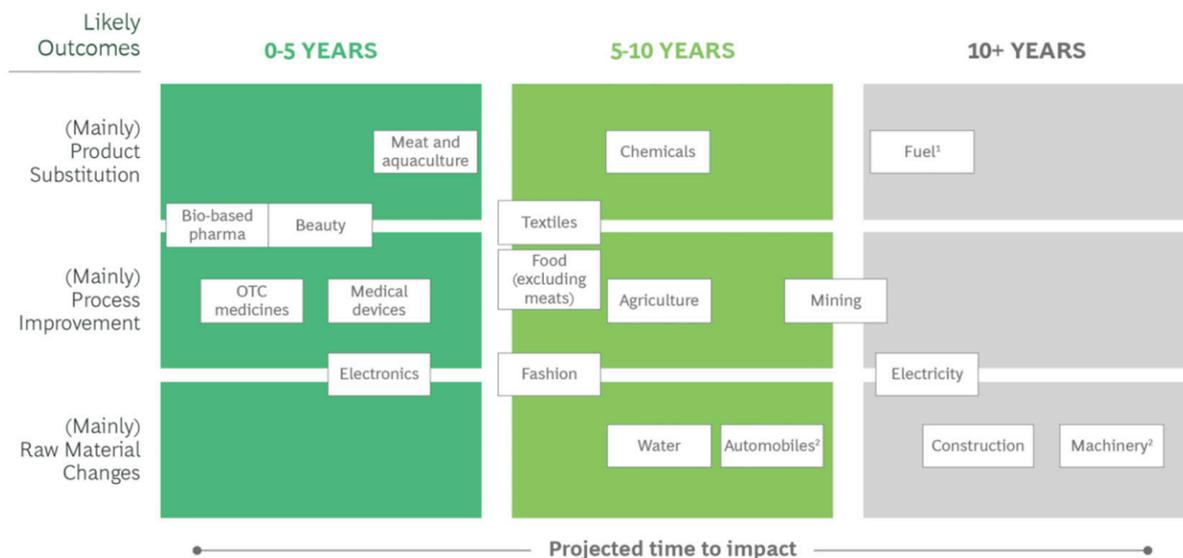
articoli auto-assemblanti o autoriparanti. Dato che tutte le forme di vita sono fatte di carbonio e che questo si lega a ogni altro elemento, il Nature Co-Design dà l'opportunità di costruire non solo dal carbonio ma da quasi tutti i composti inorganici, utilizzando, peraltro, un'energia minima. Il Nature Co-Design riesce così a ingegnerizzare le forme di vita per usarle come piattaforma produttive super efficienti. La pressione evolutiva ha costretto i microrganismi a diventare incredibilmente efficienti dal punto di vista energetico. Progettando in laboratorio pressioni evolutive ulteriori, è possibile accelerare la selezione naturale dei microrganismi per scoprire la soluzione più efficiente a determinate sfide manifatturiere. Molti dei materiali creati attraverso i principi del Nature Co-Design saranno inoltre riciclabili, segnando l'era come intrinsecamente sostenibile e rispondendo al bisogno di circolarità" (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

In un articolo di BCG Candelon et al., definiscono questo fenomeno come la nascita della BioEconomia, poiché permetterà di rivoluzionare e "bio-progettare" molti dei prodotti e processi che caratterizzano l'economia attuale. Potenzialmente queste tecnologie emergenti sono in grado di avere impatti su tutti i settori, si stima che il 60% degli input impiegati dai processi industriali potrebbero essere prodotti biologicamente. Questo porterebbe benefici anche a livello di sostenibilità e ambiente, in quanto le start up che operano in questo settore stanno sviluppando prodotti più sostenibili che richiedono risorse inferiori nelle fasi di produzione e consumo, risultano più durevoli e nella maggior parte dei casi più salutari (Candelon et al., 2023).

La biologia sintetica permette di generare prodotti e processi nuovi e più sostenibili, anche a partire dagli scarti di altri processi, accrescere le performance di quelli esistenti, ridurre i costi e aumentare la disponibilità delle materie prime che sono scarse in natura. Si prevede che con il progredire delle tecniche essa avrà impatto su molteplici settori, la Figura 11, illustra una previsione delle industrie e i rispettivi processi che verranno impattati nel tempo. Le prime ad essere interessate dalle applicazioni di queste tecnologie saranno quelle bio farmaceutiche, del benessere e mediche e dell'elettronica, in un orizzonte medio anche l'industria chimica, tessile, alimentare e dell'agricoltura vedranno diffondersi un maggior numero di sostituti bio-ingegnerizzati. Nel lungo termine la concorrenza di questi prodotti si estenderà fino alla produzione elettrica, l'estrazione mineraria, l'edilizia e la produzione di carburanti (Candelon et al., 2023).

La velocità con la quale si affermeranno queste innovazioni dipende anche dalle difficoltà che ostacolano lo sviluppo e la diffusione delle biotecnologie sintetiche. Queste risiedono nel fatto che solitamente queste tecnologie procedono per *tryal and error* e molti degli esperimenti

effettuati falliscono, in quanto la biologia è estremamente complessa; non vi sono spesso le risorse né il tempo per testare tutte le ipotesi possibili, ed i prodotti che raggiungono la scalabilità e commerciabilità hanno costi molto elevati (Nesheva C.⁵, SIF 2022). Officinae Bio è nata con l'obiettivo di superare questi limiti ed offrire una risposta più veloce ed efficiente alle sperimentazioni.



Source: BCG interviews and research.

¹Without considering the development of electric machinery and automobiles.

²Abstracting from the manufacture and use of electric machinery and automobiles.

Figura 11: L'impatto della biologia sintetica sui settori
Fonte: Candelon et al., 2023

2.1.1. Ripensare le catene del valore attraverso il Nature Co-Design

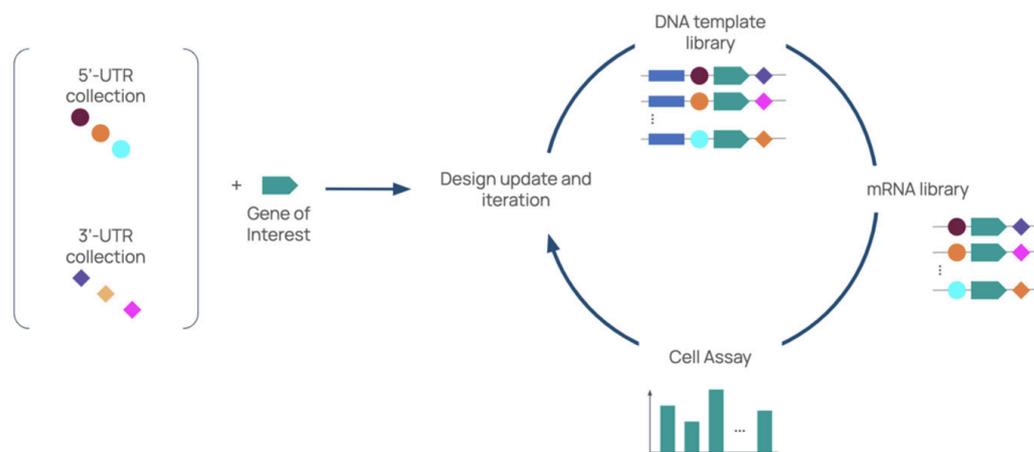
Per la natura manifatturiera e generativa che caratterizza il Nature Co-Design, oltre alle innovazioni ed alle scoperte che rivoluzioneranno molteplici settori, bisognerà rimodulare le catene del valore. BCG dichiara che otto filiere globali, alcune delle quali sono alimentare, tessile, elettronica, mobilità ed edilizia, sono responsabili per il 50% delle emissioni di CO₂. La generazione biologica delle materie prime necessarie a queste industrie permetterebbe di evitare le emissioni derivanti dall'estrazione. L'adozione di queste materie prime implicherebbe

⁵ Christina Nesheva, CEO e fondatrice della start up Officinae Bio è stata ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022



Officinae Bio è la prima startup europea che si occupa di Nature Co-Design sfruttando la bio-logia sintetica. Ha costruito una piattaforma che integra protocolli sperimentali, mette a disposizione set di dati proprietari, fornisce algoritmi e capacità per permettere ad innovatori di sperimentare, generare e progettare prodotti biologici con il supporto

di un'infrastruttura ricca, che si fonda sull'apprendimento continuo e che adotta un nuovo approccio nel design e nella sintesi del DNA. L'obiettivo della piattaforma è superare i limiti degli esperimenti tradizionali, fornendo soluzioni personalizzate per il supporto nella gestione della complessità biologica e nel garantire lo sviluppo di prodotti con prestazioni superiori che possano scalare (OfficinaeBio, n.d.)



il ripensamento delle attuali catene di approvvigionamento, permettendo alle aziende di generare direttamente le materie necessarie alla loro attività (Rothman et al., 2023).

Si possono individuare quattro dimensioni nelle quali sarà riconoscibile questa trasformazione:

1) "Il Nature Co-Design amplia lo spazio delle opzioni, creando nuovo valore: il Nature Co-Design permette di varcare diversi confini nella produzione manifatturiera, seguendo tre principi fondamentali:

I. invece di estrarre le materie prime per poi raffinarle, il Nature Co-Design consente di realizzare il materiale desiderato partendo dalla progettazione dei suoi atomi, raggiungendo perciò una precisione nella fabbricazione senza precedenti;

II. la biologia è altamente selettiva e questo le consente di lavorare materie prime impure; il Nature Co-Design consente, perciò, di fabbricare materiali da miscele inseparabili di materie prime, naturali e non;

III. grazie ai due principi succitati, il Nature Co-Design è in grado di rendere sostenibili processi di fabbricazione oggi antieconomici a causa dell'elevata quantità di energia necessaria a

svilupparli” (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

2) “Il Nature Co-Design impone il passaggio dalla catena alla rete del valore, trasformando i rifiuti in risorse: Il Nature Co-Design abilita il passaggio da una filiera produttiva lineare, che parte dall'estrazione delle materie prime e termina con l'eliminazione degli scarti, ad una circolare, dove lo scarto di un processo produttivo (es.: zucchero, mais, alghe, anidride carbonica, metano o qualsiasi rifiuto contenente carbonio come il cotone o persino la plastica) diventa la materia prima per un altro. Dalle tradizionali catene del valore si passa, così, alle reti del valore, composte da più catene tra loro collegate in quanto i rifiuti prodotti di una diventano risorse per un'altra. Questo porta a modificare i tradizionali processi produttivi, ma anche le dimensioni e l'ubicazione degli impianti di produzione, poiché la vicinanza ai luoghi dove si generano i rifiuti diventa una variabile rilevante da considerare” (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

3) “Il Nature Co-Design implica un cambio radicale nei processi di ingegnerizzazione e produzione, portando a ridefinire gli economics: i microrganismi non scalano linearmente, ma secondo una curva a “S” (Figura 12), e non vi è quindi alcun miglioramento delle prestazioni oltre una certa scala. Questo riduce le dimensioni ottimali degli impianti di produzione e, quindi, le risorse necessarie a finanziarli. Nel Nature Co-Design “*bigger is not always better*”. Inoltre, l'ampliamento dello spazio delle opzioni e la possibilità di utilizzare gli scarti di altri processi produttivi come materia prima porta a sostituire i grandi impianti centralizzati con reti distribuite di piccoli impianti modulari, flessibili e “riprogrammabili” a distanza. I microrganismi diventano la vera infrastruttura di produzione: per passare dalla fabbricazione di un prodotto a un altro non è necessario cambiare gli impianti di produzione, ma è sufficiente cambiare i microrganismi e/o gli scarti che li alimentano. Il Capex perde così d'importanza rispetto all'Opex. A causa della non linearità succitata, i risultati raggiunti in laboratorio su scala microlitro possono non manifestarsi su scale maggiori, rendendo perciò impossibile il loro sfruttamento commerciale. Le imprese devono quindi partire dalla capacità produttiva obiettivo e disegnare a ritroso il processo produttivo, conducendo molti esperimenti per testare il comportamento dei microrganismi a scale differenti. [...] A differenza delle economie di scala, quelle di apprendimento sono cruciali anche nel Nature Co-Design. Per sfruttare tali economie è possibile modularizzare gli impianti di produzione, creare standard di settore e condividere i dati con gli altri operatori attraverso partnership” (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).



Figura 12: La scalabilità dei microrganismi
 Fonte: Bagnoli, C., & Portincaso, M., 2021

4) "Il Nature Co-Design richiede un aumento della conoscenza scientifica e dell'immaginazione: mentre le regole della biologia limitano lo spazio delle opzioni, il numero di possibili molecole da progettare usando la chimica è enorme. Infatti, il numero di combinazioni atomiche - tipi, numero e posizione degli atomi in una molecola, proprietà geometriche e di legame - è pressoché infinito. Anche lo spazio delle proprietà è in gran parte sconosciuto. Le nanotecnologie, sfruttando le forze quantistiche intrinseche alla nanoscala, permettono infatti di inventare moltissimi materiali con proprietà che non esistono in natura e che non sono comunque ottenibili a scale maggiori. Le imprese consolidate devono comprendere le potenzialità del Nature Co-Design aumentando gli investimenti in R&S dedicati, ma anche entrando in partnership con quelle pioniere in tale campo. Esempi di partnership sono quelli già citati tra Ginko Bioworks e Bayer che hanno portato alla nascita di Joyn Bio, nonché tra Zymergen e FMC. Se le imprese pioniere hanno le conoscenze scientifiche necessarie a trovare una soluzione, le imprese consolidate hanno le conoscenze industriali necessarie a identificare un problema critico. Il fine ultimo non può essere la mera riduzione dei costi di produzione, ma deve essere così critico da permettere la distruzione di una consolidata catena del valore. A tal fine occorre sapere in quale punto della catena si crea il maggiore valore aggiunto, dove esistono delle potenziali fonti di valore non sfruttate e quali particolari innovazioni consentono di accedervi. Ciò può implicare un radicale ridisegno dei prodotti e processi, ma anche dei modelli di business e organizzativi, dove l'immaginazione dei top manager e, quindi, il cambiamento dei loro modelli mentali diventa un fattore critico di successo per l'ampliamento dello spazio delle opzioni. Due industrie che il Nature Co-Design quasi sicuramente distruggerà e che sono o, quantomeno erano, importanti per l'economia italiana, sono quelle dell'allevamento e il tessile. La fermentazione di precisione sta già abilitando, infatti, lo sviluppo di nuovi prodotti quali la carne coltivata, latticini sintetici, la pelle coltivata in laboratorio e il collagene sintetico" (Bagnoli, C. e Portincaso, M., 2021).

Un esempio di realtà che si occupa dello sviluppo di proteine alternative e che mette in atto i principi del Nature Co-Design è Air Protein.

I limiti e le sfide che incontra il Nature Co-Design sono numerosi, i metodi e le tecniche non hanno ancora capacità per realizzare prodotti sofisticati, incontrano difficoltà a scalare e per questo il tasso di adozione risulta ancora limitato. Alcune delle sfide sono rappresentate dai lunghi tempi di sviluppo accompagnati da tassi di fallimento elevati, dalla difficoltà a sviluppare un prodotto con le caratteristiche adatte a sostituire i prodotti tradizionali che risponda alle necessità dei processi e della domanda di mercato, gli elevati prezzi ai quali vengono inizialmente offerti sul mercato che le aziende non vogliono o non sono in grado di sostenere, la focalizzazione sulla tecnologia e non sul mercato, gli ingenti investimenti nelle infrastrutture e la difficoltà di definire un modello di business adeguato (Rothman et al., 2023). Insieme a queste, altre sfide sono legate al fatto che le scoperte spesso non vengano perfezionate tramite cicli di apprendimento, e che il ciclo di DBTL non raggiunga la fase di “learning”, i progetti incontrano difficoltà a scalare ed i processi sono realizzati in modo artigianale, che si basano fortemente su un approccio alla scalabilità ispirato dal mondo farmaceutico o delle commodities: produzione di piccoli volumi ad alto valore, con poca “sensibilità”, o produzione di grandi volumi a basso valore, con poca “sofisticatezza”.

L'obiettivo del Future Farming è quello di riuscire a superare queste sfide tecnologiche, economiche e strutturali, integrando le competenze e capacità dell'agricoltura in ambiente controllato al Nature Co-Design.



Questa start up Deep Tech produce carne senza animali, l'input di produzione che utilizza è l'anidride carbonica presente in atmosfera, acqua e degli organismi unicellulari studiati dalla NASA, detti hydrogenotrophs, che permettono di convertire gli elementi presenti nell'aria. Questo metodo di produzione permette di smaltire la CO₂ presente in atmosfera e di offrire un prodotto proteico alternativo alla carne, impiegando meno risorse e meno terreni, costruendo una relazione sostenibile tra il pianeta ed il cibo che consumiamo. Le infrastrutture di produzione richiedono solamente aria, acqua ed elettricità e per questo possono essere costruite in qualsiasi ambiente (AirProtein, n.d.).



2.2 La Controlled Environment Agriculture

La Controlled Environment Agriculture (CEA), ovvero l'agricoltura in ambiente controllato, ha un ruolo fondamentale se integrata al Nature Co-Design, in quanto può contribuire a superarne i limiti, come esposto nel paragrafo precedente. Di seguito verranno delineate le caratteristiche che la contraddistinguono.

A differenza del Nature Co-Design, l'agricoltura in ambiente controllato si concentra sulla scala macroscopica e ha la sua manifestazione più interessante nel vertical farming (VF): il processo di coltivazione in ambienti controllati che, grazie alla possibilità di controllare alcuni aspetti dell'ambiente tra cui l'illuminazione, la temperatura, l'umidità, l'irrigazione, la fertilizzazione e altri fattori che influenzano le risposte fisiologiche delle piante, consente di massimizzare la resa dei raccolti, riducendo al minimo il consumo di risorse naturali ed eliminando del tutto il ricorso a pesticidi.

L'agricoltura in ambiente controllato contrasta le difficoltà incontrate dall'agricoltura tradizionale, negli ultimi quarant'anni infatti le superfici coltivabili sono diminuite del 33%. Insieme alla diminuzione delle aree coltivabili, una serie di sfide è legata anche al cambiamento climatico e alla scarsità idrica, alla crescente urbanizzazione, alla crescita dei costi legati all'agricoltura ed alla continua crescita della popolazione (Modesto D., SIF 2022). Le pratiche di agricoltura verticale possono contribuire al loro superamento in quanto richiedono spazi ridotti per la loro implementazione, consumano minori quantità d'acqua, possono essere collocate in contesti urbani, permettono di eliminare i costi di trasporto ed il connesso inquinamento, rendendo disponibili i prodotti a km 0, garantendo anche la destagionalizzazione dei prodotti e una fornitura diversificata e personalizzata tutto l'anno che risponda alla domanda locale (Benke, K. e Tomkins, B., 2017).

Il concetto dell'agricoltura verticale si sviluppa a partire dall'idea di coltivazioni indoor dove è possibile controllare la complessità ed i parametri che governano il ciclo di coltivazione tramite la tecnologia ed i dati. È un mercato in crescita, nel quale sono presenti moltissimi attori, sia dal punto di vista dei player tecnologici che di System Integrator; questi numeri non si rispecchiano però nell'adozione delle tecniche di coltivazione e nella diffusione di queste realtà. Nell'anno 2020 gli ettari di Vertical Farming erano solamente 30, rispetto ai 500 mila occupati da serre hi-tech, la ragione risiede anche negli elevati costi di investimento nelle infrastrutture di Vertical Farming rispetto quelle di serre hi-tech (Modesto D., SIF 2022). Una delle ragioni per cui esiste una differenza di costo elevata è legata anche all'illuminazione, le serre infatti utilizzano la luce naturale che integrano con quella artificiale se necessario, mentre le vertical farm vedono necessario l'impiego delle sole fonti di luce artificiali (Better Food Ventures., 2021).

Il Global CEA Census Report 2021, ha raccolto i dati per la sua ricerca di mercato da 336 attori che si occupano di coltivazione in ambiente controllato provenienti da 51 paesi nel mondo, e mostra come secondo i dati il 44% delle realtà coltivate all'interno di Greenhouse, ovvero serre, mentre il 38% abbia sviluppato infrastrutture di Vertical Farming (Farmroad, n.d.).

Il panorama dell'agricoltura verticale è costituito da molteplici attori con ruoli diversi all'interno della catena del valore, troviamo infatti: società che sviluppano la tecnologia per gli impianti e altre componenti tecnologiche, tra cui produttori di sistemi di illuminazione e monitoraggio, che poi vendono alle vertical farm, attori che forniscono sistemi completi per la coltivazione, ed i Growers, che detengono la proprietà intellettuale sulla tecnologia e sviluppano la propria attività di vertical farming. Le innovative tecnologie sviluppate da questi attori permettono di perfezionare i sistemi di produzione alimentare verticali e di abilitare nuove applicazioni (Better Food Ventures., 2021).

Per favorirne l'adozione è necessario rendere il Vertical Farming accessibile, scalabile, affidabile e sostenibile dal punto di vista finanziario. Zero Farms è un'azienda che si impegna in questo ambito, sviluppando tecnologie proprietarie hardware e software direttamente, in modo da avere una visione olistica del problema e garantire il raggiungimento dell'efficienza.



ZERO è una realtà nata a Pordenone nel 2018, sviluppa tecnologie per l'agricoltura verticale con un design modulare, sfruttando tecnologie di coltivazione aeroponiche, che permettono a questa realtà di avere una veloce scalabilità, e di offrire rispetto ai competitor una maggiore qualità, produttività ad un minor costo di produzione e con un minore impatto ambientale. ZERO ha sviluppato un sistema costruttivo industriale per l'agricoltura verticale e un sistema di intelligenza artificiale in cloud, ROOT, che permette di apprendere continuamente e perfezionare le performance, gestendo una rete di ZERO farms. La coltivazione viene fatta senza substrato, quindi senza terra e senza acqua, caratteristica che permetterebbe di coltivare anche nello spazio. La struttura risulta quindi essere molto leggera, totalmente automatizzata e che non genera scarti di produzione. Zero sviluppa inoltre progetti in settori trasversali, adattando le proprie tecnologie, oltre al mondo del Food, anche nell'ambito farmaceutico e cosmetico, nello sviluppo di materiali e nell'architettura, senza porsi limiti industriali o geografici (Zero, n.d.).



I benefici riconosciuti al vertical farming e alla coltivazione in ambiente controllato fanno riferimento alla sfera economica, ambientale, sociale e politica. Economica, in quanto portano benefici in termini di costi per le minori risorse impiegate, la riduzione dei costi di trasporto, la protezione dalle condizioni atmosferiche avverse, e la riallocazione delle superfici prima destinate all'agricoltura per la produzione, ad esempio, di energia rinnovabile. Ambientale, poiché permettono di offrire prodotti salutari senza pesticidi o sostanze chimiche ed eliminano le emissioni derivanti dai trasporti. Dal punto di vista sociale e politico, garantiscono nuovi posti di lavoro, una maggior produttività grazie ad infrastrutture avanzate che genera anche benefici di costo, favoriscono la rigenerazione di alcune aree, e stimolano l'innovazione e l'impegno verso una transizione sostenibile, guidata anche dallo sviluppo di nuove tecnologie (Benke, K. e Tomkins, B., 2017).

Una realtà nata nel 2015 che sfrutta i dati e la tecnologia per rendere possibile un futuro più sostenibile e un'agricoltura che soddisfi la crescente domanda legata alla crescita della popolazione è Growing Underground.

GROWING UNDER GROUND®

Growing Underground è la prima "fattoria sotterranea" al mondo, localizzata nei sotterranei di Londra, all'interno di alcuni tunnel a 33 metri sotto la superficie risalenti alla Seconda guerra mondiale. Questa struttura altamente innovativa viene alimentata ad energia rinnovabile, le tecniche di coltivazione impiegate non richiedono l'impiego di terra o luce del sole, e dimostra come sarà possibile generare agricolture sostenibili anche in futuro. I fondatori la definiscono come "Growing Underground is a farm that feeds the city from within the city". Attraverso la regolazione della luce, il risparmio di acqua, la regolazione della temperatura e l'impiego di tecnologie che sappiano gestire i dati necessari per l'agricoltura di precisione, questa realtà produce una vasta gamma di prodotti in formato mignon come insalata, broccoli, rucola, basilico, erba cipollina, aglio, di cui un esempio in commercio è riportato in figura.



Il vertical farming contribuirà quindi, oltre alla produzione alimentare, allo sviluppo di una maggior consapevolezza verso i temi ambientali, alla diffusione delle tecnologie emergenti, accrescerà l'impegno all'interno delle economie locali, assicurando una produzione di cibo sicura ed efficiente (Biancone, P. P. et al., 2022).

I dati pubblicati dall'istituto di ricerca Global Market Insights (Pulidindi, K. & Prakash, A., 2021) mostrano come ci si aspetta che questo settore cresca mediamente ad un tasso CAGR del 23% tra il 2021 e il 2027, arrivando a superare i \$19 miliardi nell'ultimo anno, rispetto ai \$4,5 miliardi del 2020 (Figura 13).



Figura 13: Prospettive di crescita del mercato del Vertical Farming
Fonte: Pulidindi, K. & Prakash, A., 2021

2.3. Il Future Farming

Il Future Farming trae origine dall'intersezione fra l'agricoltura in ambiente controllato, che si focalizza sulla dimensione macro, ed il Nature Co-Design, che abilita processi a livello micro. Questi due domini si sviluppano a partire dalla convergenza di diverse discipline, tra cui la biologia, la chimica, l'ingegneria, l'informatica ed il design, che qui convergono e permettono di individuare nuove applicazioni a partire dalla Natura come una piattaforma per progettare, ingegnerizzare e produrre a livello atomico. L'idea alla base del Future Farming è quella di portare le intuizioni operative e scientifiche generate dall'agricoltura in ambiente controllato nel campo del Nature Co-Design. Attraverso l'innovazione hardware e software, l'agricoltura in ambiente controllato consente di superare i limiti di crescita del Nature Co-Design (ad esempio attraverso nuovi approcci di fermentazione). Parallelamente, le ultime innovazioni scientifiche e tecnologiche generate dal Nature Co-Design possono essere applicate all'agricoltura in ambiente controllato (es: agricoltura molecolare, biologia sintetica e CRISPR).

La gestione dei dati e la computer science rappresentano un driver strategico per lo sviluppo del Future Farming. Il cambiamento fondamentale richiesto nel Nature Co-Design può avvenire attraverso l'armonizzazione (e non necessariamente la standardizzazione) della struttura dei dati, nonché attraverso la costruzione del ciclo di sviluppo del prodotto sull'apprendimento

e il collegamento al processo di produzione/crescita. Se combinate, queste due soluzioni stabiliranno cicli di feedback dei dati attraverso le varie fasi dalla ricerca e sviluppo fino alla produzione/crescita e creeranno, di conseguenza, un processo di produzione adattivo e scalabile in cui:

- Il ciclo DBTL non è più disgiunto. La fase di apprendimento nel nuovo ciclo non è relegata solo alla fine di ogni iterazione del ciclo ma si trasforma in un flusso continuo ed esponenziale di insight generati dalla raccolta e integrazione dei dati strutturati durante l'intero processo (produzione/coltivazione inclusa) che si traducono in tempi di sviluppo più brevi e prodotti bio-fabbricati di qualità superiore.
- Il concetto di variabilità non è preso in considerazione solo durante lo sviluppo del prodotto ma è esteso anche alla produzione/coltivazione, dove la variabilità dell'ambiente di produzione si somma alle variabilità intrinseche dell'host e delle condizioni sperimentali. I cicli di feedback dei dati tra le due ruote (Figura 14) consentono il monitoraggio delle fonti di variabilità e riducono al minimo l'effetto delle operazioni manuali, portando alla produzione di nuovi bio-prodotti.

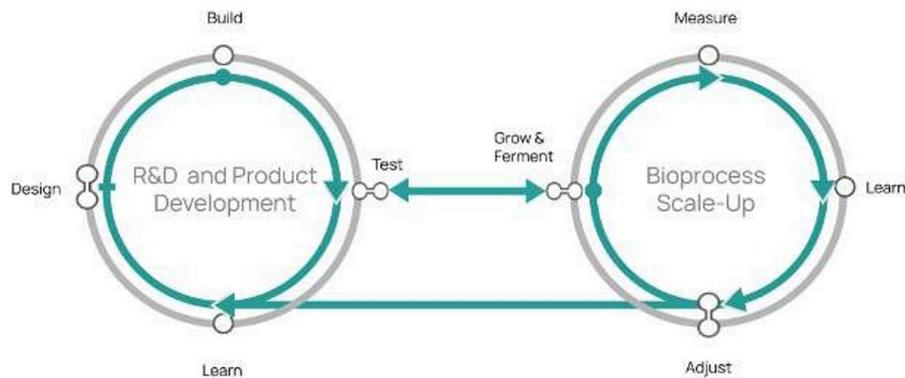


Figura 14: I cicli di feedback dei dati tra le due ruote
Fonte: Elaborazione propria



Future Farming Initiative rappresenta la prima infrastruttura di Future Farming in Europa e costituirà la prima biofonderia applicativa basata su programmi commerciali e industriali. L'infrastruttura ha due sedi, una in Veneto ed una in Sardegna. La scelta di Venezia rappresenta una sfida in quanto è una città circondata dal mare che non ha spazi coltivabili, ed in virtù del suo ruolo può guidare una rivoluzione a livello globale orientata alla sostenibilità, all'innovazione ed al futuro.

Il progetto mira a sviluppare un modello di Open Innovation, grazie al quale sarà possibile abbassare le barriere all'innovazione esistenti, specialmente per le piccole-medie imprese, e avrà una dimensione internazionale.

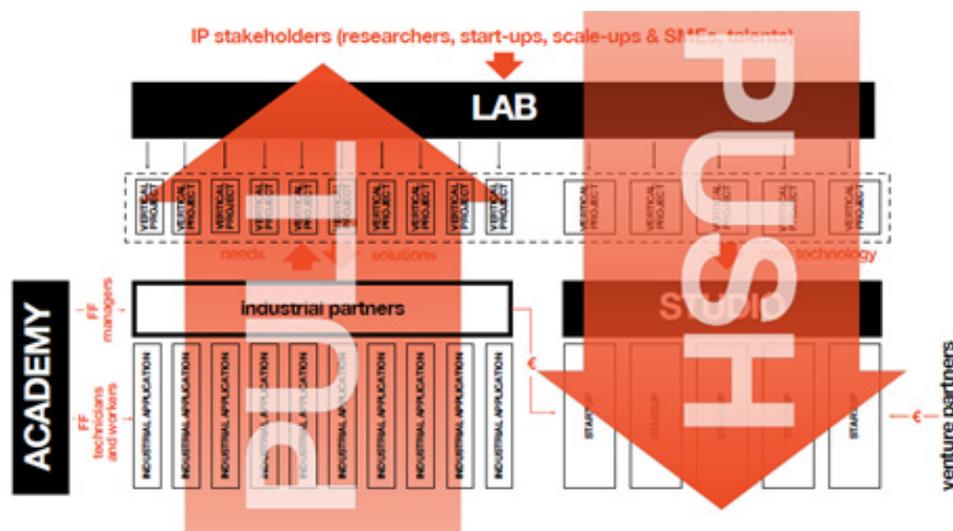
L'obiettivo del progetto è quello di sviluppare una piattaforma per il trasferimento tecnologico mettendo a disposizione laboratori di ricerca e sviluppo per tecnologie e progetti multidisciplinari che permettano di abilitare opportunità di business e di portare innovazioni sul mercato.

Questo progetto di Future Farming, finanziato in parte dal partner privato ZERO ed in parte dall'Università Ca' Foscari di Venezia, crea una public-private partnership dominata dalla dimensione privata, che metterà a disposizione le proprie tecnologie e competenze per favorire la crescita ed il progresso.

Il modello di business utilizzato si basa su una logica di Push & Pull, i progetti potranno essere sviluppati secondo tre diversi scenari:

1. Pull Scenario alimentato da un partner industriale che identifica un'esigenza specifica in risposta alla quale deve essere sviluppata una soluzione all'interno dei Lab; il risultato può essere indirizzato al partner oppure ad altri potenziali acquirenti;
2. Pull Scenario alimentato da un partner industriale che identifica un'esigenza specifica e finanzia il Lab. In questo caso il Lab viene incaricato dal partner per sviluppare una soluzione ad hoc per la propria esigenza ed il risultato è destinato solamente al partner;
3. Push Scenario alimentato dall'idea tecnologica di un talento: in questo scenario il talento viene integrato dall'ecosistema e supportato nello sviluppo della propria idea all'interno di un Lab. Il risultato può essere acquistato da un partner oppure confluire nella creazione di una start-up attraverso il supporto di VeniSIA.

Il progetto avrà un impatto intersettoriale che permetterà di generare un ecosistema inclusivo per lo sviluppo di soluzioni per il raggiungimento delle sfide di sostenibilità, nel quale avranno un ruolo fondamentale anche gli "interpreti" di questa rivoluzione, che dovranno svolgere un ruolo di informazione e formazione per favorirne l'accettazione pubblica.



2.4. Le applicazioni e l'impatto economico

Le applicazioni e gli impatti del Future Farming sono trasversali a tutti i settori, tramite l'allevamento in ambiente controllato coinvolgono ogni forma di vita dalle microscopiche alle macroscopiche ed abilitano applicazioni per l'impiego alimentare, biofarmaceutico, biomolecolare, dei biomateriali, del benessere fino alla sostenibilità ambientale.

Di seguito vengono analizzati gli impatti sui diversi settori.

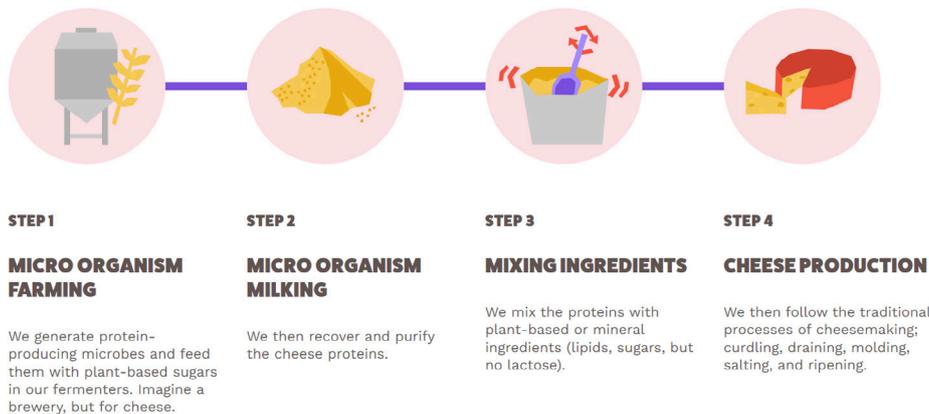
- Food: bio-arricchimento delle verdure a foglia che rende gli alimenti dei validi sostituti degli integratori alimentari, utili per contribuire a combattere le carenze nutrizionali; rimodellamento della supply chain delle materie prime per l'industria alimentare all'interno di un'architettura di processo di crescita senza soluzione di continuità. Alcuni esempi di start up *Deep Tech* che sviluppano carne o prodotti alimentari sintetici e che contribuiranno a superare le attuali sfide dell'industria alimentare e ridisegnarne le catene del valore, sono ad esempio Perfect Day che produce latte sintetico, Impossible che produce carne a base vegetale, Meatable e Memphis Meats che producono carne a partire da cellule animali (BCG, 2020). Oggi il formaggio cresce nei tini di fermentazione e la carne dalle cellule staminali. UPSIDE Foods è una start-up che prende le cellule staminali da diverse razze di pollo e uova, le nutre con sostanze nutritive come aminoacidi, carboidrati, minerali, grassi e vitamine e accelera la crescita delle cellule utilizzando un bioreattore. Ciò non solo attenua l'impatto ambientale dell'allevamento di animali destinati al consumo umano, ma limita anche il rischio di contaminazione grazie alle condizioni sterili in cui vengono prodotte le proteine. UPSIDE Foods ha coltivato pollo, manzo e anatra nei suoi bioreattori e prevede di vendere carne di pollo coltivata in laboratorio in tutti gli Stati Uniti in futuro. Un'altra start-up che opera nell'industria del Food è Standing Ovation (Pâques⁶, F., SIF 2022).
- Benessere: gli ingredienti as-a-service offrono servizi personalizzati a brand che cercano di sviluppare nuove proteine su misura per i propri prodotti. Il microbioma ha aperto una nuova frontiera per i brand specializzati nella cura della persona: creme e sieri microbici personalizzati per preservare il delicato ecosistema del microbioma cutaneo. Recentemente, Unilever, azienda internazionale che opera nei mercati Food & Refreshment, Home Care, Beauty & Personal Care, raggiungendo oltre 190 paesi con più di 400 brand, ha fatto squadra con Genomatica, azienda biotecnologica con sede a San Diego. Obiettivo del nuovo progetto da 120 milioni di dollari è commercializzare soluzioni alternative all'olio

⁶ Frédéric Pâques, CEO e Co-founder di Standing Ovation è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

STANDING OVATION

Animal-Free, Dairy Cheese.

Standing Ovation ha l'obiettivo di produrre formaggio animal-free, che contribuisca al superamento delle sfide ambientali ed etiche e risponda a tutte le sfide che la produzione animale comporta oggi, ovvero le elevate emissioni causate da allevamento e agricoltura, gli elevati consumi di acqua nei processi di produzione, l'occupazione dei terreni, le condizioni degli animali negli allevamenti intensivi e gli aspetti legati alla salute. La produzione del formaggio viene effettuata attraverso tecniche di fermentazione di precisione per generare proteine del latte e dalle quali viene prodotto il formaggio, secondo i processi evidenziati nell'immagine. L'obiettivo dell'azienda è quello di offrire un prodotto alternativo al formaggio che contenga caseina e mantenga il gusto, pur non essendo di origine animale, e che ne garantisca la sostenibilità e l'accessibilità (Standing Ovation, n.d.).



di palma, utilizzato per uso cosmetico, e a ingredienti derivanti da combustibili fossili impiegati nella produzione di detergenti. La collaborazione si propone di sviluppare, grazie ai vantaggi offerti dalla biotecnologia, ingredienti plant-based alternativi che potranno così essere di aiuto nella produzione di articoli per la cura della casa e della persona.

- **Biofarmaceutica:** la produzione di massa di proteine ricombinanti (es. vaccini, anticorpi monoclonali, ...) con piante invece che con bioreattori animali offre vantaggi in termini di scalabilità e sicurezza. La consacrazione definitiva dell'importanza della biologia sintetica è testimoniata dal successo dei due vaccini a base di mRNA di BioNTech e Moderna.
- **Biomateriali:** lo sviluppo di materiali innovativi naturali grazie alla biologia sintetica ed altre tecniche avanzate permette di sostituire i prodotti come la pelle oppure il collagene e potenzialmente rivoluzionerà l'intera industria. Alcune delle aziende che operano in questo settore sono, ad esempio, Modern Meadow che produce pellami animal-free, Geltor che produce e sviluppa prodotti sintetici personalizzati, e SQIM (BCG, 2020). SQIM, è una Material Innovation Company, che mette in scala principi della biotecnologia per sviluppare materiali secondo i principi della circular economy e della sostenibilità, combinando microorganismi con gli scarti delle altre filiere come tessile, alimentare e del

SQIM

SQIM è una start up che si occupa di produzione di materiali innovativi e sostenibili tramite la fermentazione fungina, ovvero la coltivazione di micelio dei funghi, adottando la natura come piattaforma manifatturiera e ingegneristica. I funghi sono gli agenti naturali che creano gli ecosistemi: il loro ruolo principale è quello di sostenere la

vita su questo pianeta e di disfare, rigenerare e ripristinare i sistemi danneggiati. Il micelio è la loro fitta rete di cellule filamentose ramificate, in grado di formare diversi tipi di strutture. I settori nei quali è attiva sono l'Interior Design ed il Green Building, con la linea MOGU, che sviluppa pannellature per l'edilizia, come pannelli per l'insonorizzazione e per pavimenti, e la moda sostenibile, ma non solo, con EPHEA, un prodotto alternativo alla pelle di alta qualità. Lo sviluppo di EPHEA è stato favorito anche dalle collaborazioni con importanti brand della moda e del lusso, tra cui Balenciaga che nel 2022 ha realizzato un capo con questo materiale. L'obiettivo è quello di favorire lo sviluppo di un'industria tessile più etica e responsabile verso l'ambiente.

La fermentazione fungina contribuisce a 10 dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite, grazie a tutti i settori nella quale viene adottata (Babbini, S., SIF 2022). SQIM mira a costruire una piattaforma tecnologica per sviluppare prodotti ed applicazioni per settori diversi, tra cui il food, l'automotive e la cosmetica (SQIM, n.d.).



legno (Babbini S.⁷, SIF 2022).

- **Sostenibilità ambientale:** trasformazione dei rifiuti (radici) in biostimolanti e substrato per altre crescenti applicazioni. Allonnia è un'azienda dedita all'estrazione di valore dove gli altri vedono semplici rifiuti: sta sperimentando nuovi approcci e combinazioni tra biotecnologia e ingegneria per risolvere le sfide associate ai rifiuti, utilizzando la natura. ENI ha scelto di collaborare con Allonnia per approfondire lo studio di tecnologie promettenti per la rimozione dalle acque sotterranee e dai suoli delle sostanze perfluoroalchiliche (PFAS), una classe di contaminanti per i quali in Italia non esiste ancora una metodologia di trattamento consolidata. Il Total Affordable Market del Future Farming supera i 700 miliardi di euro a livello nazionale.

⁷ Babbini S. CEO e Co-Founder di SQIM, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

L'orizzonte temporale entro il quale queste tecnologie, come per esempio la biologia sintetica, avranno impatto sui diversi settori varia a seconda delle caratteristiche di ciascuno, ma anche dalle tecnologie stesse. In primo luogo, l'impatto dipende dal quando le tecnologie risulteranno mature, poiché i processi di quest'industria non scalano linearmente; ed in secondo luogo il tasso di adozione dipenderà da ciascun settore a seconda della struttura, dei regolamenti, delle aspettative dei consumatori ed anche dai margini che permetteranno di generare (Cadelon, F., et al., 2021).

Secondo l'analisi condotta da BCG, nel breve periodo le industrie maggiormente interessate saranno quella del benessere e della salute, dei dispositivi medici e dell'elettronica, insieme alle già interessate farmaceutica ed alimentare. Nell'orizzonte medio invece l'impatto raggiungerà anche l'industria chimica, tessile e automobilistica; nel lungo termine potrebbe arrivare ad applicazioni in ambito minerario, dell'elettricità e dell'edilizia. Ci si aspetta che i prodotti bio-ingegnerizzati sostituiranno quelli tradizionali; gli incumbents dovranno fronteggiare questa competizione e potranno scegliere se impiegare i nuovi materiali nei propri processi produttivi. I benefici dell'introduzione di questi materiali e dei miglioramenti nei processi interesseranno anche le supply chain, riducendone gli impatti ambientali e rendendole più sostenibili (Cadelon, F., et al., 2022).

2.5 Il contributo del Future Farming al raggiungimento degli SDGs

Gli attuali processi industriali e abitudini di consumo minano la stabilità degli ecosistemi e della società. La crescita della popolazione, che secondo le previsioni raggiungerà i 9.7 miliardi di persone entro il 2050, comporta una conseguente crescita della domanda di cibo che si scontra con la scarsità delle terre coltivabili disponibili (Lombardi, B. P., & Lombardi Jr, I., 2022).

In questo quadro il Future Farming, grazie al contributo delle innovazioni di agricoltura verticale e Nature Co-Design potrà contribuire a contrastare la scarsità delle terre coltivabili e abilitare nuove opportunità e modalità per soddisfare la crescente domanda di cibo, insieme allo sviluppo di materiali e prodotti più sostenibili. Alcuni studi evidenziano quali tra gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile beneficeranno delle innovazioni e delle tecnologie di Vertical Farming e Nature Co-Design.

Dal punto di vista dell'agricoltura verticale, i principali SDG impattati positivamente riguardano

l'SDG 2, ovvero "Fame zero e agricoltura sostenibile", in quanto le infrastrutture di vertical farming permetteranno di incrementare la produzione di cibo occupando superfici inferiori rispetto all'agricoltura tradizionale, e contribuiranno nella lotta contro la fame; l'SDG 9, ovvero "Imprese, innovazione e Infrastrutture", grazie allo sviluppo di infrastrutture sostenibili ed innovative che potranno essere implementate nei paesi sviluppati ma anche in quelli in via di sviluppo; e l'SDG 12, "Consumo e Produzione Responsabili", che beneficerà della gestione e coltivazione sostenibile grazie ad una minor produzione di scarti, un minor impiego di acqua, l'evitare l'impiego di pesticidi ed una produzione più efficiente (Lombardi, B. P., & Lombardi Jr, I., 2022).

Gli SDGs che beneficeranno delle pratiche di biologia sintetica e Nature Co-Design fanno riferimento all'SDG 6, 9, 14 e 15, in quanto queste tecniche contribuiscono allo sviluppo di prodotti innovativi e più sostenibili con applicazioni reali che permetteranno di sostituire materiali nocivi o inquinanti e di trasformare gli scarti in risorse da riutilizzare o ricombinare, attraverso pratiche di produzione più responsabile (SDG 12). I benefici saranno ravvisabili sia sulla terra che in acqua (SDG 14 e 15), poiché i nuovi organismi bioingegnerizzati permetteranno di ripristinare gli ambienti e di accrescere la produttività, ad esempio nell'agricoltura e nello sviluppo di prodotti più performanti; contribuiranno inoltre a creare nuove occasioni di lavoro (SDG 8), ridurre le disuguaglianze attraverso la promozione di un più equo accesso alle risorse (SDG 10), abilitare lo sviluppo di comunità e città più sostenibili (SDG 11) accrescendo l'educazione e la consapevolezza dei benefici sociali, ambientali ed economici che queste innovazioni potranno garantire (French, K. E., 2019).

Il contributo delle innovazioni generate dai progressi nelle scienze biologiche e nella tecnologia favorirà il raggiungimento dell'obiettivo di Net-zero. Le nuove scoperte permettono di ridurre le emissioni di CO₂, grazie alla scoperta ed alla fabbricazione di materiali più sostenibili ed alla Bioremediation, ovvero le tecniche che permettono di ridurre le tossine dall'ambiente grazie ad organismi biologici (Evers, M., et al., 2023).

2.6 L'impatto del Future Farming sui modelli di business

Gli impatti di questa ondata di innovazione sui modelli di business vengono analizzati separatamente per il vertical farming e per la biologia sintetica.

I modelli di business per il vertical farming sono legati alla digitalizzazione ed alle nuove tecnologie che portano allo sviluppo di innovazioni e collaborazioni in ottica di sostenibilità economica, sociale ed ambientale. Gli elementi essenziali per questi modelli di business, che prevedono lo sviluppo di un ampio mercato, sottolineano l'importanza dell'adozione di queste infrastrutture tecnologiche, poiché contribuiranno a soddisfare la crescente domanda di cibo per la popolazione in crescita, in modo da generare valore in più efficiente e sostenibile. Le VF per sviluppare il massimo potenziale necessiteranno di policy adeguate alla diffusione di tecnologie dirompenti, che permettano alle aziende di ottenere il massimo rendimento dalla commercializzazione delle tecnologie e dei prodotti, favorendo il coinvolgimento delle economie e comunità locali, ed accrescendo l'attenzione e la consapevolezza verso le tematiche ambientali.

La strategia per lo sviluppo di queste infrastrutture è legata alla digitalizzazione ed alla tecnologia, che sono visti come driver d'innovazione e fondamento della nascita di nuove realtà technology-based. Queste rendono possibili una serie di attività necessarie alle vertical farm, come il monitoraggio in tempo reale e preciso, il miglioramento delle qualità del prodotto ed una maggior efficienza nel consumo delle risorse e nei processi produttivi; ed abilitano un circolo virtuoso che porta innovazioni a livello di prodotto, processo e dell'intero sistema, stimolando curve di apprendimento esponenziali ed effetti di rete abilitati dai dati. Il concetto di VF è legato anche allo sviluppo di piattaforme di sperimentazione smart, che generano valore per il consumatore finale ed innovazioni incrementali in ottica futura di efficienza e novità (Thomson, L., 2022).

La biologia sintetica, in questo quadro, avrà potenzialmente un impatto disruptive su molteplici industrie e rappresenta una sfida per gli incumbent affermati. L'articolo di BCG (Candelon, F., et al., 2023) identifica due principali categorie di attori presenti in questo scenario, che sono gli sviluppatori di applicazioni della biologia sintetica verticalmente specializzati, ovvero realtà che sono focalizzate sul prodotto e che impiegano diverse tecnologie per sviluppare la propria offerta, con il potenziale di scalare nel lungo periodo e che pertanto rappresentano una minaccia per gli incumbent; vi sono poi le piattaforme strutturate orizzontalmente, che si impegnano per lo sviluppo di tecnologie e applicazioni sempre nuove collaborando con partner di molteplici settori per accrescere le proprie potenzialità e competenze. Queste piattaforme

prevedono di vendere i loro servizi altamente sviluppati sotto forma di collaborazioni e consulenze grazie all'esperienza maturata, in quanto i costi di ricerca e sviluppo sono molto elevati per gli incumbent.

Per sviluppare una strategia di successo attraverso la biologia sintetica è fondamentale che nascano degli ecosistemi in modo da abilitare nuove opportunità ed estendere i tradizionali confini aziendali. A seconda dei contesti nei quali si trovano gli incumbent, essi potranno sviluppare tre principali strategie, non mutualmente esclusive, ovvero:

- Consorzi: collaborazioni con aziende in possesso delle competenze complementari necessarie e con accesso ad asset specializzati;
- Joint Venture Focalizzate: contratti di collaborazione con aziende nel settore della biologia sintetica, che permettono all'incumbent di controllare la direzione strategica e le applicazioni che esse sviluppano, facilitando la creazione di brevetti e licenze in modo che contribuiscano alle attività del proprio business;
- Acquisizioni: in questo caso gli incumbent potrebbero valutare di integrare start up specializzate per costruirsi il proprio stack tecnologico ed aumentare le proprie competenze, garantendosi un vantaggio competitivo nel lungo termine (Candelon, F., et al., 2023).

Analizzando gli impatti attraverso la matrice, partendo da un modello di business tradizionale in un settore non Future Farming, il caso di Amadori è una realtà che produce e vende prodotti alimentari attraverso un modello di business tradizionale, ovvero la produzione da "estrazione" delle materie prime, nel caso citato la commercializzazione di alimenti a base di proteine.

Nel caso di modelli di business impattati direttamente dalla tecnologia si richiama il modello di produzione generativa di prodotti, ad esempio nel settore alimentare Upside Foods, che produce carne coltivata a partire da cellule staminali di origine animale.

È possibile invece evidenziare le applicazioni tecnologiche nel settore Future Farming (secondo quadrante) attraverso il caso di Officinae Bio, che adottando un modello di prototipizzazione da generazione permette lo sviluppo fisico di prodotti e materiali, questa realtà offre la possibilità di sviluppare e testare prototipi attraverso la propria piattaforma biologica, generando molecole, composti e materiali, grazie alle risorse, competenze e all'infrastruttura messa a disposizione dalla piattaforma.

Il caso di un modello di business innovativo in un settore Future Farming (quarto quadrante) è rappresentato dal progetto Future Farming-ITI, in questo caso le caratteristiche e tecnologie di queste si combinano per superare i limiti di ciascuna. Poiché i microorganismi non scalano linearmente, ma seguendo una curva ad S, viene adottato un modello di produzione modulare. Il progetto FF-ITI prevede di sviluppare all'interno di dei container le condizioni e caratteristiche desiderate, grazie a nutrienti specifici, luce e altre componenti, per generare un prodotto specifico. Questo modello produttivo si origina a partire dalla duplicazione e

replicazione dei prototipi sviluppati; passa dal prototipo alla produzione, oltrepassando i limiti della curva ad S e rendendo il processo scalabile grazie alla tecnologia impiegata. In questo caso l'innovazione del modello di business permette il trasferimento tecnologico dell'infrastruttura: trasferisco impianti che rendono scalabile la produzione e duplicazione di un prototipo, generando un modello che da una crisi tra prototipo e produzione può essere denominato di "Protoduzione" da generazione. È possibile che modelli produttivi modulari "di Protoduzione" verranno sviluppati ed impiegati in futuro anche in contesti e settori diversi da quello del Future Farming.

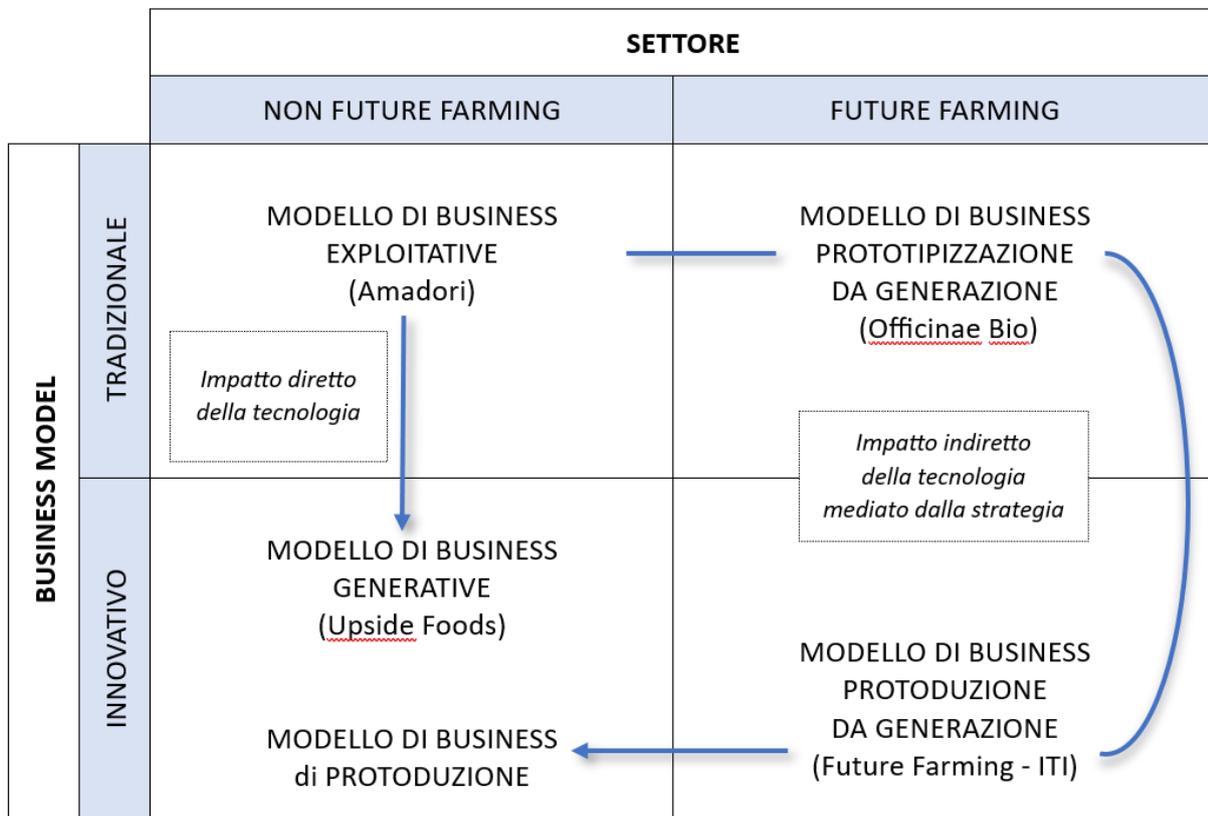


Figura 15: Matrice per l'analisi dell'impatto del Future Farming sui modelli di business
Fonte: Elaborazione propria

La Space Economy

La Space Economy è una nuova frontiera, un ecosistema diversificato e multidisciplinare sia dal punto di vista degli attori coinvolti che in termini settoriali (De Felice ⁸, G., SIF 2022), ricco di opportunità sia dal punto di vista economico che sociale, con ricadute tecnologiche e di mercato cross-settoriali.

La Space Economy deve la sua crescita al progresso delle tecnologie satellitari e alla notevole riduzione dei costi di lancio. È popolata da una diversificata serie di industrie, dai costruttori di razzi e satelliti, le telecomunicazioni, ai ricercatori sui cambiamenti climatici, esperti di dati e finanza, fino alla Difesa, che si uniscono per creare un ecosistema da un trilione di dollari che rende possibile e migliora la vita moderna e digitale. Su scala globale la Space economy attira l'attenzione di nuovi investitori che favoriscono la trasformazione, innovazione e crescita del settore sia dal punto di vista dell'avanzamento tecnologico che di nuove policy e dinamiche economiche.

3.1 Definizione di Space Economy

La Space Economy, secondo la definizione maggiormente adottata dell'OECD, può essere identificata come: *"the full range of activities and the use of resources that create and provide value and benefits to human beings in the course of exploring, understanding, managing and utilizing space."* (OECD, 2012). A seguito delle innovazioni e dei cambiamenti che si sono susseguiti nel settore a livello sia strutturale, che tecnologico che di nuovi modelli di business generati, il dibattito sulla definizione di Space Economy e sull'identificazione dei confini delle sue attività ha portato ad ampliare il concetto ed includere anche tutte le attività che non sono direttamente legate alle tradizionali attività spaziali, che operano sulla terra ma fanno uso di tecnologie e dati derivanti dallo spazio, come i servizi a supporto dei consumatori, ad esempio i segnali televisivi e i sistemi di navigazione satellitare.

A seconda dell'ampiezza della definizione adottata, cambia il volume di attività considerate e si modifica la stima delle dimensioni di questa economia (OECD, 2022). È complesso ottenere una misura precisa a livello globale, poiché non vi sono una tassonomia ed un perimetro condivisi entro i quali si identifica la Space Economy (Pwc, 2022) è però evidente la crescita

⁸ De Felice Gregorio, Chief Economist di Intesa Sanpaolo è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.

degli investimenti e dell'interesse verso questa economia. Il mercato dello spazio era stimato nell'ordine di grandezza di pochi bilioni di dollari nel 1980, e ha raggiunto i \$330 bilioni nel 2021 (Di Tullo P., 2023 p.25) ma ci si aspetta che arrivi a generare ricavi per \$1 trilione di dollari entro il 2040 (CITI, 2022) e continui a crescere fino a \$2,7 trilioni entro il 2045 (Di Tullo P., 2023) (OECD, 2022).

3.2 Dalla vecchia alla nuova economia dello spazio

La Space Economy nel corso del tempo ha visto l'ingresso di nuovi attori, specialmente privati, che hanno modificato la struttura del settore, prima caratterizzato in misura prevalente dalla presenza di attori pubblici. È possibile delineare tre fasi principali nell'evoluzione di questa economia, che si distinguono per il diverso coinvolgimento di attori pubblici e privati, e sono identificate come: la fase centralizzata, decentralizzata e distribuita (Di Tullo P., 2023).

La fase centralizzata (1950-1969) è stata caratterizzata principalmente da programmi spaziali governativi, che hanno contribuito allo sviluppo di tecnologie spaziali entrate a far parte dell'immaginario collettivo globale. I principali investimenti governativi nell'economia dello spazio riguardavano la sfera militare, per la difesa e sicurezza nazionale, lo sviluppo economico, con l'obiettivo di accrescere il proprio status a livello internazionale (Di Tullo P., 2023).

La fase decentralizzata (1970-2000), prende avvio nel 1970 con la politica "Open Skies" degli Stati Uniti, la quale permette a qualsiasi azienda qualificata di lanciare un satellite di comunicazione, incoraggiando l'ingresso dei privati nel settore e la rapida crescita delle telecomunicazioni e delle attività di trasmissione satellitare, favorito dai cambiamenti tecnologici e dalle strategie politiche. Su scala globale, un numero sempre maggiore di Paesi entra nel mercato spaziale. Nel gennaio 1970, In particolare, i Paesi europei si resero conto che i loro progetti nazionali non sarebbero stati in grado di competere con le altre grandi superpotenze. Nel 1975 è stata quindi istituita l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), con l'obiettivo di promuovere - a fini esclusivamente pacifici - la cooperazione tra gli Stati europei nella ricerca e nella tecnologia spaziale. Per la sua natura intergovernativa, l'ESA non ha modificato la struttura dell'industria spaziale europea, che resta focalizzata su scala nazionale e concentrata in tre Paesi, Germania, Francia e Italia.

La rapida crescita dell'industria informatica e della digitalizzazione hanno avuto un impatto sia sulla produzione di infrastrutture satellitari sia sulle applicazioni spaziali a valle, dando

avvio alla commercializzazione di tecnologie e asset spaziali. Nonostante l'ingresso di alcuni privati in questa fase, i maggiori player rimasero i governi e le organizzazioni internazionali (Di Tullo P., 2023, p.15)

La terza fase (dal 2000 a oggi), ovvero la fase distribuita, si caratterizza per il crescente ingresso di attori privati, e la conseguente affermazione delle applicazioni commerciali con ruolo dominante nel settore, che ne fanno crescere la distribuzione.

Nel 2019, il fatturato dell'economia spaziale ha raggiunto i 424 miliardi di dollari, di cui le applicazioni commerciali detengono la quota maggiore (due terzi), mentre le commesse militari e istituzionali rappresentano ancora una quota significativa del profitto totale (un terzo).

Lo sviluppo di questa fase è stato favorito dai progressi raggiunti dall'intelligenza artificiale (AI), che ha abilitato nuove attività economiche avanzate sfruttando i dati e segnali satellitari. Inoltre, grazie all'introduzione di satelliti di piccole dimensioni, è stato possibile ridurre i costi di produzione e dei servizi satellitari, ampliandone al contempo la domanda. Oggi, la vita quotidiana di quasi tutti gli individui e le aziende dipende da uno o più satelliti: dall'uso delle carte di credito, all'affidabilità della rete elettrica, ai servizi di navigazione e osservazione della terra, agli aggiornamenti meteo in tempo reale.

Un altro fattore determinante che ha permesso l'accesso delle società private è la riduzione dei costi di accesso allo spazio e quello dei veicoli spaziali. L'accesso alla Stazione Spaziale Internazionale è affidato ora a società private per quanto riguarda il trasporto di persone e merci, sempre mantenendo il contratto ed il controllo della NASA, mentre in precedenza era gestito esclusivamente dal governo, questo ha eliminato il monopolio di Lockheed Martin e Boeing.

L'ingresso di società private ha portato allo sviluppo di veicoli di lancio a basso costo e a significativi progressi nelle fasi di progettazione e sviluppo. Attualmente, SpaceX ha sviluppato un sistema per riutilizzare il primo stadio dei razzi, che serve a dare la spinta iniziale necessaria per superare l'atmosfera terrestre. Normalmente, dopo aver svolto il suo lavoro, il primo stadio si stacca e cade nell'oceano come rifiuto. SpaceX ha sviluppato con successo il recupero e il riutilizzo dei primi stadi dei razzi, riducendo il costo per chilogrammo di carico utile di oltre il 50%. Questi sviluppi consentono l'accesso allo spazio a molte piccole e medie imprese, nonché a istituzioni educative e di ricerca.

Le tecnologie satellitari avanzate che sono in fase di sviluppo, o si stanno affermando, garantiranno l'accesso e la connessione anche quando la rete terrestre è assente o di scarsa qualità. Abiliteranno inoltre un numero sempre maggiore di utilizzi, tra i quali l'efficienza dei trasporti e della logistica, la gestione delle risorse naturali, l'agricoltura di precisione, il monitoraggio dell'ambiente e dei cambiamenti climatici, e ne fanno una potenziale fonte di crescita economica, benessere sociale e sviluppo sostenibile. Questa fase, ancora in divenire,

viene identificata anche come la fase di democratizzazione dello spazio ed è parte dell'era della New Space Economy (Di Tullo P., 2023, p.15). La tabella richiama i sette fattori principali che contraddistinguono la nuova economia dello spazio dalla "Old Space Economy" trattati nel paragrafo.

	OLD Space Economy	NEW Space Economy
Fase dell'industria spaziale	Centralizzata e Decentralizzata	Distribuita
Attori	Agenzie Spaziali Nazionali, Agenzie per la Difesa ed Organizzazioni Internazionali	Agenzie Spaziali Nazionali, aziende private e start-up
Attività	Servizi militari e per la sicurezza	Servizi commerciali
Motivazioni	Sicurezza nazionale, strategie militari e prestigio internazionale	Crescita economica, sviluppo tecnologico ed esplorazione spaziale
Management	Attori Statali controllano e gestiscono le attività spaziali	Collaborazioni tra settore pubblico e privato
Concorrenza	Concorrenza tra Nazioni	Concorrenza di mercato tra aziende private
Clienti	Agenzie Spaziali Nazionali, Agenzie per l'acquisizione di capacità di difesa, Servizi Militari	Clienti Privati e Stati
Fondi	Investimenti Pubblici	Investimenti Privati

Figura 16: Confronto tra "OLD Space Economy e NEW Space Economy"
Fonte: Rielaborazione propria da Di Tullo, P. (2023)

In questo contesto, gli stati hanno adottato approcci differenti nei confronti dell'economia spaziale, in Italia ed in Europa, ad esempio, il focus è rimasto il governo secondo un approccio più "tradizionale", ovvero ai governi è stato riconosciuto il ruolo di guidare l'innovazione e la definizione degli obiettivi nel contesto competitivo del paese, mentre all'industria viene riconosciuto un ruolo di supporto alle richieste e previsioni governative. Questo approccio ha contribuito allo sviluppo di alta tecnologia e di un mercato che soddisfa il raggiungimento degli

obiettivi prefissati, ma è allo stesso tempo limitante poiché frena la crescita e le scoperte. Negli Stati Uniti invece il focus è spostato sull'industria, il governo funge da supporto comunicando le proprie necessità ma non le vie per raggiungerle, per garantire che essa si autoalimenti e studi dei piani di crescita autonomamente, in modo da stimolare l'innovazione. Il focus è quindi sul raggiungimento dei risultati e sull'accountability, intesa come responsabilità per gli obiettivi che vengono o non vengono raggiunti. L'industria deve abilitare nuove possibilità e nuovi obiettivi, il governo deve supportare e sostenere, ed i risultati raggiunti devono essere riconosciuti e ricompensati (Villa, M., SIF 2022).

3.3 Perché occuparsi di Space Economy

Le attività di ricerca e sviluppo nella New Space Economy hanno favorito l'affermarsi di nuovi ambiti di applicazione delle tecnologie spaziali tradizionalmente utilizzate nel settore, favorendo lo sviluppo di nuove soluzioni e competenze che hanno generato anche nuove opportunità di business. Ciò che ha stimolato maggiormente l'innovazione è stato l'utilizzo per fini commerciali di dati di origine spaziale, raccolti prevalentemente dai satelliti.

La riduzione delle barriere di accesso allo spazio, in termini di minori costi e di più facile accesso alle tecnologie, e il potenziale sfruttamento di nuovi mercati, [...] accrescono la concorrenza e, favoriscono l'abbattimento di costi, promuovendo l'innovazione e diffusione di tecnologie e abilitando un circolo virtuoso che amplia ulteriormente il mercato. È significativa la diminuzione del prezzo per trasportare in orbita le apparecchiature. Secondo le stime di Citi, questo costo è già sceso molto dal 2010, dopo essere rimasto stabile per circa trent'anni su livelli attorno ai 16 mila dollari al kg per i carichi medio-pesanti e ai 30mila per quelli leggeri. Grazie alle innovazioni introdotte da SpaceX, nel 2010 il costo è sceso a 2.500 dollari per kg, portato a 1.500 nel 2018 e si prevede che scenderà ancora. Attualmente si possono individuare tre grandi operatori privati: SpaceX, fondata da Elon Musk; Virgin Galactic, di Richard Brandson; Blue Origin, creata da Jeff Bezos.

Considerando l'economia dello spazio dal punto di vista globale, le maggiori opportunità sono generate dai servizi satellitari, che rappresentano la quota più importante nell'economia (intorno al 37%) ed hanno visto un rapido miglioramento di rendimento in termini di costi rispetto ad altre tecnologie. L'osservazione Terrestre è il maggior utilizzatore dell'infrastruttura satellitare ed è un fattore strategico per l'intera industria.

Questo grafico (Bryce Tech, 2022) rappresenta l'impatto economico nel 2021 dell'infrastruttura satellitare che raggiunge i \$386 miliardi di dollari. I satelliti rivestono due terzi dei ricavi dell'economia del settore, come si vede dall'immagine, e comprendono oltre ai servizi satellitari

anche le infrastrutture di terra, i processi di costruzione e di lancio. Grazie all'evoluzione del settore, l'industria sta accrescendo le proprie capacità e sviluppando nuove applicazioni satellitari, incrementando l'affidabilità e la produttività.

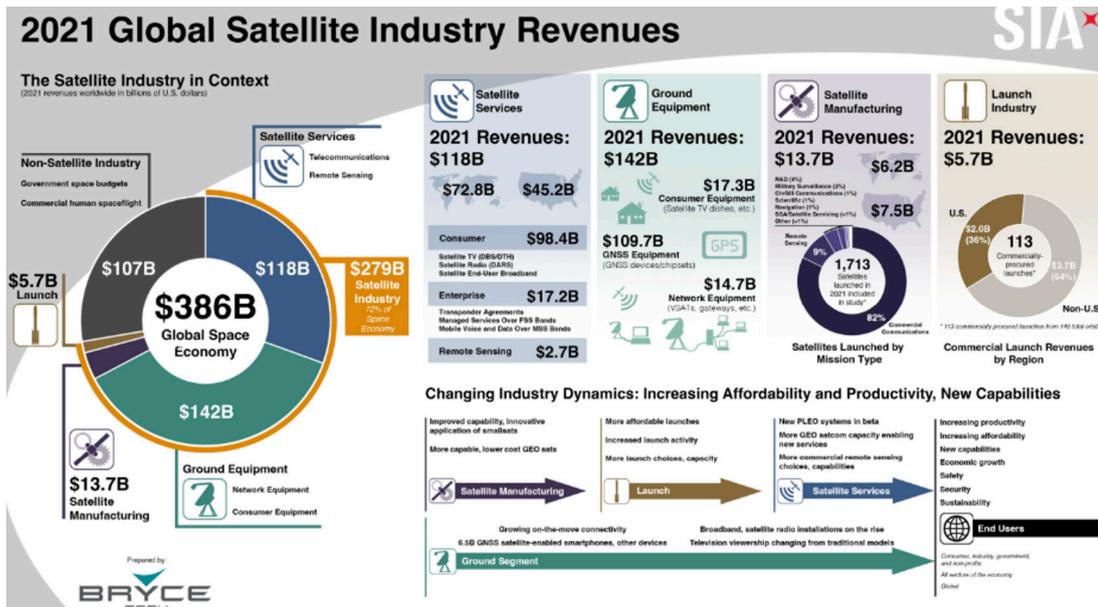


Figura 17: 2021 Global Satellite Industry Revenues
Fonte: Bryce Tech, 2022

I fattori disruptive sono legati ai progressi scientifici e tecnologici, come la miniaturizzazione dei satelliti, la nanotecnologia e l'AI, che insieme abilitano una proposta di valore radicalmente diversa rispetto alle applicazioni tradizionali del sistema. Lo sviluppo della tecnologia di comunicazione satellitare permette di sviluppare nuovi prodotti e servizi in molteplici settori, stimolando la crescita e la creazione di valore (Thomas, T. et al. 2023).

La realtà che offre applicazioni più avanzate a livello di piccoli satelliti è Terran Orbital Corporation, realtà che è stata citata tra le 10 più innovative del 2023 per il settore spaziale (Bluestein, A., n.d.).

Queste tecnologie satellitari hanno già un'ampia capacità di penetrazione del mercato, dalla difesa al commerciale, ed offrono svariati servizi in orbita⁹ (Villa, M., SIF 2022).

Analizzando l'orientamento al mercato è possibile posizionare i diversi segmenti di mercato e le rispettive tecnologie adottate, la Figura 18 dispone graficamente queste informazioni su due assi, rispettivamente uno con ottica B2B o B2C ed uno evidenziando i tempi di implementazione come brevi o lunghi.

⁹ Villa Marco è Chief Revenue Officer e EVP presso Terran Orbital Corporation, è stato ospite dell'evento Strategy Innovation Forum 2022.



Terran Orbital è leader nella costruzione di satelliti di piccole dimensioni, fornisce soluzioni end-to-end dal design, alla produzione, al lancio e supporta poi le missioni in orbita. L'azienda serve principalmente gli Stati Uniti e l'industria della difesa, e si impegna per rispondere ai bisogni civili, militari e commerciali. La sua customer base è diversificata, come si può vedere dall'immagine. Terran Orbital è riuscita a portare in orbita più di 215 satelliti e garantisce opportunità di lancio per nano e microsattelliti collaborando con attori in quasi tutto il mondo, offrendo supporto in tutte le fasi e garantendo dati precisi e tempestivi, ha portato a termine più di 80 missioni nell'ultimo decennio.

Defense & Intelligence	Civil Government	Commercial
 	 	 
 	 	

Si può osservare come i modelli di business con orientamento al consumatore B2C richiedono un intervallo di implementazione inferiore e sono caratterizzati da un rischio inferiore, rispetto ai modelli B2B che necessitano di tempi di implementazione più lunghi accompagnati da rischi più elevati (EIB, 2019).

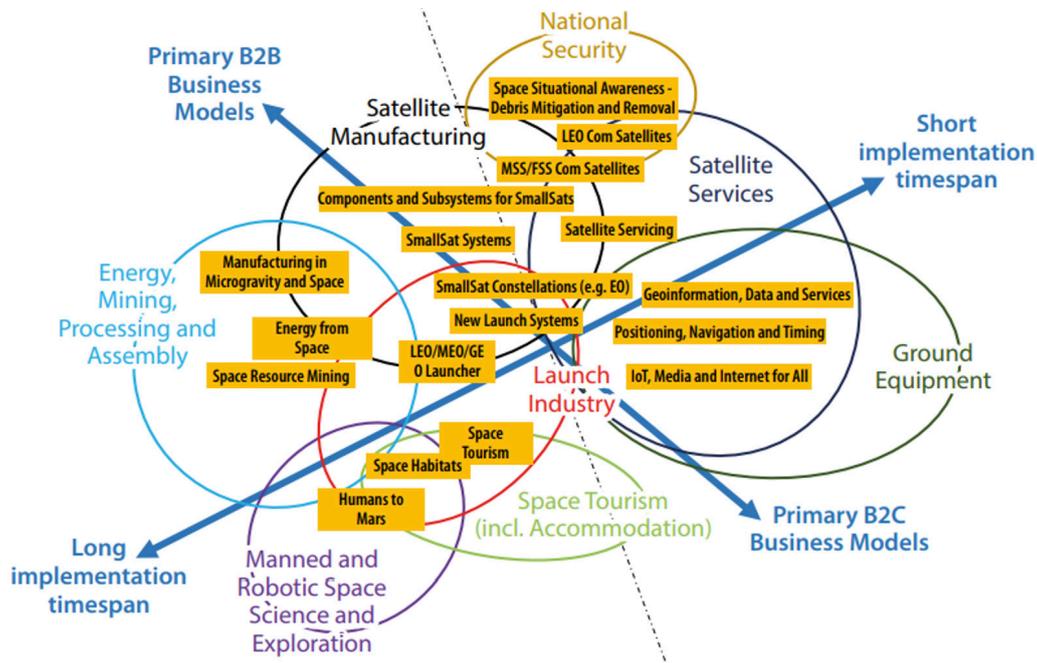


Figura 18: "A landscape of space business services, business models and segments"
 Fonte: European Investment Bank, 2019

3.3.1 I segmenti della Space Economy

È possibile segmentare l'economia dello spazio in tre categorie principali (OECD, 2022, p.31), rappresentate nella Figura 19, che hanno ricadute su molteplici settori ed attività, in continua espansione, poiché le tecnologie abilitanti promuovono la ricerca di nuovi sviluppi ed applicazioni multisettoriali. I segmenti sono:

- Il segmento upstream: rappresentato da tutte quelle attività scientifiche e tecnologiche fondamentali per i programmi spaziali, che seguono le fasi di ricerca, design, produzione, assemblamento, lancio, funzionamento, manutenzione e monitoraggio delle apparecchiature spaziali. A sua volta possono essere ulteriormente suddivisi in tre segmenti di mercato: produzione, servizi per il lancio e equipaggiamento da terra (Di Tullo P., 2023, p.18). Questo segmento si focalizza su quelle attività legate allo spazio in senso stretto, e la sua crescita è legata a fattori quali la riduzione dei costi per l'accesso allo spazio, il crescente interesse verso il turismo spaziale ed i suborbital flights, e la crescente diffusione di satelliti di piccole dimensioni (Troy T., et al., 2022).
- Il segmento downstream: comprendete tutte le operazioni quotidiane per l'infrastruttura spaziale e quelle attività che utilizzano conoscenza e dati derivanti dallo spazio per obiettivi legati alle attività sulla terra, i cui segmenti di mercato si riferiscono a servizi satellitari,

la sicurezza nazionale, l'estrazione di risorse ed i voli suborbitali (Di Tullo P., 2023, p.18). Questo segmento è legato all'evoluzione degli usi e l'ingresso di nuovi attori nel panorama dell'Earth Observation (EO), ovvero tutte quelle attività che sfruttano dati e immagini raccolti nello spazio per monitorare diverse attività da terra, insieme alla sempre più fitta presenza e connessione fra satelliti e servizi spaziali (Troy T., et al., 2022).

- Attività in altri settori derivate dallo spazio: in questo segmento vengono comprese tutte le nuove attività che fanno affidamento sulle tecnologie spaziali, alle quali anche gli attori end-user sono sempre maggiormente interessati, per moltissimi settori quali, ad esempio, l'energy&utility, l'automotive, la logistica e la medicina (EIB, 2019).

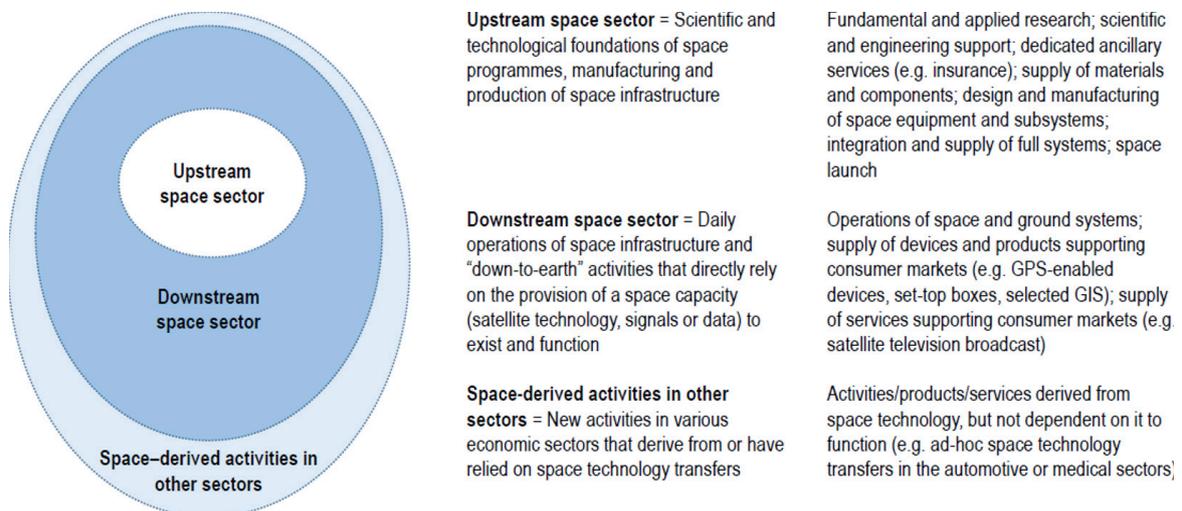


Figura 19: Segmenti della Space Economy
Fonte: OECD (2022)

3.3.2 Le nuove opportunità che offre il sistema

La Space Economy si fonda su tre pilastri, ovvero tre categorie di infrastrutture che sono fondamentali per il suo sviluppo, che sono la logistica ed il trasporto spaziale, lo Space Cloud e la Cyber-security, lo spazio abilita opportunità a terra che necessitano di satelliti per essere monitorate e gestite (Rossetini, L., SIF 2022). Le principali attività che hanno impatto intersettoriale e dove oggi la Space Economy contribuisce grazie a diversi usi ed applicazioni di dati e tecnologie comprendono (OECD, 2022):

- Comunicazioni satellitari: lo sviluppo di una rete che favorisca il collegamento satellitare e quindi la generazione di una rete di informazione utile sia nello spazio che nell'elaborazione

di dati a terra, ad esempio per le telecomunicazioni e i servizi di broadcasting, favorendo lo sviluppo di trasmissione di segnale per accrescere sempre di più la connettività e il raggiungimento degli spazi più remoti sul pianeta. Tramite il potenziamento di questa rete la connettività satellitare permetterà di contribuire all'abbattimento delle disuguaglianze e al miglioramento delle condizioni di vita. (Brukardt R., et al., 2022)

- Servizi di geolocalizzazione, navigazione e posizionamento: la costruzione di una rete per i servizi di geolocalizzazione e navigazione utilizzati nel trasporto aereo, marittimo, terrestre, oppure per la localizzazione di individui e veicoli, con numerose applicazioni per i servizi privati.
- Osservazione terrestre (EO): la costruzione di un sistema satellitare capillare che permetta il monitoraggio della terra e supporti le sfide per il clima, l'ambiente e la società. Alcune delle sue applicazioni si utilizzano anche nell'agricoltura, favorendo l'automazione, lo sviluppo di catene di approvvigionamento globali, il monitoraggio e l'ottimizzazione (Guest et al., 2021). L'osservazione di fenomeni dallo spazio permette di contribuire al monitoraggio del cambiamento climatico e ad anticipare e prevedere possibili disastri ambientali, grazie alla raccolta di immagini e dati, ma ha il potenziale per diventare una tecnologia fondamentale in molteplici settori, perfino in ambito educativo e sanitario. I satelliti permettono di abilitare molteplici applicazioni innovative, grazie alle immagini ed ai dati raccolti dallo spazio. L'infrastruttura satellitare permette di fotografare ogni giorno alla stessa ora dalla medesima posizione una porzione di circa 3-4 metri della superficie terrestre. Le immagini 1 e 2 ne forniscono un esempio, la prima raffigura una raffineria negli Stati Uniti. Grazie alla risoluzione del satellite, attraverso la misurazione quotidiana di come cambiano le ombre che si formano sui coperchi dei contenitori di petrolio e di gas è possibile calcolare le riserve di questa raffineria. Estendendo questa tecnica a tutte le raffinerie degli USA si può arrivare a misurare la consistenza delle riserve strategiche del paese e questi dati possono essere utilizzati per fare le valutazioni più disparate, addirittura investire sui Futures della richiesta di carburanti. Queste tecniche di monitoraggio satellitare possono essere definite come "l'economia delle ombre" in quanto le immagini raccolte sfruttano le ombre per ricavare le informazioni necessarie. Altre informazioni che è possibile ottenere dalle immagini riguardano, ad esempio, il monitoraggio della deforestazione di alcune aree del pianeta (immagine 2), la nascita di un fiume, permettono anche di contare le nuvole delle emissioni delle centrali termoelettriche di un paese e valutarne così la potenza prodotta in un dato momento (Battiston , R.¹⁰, SIF, 2022).
- Logistica e servizi di Trasporto spaziale: sviluppo di veicoli per il lancio e relativi componenti che sono utili per scopi commerciali, logistici inter-orbitali e governativi. I modelli di

¹⁰ Roberto Battiston è professore ordinario nel dipartimento di Fisica dell'università di Trento, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.



Immagine 1

business di queste aziende si ispirano a quelli delle attività di logistica a terra (Rossetтини, L., SIF 2022).



Luca Rossetтини ¹¹ presenta le possibilità abilitate dalle tecnologie sviluppate da D-Orbit. D-Orbit è una realtà nata del 2011, la prima attività ad occuparsi dello sviluppo di un'infrastruttura spaziale sostenibile per la logistica ed il trasporto. Mira a superare le difficoltà della logistica spaziale e semplificare il lancio ed il posizionamento di satelliti, mira inoltre a costruire una rete di Cloud computing in orbita in grado di elaborare direttamente l'ingente quantità di dati prodotta dai satelliti. L'azienda ha sviluppato una soluzione per il lancio ed il posizionamento dei satelliti che sfrutta un veicolo cargo, l'ION Satellite

Carrier, lanciato con a bordo tutti i satelliti che verranno poi distribuiti e posizionati correttamente dallo stesso, permettendo di costruire un'infrastruttura fondamentale per le attività di logistica in tempi e a costi nettamente inferiori (Immagine). L'obiettivo è quello di costruire un'infrastruttura sostenibile che in futuro mira a sfruttare le logiche dell'economia circolare, sviluppando satelliti direttamente in orbita, o riciclando in orbita quelli non più in uso, al fine di mitigare e prevenire la presenza di detriti spaziali.



¹¹ Roberto Battiston è professore ordinario nel dipartimento di Fisica dell'università di Trento, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.



Immagine 2

- Esplorazione spaziale: la costituzione e l'utilizzo di veicoli spaziali per l'esplorazione dello spazio extra-atmosferico, le stazioni spaziali internazionali e le attività degli astronauti (OECD, 2022).
- Scienza: categoria che comprende una vasta gamma di attività, la scienza dello spazio e tutti i relativi fenomeni, ma anche lo studio abilitato da osservazioni basate sullo spazio che favorisce ricerche sulle componenti fisiche o chimiche della terra e dell'atmosfera.
- Digital Commerce: vi sono una serie di opportunità sia dal punto di vista B2B che B2C. Per il B2B, lo spazio grazie alle caratteristiche di un ambiente con assenza di pressione atmosferica e microgravità permette ad alcune industrie di produrre più facilmente prodotti di elevata qualità, ad esempio per l'industria metallurgica e dei semiconduttori, a cui si legano però molte sfide dal punto di vista dei costi di trasporto elevati e dalle difficoltà di comunicazione. Per il B2C invece, vi sono diverse categorie di prodotti/servizi che possono essere commercializzati, ad esempio i viaggi spaziali, per i quali i consumatori hanno esigenze diverse da quelli terrestri e per questo richiedono molta attenzione per intercettare e prevenire tutti i potenziali maggiori rischi che contraddistinguono queste attività (Lei, Y., Guo, Y., Li, X., & Jing, Z., 2022).
- Tecnologie spaziali: identificano tutte le tecnologie spaziali utilizzate per le missioni, come i sistemi nucleari (energia e propulsione) e quelli a propulsione elioelettrica (OECD, 2022).
- Altre tecnologie e componenti che spesso favoriscono lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi e possono essere abilitati ad esempio dall'intelligenza artificiale ed i software di analisi dei dati (OECD, 2022).

Tutte queste attività ed applicazioni innovative accrescono l'interesse di nuovi entranti e nuovi investitori alla ricerca di nuove opportunità di business e di risoluzione e semplificazione

di attività che da terra risultano più critiche. In quest'ottica è possibile riconoscere il ruolo fondamentale che gioca l'approccio deep tech. Infatti, visione problem-oriented e la ricerca della risoluzione di problemi esistenti, potenziata dal ciclo DBTL, stimolano la ricerca e le nuove applicazioni con ricadute sui settori più disparati. La Figura 20 raffigura le tradizionali applicazioni spaziali che sono già ampiamente affermate e include una prospettiva di tutte le nuove applicazioni con potenziale di commercializzazione elevato che caratterizzano la New Space Economy, quelle già implementate ed emergenti, fino alla possibilità di portare l'uomo su Marte (EIB, 2019).

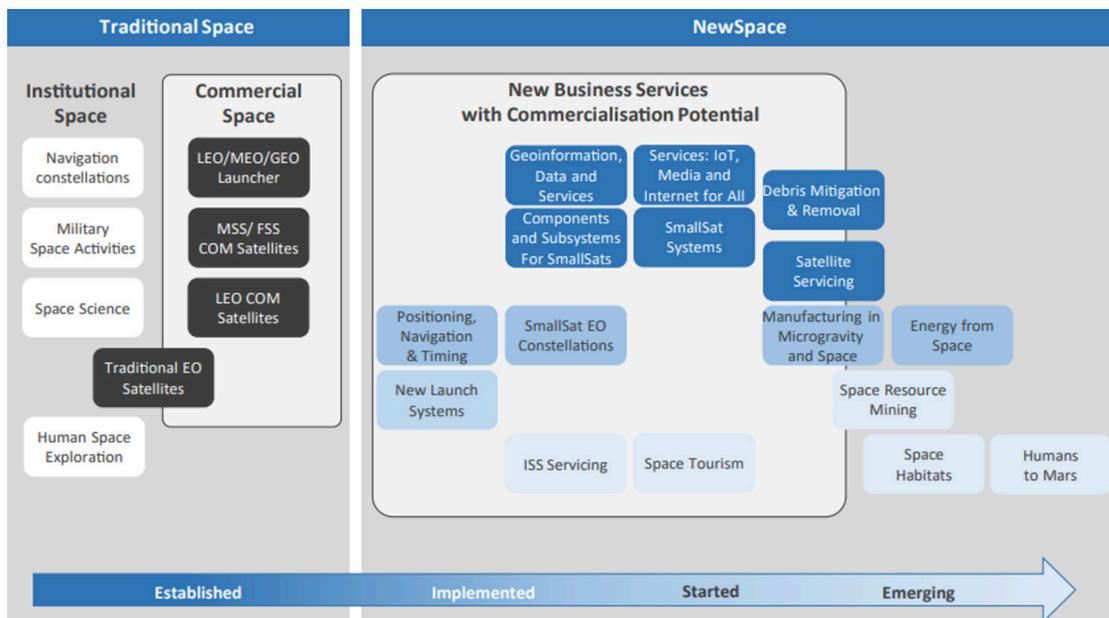


Figura 20: Existing and new business services
Fonte: European Investment Bank, 2019

Tutte le attività della Space economy possono essere categorizzate focalizzando l'attenzione sugli utilizzi prevalenti nello spazio oppure a terra delle tecnologie (Brukardt et al., 2022). La Figura 21 dimostra la trasversalità delle applicazioni su settori diversi, che non sono tradizionalmente legati allo spazio, ma dove si sta esprimendo l'enorme potenziale sempre più concretamente, in settori come l'energia, l'agricoltura, la finanza e la logistica.

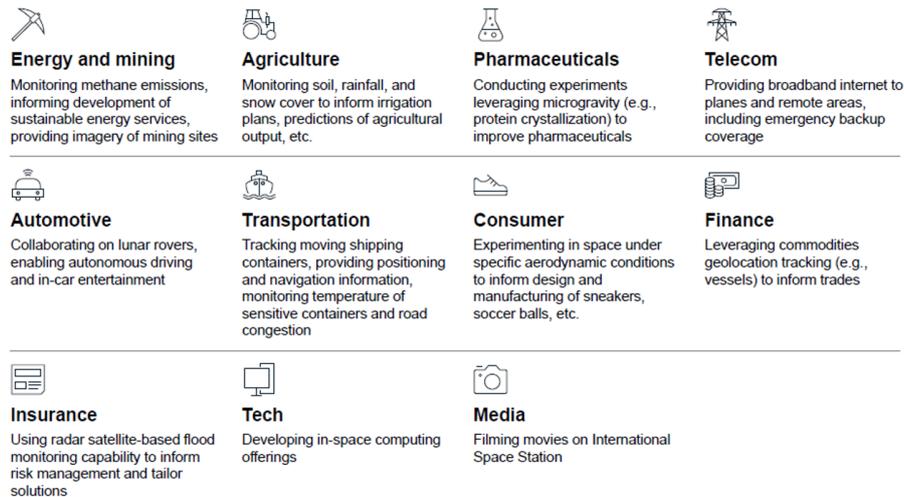


Figura 21: Non-space industries
Fonte: Brukardt et al., 2022

3.4 Le prospettive di crescita

Vi sono molte discrepanze nelle previsioni di crescita del settore e nella misurazione del fatturato attuale, per gli USA, che sono il primo attore mondiale, l'ultima stima è quella pubblicata dalla BEA nel 2022 che fa riferimento al 2019 e che fornisce un valore di 195 miliardi di dollari (Paolazzi¹², L., SIF, 2022). Il governo americano rimane il principale finanziatore delle attività spaziali, ma i nuovi player operanti nella New Space Economy hanno visto crescere notevolmente gli investimenti negli ultimi anni e ci si aspetta che i finanziamenti privati per le imprese spaziali arrivino a superare quelli pubblici entro i prossimi vent'anni, grazie alla crescita dell'interesse verso le opportunità offerte dallo spazio (Brukardt R., et al., 2023). Prendendo in considerazione il report Citi, che fornisce i dati più recenti, il fatturato nel 2020 si attesta intorno ai \$370 miliardi di dollari, ed è prevista una crescita entro il 2040 intorno ai \$1000 miliardi, con un incremento medio annuo del 5%. L'aspetto più interessante è nella scomposizione della crescita e il conseguente rimescolamento delle componenti del fatturato stesso. Infatti, mentre la spesa governativa sale a 212 miliardi (+4% medio annuo), il mercato dei satelliti (non solo costruzione e messa in orbita, ma anche gestione) passa da 271 a 697 miliardi (+5% annuo) e, soprattutto, diventa importante un segmento ora ancora marginale: nuove applicazioni e industrie, che passa da quasi zero a 101 miliardi (+23% annuo).

¹² Paolazzi Luca, Scientific Director di Fondazione Nordest, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022 tenutosi l'8 ed il 9 settembre 2022 presso il Campus Economico San Giobbe dell'Università Ca' Foscari di Venezia.

Spacchettando ulteriormente, il segmento dei servizi offerti con l'impiego di satelliti nel 2020 era stimato in 118 miliardi di dollari, di cui i tre quarti era costituito dalle trasmissioni televisive (Figura 23). Nel 2040 è proiettato essere di 144 miliardi di dollari, con la quota televisiva quasi dimezzata (41%) e rimane pressoché invariata quella della broadband (dal 13% all'11%), mentre quadruplica quella radiofonica (dal 5% al 21%), triplica la manutenzione dei satelliti (dal 3% al 10%), più che raddoppia la connettività per i cellulari (dal 2% al 5%) e sestuplica il segmento l'osservazione della terra (dal 2% al 12%).

L'economia spaziale cresce seguendo un trend esponenziale, per questa ragione le stime sulle previsioni di crescita fatte partendo dai dati storici risultano fuorvianti e sono molto diverse tra loro (Rossettini, L., SIF 2022).

Dal punto di vista europeo, è possibile riconoscere l'interesse e l'impegno per rafforzare la propria autonomia e leadership nello spazio, anche dalla decisione del Consiglio dell'ESA a livello ministeriale (CM22) di aumentare il budget per gli investimenti ESA del 17% rispetto a quanto stabilito dal precedente nel 2019. Questa decisione riflette l'importanza strategica riconosciuta alla Space Economy ed ai benefici che essa garantisce (ESA, 2022).

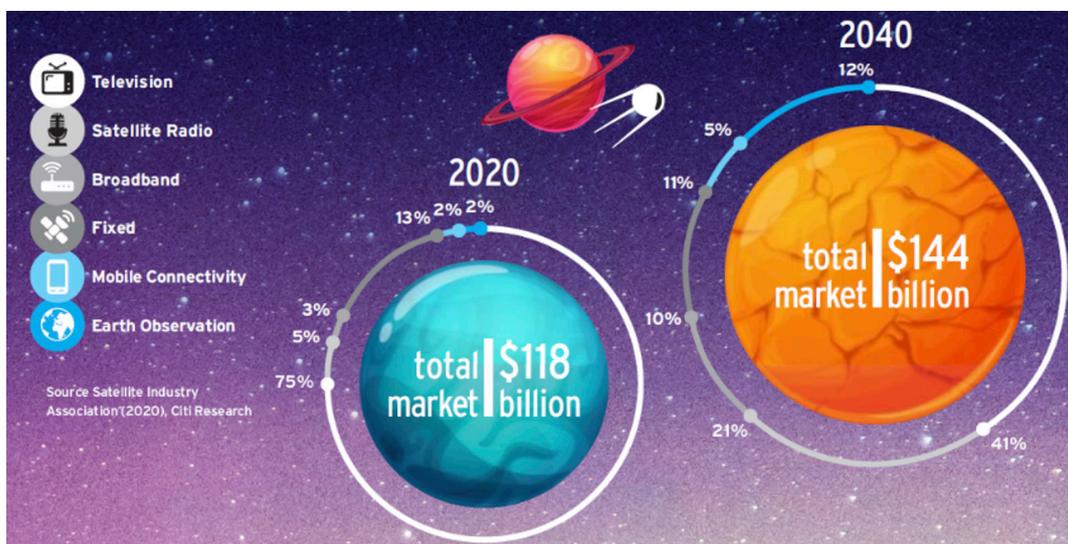


Figura 23: Le prospettive di crescita delle applicazioni della new space economy, stimate da Citi
Fonte: Citi, *The Dawn of a new Age*, May 2022

3.5 Il contributo della Space Economy al raggiungimento degli SDGs

L'orientamento ai problemi che caratterizza l'approccio Deep Tech, spesso prende in considerazione sfide legate alla sostenibilità e al raggiungimento degli SDGs. Tra gli obiettivi di sviluppo sostenibile non vengono considerate direttamente le attività spaziali, ma queste hanno impatti diretti ed indiretti su ciascuno di essi.

La United Nations Sustainable Development Solutions Network (SDSN), a cui si attribuisce lo sviluppo degli SDGs, oggi monitora i progressi per il loro raggiungimento e riconosce l'importanza delle tecnologie spaziali, concentrando prevalentemente l'attenzione sul contributo delle tecnologie GNSS (Global Navigation satellite system) ed EO. Sono presenti più di 160 satelliti che monitorano gli effetti del cambiamento climatico e le attività che potrebbero influenzare direttamente questo problema (Bruckardt R., et al., 2023).

I dati presentati nelle figure 24a, 24b, 24c fanno prevalentemente riferimento a programmi Europei legati al monitoraggio spaziale, come Copernicus¹³ ed EGNSS¹⁴ (UNOOSA, 2018). Analizzano come questi contribuiscano al raggiungimento di alcuni dei target associati agli Obiettivi, distinguendoli in due gruppi, a seconda della misura in cui le tecnologie spaziali contribuiscono alla loro realizzazione:

- contribuzione **significativa**, che include gli SDG che traggono i maggiori benefici dall'uso delle applicazioni EGNSS e Copernicus (figura 24a, 24b). Ad esempio, per quanto riguarda l'SDG 2 "Fame zero" le applicazioni che abilita l'EGNSS, come l'agricoltura di precisione, contribuiscono nei paesi sviluppati rendendo possibile l'impiego di macchinari per aumentare la produzione agricola, mentre nei paesi in via di sviluppo offrono delle soluzioni entry-level economiche per il monitoraggio delle colture. L'Earth Observation permette il monitoraggio terrestre, che rappresenta un importante contributo agli SDGs. In riferimento all'SDG 7 "Energia pulita e accessibile", ad esempio, le applicazioni dell'EO permettono di monitorare le infrastrutture critiche e le reti energetiche, di pianificare e stimare la produzione di energia eolica e solare, e generano molte altre informazioni utili. Per l'SDG 13, ovvero "Climate action", le immagini satellitari sono fondamentali per monitorare diverse variabili climatiche come la deforestazione, l'inquinamento, lo scioglimento dei ghiacci e l'innalzamento dei mari, ma anche prevedere eventi climatici estremi, fino nelle aree più remote.

¹³ Copernicus: Copernicus è il programma di osservazione terrestre dell'Unione europea, dedicato a monitorare il nostro pianeta e il suo ambiente a beneficio di tutti i cittadini europei. Offre servizi di informazione basati sull'osservazione satellitare della Terra e dati in situ (non spaziali) (Copernicus, n.d.)

¹⁴ EGNSS: European Global Navigation satellite system (il sistema globale di navigazione satellitare dell'UE)



Figura 24a: Contributo della Space Economy agli SDGs
Fonte: UNOOSA report with the European GNSS Agency (2018)

- contribuzione **limitata** ovvero quegli SDGs che, sebbene influenzati positivamente dalle applicazioni che utilizzano i programmi spaziali, non le considerano cruciali per la loro realizzazione (Figura 24c).

Lo spazio può avere un ruolo cruciale nell'aiutare le nazioni e le aziende a raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (CITI, 2022) ma è fondamentale che vengano previsti investimenti adeguati, sia pubblici che privati, per stimolare e garantire l'accesso alle tecnologie spaziali e sviluppare le competenze adeguate ad elaborare le informazioni derivate dallo spazio per mobilitarsi.



Figura 24c: Contributo della Space Economy agli SDGs
 Fonte: UNOOSA report with the European GNSS Agency (2018)

3.6 L'impatto della Space Economy sui modelli di business

Le opportunità di sviluppo e di applicazione delle tecnologie spaziali, anche a settori che tradizionalmente non sono legati allo spazio, abilitate dalla Space Economy sono vastissime. Analizzare e prevedere quello che sarà lo sviluppo e quali saranno le prospettive di crescita future del settore è una sfida. La Space economy continua ad attrarre investimenti e ricerche per applicazioni tecnologiche innovative.

In questo quadro è possibile costruire una matrice per valutare quattro possibili scenari di evoluzione per la Space Economy, McKinsey ne prevede 4 possibili evoluzioni entro il 2050: La matrice è costruita su due assi, uno dei quali misura il livello di cooperazione e governance collaborative che si instaureranno in questa economia, sia tra attori privati provenienti da diversi settori, sia tra privati e governi, l'altro misura invece il valore commerciale generato nello spazio grazie alla diffusione delle applicazioni spaziali anche sulla terra e tra i settori non-space. A seconda del livello al quale si svilupperanno le due variabili si prospettano quattro scenari differenti:

1. Lo scenario dell'**economia spaziale accessibile e autosufficiente**: ovvero caratterizzato da

Future of Space Matrix

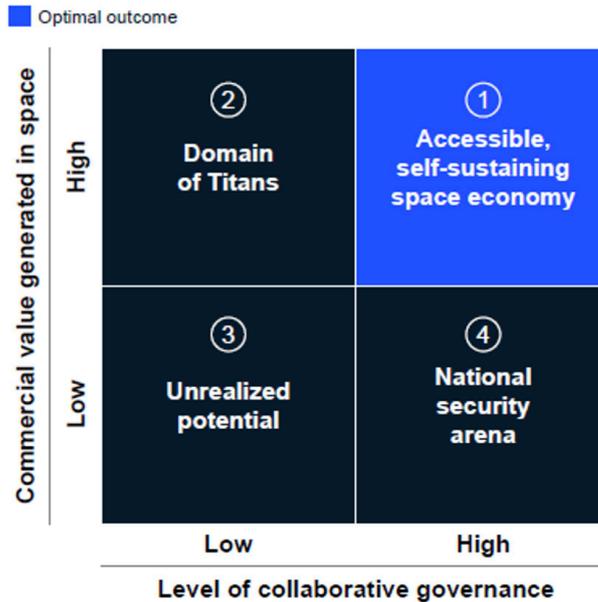


Figura 25: Scenari di evoluzione per la Space Economy
Fonte: McKinsey & Company and WEF (2022)

innovazioni tecnologiche dirompenti, “catalizzate da collaborazioni globali, finanziamenti diffusi e sana concorrenza”. L’economia dello spazio in questo scenario apporta benefici alle attività e alla vita sulla terra, autosostenendosi e promuovendo nuovi casi d’uso. Questo rappresenta lo scenario in cui si raggiungerebbe l’outcome ottimale, l’economia spaziale raggiungerebbe le previsioni di espansione più elevate, oltre 1 trilione di dollari, dove con una governance efficace si promuoverebbe un ambiente sicuro e un dominio dello spazio accessibile. Le collaborazioni e gli accordi tra gli attori interessati preverrebbero la formazione di monopoli, gestirebbero il traffico spaziale prevenendo collisioni e si occuperebbero del recupero di detriti esistenti ad alto rischio, costruendo un ambiente profittevole, dove sarà fondamentale lo sviluppo di partnership con i governi e tra stati (McKinsey & Company and WEF, 2022).

- Lo scenario del “**dominio dei titani**” si caratterizza per un basso livello di collaborazioni, ma un’elevata crescita di finanziamenti ed applicazioni commerciali. Senza collaborazioni, una governance efficace ed un progetto condiviso il controllo sarebbe riservato alle nazioni sviluppate e aziende ultraricche, che agiscono secondo i propri interessi, con il rischio di crescere l’ingombro di satelliti e detriti spaziali. Nel lungo periodo l’innovazione rallenterebbe per la mancanza di una sana concorrenza e non si svilupperebbe a pieno il potenziale di questa economia, alcuni attori potrebbero diventare molto potenti e plasmare le regole a loro favore (McKinsey & Company and WEF, 2022).
- Lo scenario del **potenziale non realizzato** si verifica se le sfide tecniche, economiche e

normative impediscono il progresso. È lo scenario in cui non si realizzano gli usi commerciali, i finanziamenti si esauriscono e quindi l'innovazione si arresta. I costi delle attività spaziali resterebbero proibitivi per la maggior parte degli attori. Senza regolamentazione e collaborazione lo spazio si popolerebbe di detriti causando collisioni orbitali e conseguenti perdite commerciali che scoraggerebbero gli investitori. Resterebbero operative le tradizionali applicazioni spaziali per la comunicazione, osservazione terrestre, ma non si svilupperebbe una solida economia spaziale (McKinsey & Company and WEF, 2022).

4. Lo scenario dell'**arena della sicurezza nazionale** si riferisce a una condizione in cui il potenziale commerciale rimane inespresso, i governi si affermano come player primari, determinando la governance di lungo periodo tramite regolamenti rigidi. Nel lungo periodo porterebbero ad aumentare i costi delle attività spaziali e spegnerebbero l'interesse dei privati e le innovazioni. Questo scenario potrebbe essere provocato da disastri spaziali, e ad esempio dalla competizione per raggiungere la Luna e Marte, che indurrebbero i governi a riaffermare la propria responsabilità. L'attenzione principale viene data alla sicurezza nazionale per la quale il governo continua ad investire e la commercializzazione tecnologica passa in secondo piano (McKinsey & Company and WEF, 2022).

3.6.1 Lo scenario Accessible and Self-sustaining Space Economy

Lo scenario di sviluppo auspicabile per la Space Economy si caratterizza per la presenza di collaborazioni, anche dette partnership, tra attori privati, tra i governi e tra privati e governi. Dall'inizio del nuovo millennio si sono sviluppate nuove forme di governance e management orizzontali, denominate public-private partnership (PPPs). La loro diffusione si è vista specialmente a seguito della crisi finanziaria del 2008, favorita dalla necessità dei governi di ridurre la spesa e limitare i debiti finanziari (Di Tullo P., 2023,).

Anche nella space economy si sono sviluppati casi di collaborazione tra il settore privato e quello pubblico, per sopperire agli elevati costi di sviluppo delle tecnologie spaziali.

Il settore privato passa dall'essere esclusivamente un appaltatore ad essere parte attiva nello sviluppo delle tecnologie, investimenti e sopporta il rischio finanziario dei progetti insieme agli attori pubblici.

Le PPPs sono caratterizzate dal mutuo interesse e responsabilità degli attori pubblici e privati, che si fanno carico e condividono i rischi, e dall'assenza di relazioni gerarchiche al loro interno. "I rischi principali sono un cash flow insufficiente e i costi oppressivi di investimenti a lungo termine, le incertezze amministrative e burocratiche, l'indecisione politica, insieme ai cambiamenti nelle strategie di business, recessi, fallimenti o acquisizioni dei partner

privati” (Di Tullo P., 2023, p.33). Per gestire e mitigare questi rischi è necessario un continuo coordinamento e confronto tra le parti sul contenuto dei progetti, le linee guida e i ruoli che sono ricoperti nella partnership.

Le PPPs possono essere considerate come un esempio di Collaborative Business Model (Langley, 2021), modello che illustra le relazioni che si instaurano tra i partner che partecipano insieme al business, compensando le proprie debolezze sfruttando le competenze degli altri partner per raggiungere sinergie che portano beneficio a tutta la rete. Viene descritto come il modello di business del futuro (Di Tullo P., 2023).

Il concetto di innovazione dei modelli di business è legato al cambiamento, ad esempio per l'ingresso di nuove tecnologie innovative con potenziale dirompente o per la ricerca di nuove logiche e metodi di creare e catturare valore (Di Tullo P., 2023, p.35). Come sostengono Amit R. e Zott C. (2012), “il modello di business diventa un insieme di attività interdipendenti che oltrepassano il focus aziendale ed i suoi confini. Nelle collaborazioni quindi, come le PPPs, le aziende vengono sfidate a modificare i propri BM e adattarli alle scelte della rete in un'ottica di valore condiviso”. Queste collaborazioni instaurano relazioni basate su obiettivi condivisi e fiducia reciproca, colmando gap di capacità, risorse e competenze e garantendo una creazione di valore più elevato per gli stakeholder. È fondamentale che si instaurino rapporti di fiducia e che vi sia trasparenza nelle relazioni perché queste collaborazioni esprimano tutto il loro potenziale, per evitare i rischi derivanti da obiettivi contrastanti.

Attraverso i Business Model delle PPPs è possibile comprendere la distribuzione dei ruoli, costi e rischi dei diversi attori che ne fanno parte, nel caso di attori pubblici e privati, solitamente i primi trasferiscono la spesa dal budget pubblico al settore privato, e i secondi ottengono l'accesso a nuovi mercati ed opportunità. Al loro interno le aziende differiscono per tipologia (es. industria, pubblica, non-profit), posizione nella catena del valore (produzione, servizi ecc) o settore (energia, ICT ecc) e a seconda delle relazioni che instaurano possono essere classificati sotto diversi modelli (Di Tullo P., 2023).

Per quanto riguarda i rapporti tra player diversi nella Space Economy, il settore pubblico ed i governi stanno assumendo ruoli diversi da quelli che ricoprivano nella “Old Space Economy”. Questa fase viene definita anche come democratizzazione dello spazio, le agenzie spaziali nazionali si devono adattare ad un nuovo contesto, nel quale il ruolo dei privati commerciali ed investitori, è sempre maggiore (Denis G., et al., 2020).

Lo sviluppo di rapporti stabili di collaborazione tra questi attori ha stimolato l'interesse e la crescita di questa economia e di nuove forme di PPPs. L'assunto su cui si basa la New Space Economy è che vi sia un enorme potenziale di sviluppo nelle attività spaziali commerciali. Le attività commerciali avranno un ruolo determinante nello sviluppo futuro e sarà necessario combinare le risorse dei governi e dei soggetti privati per raggiungere una migliore efficienza

(Denis G., et al., 2020). I governi continueranno ad avere una funzione rilevante nel dominio dello spazio, è possibile distinguere tre ruoli differenti che essi possono assumere nei rapporti di PPPs: customer, sviluppatore e partner.

Quando il governo assume il ruolo di “customer” acquista i prodotti e servizi disponibili per integrarli nei programmi spaziali, mentre i privati si occupano dello sviluppo e del sostenimento dei costi operativi. Nel ruolo di sviluppatore il governo finanzia con fondi pubblici progetti legati alle attività spaziali, che vengono sviluppate direttamente da aziende private, sotto rigido controllo statale. Quando assume il ruolo di Partner, invece, i costi e la definizione degli accordi contrattuali vengono condivisi con il settore privato (Di Tullo P., 2023).

Analizzando l'impatto sui modelli di business della Space Economy attraverso la matrice è possibile riconoscere casi di innovazione legati al ricorso diretto alle tecnologie spaziali da parte di realtà che operano con modelli di business tradizionali e traggono vantaggio dall'impiego delle tecnologie spaziali, principalmente attività dal segmento downstream, ad esempio tramite le tecnologie per l'Earth Observation ed i dati satellitari che permettono applicazioni nei processi, prodotti e servizi di molteplici settori non direttamente legati allo spazio. Nell'agricoltura, un esempio, AgriGeo è una piattaforma sviluppata da e-GEOS per estrarre informazioni utili per l'agricoltura di precisione e la silvicoltura a partire da dati e immagini satellitari, queste informazioni permettono il monitoraggio ed hanno benefici a livello di ottimizzazione nell'uso delle risorse e di costi, in un'ottica di sostenibilità ambientale (AgriGeo, 2023).

Nel secondo quadrante si possono inserire tutte le realtà che sviluppano satelliti o infrastrutture spaziali private che vengono poi commercializzate, ad esempio la già citata Terran Orbital, che offre soluzioni end-to-end, dal design, produzione e lancio, al monitoraggio e supporto durante le missioni, ma anche Lab Rocket o Starlink (Marelli, P., 2023).

Un esempio di modelli di business innovativi abilitati dallo sviluppo dell'economia spaziale può essere individuato nei modelli di business collaborativi e Partnership tra pubblico e privato, come evidenziato in precedenza nel paragrafo.

Queste partnership hanno l'obiettivo di stimolare lo sviluppo di nuove tecnologie ed innovazioni, favorire l'accesso a risorse e capitali che altrimenti non verrebbero condivisi, ridurre i costi sostenuti per gli attori che fanno parte della partnership, stimolare il mercato e condividere i rischi. A seconda dei progetti e delle caratteristiche delle partnership variano il numero di task che sono assegnate a ciascun partner e che contraddistinguono il rapporto (Kim, M.J., 2023). Un esempio di PPP nell'ambito delle attività spaziali è il nuovo programma per la telecomunicazione satellitare italiano, l'Italia ha un ruolo rilevante nel finanziamento dei programmi spaziali, è il terzo maggior contribuente nel budget europeo dell'ESA. Il progetto

è chiamato Ital-GovSatCom e rappresenta uno dei cinque pilastri del piano strategico italiano per lo spazio. Si basa sulla partecipazione privata ed istituzionale che stimola la cooperazione e l'innovazione per costruire un innovativo sistema satellitare, che fornisca servizi di telecomunicazione sicuri ed affidabili per l'utilizzo a fini istituzionali, della sicurezza, della difesa, degli aiuti umanitari, della risposta alle emergenze oppure per scopi diplomatici (Parrella R.M. et al., 2022).

Queste partnership potranno essere adottate anche in settori diversi da quelli spaziali con l'obiettivo di stimolare l'innovazione e raggiungere più velocemente risultati migliori grazie alle sinergie abilitate.

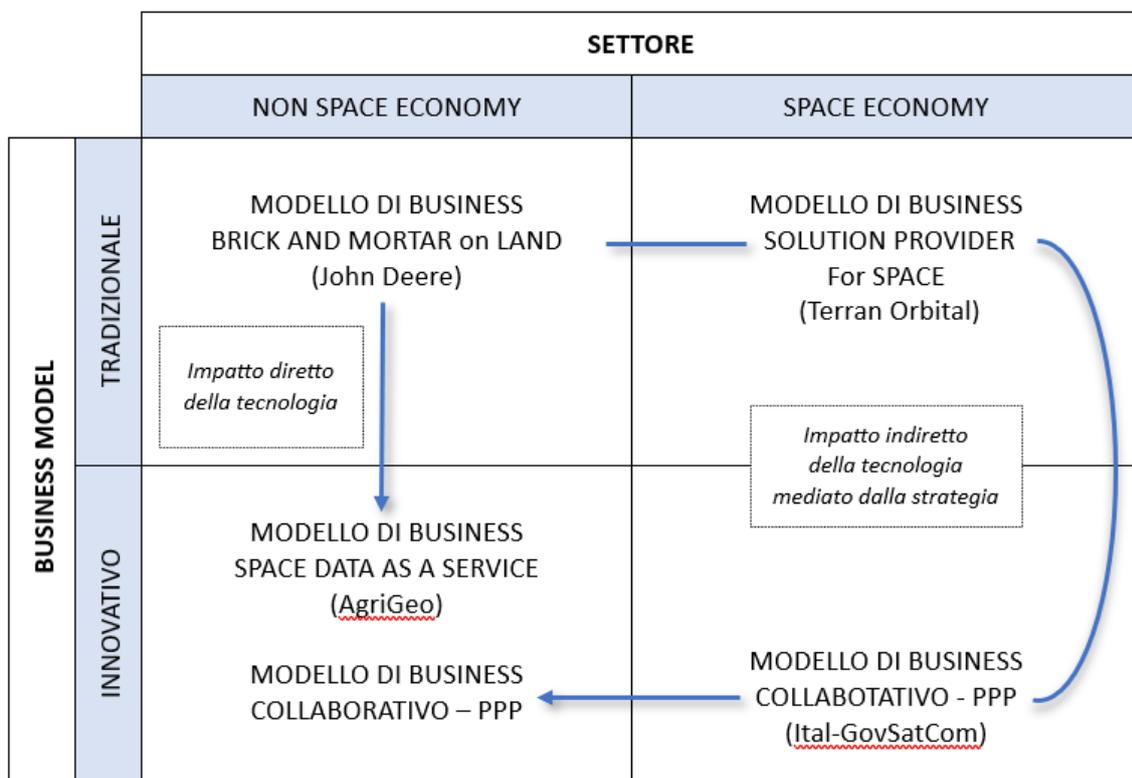


Figura 26: Matrice per l'analisi dell'impatto della Space Economy sui modelli di business
Fonte: Elaborazione propria

Il Super Computing

Il Super Computing è una tecnologia emergente che ha il potenziale per rivoluzionare la società ed il modo di fare business che conosciamo. Questa tecnologia sfrutta le leggi della fisica quantistica che rappresenta lo studio della materia e dell'energia al livello più fondamentale, cercando di scoprire le proprietà e i comportamenti dei "building blocks" della natura. Le principali tecnologie quantistiche sono:

- Quantum Communication, un insieme di protocolli per il trasferimento di informazioni codificate in unità quantistiche di immagazzinamento di dati, dette quantum bit o qubit, capaci di rendere intrinsecamente sicure le comunicazioni;
- Quantum Sensing, una nuova generazione di sensori in grado di fornire misurazioni di quantità fisiche, come il tempo o la gravità, estremamente più accurate degli attuali dispositivi a disposizione;
- Quantum Computing, un settore che mira a sviluppare il computer quantistico, un elaboratore che sfrutta le proprietà quantistiche dei qubit di cui si compone, per eseguire alcuni tipi di calcolo in modo estremamente più efficiente rispetto ai computer convenzionali.

Approfondendo l'aspetto computazionale, l'efficienza elaborativa consente di ottenere performance di calcolo nettamente superiori rispetto ai calcolatori standard, ma permette soprattutto di risolvere problemi oggi del tutto intrattabili. Basti pensare al campo farmaceutico e alla modellazione delle molecole, la cui comprensione della struttura è essenziale per lo sviluppo di nuovi farmaci. Una molecola di penicillina è composta da 41 atomi e per una corretta modellazione IBM ha stimato che sarebbero necessari un numero di bit in un computer tradizionale pari a 1086, una cifra superiore al numero totale di atomi osservati nell'universo (Langione, Bobier, Meier, Hasenfuss, & Schulze, 2019). Un computer quantistico potrebbe ottenere una simulazione precisa con soli 286 qubit, che sono unità di immagazzinamento ed elaborazione che rappresentano l'equivalente quantistico dei bit tradizionali per gli elaboratori tradizionali.

4.1 Il Computer Quantistico

Nel 1980 Paul Benioff sviluppò il concetto teorico di computer quantistico, ed una prima teorizzazione ed applicazione pratica venne proposta nel 1982 da Richard Feynman tramite la teorizzazione di un simulatore quantistico (Rietsche, R., et al., 2022).

I computer tradizionali utilizzano i bit binari per immagazzinare le informazioni, questi possono assumere un solo valore 0 o 1, il computer quantistico invece supera la logica binaria e utilizza quantum bits (qubits) come base di calcolo, sfruttando specifiche proprietà della meccanica quantistica per l'elaborazione e la registrazione dei dati, nello specifico la Superposition e l'Entanglement (Rietsche, R., et al., 2022).

La Superposition permette ai qubit di assumere contemporaneamente il valore di $|0\rangle$, $|1\rangle$ o una combinazione lineare di entrambi gli stati. È una proprietà cruciale, consente ai computer quantistici di produrre calcoli simultanei in spazi multidimensionali e consente di elaborare molte più informazioni contemporaneamente, riducendo così il numero di operazioni necessarie per ottenere un risultato.

L'Entanglement si verifica quando lo stato di un qubit dipende dallo stato in cui si trova un altro qubit, e la misurazione dello stato in cui si trova il primo consente di ricavare informazioni certe sullo stato del secondo, senza nemmeno bisogno di osservarlo.

Mentre le regole della fisica classica (dalla gravità di Newton fino alla teoria della relatività di Einstein) sono adeguate su scale superiori a quella atomica, al di sotto di questa soglia occorre far ricorso alla meccanica quantistica.

I computer quantistici non sostituiranno i computer tradizionali, sono dei dispositivi altamente specializzati che permetteranno di risolvere problemi in modo più veloce ed accurato di quanto sia possibile fare oggi, e si combineranno con i computer tradizionali, ad esempio, per l'input e output dei dati, così come per la traduzione e l'elaborazione dei risultati ottenuti tramite i QC (Rietsche, R., et al., 2022).

Lo speedup di un quantum computer può essere classificato in base alla sua capacità di scalare con l'aumentare delle dimensioni del problema. Se l'aumento di velocità (o di risparmio su risorse in termini energetici o di spazio di memoria) nel calcolo o di accuratezza nella risposta è significativo, si raggiunge il cosiddetto Quantum Advantage. La Quantum Supremacy emerge invece quando un computer quantistico è in grado di risolvere un problema che nessun computer classico è in grado di risolvere in assoluto o comunque in un tempo ragionevole. Il confronto tra Google e IBM ha dimostrato che questa classificazione è piuttosto incerta. Il 29 ottobre 2019, Google ha dichiarato di aver raggiunto la quantum supremacy risolvendo in 200 secondi un compito particolare che il miglior supercomputer del mondo avrebbe impiegato 10.000 anni per completare (Paul, 2019). In seguito, IBM, nel suo sito, ha pubblicato una

forte dichiarazione sostenendo che una simulazione ideale dello stesso compito può essere eseguita su un sistema classico in 2,5 giorni e con una fedeltà di gran lunga superiore (Edwin, Gunnels, & al., 2019).

Possiamo classificare i computer quantistici in tre tipologie:

1. Quantum Annealer;
2. NISQ (noisy intermediate-scale quantum) device;
3. Fault-tolerant Universal Quantum Computer.

L'obiettivo nello studio delle architetture quantistiche è la realizzazione di un Fault-tolerant Universal Quantum Computer, che sarà programmabile, general purpose e capace di correggere gli errori, è la soluzione più disruptive e sarà raggiunta a lungo termine. Può essere considerato come uno scale-up del NISQ, sistemi disponibili e già realizzati oggi, sono strutture affette da errori e con un numero di qubit troppo piccolo per calcolare algoritmi quantistici avanzati, ma abbastanza grande da mostrare il Quantum Advantage e la Quantum Supremacy. Entrambi sono fondamentalmente diversi dall'Annealing, che corrisponde a una tipologia di sistemi vincolati alla soluzione di specifici problemi di ottimizzazione, lontani da un approccio universale.

L'ecosistema quantistico è popolato da attori che operano in diversi livelli della catena del valore, a livello hardware sono presenti colossi della tecnologia che permettono alle aziende di esplorare le applicazioni dei computer quantistici grazie all'accesso alla tecnologia tramite Cloud, come IBM, Google, Amazon Web Service, Zapata e Microsoft, (Nallamothula L., 2021) insieme a numerose start-up che si occupano anche dello sviluppo di nuovi software e della ricerca di nuove possibili applicazioni della tecnologia.

IBM Quantum nel 2016 ha messo a disposizione il primo quantum computer online tramite il servizio cloud ed hanno raggiunto più di quattrocento mila utenti fino ad oggi, in una logica di open innovation. IBM oltre che con questa modalità open source collabora anche con università, start up, laboratori di ricerca e membri di molteplici settori, ed hanno sviluppato delle partnership con i governi in modo da garantire la formazione di un ecosistema per lo sviluppo di un'industria quantistica. Oltre allo sviluppo di un'infrastruttura è importante la collaborazione con i settori industriali perché inizino a ragionare sui casi d'uso, è anche fondamentale promuovere l'investimento nella ricerca e sviluppo e la formazione di talenti con le competenze necessarie (Mattei ¹⁵, F., SIF 2022).

Amazon Web Service nell'ambito del computer quantistico sta sviluppando quattro iniziative principali, Amazon Braket ovvero un servizio cloud che dà l'accesso a calcolatori quantistici costruiti con tecnologie diverse, un centro di ricerca che costruisce calcolatori quantistici, un secondo centro di ricerca che lavora per connettere hardware quantistici, ed infine un gruppo

¹⁵ Mattei Federico è Client Technical Leader e IBM Quantum Ambassador, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

di consulenti che aiuta le aziende ad interfacciarsi con queste tecnologie. (Severini ¹⁶, S., SIF 2022)

I player più affermati mettono a disposizione la tecnologia in modo da stimolare lo sviluppo delle competenze, lo studio di nuove applicazioni e la nascita di comunità di sviluppatori che sappiano interfacciarsi con i computer quantistici (McKinsey Report, 2021). A livello europeo il leader nella costruzione di Quantum computer è IQM, fornitore dei centri di supercomputing e laboratori di ricerca, che garantisce l'accesso al proprio hardware ed offre inoltre servizi di co-progettazione specifici per le applicazioni ai clienti industriali. IQM ha lanciato la IQM Academy con l'obiettivo di offrire corsi gratuiti per insegnare a programmare i quantum computer e contribuire a sviluppare una classe di esperti nel settore (IQM, n.d.). L'infrastruttura hardware e software può essere commercializzata attraverso diversi modelli di business, ad esempio è possibile offrire l'accesso al sistema in cloud, fornire il sistema direttamente ai clienti oppure far sì che gli utenti utilizzino il sistema ed i laboratori dell'azienda che li sviluppa. Poiché l'infrastruttura non è ancora pronta per essere commercializzata su scala industriale IQM ha venduto il primo quantum computer ad un'organizzazione di ricerca finlandese, con l'obiettivo di attrarre investimenti privati e stimolare lo sviluppo (Goetz¹⁷, J., SIF 2022).

Il report McKinsey offre un quadro della distribuzione degli attori all'interno della catena di questo settore, il livello più popolato è quello dei fornitori di software, insieme a quello della ricerca di università, istituti ed associazioni.

¹⁶ Severini Simone è Direttore di Tecnologie Quantistiche a AWS a Seattle ed è Professore di Fisica dell'informazione presso UCL, , è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

¹⁷ Goetz Jan è CEO e fondatore di IQM Quantum Computers

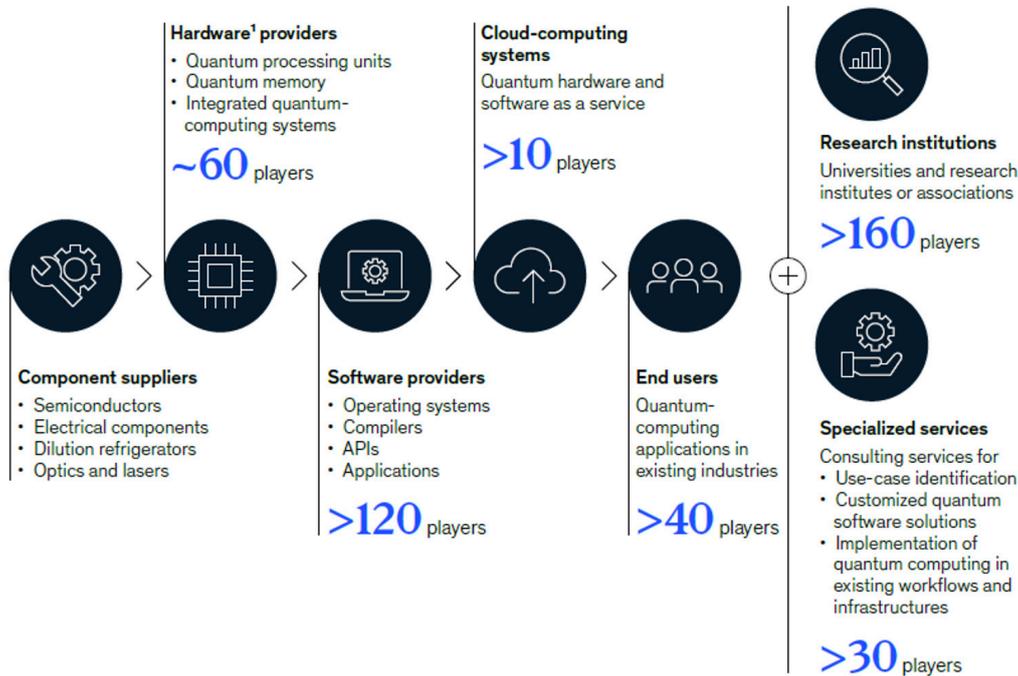


Figura 27: Player nella catena del valore del Computer Quantistico
Fonte: McKinsey Report, 2021

4.2 La quantum roadmap

Il potenziale del Quantum Computing è espresso dai numeri del mercato. Diverse fonti suggeriscono valori piuttosto differenti, da pochi a più di cinquanta miliardi di dimensione del mercato. Statista afferma che il valore totale del mercato nel 2020 era di 410 milioni di dollari e che potrebbe raggiungere gli 8,6 miliardi di dollari nel 2027 (Statista, 2021). The Quantum Insider afferma che il valore di mercato per il 2030 oscillerà tra i 18 miliardi di dollari e i 65 miliardi di dollari (Swayne, The Quantum Insider, 2021).

Negli ultimi anni si è assistito a un aumento esponenziale degli investimenti pubblici nelle tecnologie quantistiche. Secondo Qureca, dal 2001 all'inizio del 2021 il "global effort" pubblico nelle tecnologie quantistiche era stimato a 22,5 miliardi di dollari; i dati aggiornati a gennaio 2023 mostrano come i principali investimenti e programmi globali abbiano raggiunto i 36 miliardi di dollari (Maninder, 2023), con una crescita di 13,5 miliardi di dollari, circa il 60%, in soli due anni, e secondo le previsioni di Qureca, raggiungerà i 42,2 miliardi di dollari entro il 2027.

Qureca descrive l'impegno per lo sviluppo di questa tecnologia sottolineando l'importanza di favorire la nascita di un ecosistema globale e non una gara fra potenze diverse. I principali

paesi impegnati nello sviluppo di tecnologie quantistiche, come dimostra la Figura 28, sono la Cina, che detiene la quota principale con circa 15\$ miliardi di investimenti stanziati per il 2023, il Canada che riveste un ruolo trainante e dove gli investimenti privati hanno una forte influenza insieme all'impegno governativo verso l'innovazione, gli Stati Uniti che investono in questa tecnologia dal 1990, inizialmente attraverso programmi legati alla difesa nazionale, ma ora sostenuti anche dalla sfera privata ed accademica, il Regno Unito e l'Europa, che mantiene la quota più alta in ambito di ricerca accademica (Maninder, 2023), ed ha rafforzato i propri sforzi in materia, sia con la Quantum Technologies Flagship promossa a livello centrale dalla Commissione Europea nel 2018, sia in termini di investimenti da parte di singoli Paesi, con in prima linea gli investimenti di Germania, Paesi Bassi e Francia.

Per quanto riguarda il panorama italiano, il 13 luglio 2021 è stato approvato definitivamente il PNRR (Piano Nazionale Ripresa Resilienza). Il piano, incentrato sul rilancio dell'Italia post-pandemia, prevede 1,60 miliardi di euro dedicati al Potenziamento della ricerca e creazione di campioni nazionali di R&S su alcune Tecnologie Abilitanti Chiave, tra cui il calcolo quantistico. Oltre agli importanti investimenti pubblici in programmi di ricerca, un contributo importante per lo sviluppo di aziende e attori del mercato del Quantum Computing è stato fornito da investitori privati. Secondo gli Osservatori Digital Innovation, complessivamente, dal 2016 al 2021, sono stati finanziati 81 attori del settore del Quantum Computing per un valore pari a 1,53 miliardi di euro. Tra gli investitori figurano grandi aziende digitali come IBM e Honeywell, produttori di sistemi hardware e software quantistici, istituzioni finanziarie come BlackRock e Goldman Sachs e società di consulenza come Accenture.

Lo studio di Aboy, Minssen e Kop restituisce un'analisi con il numero di brevetti registrati per le

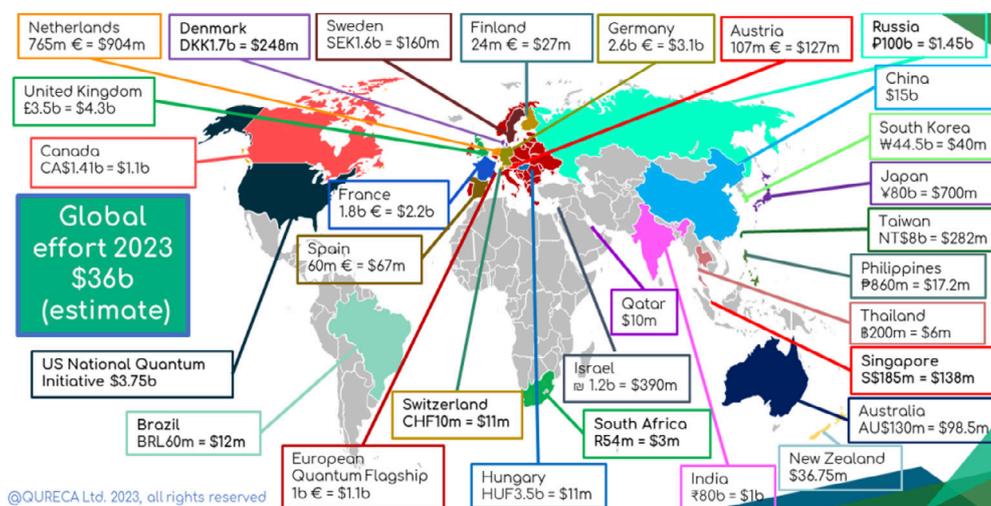


Figura 28: Quantum initiatives worldwide - update 2023
Fonte: Qureca, 2023

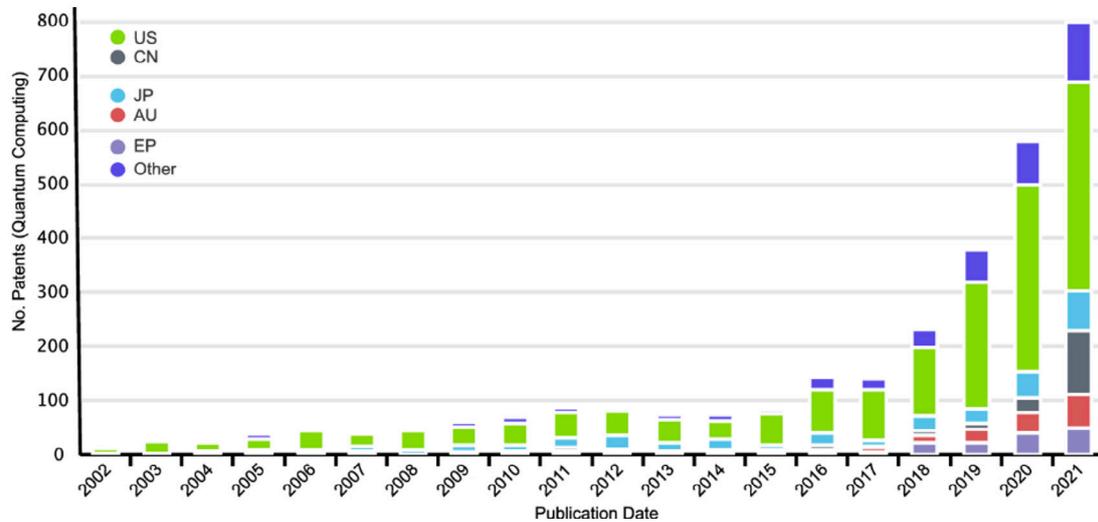


Figura 28: Quantum initiatives worldwide - update 2023
Fonte: Qureca, 2023

tecnologie quantistiche e mostra come lo United States Patent and Trademark Office (USPTO) e l'European Patent Office (EPO) concedano congiuntamente circa 2000 brevetti all'anno. Tra il 2001 ed il 2021 sono stati concessi un totale di circa 20,583 brevetti, più della metà dei quali sono stati concessi solo negli ultimi 5 anni, confermando il crescente interesse verso questo settore.

La Figura 29 mostra il numero di brevetti registrati nel 2021 per i principali paesi impegnati nello sviluppo di tecnologie quantistiche, al primo posto troviamo gli Stati Uniti, seguiti da Cina, Giappone, Europa e Australia (Aboy, M., Minssen, T. & Kop, M., 2022).

Le aziende dell'offerta possono essere mappate in cinque categorie: Quantum Consulting Services, società che offrono servizi di consulenza per favorire la transizione quantistica, in particolare per la crittografia post-quantistica; Quantum Software Application, che propongono software per lo sviluppo di applicazioni quantistiche; Quantum Development Platform, che offrono software development kit e piattaforme per lo sviluppo di applicazioni; Quantum/Quantum-inspired Infrastructure, che sviluppano hardware quantistico o simulatori; Quantum Components, che si occupano di tutta la parte di componentistica hardware. La Figura 30 ne fornisce alcuni esempi.

Da un lato, il mondo del Quantum Computing ha conosciuto una crescita significativa in termini di investimenti e finanziamenti, dall'altro un numero crescente di aziende hanno iniziato a sviluppare molteplici use case per cercare di posizionarsi nel mercato e intercettare il valore tecnologico sul proprio modello di business.

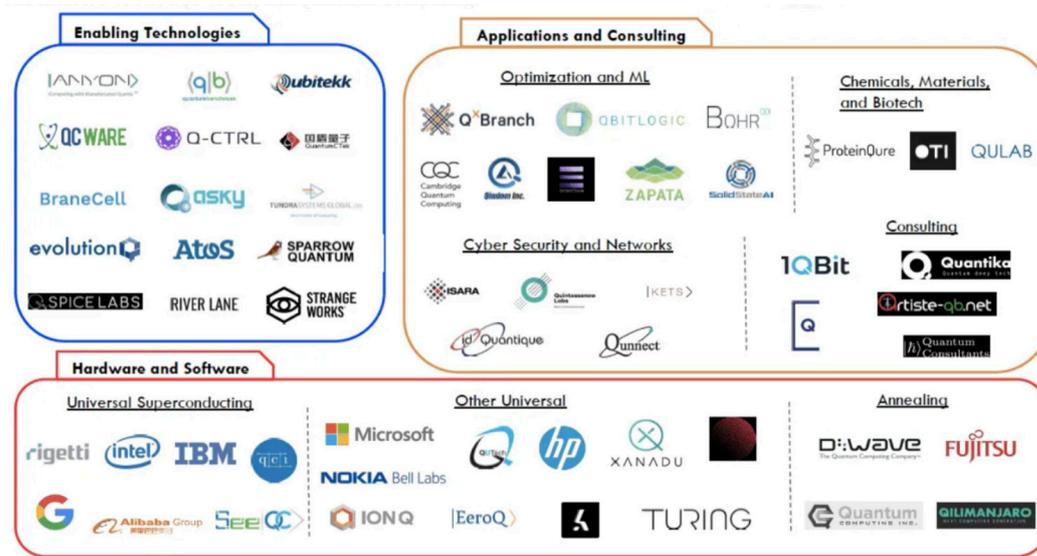


Figura 30: Principali aziende del settore del Quantum Computing secondo la categorizzazione di Medium
Fonte: Chukwu, 2018

Tra i più di 90 casi considerati nella ricerca degli Osservatori Digital Innovation, 80 sono stati realizzati dal 2019 e 19 nel solo 2021. La distribuzione dei casi d'uso vede l'Europa con una percentuale pari al 49% del totale dei casi censiti, con Airbus (settore aerospaziale) e BBVA (settore finanziario) tra le aziende più attive. Negli Stati Uniti, che rappresentano il 25% dei casi mappati, emergono progetti in ambito aerospaziale (Air Force, Boeing, Delta Airlines, Lockheed Martin, Raytheon) e finanziario (Goldman Sachs, JP Morgan). Il resto dei casi censiti si divide tra Asia (19%), Canada (4%) e Australia (2%); nel continente asiatico emergono diversi use case dal Giappone da parte di aziende come Mitsubishi Chemical, Nippon Steel, Toyota.

4.3 Le strategie per l'implementazione del Super Computing

Molte aziende e molti decision-makers stanno investendo e sviluppando competenze per essere pronti a trarre il maggior vantaggio possibile da questa tecnologia poiché l'impatto del QC sarà dirompente per numerose industrie. Il computer quantistico permette di risolvere varie tipologie di problemi, segmentabili in tre macrocategorie:

1. ottimizzazione, che mira alla ricerca della migliore soluzione tra una vasta serie di alternative;
2. simulazione, che ha lo scopo di rappresentare sistemi quantistici che non possono essere riprodotti con i computer tradizionali;
3. quantum machine learning, un'area che si concentra su come tradurre gli algoritmi classici di machine learning in circuiti quantistici che utilizzano qubit invece di bit binari.

Tra i casi esaminati nella ricerca degli Osservatori Digital Innovation, quelli di ottimizzazione e simulazione sono i più diffusi, rispettivamente il 42% e il 39% del totale, mentre una percentuale minore (19%) riguarda i problemi di quantum machine learning.

L'articolo di Jenkins, Berente ed Angst identifica quattro approcci strategici attraverso i quali categorizzare le scelte di investimento nella tecnologia quantistica che attualmente vengono adottate dalle aziende. I quattro approcci, non necessariamente mutualmente esclusivi, sono la strategia conventional, options, discovery ed adversarial.

La strategia convenzionale fa riferimento a tutte le casistiche in cui il computer quantistico viene utilizzato per risolvere problemi che attualmente vengono affrontati tramite i computer tradizionali, ma che grazie ad essa possono essere risolti molto più velocemente. Viene sfruttata l'abilità di questa tecnologia di eseguire simulazioni e ottimizzazioni con notevoli miglioramenti nelle prestazioni. Alcuni dei settori che giovano di queste applicazioni sono, ad esempio, la logistica ed i trasporti, tramite l'ottimizzazione dei tragitti e la riduzione dei costi associati, ma anche la gestione ed il miglioramento della congestione del traffico. Alcuni esempi che possono essere citati fanno riferimento all'ottimizzazione dei percorsi di guida con il fine di ridurre il consumo energetico sviluppata da Ford in collaborazione con la NASA, ma anche la gestione ottimizzata dei container nel porto di Los Angeles (Jenkins, J., Berente, N., & Angst, C., 2022).

La strategia options considera invece lo sviluppo di algoritmi ed applicazioni pilota da parte delle aziende che stanno esplorando le possibilità offerte da questa tecnologia per i propri settori e si stanno posizionando in questo quadro per essere pronte nel momento in cui si

raggiungerà la “Quantum Supremacy” e la tecnologia potrà essere commercializzata per le operazioni quotidiane. Molte realtà tra cui Volkswagen, BMW, Google si appoggiano oggi a D-Wave, che permette l'utilizzo dell'annealing quantum computer da loro sviluppato accessibile via cloud, ottimo per risolvere problemi di ottimizzazione, per testare gli algoritmi e risolvere problemi tramite la tecnologia quantistica. Come, per esempio, nello sviluppo delle auto senza pilota (Jenkins, J., Berente, N., & Angst, C., 2022).

La strategia Discovery si fonda sulla ricerca di nuove vie per indagare problemi che prima di questa tecnologia non era possibile nemmeno porre. È quindi il processo di ricerca e sviluppo che mira a raggiungere nuove applicazioni dall'impatto senza precedenti. In tutti i settori è possibile identificare questa tendenza, ad esempio per l'automotive Mercedes, Volkswagen e Mitsubishi Chemical stanno simulando reazioni chimiche per lo sviluppo di batterie più efficienti per i veicoli elettrici. Nel settore energetico IBM svolge il ruolo di partner per identificare nuove fonti di energia pulita, mentre dal punto di vista medico-farmaceutico Menten AI ha utilizzato la tecnologia quantistica per identificare e progettare strutture proteiche de novo, utilizzate anche ad esempio nei test per il Covid-19 (Jenkins, J., Berente, N., & Angst, C., 2022).

La strategia Adversarial, infine, si riferisce a tutti quei casi in cui le aziende sviluppano competenze per le aree applicative nelle quali la tecnologia quantistica avrà più impatto, e dove sarà necessaria una risposta immediata per garantirsi un vantaggio competitivo tramite l'anticipazione di questi trend. I campi nei quali è possibile riconoscere l'utilità di questo approccio sono ad esempio quello della cybersecurity e del trading finanziario, dove gli algoritmi sono in grado di valutare diversi mix di portafogli di azioni e identificare le combinazioni migliori per raggiungere i target desiderati. Queste tecnologie saranno anche in grado di rompere gli attuali schemi di protezione delle informazioni, ponendo a rischio la sicurezza nazionale e dei singoli business, ma allo stesso tempo garantiranno lo sviluppo della crittografia quantistica che renderà le comunicazioni molto più sicure di quanto lo siano oggi (Jenkins, J., Berente, N., & Angst, C., 2022).

4.4 Le applicazioni e l'impatto economico

La tecnologia quantistica risolverà e semplificherà molti degli attuali problemi che si affrontano nei diversi ecosistemi di business e abiliterà la nascita di nuovi business model. Sarà fondamentale per la scoperta di nuovi materiali e farmaci, per efficientare la logistica e le supply chain, ed avrà un ruolo fondamentale anche per la finanza e la crittografia dei dati che con il suo contributo risulterà infrangibile (Guarda T., Torres W., Augusto M.F., 2022). Per la natura stessa della tecnologia che risulta essere problem-oriented ed adatta alla risoluzione di problemi complessi, per la convergenza di diversi ambiti disciplinari e gli impatti cross-settoriali, ed inoltre per l'applicabilità del ciclo Design-Build-Test-Learn, il Quantum Computing adotta un approccio Deep Tech. Grazie alle sue caratteristiche porterà benefici sull'intero ciclo DBTL, nella fase di Design, ad esempio, ottimizzerà e ridurrà esponenzialmente i tempi, rendendo i processi meno costosi e più efficienti. Nei paragrafi seguenti verranno approfonditi i settori che verosimilmente trarranno i maggiori vantaggi nel breve, medio e lungo termine.

4.4.1 Gli impatti sul settore chimico-farmaceutico

I report pubblicati dalle principali aziende di consulenza, tra cui McKinsey, Boston Consulting Group, Accenture e Deloitte, sostengono che il settore che vedrà un maggior impatto grazie alla tecnologia quantistica, insieme a quello finanziario, è quello chimico-farmaceutico, il cui valore di mercato globale è stimato a 1250 miliardi dollari nel 2021 e raggiungerà i 1700 miliardi di dollari nel 2025.

La formulazione di nuove sostanze e farmaci rappresenta il core business per le imprese di questi settori e la scoperta di composti innovativi spesso determina il successo dell'intera azienda.

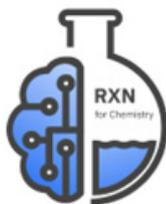
L'intera catena del valore dell'industria farmaceutica trarrà dei vantaggi dall'adozione di questa tecnologia, dalla ricerca e sviluppo fino alla logistica e all'accesso al mercato. Oltre allo sviluppo di nuovi farmaci più precisi e in tempi più brevi, riducendo i tempi dedicati tradizionalmente ai test, questa tecnologia sarà applicata anche a livello medico-paziente, ad esempio nella fase di identificazione e diagnosi di malattie, ma anche nell'automatizzare la prescrizione dei farmaci in modo da aiutare il sistema sanitario ad offrire a seconda delle esigenze un trattamento personalizzato per i pazienti (McKinsey Report, 2021). L'industria farmaceutica spende in media tra il 15% ed il 25% del fatturato netto in ricerca e sviluppo (Evers, M., Heid, A., & Ostojic, I., 2021), mentre in quella chimica la spesa si attesta intorno al 3%. L'importanza della spesa in ricerca e sviluppo dimostra quanto sia essenziale lo sviluppo di

nuovi composti e, allo stesso tempo, l'onerosità dell'intero processo. Gli scienziati, anche per le molecole molto piccole, trovano estremamente difficile simularle accuratamente utilizzando i computer tradizionali.

Spesso le molecole ottenute non hanno i risultati attesi, quindi la sintesi deve essere ripetuta insieme a molteplici test, rendendo il processo lento e costoso.

Il computer quantistico ha il potenziale per rivoluzionare l'intero processo: grazie alla sua struttura a qubit, il computer quantistico replica le interazioni tra gli atomi. In questo modo, le simulazioni possono essere effettuate in tempi molto più brevi, prevedendo le proprietà e le prestazioni delle molecole simulate e riducendone notevolmente i costi associati.

Per quanto riguarda l'industria chimica, l'informatica quantistica può contribuire allo sviluppo di chip, carburanti, materie plastiche e tutto ciò che può essere sintetizzato chimicamente; per quanto riguarda l'industria farmaceutica, invece, la sintesi rapida di nuovi farmaci sicuri e adattati alle esigenze e alla storia clinica del paziente rappresenterebbe una svolta per tutto il settore. Finora i NISQ, sistemi con qubit logici limitati, sono stati in grado di simulare realisticamente solo molecole con un paio di atomi, non riuscendo così a raggiungere i livelli di calcolo tradizionali. Con lo sviluppo di computer con un numero crescente di qubit logici, l'impatto potrebbe essere estremamente significativo.



IBM ha creato una nuova piattaforma che permette di creare e sintetizzare nuove molecole da remoto tramite un'interfaccia web attraverso l'impiego di AI, automation e cloud computing. Fornendo la struttura dei composti che vorrebbero ottenere, tramite gli algoritmi di machine learning, la piattaforma restituisce gli elementi da utilizzare per generare il composto richiesto e le proporzioni di come devono essere mescolati (IBM RXN for Chemistry. n.d.).



Rahko è una piattaforma quantistica per la ricerca chimica di composti che fornisce strumenti per eseguire algoritmi quantistici e simulare materiali e composti in modo più veloce ed accurato. Unisce tre tecnologie chiave, che sono la chimica computazionale, il machine learning ed il quantum computing, per sviluppare e scoprire nuove molecole a costi inferiore, richiedendo una mole di dati minore rispetto ai metodi tradizionali ed in tempi ridotti rispetto a quanto si potrebbe fare con altre tecnologie. Rahko è stata acquisita nel 2021 da Odyssey

Therapeutics, azienda biotecnologica, per accrescere le proprie competenze e possibilità nella ricerca di migliori farmaci. (Swayne, M., 2022)

4.4.2 Gli impatti sul settore finanziario

Il settore finanziario trarrà numerosi vantaggi dall'impiego del computer quantistico, i report di IBM, McKinsey, BCG e di altre aziende di consulenza presentano valori discordanti nelle previsioni del potenziale valore di mercato e e orizzonti temporali diversi per l'affermazione della tecnologia. Secondo McKinsey (Biondi, M., Heid, A., & Henke, N., 2021) il value at stake del settore raggiungerà un valore compreso tra 50 e 100 miliardi di dollari entro il 2035, e sarà l'ambito per quale si svilupperanno il maggior numero di applicazioni nel breve, medio e lungo termine ¹⁸ (Corbelletto, D., SIF 2022).

IBM identifica tre categorie principali di casi d'uso che il computer quantistico abiliterà in ambito finanziario, ovvero: targeting e modellazione delle previsioni, ottimizzazione dei portafogli finanziari e profilazione del rischio. Grazie alle capacità del computer quantistico sarà infatti possibile creare modelli analitici per gestire elevate e complesse moli di dati e così modellare le previsioni e targettizzare i clienti con maggiore velocità e sicurezza, in modo da indirizzare correttamente i prodotti alla clientela specifica (Yndurain, E., Woerner, S., & Egger, D. J., 2019). Inoltre, il QC offre la possibilità di ottimizzare i processi di KYC (Know Your Customer), che costituiscono uno standard per la verifica della clientela nel settore bancario e degli investimenti, il quale assicura che broker e consulenti valutino al meglio le informazioni acquisite sull'identità, la posizione finanziaria e la propensione al rischio dei propri clienti, proteggendo sia questi ultimi, sia le istituzioni finanziarie da disamine soggettive o frettolose e da errori di giudizio umani.

Le capacità in termini di ottimizzazione dei portafogli finanziari, grazie alla possibilità di generare numeri casuali, consentono di migliorare la diversificazione dei portafogli e riequilibrare gli investimenti in modo da rispondere alle condizioni di mercato ed agli obiettivi degli investitori più prontamente (Orús, R., Mugel, S., & Lizaso, E., 2019). Le possibilità offerte dal computer quantistico, grazie alla velocità di elaborazione di dati, potrebbero aiutare a sviluppare delle strategie di trading che determineranno quando acquistare o vendere specifici asset per raggiungere il tasso di rendimento desiderato ad un livello di rischio prefissato, aumentando lo spettro di scenari considerabili oggi e garantendo così strategie migliori (McKinsey Report, 2021).

Alcune promettenti versioni quantistiche di algoritmi di quantum machine learning potrebbero inoltre rendere più precisi i sistemi di rilevamento delle frodi o di previsione delle variabili macroeconomiche e finanziarie.

¹⁸ Corbelletto Davide è Quantum Technology Specialist presso la Direzione Sistemi Informativi di Intesa Sanpaolo, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022



Rigetti insieme a Commonwealth Bank of Australia hanno dimostrato la fattibilità di alcune applicazioni quantistiche nel settore dei servizi finanziari. L'esperimento ha dimostrato che un computer quantistico è in grado di ottimizzare la gestione di un portafoglio, questo risultato è stato raggiunto su un portafoglio della Borsa australiana di piccole dimensioni, indicando come raggiungere un rischio ed un rendimento ottimali¹⁹.

4.4.3. Gli impatti sugli altri settori

Altri settori nei quali il Quantum Computing avrà un impatto considerevole sono: automobilistico, logistica e trasporti e manifatturiero.

Nel breve termine le opportunità per l'industria automobilistica fanno riferimento alla crescita di velocità e precisione nelle fasi di simulazione e progettazione ad esempio della stabilità meccanica, aerodinamicità, termodinamica e altre caratteristiche dei veicoli, permettendo di ridurre i tempi e i costi di prototipazione e accrescendone le performance. (McKinsey Report, 2021) Le applicazioni più interessanti riferiscono all'ottimizzazione della fase di progettazione dei veicoli, ad esempio l'efficientamento dell'analisi ingegneristica al fine di ridurre il peso dei materiali, e la minimizzazione dell'inventario dei veicoli, al fine di ottimizzare l'inventario riducendo quei milioni di veicoli finiti non venduti negli showroom.

In un orizzonte più lungo invece la tecnologia quantistica permetterà di perfezionare le batterie ed aumentarne la densità energetica, contribuendo allo sviluppo di veicoli all-electric, ma anche apporterà benefici nello sviluppo di nuovi o migliori materiali e nello sviluppo di fonti energetiche alternative avanzate (McKinsey Report, 2021).

Mercedes, ad esempio, collabora con IBM Quantum sfruttando la tecnologia quantistica per la realizzazione di migliori batterie da utilizzare per i veicoli del futuro (Mercedes x Ibm., n.d.). Anche Volkswagen investe in questa tecnologia collaborando con QuantumScape, specializzata nello sviluppo di batterie al litio metallico a stato solido per auto elettriche (Volkswagen Group Italia, n.d.). La guida autonoma beneficerà anch'essa dell'informatica quantistica, grazie alla sua capacità di gestire enormi quantità di dati e alle capacità di analisi al millisecondo.

Nell'ambito della logistica e dei trasporti, la routing optimization, ovvero la scelta di un percorso tra molteplici alternative, apre prospettive interessanti grazie alle applicazioni della Quantum Optimization, ovvero la capacità di gestire problemi di ottimizzazione complessi con volumi di dati elevati in tempi brevi rispetto ai supercomputer e fornendo risultati accurati. I vantaggi in termini di ottimizzazione e simulazione nell'ambito della logistica porteranno benefici cross-

¹⁹ Zanette Alberto, The impact of Quantum Computing on business models: possible scenarios, Tesi di Laurea Magistrale, 2020-2021, Relatore Prof. Bagnoli Carlo

settoriali, ed in molti casi avranno un impatto disruptive, in quanto la logistica riveste un ruolo chiave per competere nei mercati (Bayerstadler, A., et al., 2021).

In questo ambito, DHL ha sviluppato un PoC per ottimizzare i pacchi e i percorsi di consegna globali, migliorando così la velocità e la qualità del servizio. Riguardo alle applicazioni nei trasporti invece, Volkswagen ha sviluppato con D-Wave Systems un progetto pilota per l'ottimizzazione delle tratte dei bus nella città di Lisbona (CB Insights., 2021). Le applicazioni nel settore manifatturiero grazie a ottimizzazione, simulazione e quantum machine learning hanno impatto su molti settori industriali. IBM identifica questo settore come un target della propria tecnologia, classificando le applicazioni in quattro categorie: discover, design, control, supply (IBM, n.d.).

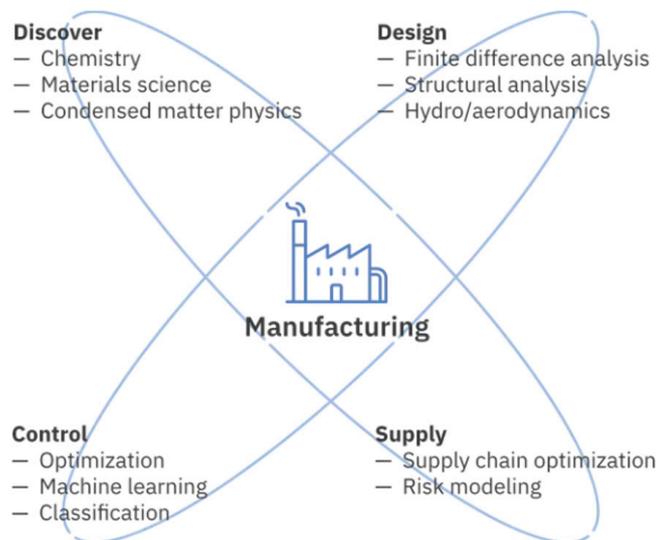


Figura 31: Le applicazioni nel settore manifatturiero del QC
Fonte: IBM - Exploring quantum computing use cases for manufacturing

La categoria discover si concentra su problemi relativi alla simulazione delle molecole, con l'obiettivo di sviluppare materiali con un più alto rapporto forza-peso, batterie con una maggiore densità energetica ed efficientare i processi di sintesi. Un'area di studio che sta guadagnando terreno è la mimica di elementi naturali, che mira a replicare artificialmente sostanze prodotte in natura.

In termini di progettazione, molte industrie manifatturiere come quella aerospaziale sviluppano modelli 3D di componenti e sottocomponenti per studiarne le interazioni, il comportamento chimico e fisico. Grazie alla simulazione quantistica, le interazioni tra i componenti potrebbero essere molto più precise, consentendo di analizzare un maggior numero di variabili.

I processi di controllo odierni sono limitati dall'inefficacia dei computer tradizionali nel valutare

correttamente tutte le variabili: il quantum machine learning e l'ottimizzazione quantistica potrebbero trovare nuovi legami e modelli, ottimizzando così, ad esempio, i flussi di produzione e la programmazione robotica. In termini di supply chain, il Quantum Computing potrebbe aiutare la previsione della domanda di mercato in tempo reale, aumentando la velocità del processo decisionale e diminuendo i rischi di esaurire i prodotti in stock.

Gli altri settori che si prevede otterranno vantaggi dall'adozione del computer quantistico sono la Cybersecurity, che garantirà una maggiore sicurezza di dati ed informazioni grazie alla crittografia quantistica (Bova, F., Goldfarb, A., & Melko, R. G., 2021) l'ambito dei media e delle telecomunicazioni, agricoltura e sicurezza nazionale ma offre applicazioni anche a numerosi altri settori e molti utilizzi restano ancora da scoprire (CB Insights., 2021).

I settori farmaceutico, chimico e dell'energia dovrebbero avere un impatto maggiore entro la fine del decennio, esplodendo nel quinquennio 2030-2035. Tra quelli con prospettive a più lungo termine, invece, spiccano i settori automobilistico, aerospaziale, dei servizi finanziari, delle telecomunicazioni e della logistica.

4.5 Il ruolo del Super Computing per il raggiungimento degli SDGs

Il quantum computing avrà moltissime implicazioni multisetoriali e impatterà sostanzialmente tutti gli aspetti della realtà futura, incluso il progresso verso gli obiettivi di sostenibilità (Shamsrizi, M. et al., 2021). La simulazione ad esempio potrà essere applicata per raggiungere diversi scopi come lo sviluppo di materiali ecologici e componenti chimiche nuove, l'ottimizzazione e il modelling porteranno benefici nella gestione dei rifiuti, del traffico, nella logistica e nelle supply chain, fino all'ottimizzazione del consumo energetico, ed infine il quantum sensing sarà fondamentale nel comprendere in modo più dettagliato e preciso i dati derivanti da fenomeni oppure oggetti di interesse (Hunter, S., et al., 2022). Kowalczyk W.W. della Harvard-spinoff Zapata Computing, una delle principali aziende nell'ambito delle applicazioni software per il quantum computing, ritiene che almeno 5 dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile identificati dall'ONU (SDGs) verranno impattati in modo particolare da questa tecnologia. Questi SDGs sono:

- SDG 2 Zero Hunger: lo sviluppo di nuovi algoritmi sarà cruciale per analizzare la composizione del suolo, la fissazione dell'azoto al posto dell'utilizzo degli attuali fertilizzanti che si basano sul processo Harber-Bosch che è un processo energivoro (Kowalczyk W.W., 2022).



Figura 32: SDGs impattati dalla tecnologia quantistica
Fonte: Elaborazione personale

- SDG 3 Good Health and Well-Being: obiettivo che beneficerà della più veloce ed accurata simulazione e sviluppo di farmaci e altri composti fondamentali per le industrie del settore (Kowalczyk W.W., 2022).
- SDG 6 Clean Water and Sanitation: ottimizzazione della distribuzione dell'acqua e lo sviluppo e la scoperta di nuovi catalizzatori che permettono di preparare prodotti di interesse alimentare ed anche farmaceutico (Kowalczyk W.W., 2022).
- SDG 7 Affordable and Clean Energy: l'obiettivo di raggiungere l'impiego di energia pulita può essere raggiunto tramite l'ottimizzazione energetica, ovvero rendendo i servizi energetici meno costosi, più affidabili ed efficienti. In questo il QC potrebbe contribuire grazie ad algoritmi che permettano di minimizzare i costi di trasporto dell'energia installando in modo ottimale gli impianti nelle regioni più adatte (Trendafilov, I., 2022). Ma anche tramite sviluppi nella scienza dei materiali e nello sviluppo di migliori batterie.
- SDG 13 Climate Action: questo obiettivo sarà favorito dalle migliori analisi e modelli per le previsioni meteorologiche e fisiche, ma anche il risultato di benefici che questa tecnologia porterà in tutti i settori (Kowalczyk W.W., 2022).

McKinsey identifica alcuni dei benefici che questa tecnologia potrebbe garantire in termini di abbattimento delle emissioni di CO₂ e nei processi di rimozione del carbonio, elencate nella Figura 33, alcuni di questi sono lo sviluppo di fertilizzanti verdi, lo sviluppo di batterie con elevate capacità di accumulo di energia e il progresso nella produzione di carburanti sintetici (Cooper, P., et al., 2022).

I benefici riconosciuti a questa tecnologia sono però accompagnati anche da rischi; infatti, l'ingente mole di dati che sarà possibile elaborare potrebbe richiedere molta energia per permetterne l'archiviazione, oppure un consumo di risorse molto più elevato di quello attuale per la generazione ad esempio di nuovi materiali. Inoltre, i sistemi di ottimizzazione potrebbero venire utilizzati per ottenere benefici puramente economici, lontani dai bisogni sociali ed ambientali. Per evitare questi rischi è necessario che i leader delle nuove tecnologie collaborino con gli esperti di ESG per favorire uno sviluppo sostenibile in una più ampia visione etica (Hunter, S., et al., 2022).

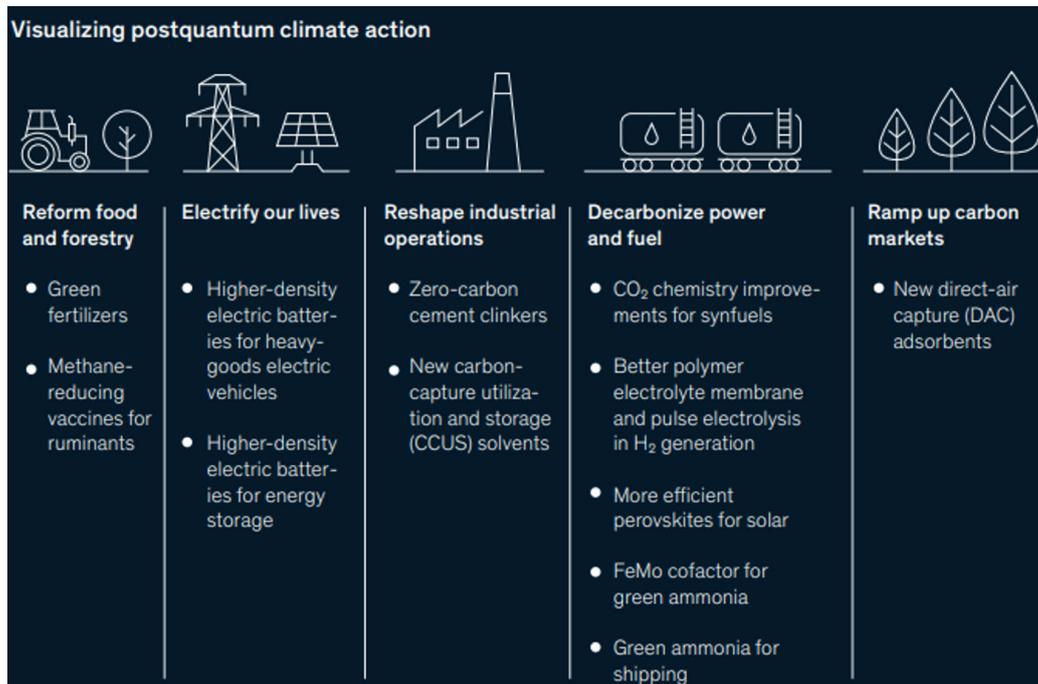


Figura 33: Postquantum Climate Action
 Fonte: Cooper, P., Ernst, P., Kiewell, D., & Pinner, D., 2022

4.6 L'impatto del Super Computing sui modelli di business

Le tecnologie quantistiche, in linea con l'approccio all'innovazione Deep Tech, si combinano con le competenze ed esigenze di altre discipline o settori per portare a risultati innovativi e con applicazioni cross-settoriali. Questa tecnologia porterà cambiamenti significativi anche a livello di modelli di business e i cambiamenti già in atto verranno accelerati tramite la sua adozione. Nonostante la curiosità di numerosi business leaders, sono ancora poche le aziende che si stanno muovendo per favorire l'integrazione di questa tecnologia nelle proprie attività (Streichfuss M. et al., 2021).

L'impatto di questa tecnologia avrà effetti diversi a seconda di quanto "data-intensive" sono i modelli di business delle realtà interessate, in alcune avrà un ruolo marginale, mentre in altre porterà effetti dirompenti. Il modello sviluppato da Streichfuss M. et al., partner di Roland Berger, considera tre variabili per prevedere l'impatto e misurarne le conseguenze sui modelli di business di settori diversi, anche definite le 3V, ovvero: Volume di dati, Varietà di dati e Velocità di elaborazione. La dimensione dell'impatto sarà direttamente proporzionale all'intensità dei dati e quindi alle caratteristiche delle 3V del modello di business delle società

interessate. La Figura 34 mostra una previsione degli impatti in diversi settori e industrie, insieme all'ampiezza dell'impatto stesso. L'asse orizzontale misura la varietà dei dati specifici per il settore, quello verticale la velocità, mentre il volume di dati è rappresentato dai diversi diametri.

I modelli di business e le value chain dell'industria manifatturiera, tra cui automotive, farmaceutica e industria chimica, trarranno i maggiori benefici dal computer quantistico grazie alle capacità di simulazione, machine learning e ottimizzazione. Il settore della sanità beneficerà delle applicazioni di machine learning per lo sviluppo e la scoperta di nuovi materiali e medicinali (Streichfuss M. et al., 2021). Il settore finanziario vedrà una forte crescita di potenziale nell'ottimizzazione e composizione di portafogli ottimali. Insieme a questi settori anche i Media, la logistica e i trasporti trarranno numerosi vantaggi e opportunità.

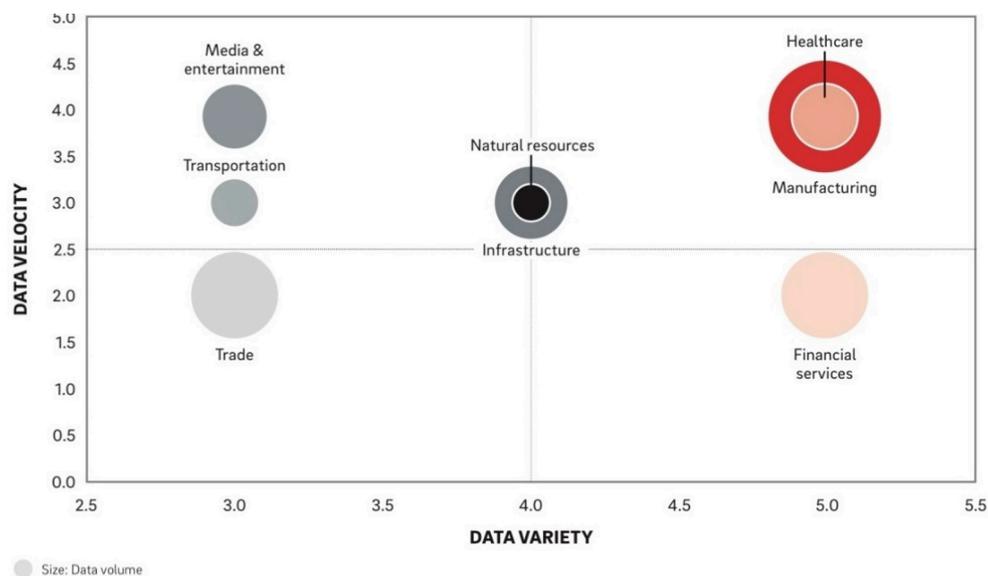


Figura 34: Le 3V e i diversi settori impattati dal QC
Fonte: Streichfuss M. et al., 2022

I computer quantistici avranno un impatto disruptive per tutte le industrie a diversi livelli aziendali, gli early adopters saranno in grado di assicurarsi un vantaggio competitivo grazie alle abilità di questa tecnologia di risolvere una vasta gamma di problemi e abiliteranno nuove scoperte (Guarda T., Torres W., Augusto M.F., 2022). Le maggiori potenzialità che apporterà a livello di business saranno in ambito di ottimizzazione dell'efficienza dei processi a livello sia interno che esterno, lo sviluppo di nuovi prodotti e servizi e la ricerca di fornitori della tecnologia e la creazione di partnership per l'utilizzo della stessa in cloud.

In una prospettiva di breve termine poche aziende costruiranno o possiederanno un computer quantistico proprio, sarà diffuso l'utilizzo della tecnologia tramite servizi di cloud offerti da

provider specializzati. L'utilizzo in cloud permetterà la condivisione delle risorse e favorirà lo sviluppo di economie di scala che di conseguenza porteranno ad una diminuzione dei costi e miglioramento dell'accesso alla tecnologia, favorendone l'aumento della domanda e stimolandone la diffusione (Ruane, J., McAfee, A., & Oliver, W. D., 2021).

L'adozione e la diffusione di queste tecnologie dipenderanno in gran parte dallo sviluppo di un ecosistema, del quale potranno farne parte i maggiori fornitori della tecnologia, start up, aziende di consulenza e istituzioni accademiche, che avrà il ruolo di supportare gli utilizzatori nell'implementazione delle tecnologie quantistiche. Le barriere all'ingresso di questo settore resteranno molto elevate a causa della complessità della materia, la necessità di avere competenze specifiche in ambito quantistico, gli elevati costi della tecnologia e la mancanza di esperti nel mercato del lavoro (Rietsche, R., et al., 2022).

Molti paper e report sottolineano il fatto che ci sia una carenza di talenti e competenze in ambito quantistico, sono richieste infatti competenze ad alto livello di specializzazione, questa carenza si ricollega al fatto che vi è una mancanza di laureati nelle materie STEM (Rietsche, R., et al., 2022). McKinsey nell'ultimo report pubblicato sull'avanzamento del settore nel 2022 mostra un miglioramento ed una conseguente diminuzione del gap esistente, con circa un lavoratore qualificato ogni due offerte di lavoro pubblicate. Una soluzione proposta per colmare questo gap è che vengano istruiti esperti e laureati in ambiti correlati in modo da sviluppare una più robusta classe di talenti (Bogobowicz, M., et al., 2023). Dal punto di vista della formazione universitaria, molte università hanno inserito nella loro offerta corsi di laurea, minor e certificazioni relative alle tecnologie quantistiche, alcune di queste sono la Colorado School of Mines e l'Università PSL di Parigi, che offrono un master in quantum engineering, mentre la TU di Delft offre corsi presso la QuTech Academy (Byrd, G. T., & Ding, Y., 2023). Secondo i dati pubblicati da McKinsey, il maggior numero di talenti con competenze quantistiche o in campi affini si concentra in Europa. Per le aziende sarà fondamentale sviluppare da subito dei team con le migliori competenze, in ottica di innovazione e competitività, in modo da monitorare e scoprire i possibili impatti della tecnologia quantistica sulle proprie realtà (Mohr N., et al., 2022).

I modelli di business tradizionali (primo quadrante) che utilizzano piattaforme cloud per offrire i propri prodotti e servizi digitali come AWS, sono stati adottati anche dai principali player nel settore delle tecnologie quantistiche (secondo quadrante), che offrono l'accesso via Cloud ai propri computer quantistici, un esempio è Rigetti Quantum Cloud Services, il quale offre l'accesso alla propria infrastruttura quantistica che si integra con i tradizionali computer (Rigetti, n.d.).

Un impatto diretto della tecnologia quantistica fa riferimento alle soluzioni personalizzate

sviluppate per i settori tradizionali, applicazioni che garantiscono una maggior capacità di calcolo, velocità, ottimizzazione dei risultati e risoluzione di problemi avanzati in tempi brevi. D-Wave, ad esempio, collabora con attori appartenenti a molteplici settori. Un esempio è Pattinson Food Group (PFG), maggior fornitore di prodotti alimentari e per la salute in Canada, che insieme a D-Wave, ha ottimizzato la logistica del proprio e-commerce, sviluppando un sistema applicativo automatizzato per coordinare l'organizzazione delle consegne dei propri driver, riducendo i tempi per la programmazione dell'80% e assicurando consegne puntuali. PFG è impegnata nella ricerca di un modello per ottimizzare la pianificazione dei turni dei dipendenti nei propri store in Canada e Stati Uniti (D-Wave Systems, n.d.).

Un modello innovativo nel settore del quantum computing è rappresentato da Azure Quantum di Microsoft (Microsoft, n.d.). Il servizio offerto da Azure Quantum è caratterizzato da un ecosistema aperto, una piattaforma cloud che permette di avere accesso, contemporaneamente e da un singolo servizio di cloud, ai più innovativi hardware e software quantistici e soluzioni di ottimizzazione di diversi provider, così da permettere all'utente la scelta più adatta alle proprie necessità (Prateek, K., & Maity, S., 2023). Questo modello può essere comparato al modello di Data Confederation, che rappresenta un modello Platform nel quale il consumatore assume il ruolo di prosumer ed ha accesso a molteplici informazioni diversificate (Bagnoli, C., et al., 2022). Nel caso del computer quantistico vengono messi a disposizione hardware diversi, abilitando un modello di Asset Confederation che garantisce flessibilità e varietà.

Questo modello di Asset Confederation potrà essere esportato anche in ambiti e settori diversi da quello quantistico.

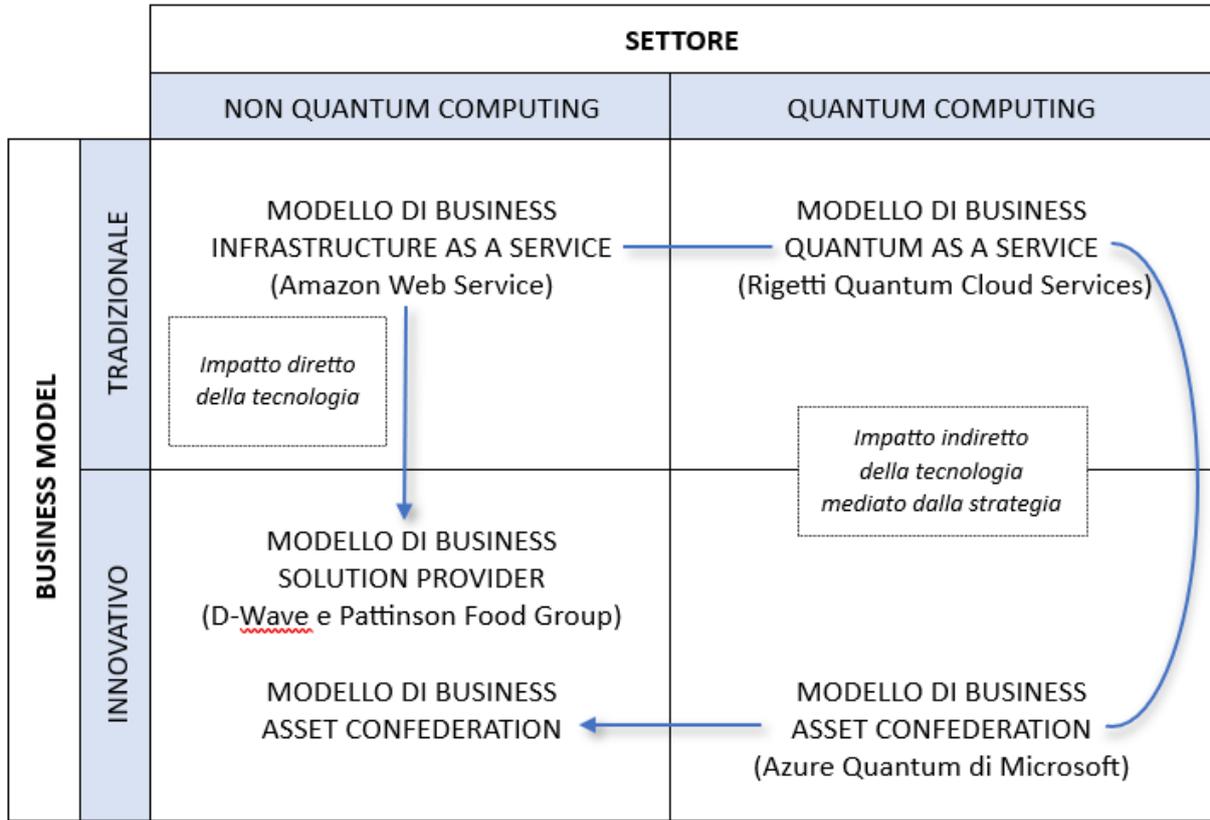


Figura 35: Matrice per l'analisi dell'impatto del Quantum Computing sui modelli di business
 Fonte: Elaborazione propria

La Decarbonization/Carbon Removal

Il cambiamento climatico e la riduzione delle emissioni di gas serra sono una delle maggiori sfide globali da affrontare. Per contrastare l'emergenza del cambiamento climatico, nel 2015, gli Stati membri delle Nazioni Unite hanno siglato l'Accordo di Parigi, ovvero un trattato che fissa degli obiettivi di lungo termine per guidare le azioni dei singoli stati nel processo di riduzione delle emissioni e verso l'obiettivo di mantenere l'aumento delle temperature medie globali al di sotto dei 2°C entro la fine del secolo, limitando l'incremento a 1.5°C, ovvero a livelli preindustriali (Paris Agreement, 2015).

La Commissione Europea a luglio 2021 ha adottato il pacchetto climatico "Fit for 55", che individua le proposte legislative per raggiungere entro il 2030 gli obiettivi del Green Deal; in particolare la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra del 55% rispetto ai livelli del 1990, con l'obiettivo di arrivare alla "carbon neutrality" per il 2050 (Figura 36).

Per raggiungere questi obiettivi ambiziosi sarà necessario nei prossimi anni sviluppare e rendere disponibili sul mercato processi e tecnologie per l'elettrificazione con energie rinnovabili, per l'idrogeno, le bioenergie, la cattura e stoccaggio della CO₂ e la rimozione del carbonio dall'atmosfera. In questa fase di transizione energetica, finalizzata all'abbattimento delle emissioni, insieme alle energie rinnovabili ed alle altre tecniche un ruolo importante è riconosciuto all'energia nucleare che permetterà di compensare la produzione energetica garantendone un approvvigionamento costante.

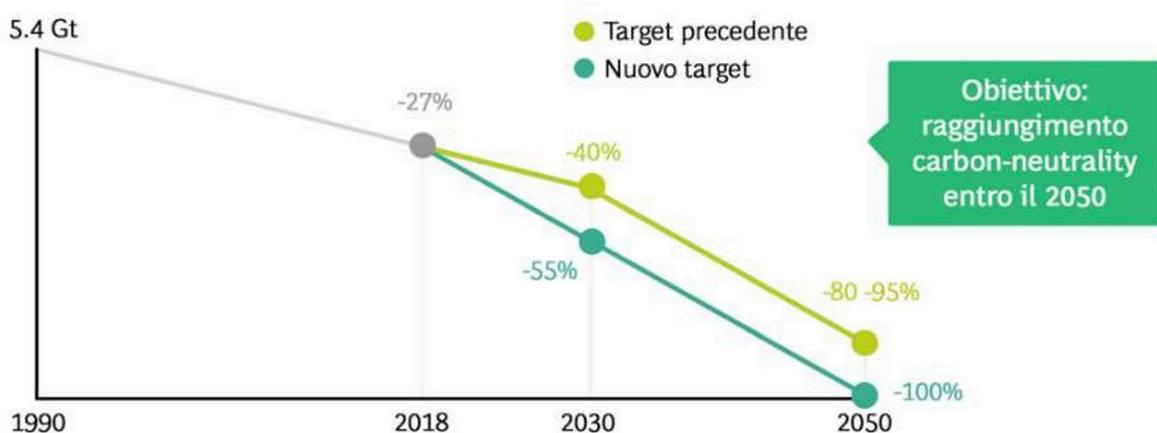


Figura 36: Emissioni di gas serra in Europa, 1990-2050 (Gt CO₂ e inclusivi di Land Use, Land Use Change and Forestry)
Fonte: Romanin, P., et al., (2022).

5.1 La decarbonizzazione industriale

Per decarbonizzazione industriale si intende la riduzione e il successivo azzeramento delle emissioni antropiche derivanti dai processi industriali, con l'obiettivo di mitigare i cambiamenti climatici, vi sono una pluralità di tecnologie che contribuiranno a questo obiettivo da considerare con un approccio sistemico e dinamico²⁰ (Romano M., SIF 2022).

Le tecnologie sono categorizzabili in sei leve (MASE., n.d.), raggruppate in due macrocategorie. La prima è quella delle leve tradizionali, in cui rientrano l'efficienza energetica, intesa come la revisione dei processi produttivi per diminuire il fabbisogno energetico termico ed elettrico, mantenendo invariato l'output di produzione, e l'implementazione di pratiche di economia circolare basate sul reimpiego degli scarti di produzione, l'utilizzo di materiali riciclati e la rilettura dei processi industriali in ottica ciclica. Tra le leve tradizionali si può considerare anche l'impiego di combustibili low carbon, al posto degli attuali combustibili, per ridurre le emissioni del settore dei trasporti.

La seconda macrocategoria comprende le leve strategiche, tra le quali rientrano l'adozione di combustibili rinnovabili, "Green fuels", come idrogeno, bioenergie e carburanti sintetici, l'elettrificazione spinta dei consumi, riadattando i processi produttivi in modo da permettere l'impiego di energia elettrica al posto di combustibili fossili e, infine, il ricorso alle tecniche di cattura e stoccaggio della CO₂, CCUS.

Queste diverse opzioni sono complementari e per essere implementate devono tenere conto delle evoluzioni tecnologiche, applicabilità e competitività nel lungo termine.

Le emissioni industriali vengono classificate in tre categorie (Environmental Protection Agency, n.d.):

1. lo Scope 1 considera le emissioni dirette derivanti da sorgenti controllate o di proprietà della società, come quelle rilasciate dalle attività produttive degli impianti e la combustione di carburanti in loco;
2. lo Scope 2 comprende le emissioni indirette, ovvero derivanti dall'acquisto di elettricità, vapore, calore e/o raffreddamento da parte di terzi;
3. lo Scope 3 infine riguarda le attività di asset non di proprietà o controllati dalla società ma che fanno riferimento a fasi a monte o a valle della catena del valore della società. Includono tutte le emissioni non categorizzate nello scope 1 e 2, come ad esempio i prodotti acquistati, il trasporto delle forniture e i viaggi d'affari, lo smaltimento dei prodotti e l'utilizzo di quelli venduti.

In termini di emissioni dirette Scope 1, l'industria italiana è al primo posto con emissioni di

²⁰ Intervento del Professor Romano Matteo, professore ordinario di System for Energy and Environment del Politecnico di Milano, ospite durante l'evento SIF 2022.

CO2 equivalenti a 84 milioni di tonnellate, pari al 20% del totale italiano (Figura 37). Di queste 84 milioni di tonnellate di CO2 equivalente, circa il 64% sono attribuibili ai settori Hard to Abate, ovvero: Chimica, Cemento, Acciaio a ciclo integrato, Acciaio da forno elettrico, Carta, Ceramica, Vetro e Fonderie.

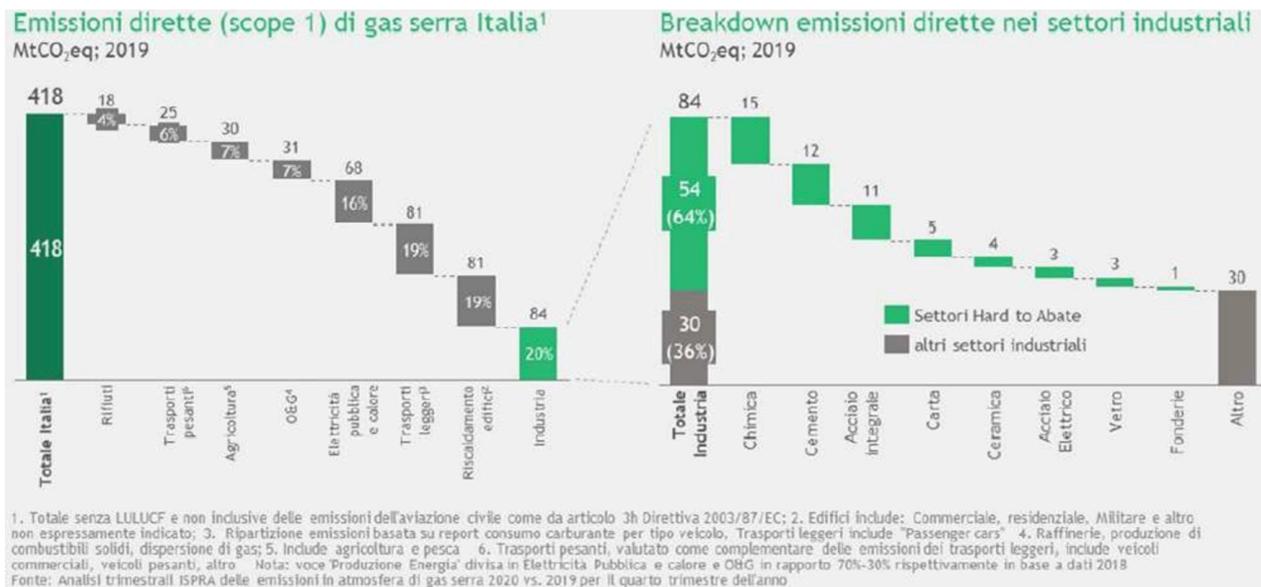


Figura 37: L'industria concorre al 20% delle emissioni dirette nazionali di CO2
Fonte: Romanin, P., et al., (2022)

Questi settori hanno un ruolo cruciale nel contesto industriale italiano, in quanto rappresentano la filiera di attività a monte che fornisce materie prime a molti settori ed è di primaria importanza anche sotto il profilo occupazionale ed economico. Le stime di uno studio condotto da BCG prevedono una crescita dei volumi di produzione e un conseguente aumento di emissioni di Scope 1, in mancanza di misure atte a decarbonizzare i settori Hard to Abate.

Lo stesso studio stima che al 2030 più del 40% delle emissioni di tali settori non sarà coperta da free allowance di CO2 equivalente. La Commissione Europea, infatti, nel luglio 2021 ha proposto di alzare l'ambizione sui target di riduzione delle emissioni di gas serra proponendo di accelerare la riduzione delle quote gratuite previste dal meccanismo ETS, passando da un tasso di riduzione del 2,2% annuo al 4,2% annuo.

Inoltre, i principali consensus proiettano uno scenario di prezzi della CO2 in aumento dagli oltre 65€/tonnellata raggiunti nel 2021 fino a 90-130€/tonnellata al 2030 (Figura 38). L'aumento dei prezzi insieme alla diminuzione delle quote ETS concesse porterebbe ad un'erosione del Margine Operativo Lordo di questi settori. Le ultime previsioni di Statista prevedono un aumento dei prezzi che potrebbe raggiungere i 224\$/t entro il 2030 (Tiseo, I., 2023). Rispetto ai prezzi del 2021, infatti, il 2022 ha visto dei valori in crescita, con un prezzo medio annuo di

circa 81€/t, che nel primo quadrimestre del 2023 rimane in crescita con un valore medio di 88€/t (Sendeco2, n.d.).

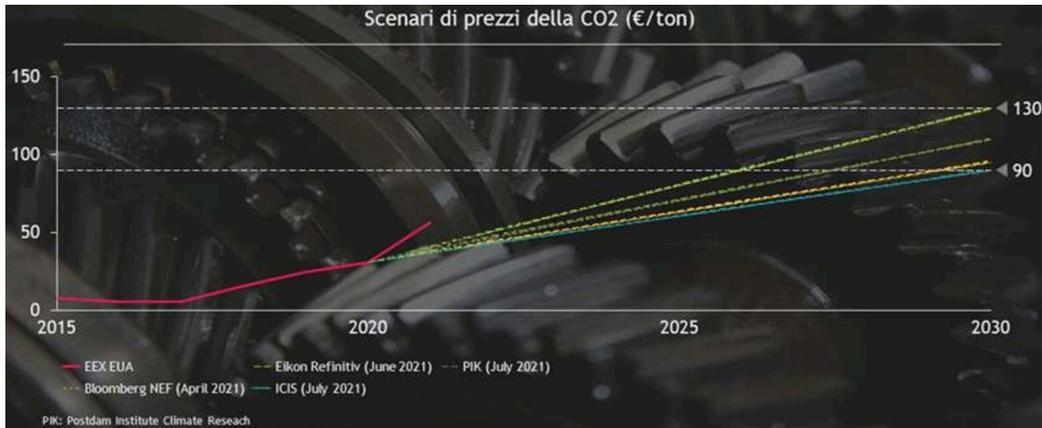


Figura 38: Scenari relativi ai prezzi della CO2
Fonte: Romanin, P., et al., (2022)

Lo studio condotto da BCG stima che sia possibile abbattere al 2050 le emissioni dei settori Hard to Abate di oltre il 95% in base alla disponibilità e sostenibilità delle tecnologie e dei vettori energetici identificati. L'80% dell'abbattimento è generato da tre leve strategiche:

- CCUS, ~35% delle emissioni abbattute;
- Green fuels (biogas o idrogeno), 35% delle emissioni abbattute;
- Elettrificazione, ~5-10% delle emissioni abbattute.

L'applicazione delle leve differisce in maniera sostanziale da settore a settore, in funzione della loro applicabilità ai processi produttivi di riferimento (Figura 39) ed avrà un impatto considerevole sull'economia italiana: BCG stima che l'impatto potenziale GDP, cumulato fino al 2030, sarà compreso tra i 9 e i 10 miliardi di euro.

Nell'ambito dei settori Hard to abate, molti progetti stanno sviluppando tecnologie innovative per renderne possibile la decarbonizzazione. Nel settore del cemento, ad esempio, sono attivi alcuni grandi progetti europei che si impegnano a produrre cemento a basse emissioni su scala commerciale con cattura e stoccaggio geologico della CO2. "I principali colli di bottiglia che incontrano questi progetti sono la velocità di implementazione, mantenendo la produzione ai livelli attuali per il settore del cemento servirà installare infrastrutture con una capacità di cattura di 1MT/y settimanale per i prossimi 30 anni, e lo sviluppo di un'infrastruttura di trasporto e stoccaggio adeguata" (Romano M., SIF 2022). Tra i progetti attivi vi è il progetto

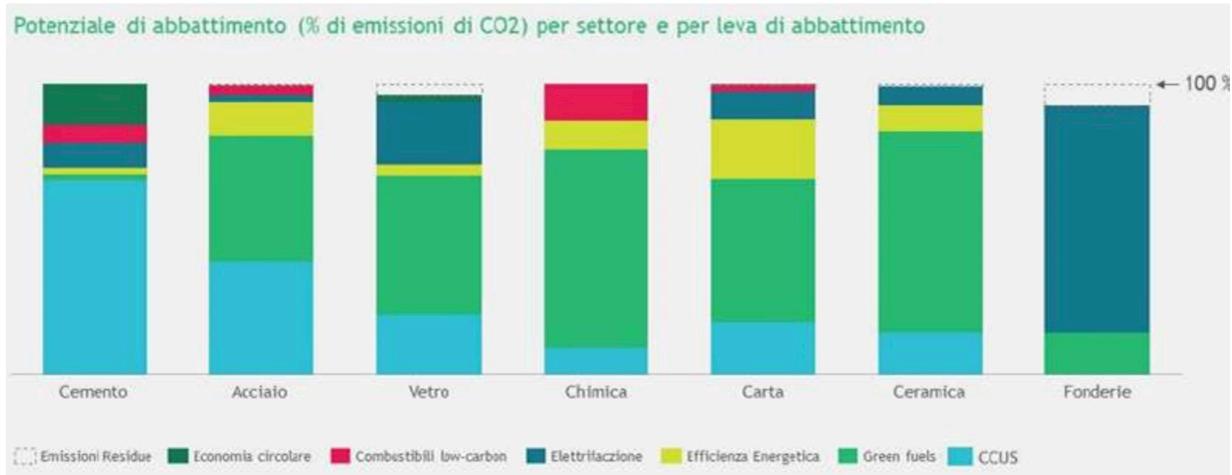


Figura 39: Potenziale di abbattimento emissioni di CO₂ per settore e per leva di abbattimento
Fonte: Romanin, P., et al., (2022)

Cleaner per il settore del cemento (Buzzi ²¹, A., SIF, 2022).

5.1.1 Il contributo dell'energia nucleare alla decarbonizzazione

L'obiettivo di contenere le temperature globali entro l'1.5°C utilizzando solamente fonti rinnovabili e tramite gli impianti e le tecniche disponibili oggi sul mercato è una sfida difficilmente raggiungibile. Come si legge dall'ultimo report pubblicato dall'International Atomic Energy Agency (IAEA), l'energia nucleare riveste un ruolo chiave nel permettere di raggiungere la Net Zero, soprattutto se integrata ad altre fonti low carbon, poiché supporta la produzione intermittente di energia delle rinnovabili con una fornitura continua, a basse emissioni, affidabile e sicura. Oltre al contributo nell'emergenza climatica, l'energia nucleare permetterebbe anche di superare la crisi energetica causata dalla dipendenza da fonti come gas e carbone da altri paesi, come successo nel 2022 in conseguenza dell'invasione russa in Ucraina (Cometto, M., et al., IAEA, 2022).

La IEA ipotizza tre differenti scenari per il settore energetico: lo scenario STEPS che si basa sulle azioni effettivamente intraprese dai governi per raggiungere gli obiettivi prefissati; lo scenario APS che fa riferimento a tutti gli impegni ed i progetti dichiarati per raggiungere la neutralità climatica; ed infine lo scenario NZE, Net Zero Emission, che ha come ambizioso obiettivo il contenimento delle temperature entro 1.5°C entro il 2050 (IEA, 2022). Tutti e tre gli scenari sottolineano l'importanza di stimolare gli investimenti in fonti energetiche a basse emissioni, come l'eolico, il solare, il nucleare, l'idrogeno e le tecniche di CCUS e prevedono

²¹ Buzzi Antonio COO di Cemento Italia Buzzi Unicem, ospite durante l'evento SIF 2022.



Cleanker è un progetto di ricerca europeo H2020 di cattura della CO₂ che coinvolge 13 partner, localizzati in cinque stati della UE, in Svizzera ed in Cina, e riguarda lo sviluppo di una tecnologia per la riduzione delle emissioni dell'industria del cemento, uno dei settori maggiormente energivori e dei quali è molto fondamentale abbattere le emissioni (Cleanker LEAP., n.d.).

Le emissioni di CO₂ nella produzione del cemento sono inevitabili a causa del processo di calcinazione del calcare, la principale materia prima impiegata nel processo produttivo. Questo progetto mira a dimostrare l'efficacia della tecnologia "Calcium Looping", una tecnica per la separazione e cattura della CO₂ prodotta durante i processi produttivi fino al 90%, che ne evita l'immissione in atmosfera e ne permette lo stoccaggio o l'impiego come materia prima in prodotti chimici di base, combustibili, prodotti alimentari o cosmetici, oppure per altri scopi industriali (Buzzi A., SIF 2022).

Un impianto pilota per la dimostrazione della tecnologia è attivo presso la cementeria Buzzi Unicem di Vernasca (Piacenza) e rappresenta un'innovazione importante per il settore e per la valutazione della sostenibilità del progetto (Buzzi Unicem Italia., 2020).

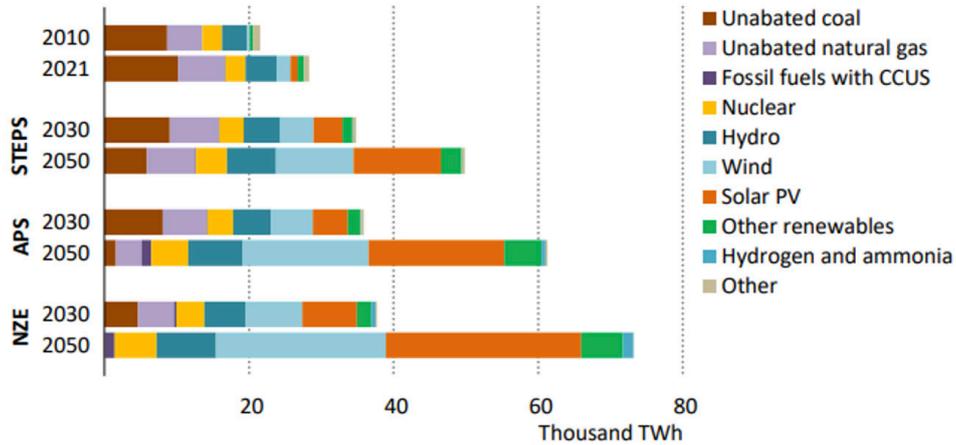


Immagine: I partner del progetto Cleanker, Fonte: Cleanker LEAP, n.d.

diversi livelli di adozione delle stesse.

Come si vede dal grafico nella Figura 40 l'energia nucleare è presente in tutti gli scenari in forma più o meno significativa per la generazione di energia elettrica su scala globale fino al 2050, con il ruolo di integrare le quote di energia prodotte dalle altre fonti e garantire una più rapida transizione.

Nonostante le valutazioni scientifiche di queste organizzazioni che riconoscono l'importante ruolo dell'energia nucleare nella transizione energetica, l'effettiva adozione e il progresso di queste tecnologie si scontrano ancora con l'incerta accettazione da parte dell'opinione pubblica e con il precario sostegno politico. L'interesse verso l'atomic renaissance e la ricerca



IEA. CC BY 4.0.

Electricity generation from unabated fossil fuels peak by 2030, as low-emissions sources ramp up and renewables dominate electricity supply in all scenarios by 2050

Figura 40: Global electricity generation by source and scenario, 2010-2050
Fonte: IEA World Energy Outlook, 2022

di fonti a basse emissioni sta crescendo anche in conseguenza dei cambiamenti climatici ai quali stiamo assistendo ²²(Volpe F., SIF 2022).

L'evoluzione dell'energia nucleare persegue quattro vie principali simultaneamente, come sottolineato da Starovic O. e De Temmerman G.²³ durante l'evento SIF 2022, che hanno l'obiettivo di rendere questa fonte più sicura e cost-effective. Al contempo è necessario che vengano superate molte sfide nel settore, dal punto di vista delle regolamentazioni, ma anche atte a colmare la mancanza di nuovi lavoratori specializzati e le sfide tecniche che le nuove tecnologie portano con sé.

La prima via è quella di estendere la vita utile dei reattori che sono attualmente in funzione in modo da continuare a garantire l'approvvigionamento energetico e contenere i costi per la costruzione di nuovi impianti. Ultra Energy, azienda leader nello sviluppo di sensori, strumenti e controlli di sicurezza per diverse industrie, tra cui il nucleare, fornisce supporto nei progetti di estensione della vita utile dei reattori, riprogrammando, riprogettando o rinnovando i sistemi obsoleti (Ultra Energy, n.d.).

La seconda via prevede di proseguire nella costruzione degli attuali reattori di terza generazione,

²² Volpe Francesco è fondatore, CEO e CTO di Renaissance Fusion, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

²³ Starovic O. è presidente di Energy Ultra Electronics Group, e De Temmerman G. è Managing Director di Zenon Research, entrambi sono stati ospiti durante lo Strategy Innovation Forum 2022

come il reattore OL3 del Olkiluoto Nuclear Power Plant in Finlandia recentemente reso operativo, e gli Small Modular Reactor, ovvero reattori di dimensioni inferiori, che permettono di ridurre i tempi di sviluppo e costruzione, ma si trovano ancora in una prima fase di implementazione (Cramer, C., et al., 2023).

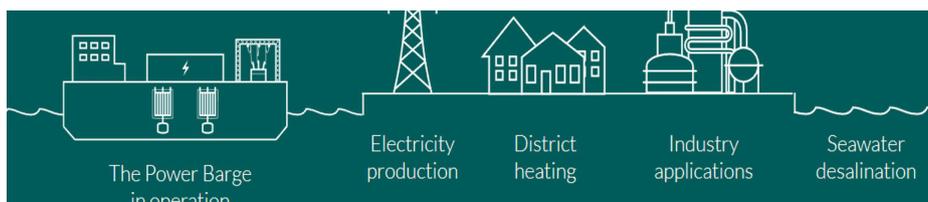
La terza via è quella dello sviluppo e costruzione di reattori di quarta generazione, che si presentano in differenti versioni e modelli, ma hanno caratteristiche comuni basate sulle tecnologie offerte dalle innovazioni nel settore. I reattori Gen-IV hanno dimensioni più ridotte agli SMR e possono essere impiegati per alimentare singoli impianti o aree remote. Questi reattori, inoltre, raggiungono temperature molto più elevate di quelli odierni, sono più efficienti e, a parità di costo, generano maggiore energia (Starovic O., SIF 2022); spesso non utilizzano acqua per il raffreddamento ma altri materiali, come i sali fusi. Ultra Energy è impegnata anche nel sostenere e collaborare con gli sviluppatori di questi di reattori in modo da accelerare i tempi di approvazione regolamentare e della successiva commercializzazione, poiché questi reattori sono ancora in fase progettuale e vi sono solamente pochi casi dimostrativi. Due esempi di questa tecnologia sono il progetto Seaborg, (Hamann, N.A. ²⁴, SIF 2022) e le Nuclear Battery (Casula, R. ²⁵, SIF 2022)



Seaborg è una realtà impegnata nello sviluppo di reattori di quarta generazione, Compact Molten Salt Reactor (CMSR), con l'obiettivo di fornire una tra le tecnologie più sostenibili che generano energia continua e contribuiscono all'abbattimento delle emissioni. La tecnologia sviluppata riutilizza i suoi stessi scarti, in un'ottica di circolarità (Hamann N.A., SIF 2022).

I reattori vengono installati e distribuiti su piattaforme galleggianti mobili e modulari collegate alla rete a terra. Sfruttano la tecnologia dei reattori a sale fuso, che permette di evitare i rischi di esplosione o rilascio di gas radioattivi tramite aria o acqua.

Ciascun reattore sviluppato da Seaborg è in grado di generare corrente ed allo stesso tempo permette di generare acqua pulita desalinizzata, inoltre sfruttando il calore rilasciato dal reattore permette di produrre, in impianti combinati, idrogeno, carburanti sintetici e fertilizzanti (Seaborg, n.d.). Con la diffusione delle energie rinnovabili intermittenti si sta assistendo allo sviluppo di reti distribuite di energia, che devono essere integrate da fonti programmabili e stabili. Seaborg offre una tecnologia complementare per garantire stabilità alle altre fonti energetiche, producendo energia quando necessario e combinandosi a questi modelli distribuiti (Immagine).



²⁴ Hamann N.A. è Head of Business Development di Seaborg Technologies, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022

²⁵ Casula R. è Co-founder e Chairman di DuckToSwan, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.

Le Nuclear Battery sono dei microreattori abbinati ad una turbina in grado di fornire calore ed elettricità ad un costo molto contenuto e con caratteristiche di sicurezza elevate senza emissioni (Norman Foster Foundation, 2022). Il progetto è ancora in fase di sviluppo in collaborazione tra la Norman Foster Foundation ed il Center for Advanced Nuclear Energy Systems (CANES) del MIT, che fanno parte del gruppo di esperti che si occupano di studiare sistemi avanzati di produzione di energia e calore (Buongiorno, J., et al., 2021). Queste batterie potranno essere contenute in dei container: si passerà così da impianti che richiedono spazi, tempi e costi di costruzione elevati, ad un prodotto che viene realizzato industrialmente e non occupa ampie superfici.

Si prevede che queste batterie saranno adatte a servire tutti i settori dell'economia, generando energia e calore in modo costante ed affidabile e permetteranno di rivoluzionare la fornitura di energia, creando una rete distribuita ed eliminando la necessità di avere infrastrutture centralizzate di produzione, trasmissione e distribuzione (Casula, R., SIF 2022).

Le tre vie illustrate finora si basano su tecnologie che sfruttano la fissione per la produzione di energia, l'ultima via è rappresentata invece dai progressi raggiunti per rendere possibile la realizzazione di un reattore a fusione. La fusione nucleare si basa sul processo inverso rispetto alla fissione: prevede infatti la combinazione di nuclei che collidono e formano nuovi nuclei rilasciando energia in misura molto maggiore di quella che consumano (Volpe F., SIF 2022), il processo che avviene all'interno del sole e delle stelle (IAEA, 2022).

L'interesse verso la fusione nucleare si è rafforzato a partire dai primi programmi del 1950, in quanto è una fonte che permette di generare energia pulita senza limiti, in volumi molto più elevati rispetto a quanto è possibile fare con la fissione, e che sarebbe in grado di soddisfare la domanda globale in modo sicuro ed accessibile, riuscendo a decarbonizzare anche i settori Hard to abate impiegandola come fonte di energia termica. I reattori a fusione e quelli a fissione "si dirigono verso la stessa soluzione ovvero la miniaturizzazione e l'offerta di soluzioni più compatte" (Volpe F., SIF 2022). Renaissance Fusion è una realtà che sta sviluppando un'infrastruttura per la fusione nucleare attraverso dei cilindri magnetici che assemblati generano un circuito superconduttore con un approccio semplificato, più agile, compatto e cost effective (Volpe F., SIF 2022).

Lo sviluppo di un reattore a fusione è ancora in fase sperimentale e ci sono pareri discordanti sul quando questa tecnologia sarà pronta e commercializzabile. Per la prima volta, a dicembre 2022, in un laboratorio sperimentale in California, è stata prodotta più energia di quanta impiegata per innescare la reazione di fusione, un grande traguardo verso il raggiungimento della produzione di energia pulita dalla fusione (LLNL, 2022).

In Francia è in corso la costruzione del più grande impianto a fusione al mondo, il progetto ITER, al quale partecipano 27 stati membri dell'Unione Europea, la Svizzera, il Regno Unito, la Cina, l'India, il Giappone, la Corea, la Russia e gli Stati Uniti. Questo progetto stimola l'innovazione e la collaborazione a livello internazionale, contribuendo alla crescita economica, offrendo

opportunità lavorative e nuove possibilità per il futuro dell'energia (IAEA, 2021). Tuttavia si è ancora lontani da un'applicazione commerciale.

5.2 La Carbon Dioxide Removal (CDR)

“Per “Carbon Dioxide Removal” si intende la rimozione dell’anidride carbonica nell’atmosfera con sistemi a emissioni negative, la IEA stima che sarà necessaria nel lungo termine una capacità di cattura di circa 2 miliardi di tonnellate all’anno” (Romano M., SIF 2022). Esistono tre approcci attraverso i quali è possibile rimuovere l’anidride carbonica dall’atmosfera:

1. metodi biologici, che utilizzano foreste, sistemi agricoli e ambienti marini per catturare e stoccare carbonio;
2. metodi geologici, che catturano l’anidride carbonica con vari mezzi e la stoccano nel sottosuolo o nella roccia;
3. metodi di utilizzo del carbonio, che catturano l’anidride carbonica e la utilizzano per produrre prodotti a lunga durata come plastica o cemento.

Sebbene alcuni di questi metodi siano già in uso o in fase di sviluppo, il tasso complessivo di rimozione del carbonio dovrebbe crescere enormemente per influenzare in modo significativo le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica.

Rimuovere il carbonio dall’atmosfera non è un concetto nuovo nell’ambito della politica climatica. Tuttavia, la natura della discussione è cambiata radicalmente negli ultimi anni, quando la portata della sfida al cambiamento climatico è diventata sempre più evidente.

A livello generale, la rimozione dell’anidride carbonica solleva due problemi principali:

1. Rischio morale: i responsabili politici e l’opinione pubblica potrebbero utilizzare la prospettiva di una rimozione del carbonio su larga scala come scusa per evitare di ridurre le emissioni di gas serra o per procrastinare l’adattamento ai probabili impatti. Costruire politiche climatiche a breve termine, partendo dal presupposto che la rimozione del carbonio sarà in grado di rimuovere miliardi di tonnellate di CO₂ negli anni a venire, equivale a una “scommessa ad alto rischio” con il futuro del pianeta.
2. Riadattamento: scenario in cui le temperature raggiungono un picco al di sopra dell’obiettivo desiderato e scendono gradualmente di nuovo al diminuire dei livelli di CO₂. Gli ecosistemi che si sono dovuti adattare alle temperature più elevate devono riadattarsi di fronte alla diminuzione delle temperature.

Considerando queste problematiche, il dibattito sulla rimozione del carbonio non può non riguardare alcuni aspetti chiave quali: le forme di rimozione del carbonio da utilizzare, dove, quando e quanto usarle, e la definizione delle politiche necessarie per promuovere una rimozione responsabile del carbonio.

Gli scienziati hanno identificato un'ampia gamma di tecniche CDR (Carbon Dioxide Removal) per rimuovere il carbonio dall'atmosfera. Questi approcci differiscono in molti modi, non solo in termini di quanto carbonio possono rimuovere e a quale costo, ma anche per i tipi di rischi e benefici associati che comportano, nonché per i meccanismi con cui catturano il carbonio e le forme in cui lo stoccano.

Il modo migliore per valutare la rimozione del carbonio è quello di un "portafoglio di opzioni" da combinare e abbinare per elaborare la migliore politica climatica globale possibile. Le otto principali tecniche di rimozione del carbonio, che potrebbero essere presenti in tale "portafoglio", sono:

1. Afforestation/reforestation (AF/RF): si tratta di piantare o ripristinare foreste su vaste aree. Le nuove foreste assorbono e trattengono il carbonio mentre crescono, con tassi ed effetti che dipendono dal mix di alberi piantati.
2. Bioenergy with carbon capture and storage (BECCS): consiste nel coltivare o accumulare biomassa per produrre biocarburanti, calore o energia elettrica e, successivamente, catturare e stoccare la CO₂ rilasciata nel processo. Sono stati annunciati due progetti, uno in Svezia ed uno nel Regno Unito, che promettono di catturare e stoccare elevate quantità di CO₂ (Romano M., SIF 2022).
3. Biochar: si tratta di un tipo di carbone prodotto riscaldando la biomassa in un ambiente a basso contenuto di ossigeno. Tale carbone, quando viene interrato, consente di trattenere il carbonio per decenni o secoli, migliorando la qualità del suolo.
4. Coastal "blue carbon": questa tecnica prevede il ripristino e una migliore gestione delle zone umide costiere e delle praterie di fanerogame per migliorare il loro assorbimento di CO₂.
5. Direct air capture and carbon storage (DACCS): consiste in una serie di processi che catturano CO₂ con macchine appositamente costruite e la stoccano negli stessi tipi di serbatoi geologici o prodotti a lunga durata utilizzati per il BECCS.
6. Mineralizzazione potenziata (o alterazione degli agenti atmosferici): si tratta di un processo che inizia con l'estrazione di tipi specifici di roccia, come l'olivina o il basalto. Le rocce vengono macinate sino a diventare polvere da disseminare sui terreni; tale polvere reagisce con l'aria per formare minerali di carbonato che consentono di migliorare la qualità del suolo.
7. Alcalinizzazione degli oceani: consiste nella diffusione di sostanze alcaline (come la calce)

nell'oceano per assorbire la CO₂.

8. Stoccaggio del carbonio nel suolo: insieme di pratiche finalizzate ad aumentare la quantità di carbonio immagazzinata nel suolo, in particolare in quelli agricoli.

Le differenze esistenti tra i metodi analizzati rivelano un'ulteriore ragione per pensare alla rimozione del carbonio in termini di "portafoglio di opzioni": la rilevanza del timing e del sequenziamento. Afforestation/reforestation (AF/RF), Coastal "blue carbon" e lo stoccaggio del carbonio nel suolo si prestano ad un'adozione e ad un utilizzo diffuso. Inoltre, queste opzioni relativamente a basso costo forniscono importanti vantaggi nel breve termine, come la protezione della biodiversità, la fornitura di servizi ecosistemici e la promozione della sicurezza alimentare. Anche Biochar si adatta a questa descrizione. Queste opzioni, tuttavia, devono affrontare due problemi: sono saturabili, il che significa che esiste un limite alla quantità di carbonio che può essere stoccata attraverso ciascun metodo, e nessuna di queste raggiunge lo stoccaggio permanente, poiché le emissioni catturate potrebbero essere rilasciate attraverso il deterioramento delle foreste, delle zone umide e del suolo.

Le altre opzioni (BECCS, DACCS, mineralizzazione potenziata e alcalinizzazione degli oceani) sono potenzialmente in grado di stoccare in modo permanente quantità estremamente elevate di CO₂, ma sono generalmente più costose, necessitano di più tempo per poter scalare e dipendono maggiormente da abbondanti fonti di energia a basse emissioni di carbonio (Figura 41).

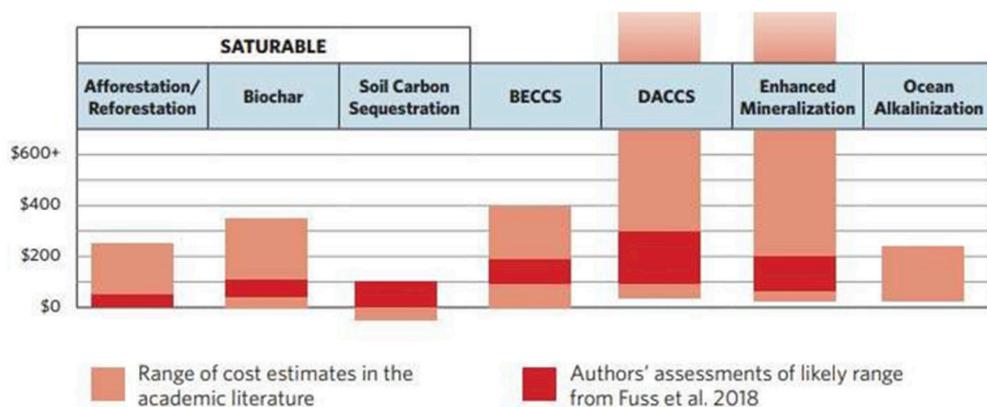


Figura 41: Range di costi stimati (US\$/t CO₂)

Fonte: Institute for Carbon Removal Law and Policy, American University, 2018

È importante evidenziare che, ad eccezione dei progetti AF/RF che sono già in corso e sono ben integrati nelle politiche esistenti, le altre tecniche di rimozione del carbonio (specialmente DACCS, che è quella con il più alto potenziale cumulato) acquisiranno un ruolo significativo

nel medio-lungo termine, principalmente per due motivi: sono ancora tecnologicamente poco mature e necessitano di grandi quantità di elettricità rinnovabile (oggi ancora piuttosto scarsa e da utilizzarsi preferibilmente in applicazioni a più alto impatto di decarbonizzazione).

Nel delineare le strategie climatiche a lungo termine, pertanto, è necessario ragionare sulle modalità attraverso cui un portafoglio di approcci volti alla rimozione del carbonio deve cambiare nel tempo per combinare opportunità che si sviluppano su differenti orizzonti temporali.

In questo quadro riveste un ruolo importante l'idrogeno "verde" da elettrolisi, che contribuirà all'accumulo stagionale e al trasporto dell'energia rinnovabile su lunghe distanze. L'idrogeno verde si trova in competizione tecnologica con l'elettrificazione diretta e le tecniche di CCS, che risultano essere spesso più efficienti e meno costose; la sua adozione inoltre potrebbe accrescere la competizione geografica o la delocalizzazione di alcune produzioni nei paesi con alta insolazione e bassa densità di popolazione, dove la produzione da elettrolisi può essere fatta a costi molto inferiori di quanto possa essere fatto in Europa (Romano M., SIF 2022).

L'ultimo rapporto di sintesi delle Nazioni Unite sul clima (IPCC., n.d.) enfatizza l'importanza delle tecniche di carbon removal: rivestono infatti un ruolo determinante nell'eliminazione dell'eccesso di anidride carbonica immessa in atmosfera, che dal 2011 ha superato i 34 miliardi di tonnellate annue (Tiseo, I., 2023), e svolgono un'azione complementare alle tecniche impiegate nella decarbonizzazione industriale. Tra le varie tecniche, quelle di DACCS, ad esempio, sono lontane dalla maturità commerciale, ma esistono alcuni impianti pilota, uno di questi l'impianto di Climeworks, che già offre la possibilità di compensare le proprie emissioni grazie alla CO₂ catturata dai propri impianti. (Romano M., SIF 2022)

L'anidride carbonica catturata attraverso questi impianti può essere impiegata come materia prima di altri processi produttivi e generare nuovi prodotti, come ad esempio fertilizzanti o combustibili a impatto zero (Bignami, L., 2017). Alcune start up stanno sviluppando anche prodotti d'uso quotidiano tramite la trasformazione della CO₂.



Climeworks è un'azienda svizzera, fondata nel 2009, che si occupa di tecniche di cattura e stoccaggio della CO₂ dall'atmosfera. L'azienda ha realizzato il primo e più grande impianto di Direct Air Capture and Storage (DAC+S) al mondo, denominato Orca. Si trova in Islanda,

località scelta strategicamente per sfruttare l'energia pulita e sostenibile prodotta dagli impianti geotermici presenti nel paese ed anche perché le caratteristiche geologiche dell'isola permettono la conservazione in loco della CO₂ catturata (Climeworks AG., n.d.).

L'impianto Orca cattura circa 4000 tonnellate di CO₂ all'anno, valore di molto inferiore rispetto alle emissioni annue di CO₂, ma che dimostra il successo e la fondamentale importanza di questa tecnologia nell'eliminazione dell'eccesso di anidride carbonica presente in atmosfera. L'azienda, infatti, sta già costruendo un secondo impianto di capacità molto superiori, Mammoth, sempre sull'isola, che arriverà a catturare 36000 tonnellate di CO₂ all'anno quando sarà completamente operativo.

La tecnologia da loro sviluppata cattura la CO₂ direttamente dall'aria. L'aria viene fatta passare attraverso delle grandi ventole in un collettore e al suo interno le molecole di CO₂ vengono catturate da un filtro.

Quando il filtro si satura, il collettore viene isolato e portato ad una temperatura di circa 100°C, permettendo così di estrarre l'anidride carbonica e stoccarla in modo permanente nel sottosuolo, grazie alla tecnologia di un loro partner, Carbfix, che dissolvendo la CO₂ in acqua la fa reagire con il basalto e la trasforma in minerali (Climeworks AG., n.d.).

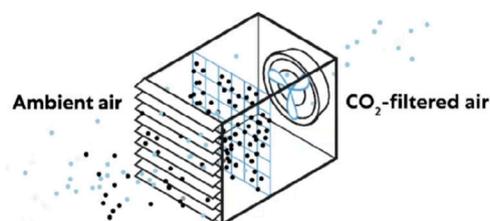


Immagine: raffigurazione funzionamento impianto, Fonte: Climeworks AG

—twelve

Twelve, ad esempio, in partnership con Pangaia Lab ha sviluppato delle lenti per occhiali da sole sostituendo il carbon fossile tradizionalmente impiegato con la CO₂, aprendo le porte ad una possibile trasformazione dei materiali d'uso quotidiano con materiali carbon negative.

Twelve ha poi sviluppato E-Jet, un carburante per Jet derivato dalla CO₂ che permette di ridurre le emissioni testato dalla US Air Force, ed E-Marine, un carburante fossil free. Dalla partnership con Tide ha realizzato il primo detersivo per il bucato a base di CO₂. Grazie a questa tecnologia che trasforma CO₂, produce diversi composti chimici, materiali e carburanti CO₂Made®, sta collaborando con Mercedes Benz per progettare componenti per le auto a base di CO₂ e con la NASA per sviluppare applicazioni, carburanti ed aria per Marte. Twelve ha l'ambizione di eliminare le emissioni globali, e accelerare la corsa verso un futuro carbon zero (Twelve, n.d.).



5.3 Il Carbon Market

Nel contesto attuale, dove le emissioni globali sono in continua crescita e gli ultimi dati pubblicati dall'IPCC non presentano dati favorevoli, si inseriscono i Carbon Market, che contribuiscono a stimolare una efficiente riduzione delle emissioni. I Carbon Market possono essere definiti come dei sistemi di scambio, dove vengono ceduti ed acquistati crediti di carbonio. Un credito di carbonio equivale a una tonnellata di un gas serra del quale è stata ridotta, evitata o sequestrata l'emissione in atmosfera (UNDP, 2022). Esistono due tipi di mercato dei crediti di Carbonio, quello di conformità e quello volontario. Il primo è gestito a livello nazionale o internazionale dalle politiche che hanno l'obiettivo di limitare le emissioni e raggiungere dei target, un esempio è rappresentato dal sistema di scambio emissioni (ETS), ovvero un sistema di scambio attraverso il quale, ad esempio in Unione Europea, vengono rilasciate delle quote massime di emissione di gas serra che i soggetti regolamentati devono rispettare (Kanamura, T., 2021). Le imprese che superano le quote che hanno in concessione devono acquistare nel Carbon Market dei permessi da altri che hanno ancora quote disponibili. Un esempio è rappresentato dal mercato internazionale ETS UE è stato istituito nel 2005, per primo al mondo, e comprende tutti gli stati europei con Islanda, Liechtenstein, Norvegia e Svizzera. Il tetto massimo di quote emesse viene ridotto ogni anno, con l'obiettivo di ridurre le

emissioni entro il 2030, il grafico, Figura 42, mostra il tetto massimo fissato nell'EU ETS negli anni a confronto con le emissioni verificate. Si può osservare che le quote sono storicamente diminuite e si prevede che continueranno a decrescere.

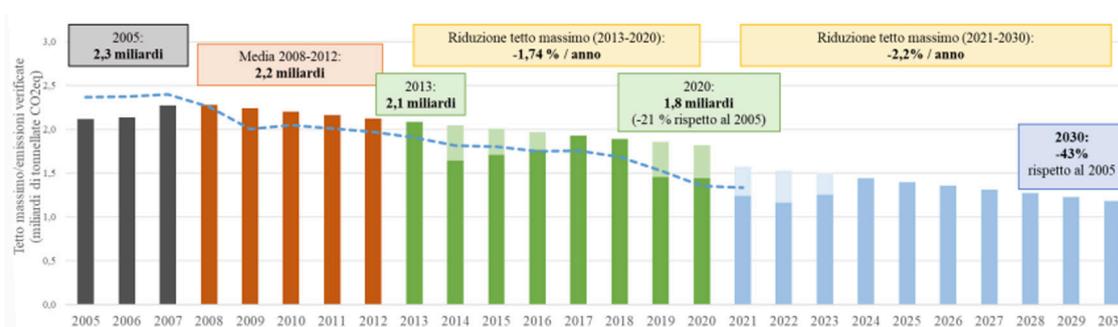


Figura 42: Tetto massimo di emissioni fissato nell'EU ETS ed emissioni verificate
Fonte: Relazione della commissione europea, COM/2021/962 final

Il mercato volontario del carbonio invece fa riferimento ai casi in cui l'emissione, acquisto o vendita di crediti di carbonio avviene su base volontaria. Questi crediti provengono generalmente da enti privati che sviluppano progetti per la riduzione delle emissioni, oppure da programmi governativi di sostenibilità. Nell'ambito dei crediti volontari, il report di Shell e BCG illustra la differenza tra gli Avoidance Credits, ovvero quei crediti generati dalle emissioni evitate o ridotte grazie a soluzioni naturali, come l'aver evitato la deforestazione di un'area, o anche soluzioni basate su tecnologie che forniscono energia rinnovabile e pulita, e i Removal Credits, che si riferiscono invece alle tecniche di rimozione della CO₂ dall'atmosfera, come la produzione di biochar o l'impiego di pratiche tecnologiche come la BECCS. Secondo i dati del report i crediti più diffusi sono oggi quelli Avoidance, ma ci si aspetta che crescano anche i crediti Removal con lo sviluppo e l'adozione di nuove tecnologie.

Non esistono tuttavia degli standard universali per determinare la qualità dei crediti che sono presenti sui mercati e ci sono una serie di rischi legati ai di doppio conteggio delle riduzioni delle emissioni di gas serra, i casi di greenwashing, dove le aziende dichiarano falsamente di offrire prodotti o servizi verdi, dai quali commercializzano crediti, ed in alcuni casi vi sono anche rischi di violazione dei diritti umani. In mancanza di standard condivisi per validare i progetti e certificare i crediti offerti è più difficile valutare l'affidabilità dei crediti offerti sui mercati (Kreibich, N., & Hermwille, L., (2021)

I progetti e le attività che hanno come obiettivo la decarbonizzazione fanno crescere l'interesse verso il Carbon Market, generando anche nuove opportunità di business e stimolando l'innovazione. È importante che vi sia trasparenza nelle transazioni in questi mercati e che i progetti di rimozione o riduzione delle emissioni siano reali ed in linea con i target dei piani di Nationally Determined Contribution (NDC) dei paesi (UNDP., 2022).

5.3.1 Le opportunità offerte dal Carbon Market

Le opportunità ed i benefici che i carbon credits garantiscono alle imprese fanno riferimento sia alla sfera reputazionale, in quanto la compensazione delle emissioni tramite i crediti, oppure le attività intraprese per la decarbonizzazione, mostrano l'impegno verso la sostenibilità, migliorandone l'immagine agli occhi dei consumatori, sia sotto il punto di vista della profittabilità, infatti le aziende che riescono a decarbonizzare i propri processi possono ottenere un beneficio economico dalla vendita delle quote loro concesse e non utilizzate (Borghesi, S., n.d.).

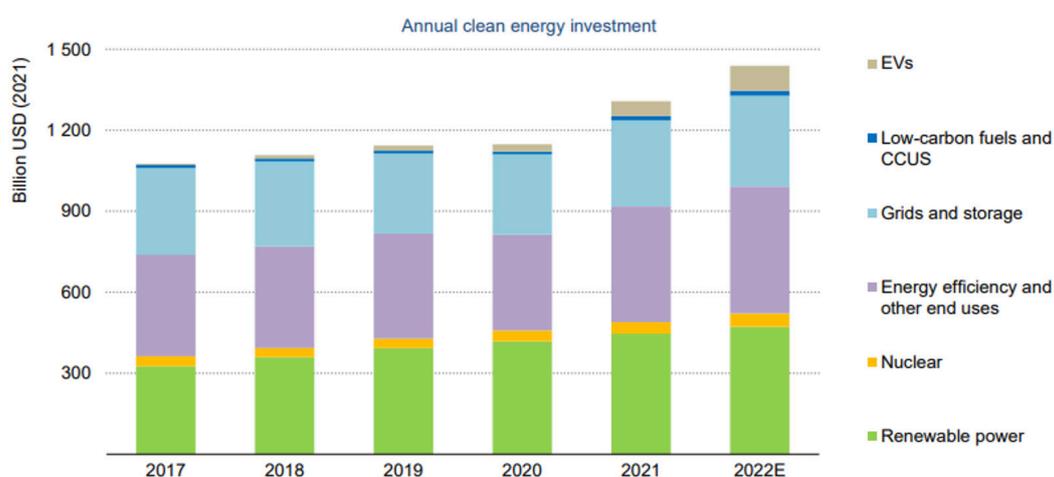
Le quote derivanti dai crediti di conformità sono sicure in quanto sono uno strumento altamente regolato e soggetto ad uno stretto monitoraggio tramite rendicontazioni e standard di conformità, al contrario dei crediti presenti sul mercato volontario che derivano principalmente da progetti privati e non sono soggetti ad una regolamentazione e a degli standard condivisi. Superare i limiti legati alla trasparenza dei crediti volontari e adottare degli standard condivisi per la certificazione dei crediti di qualità risulta essere fondamentale per permettere di rendere profittevole il mercato volontario e abilitare nuove opportunità di business (Azil, A. et al., 2021).

Alcune organizzazioni tramite lo sviluppo di tecnologie per la rimozione del carbonio, l'impiego del carbonio per la produzione di prodotti durevoli in grado di garantirne lo stoccaggio in modo permanente e progetti che offrono soluzioni naturali come la protezione delle foreste o la riforestazione di alcune aree, sono in grado di sfruttare nuove opportunità commerciali e di business parallelamente al loro business principale. La vendita dei crediti derivanti da questi progetti infatti permette di generare ricavi e stimolare la crescita e lo sviluppo del mercato volontario sfruttando modelli di business innovativi (Denig, B., et al., 2023).

Tesla è un esempio di come un'azienda leader nella produzione di veicoli elettrici, che si impegna anche nell'installazione di pannelli solari e nella vendita di sistemi di stoccaggio dell'energia, riesca a generare una porzione significativa dei propri ricavi grazie alla vendita dei crediti ad altre case automobilistiche, generati tramite le proprie attività che hanno impatti positivi nella riduzione delle emissioni di gas serra (L.J., 2023).

5.4 Investimenti e nuove prospettive

I dati pubblicati nell'ultimo report dell'International Energy Agency (IEA, 2022) riguardo l'andamento degli investimenti globali in energia dimostrano come i valori siano in crescita dell'8% per il 2022, per un valore di 2.4 bilioni di Euro. Di questi, la quota destinata agli investimenti in energie pulite rappresenta circa i tre quarti del totale degli investimenti nel settore, ed ha visto la Cina come maggior investitore nel 2021, seguita da Europa e Stati Uniti.



IEA. All rights reserved.

Notes: Energy efficiency and other end-use includes spending on energy efficiency, renewables for end use and electrification in the buildings, transport and industry sectors. Low carbon fuels include modern liquid and gaseous bioenergy, low-carbon hydrogen, as well as hydrogen-based fuels that do not emit any CO2 from fossil fuels directly when used and also emit very little when being produced.

Figura 43: Investimenti annuali in energie pulite
Fonte: IEA, World Energy Investment 2022

Il grafico (Figura 43) mostra la crescita degli investimenti e la relativa distribuzione tra le diverse fonti energetiche. I tre ambiti principali ai quali sono destinati gli investimenti sono le energie rinnovabili, come l'eolico ed il fotovoltaico, l'efficientamento energetico, in particolare quello degli edifici, e l'elettrificazione della mobilità, con investimenti nello sviluppo di batterie con capacità superiori, veicoli alimentati ad idrogeno e progetti di cattura della CO2.

La quota maggiore degli investimenti si concentra tra le economie avanzate e la Cina, mentre la spesa in energie pulite nelle economie in via di sviluppo non ha visto una crescita rispetto ai livelli del 2015, ed inoltre gli scarsi investimenti in questi paesi restano finanziati principalmente da enti pubblici. Per contribuire allo sviluppo ed ad una più equa diffusione degli investimenti a livello globale è fondamentale che cresca il supporto tecnico e finanziario da parte delle economie avanzate, del settore privato e dei proventi derivanti dal Carbon

Market internazionale (IEA, 2022).

Analizzando l'andamento degli investimenti e dei progetti in energie pulite, negli Stati Uniti nel 2022 sono stati destinati \$10 miliardi di dollari per progetti diffusi in tutto il paese, dei quali la maggior parte riguarda principalmente nuovi progetti per lo sviluppo di nuove tecnologie, come la carbon capture and storage, l'idrogeno, la modernizzazione della rete per supportare l'elettrificazione e l'integrazione delle energie rinnovabili, mentre solo una quota minore sarà destinata ai progetti già esistenti per lo sviluppo di energie rinnovabili e l'efficienza energetica (Barth et al., 2023). Bill Gates ha costituito la Breakthrough Energy Ventures, un fondo che soddisfa le necessità delle start up Deep Tech, per sostenere l'avanzamento delle tecnologie e contribuire allo sviluppo di realtà che avranno un impatto nel mitigare i cambiamenti climatici in atto (BCG, 2020).

Inoltre, gli ultimi dati pubblicati dalla EIA mostrano come nel 2022 negli Stati Uniti la produzione energetica da fonti rinnovabili abbia superato quella derivante dal carbone, un progresso importante verso la sostituzione dei combustibili fossili (EIA, n.d.).

Dal punto di vista europeo, nel 2021 è stata presentata la prima Call del Fondo per l'Innovazione dell'Unione Europea nell'ambito dell'EU ETS che ha destinato 1,1 miliardi di euro per il finanziamento di 7 progetti innovativi su larga scala nell'ambito della riduzione delle emissioni, con l'obiettivo di contribuire alla riduzione di oltre 76 milioni di tonnellate di CO₂. Questi progetti mirano ad introdurre sul mercato tecnologie di punta nei settori delle industrie ad alta intensità energetica, dell'idrogeno, della cattura, dell'uso e dello stoccaggio del carbonio e delle energie rinnovabili e sono ubicati nei seguenti paesi: Belgio, Italia, Finlandia, Francia, Paesi Bassi, Norvegia, Spagna e Svezia. I progetti selezionati contribuiranno alla decarbonizzazione dei settori che hanno un ruolo rilevante nel contesto europeo, ma sono difficili da decarbonizzare, come i settori maggiormente energivori dell'acciaio, cemento e le raffinerie, ma anche le industrie di sostanze chimiche e quelle per la produzione di energia elettrica e calore.

A seguito della prima Call, a luglio 2022 l'UE ha presentato una seconda Call, per la quale ha stanziato oltre 1,8 miliardi di euro con l'obiettivo di sovvenzionare 17 progetti innovativi su larga scala nel campo delle tecnologie pulite. I progetti selezionati interessano la produzione, la distribuzione e l'uso dell'idrogeno verde, l'energia eolica offshore, la produzione di moduli fotovoltaici, lo stoccaggio e il riciclaggio delle batterie, la cattura e lo stoccaggio della CO₂ e i combustibili sostenibili. Questi progetti verranno sviluppati in nove paesi (UE) e potenzialmente eviteranno l'emissione in atmosfera di 136 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente nei primi 10 anni di attività. Uno dei progetti selezionati dalla Seconda Call europea è quello di Energy

Dome, realtà impegnata nello sviluppo di una nuova tecnologia per l'accumulo di energia per lunga durata (Oppici ²⁶, F., SIF, 2022).



Figura 44: Mappa progetti innovativi su larga scala selezionati dal fondo per l'innovazione 1^a call
Fonte: EU Innovation Fund. (n.d.)

È stata lanciata a novembre 2022 anche la terza call per il Fondo per l'innovazione, che si è chiusa il 16 marzo 2023, per la quale sono state presentate 239 domande per progetti innovativi. Il Fondo contribuirà anche al piano REPowerEU che ha l'obiettivo di raggiungere l'indipendenza europea dai combustibili fossili russi e promuovere la transizione verde europea. La quota stanziata dal Fondo è raddoppiata rispetto alle precedenti call, ed è di 3 miliardi di euro. Le aree che verranno finanziate sono quattro: "elettrificazione innovativa nell'industria e nell'idrogeno, produzione di tecnologie pulite, progetti pilota di medie dimensioni per la convalida, il collaudo e l'ottimizzazione di soluzioni altamente innovative, ed infine la Decarbonizzazione generale disponibile per tutti i progetti ammissibili al fondo" (EU Innovation Fund., n.d.).

Alcune delle innovazioni sono state raggiunte grazie alla convergenza degli ambiti disciplinari e delle tecnologie portando benefici cross settoriali. È possibile riconoscere i benefici per la generazione di energia pulita garantiti dai progressi della scienza dei materiali e della biologia sintetica. I benefici sono ravvisabili in tutte le fasi, della generazione dell'energia fino alla

²⁶ Francesco Oppici è CO-Founder e responsabile dello sviluppo prodotto e di Business di Energy Dome, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.



ESEMPIO SIF: Energy Dome, scale up con sede a Milano, si inserisce nel contesto dell'innovazione delle tecnologie per l'elettrificazione. Ha sviluppato una batteria che utilizza la CO₂ per l'accumulo di energia a lunga durata su larga scala. Questa tecnologia permette di immagazzinare l'energia prodotta da fonti rinnovabili intermittenti, come l'eolico o l'energia solare e permetterne una maggiore penetrazione all'interno delle reti elettriche. Le batterie

CO₂ sviluppate da Energy Dome funzionano sia in modalità di carica sia di restituzione di potenza alla rete, e sono costruite con materiali facilmente reperibili, acqua, acciaio e CO₂ allo stato liquido, che impiegano in un circuito chiuso senza immissioni in atmosfera. Il primo impianto commerciale di questa tecnologia è stato inaugurato in Sardegna a maggio 2022 ed ha dimostrato le potenzialità di queste batterie che permettono di ridurre notevolmente i costi a pari capacità di altri sistemi di accumulo. Questa tecnologia rappresenta un'alternativa a livello globale per la sostituzione dei combustibili fossili e delle batterie al litio, offrendo la disponibilità di una fonte continuativa affidabile (Energy Dome., n.d.).

trasmissione e successivo stoccaggio, i quantum dot ad esempio possono essere utilizzati nella costruzione dei pannelli solari poiché sono delle particelle semi conduttrici, vi sono anche delle realtà che stanno studiando le possibili applicazioni per i Sali scioli, poiché grazie alle loro proprietà che permettono di immagazzinare calore a temperature elevate per molto tempo, sono materiali adatti allo stoccaggio dell'energia rinnovabile (BCG, 2020).

TWB (Toulouse White Biotechnology), ad esempio, è una realtà pre-industriale di dimostrazione e accelerazione nell'ambito delle biotecnologie, che offre assistenza tecnica, mette a disposizione le tecnologie e i propri laboratori biotecnologici per accelerare lo sviluppo di nuovi prodotti o processi, facilitare le sinergie tra enti di ricerca pubblici e privati, e dare supporto alle start up fornendo competenze tecniche e spazi di lavoro, combinando la biologia con la chimica per rendere scalabili tecnologie con un focus sulla transizione verso la sostenibilità²⁷ (Rolland O., SIF 2022).

Le potenzialità della biologia sintetica hanno impatti anche sulle tecnologie per stimolare la riforestazione e la rimozione della CO₂. Un esempio nel campo della Reforestation è rappresentato da GMO trees, realtà che sviluppa alberi geneticamente modificati, capaci di sequestrare quantità di CO₂ fino a 20 volte più elevate di quanto facciano naturalmente. Dal punto di vista della rimozione della CO₂, Hypergiant ha sviluppato Eos Bioreactor, una soluzione pulita per la rimozione della CO₂ dall'atmosfera tramite alghe che rimuovono 400 volte la CO₂ di quanta ne riesce a catturare un albero, queste alghe poi possono essere trasformate in olio oppure utilizzate per sviluppare fibre di carbonio dalle quali produrre plastica e cosmetici. Kiverdi è una realtà che impiega dei bioreattori per convertire la CO₂ presente in atmosfera in proteine, nutrienti, oli e prodotti bio-based che possono poi avere applicazioni industriali o commerciali (BCG, 2020).

²⁷ Rolland Olivier è il Managing Director di Toulouse White Biotechnology, è stato ospite durante lo Strategy Innovation Forum 2022.

5.5 Il contributo della Decarbonization/Carbon Removal al raggiungimento degli SDGs

Al fine di raggiungere gli obiettivi fissati dagli Accordi di Parigi sarà necessario sviluppare ed applicare congiuntamente le più efficaci tecniche di decarbonizzazione e Carbon Removal, come si legge all'articolo 4 del testo *"In order to achieve the long-term temperature goal set out in Article 2 [...] to achieve a balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the second half of this century"*. È fondamentale, infatti, che le azioni si muovano in entrambe le direzioni, l'impegno nella riduzione delle emissioni e decarbonizzazione dei processi deve avere un ruolo complementare alla rimozione della CO₂, che non deve essere concepita come una soluzione alternativa. L'azione delle attività di Carbon Removal si concentra infatti sulla rimozione della CO₂ che è già presente in atmosfera ed ha raggiunto un livello elevatissimo, mentre è fondamentale che le pratiche di decarbonizzazione prevengano e diminuiscano le emissioni future per raggiungere gli obiettivi ambiziosi di neutralità climatica.

Dal punto di vista della decarbonizzazione, l'energia nucleare contribuirà ad integrare l'energia prodotta tramite fonti rinnovabili. Gli impatti dell'energia nucleare sugli SDGs sono stati individuati dalla IAEA nell'ultimo report pubblicato nel 2022, che evidenzia benefici rispetto a nove dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile, tra cui l'SDG8, l'SDG11 e l'SDG12. Il primo, lavoro dignitoso e crescita economica, riconosce il ruolo dell'energia nucleare nel garantire alti livelli di occupazione, adeguatamente retribuiti ed a lungo termine, e grazie all'affidabilità ed alla quantità di energia prodotta stimolerebbe l'attività economica e la crescita industriale dell'intero sistema in ottica sostenibile. Il secondo, città e comunità sostenibili, trae beneficio dalle caratteristiche di questa fonte in quanto gli impianti richiedono superfici inferiori a quelle di alcune fonti rinnovabili e generano energia per intere città e vaste aree urbane. Il terzo, infine, fa riferimento alla produzione ed al consumo responsabili, il nucleare richiede poche risorse ed in fase di smaltimento la gestione delle scorie è isolata dalla biosfera.

L'impatto di tutte queste tecniche interessa direttamente due degli obiettivi di sviluppo sostenibile, che sono l'SDG 7, ovvero l'obiettivo di utilizzare fonti energetiche pulite ed accessibili, raggiungibile tramite la decarbonizzazione dei processi e l'impiego di fonti rinnovabili, ma anche grazie al contributo dell'energia nucleare, che è una fonte a basse emissioni su larga scala, e l'SDG 13, ovvero l'obiettivo di climate action, che mira a raggiungere la neutralità carbonica entro il 2050 (Algayerova, O., et al., 2021).

L'articolo di Honegger, M., et al., analizza i benefici ed i contributi che la Carbon Removal potrebbe apportare per il raggiungimento degli SDGs, ma ne sottolinea anche i potenziali rischi

ed effetti negativi. L'analisi prende in considerazione le categorie di CDR definite dall'IPCC, analizzate di seguito, ed evidenzia come ciascuna di esse contribuisca alla riduzione delle emissioni e di conseguenza all'SDG 13, ma contemporaneamente provochi effetti sugli altri obiettivi, diretti o indiretti, che possono avere impatti negativi, a causa dei processi che vengono impiegati.

È rilevante analizzare gli impatti anche distinguendo le località nelle quali vengono implementate queste pratiche e le relative tempistiche, in quanto anche le differenze legate alle caratteristiche fisiche, socioeconomiche e politiche rivestono un ruolo importante (Chiela, S., & Selosse, S., 2023). Alcuni degli SDGs impattati sono elencati di seguito, in riferimento a ciascuna delle tecniche di CDR considerate.

Nel caso della **Bioenergy e carbon dioxide capture and storage** (BECCS) viene evidenziata una correlazione positiva con l'SDG 9, in quanto gli investimenti in CCS potrebbero stimolare l'innovazione tecnologica (Honegger, M., Michaelowa A., & Roy J., 2021), allo stesso tempo però, nel contesto europeo, potrebbe avere effetti negativi sugli SDG 6 e 15, la possibile contaminazione delle falde acquifere ad opera dei fertilizzanti basati sull'azoto, necessario nella tecnologia BECCS per il primo e possibili sversamenti di carbonio nei siti di stoccaggio per il secondo (Chiela, S., & Selosse, S., 2023).

La tecnica di **Direct air carbon dioxide capture and storage** (DACCS) richiede molta energia ed ha costi molto elevati, potrebbe impattare negativamente l'SDG 1, in quanto la domanda di energia di questi processi potrebbe entrare in conflitto con l'accesso all'energia delle fasce più povere della popolazione (Honegger, M., et al., 2021).

I casi di **Afforestation and Reforestation** sono metodi per incrementare la biodiversità e la quantità di biomassa, ripristinando gli ecosistemi e contribuendo agli SDG 7, 12 e 15, pur comportando però un rischio per la produzione di cibo e la scarsità dell'acqua, SDG 2. Inoltre, questi metodi richiedono che la riforestazione abbia un alto contenuto di biodiversità per contribuire all'SDG 15 (Chiela, S., & Selosse, S., 2023).

Metodi come il **Biochar e la Soil carbon sequestration** possono avere impatti positivi sulla produzione di cibo, SDG 2, e sulla qualità del suolo, contrastando l'acidificazione dei terreni SDG 15 (Honegger, M., Michaelowa A., & Roy J., 2021).

Le potenziali conseguenze dell'**Ocean alcalization** sono positive per la produzione di cibo SDG 1 e l'aumento della produttività in agricoltura SDG 8, negative invece per il possibile rilascio di metalli pesanti nelle acque SDG 6 e per l'energia richiesta per il trasporto e la macinazione delle rocce (Honegger, M., Michaelowa A., & Roy J., 2021).

Infine, l'**Ocean fertilization** potrebbe impattare negativamente l'SDG 1 poiché gli effetti

sull'ecosistema marino e sulla pesca potrebbero danneggiare le popolazioni che dipendono prevalentemente da essa come fonte di sostentamento (Honegger, M., et al., 2021).

5.6 L'impatto della Decarbonization/Carbon Removal sui modelli di Business

Le sfide in atto per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e per il contenimento dei cambiamenti climatici rendono necessaria la transizione verso la decarbonizzazione dei tradizionali modelli di business e lo stimolo dell'innovazione per la generazione di nuovi modelli di business o di nuove tecniche che permettano di generare valore anche sociale ed ambientale insieme a quello economico, per contribuire allo sviluppo sostenibile in tutte le sue dimensioni.

L'approccio *Deep Tech* contribuisce al raggiungimento di questa sfida in quanto la commercializzazione della tecnologia avanzata stimola la ricerca di nuovi modelli di business. Le tecnologie attualmente disponibili non sono in grado di garantire il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, è necessario stimolare la diffusione delle tecnologie emergenti, insieme a nuovi business model e ad una maggiore consapevolezza da parte dei consumatori, per favorire questa transizione. Le innovazioni *Deep Tech* adottano un approccio multidisciplinare, che combina le competenze e le tecniche di molteplici settori, e che mira a risolvere problemi fondamentali, con un potenziale impatto su tutte le dimensioni e gli stadi che caratterizzano il ciclo di vita di un prodotto. Le innovazioni deep tech permeano tutte queste dimensioni, dalla ricerca e sviluppo più efficiente grazie alle simulazioni virtuali, la generazione degli input grazie alle biotecnologie e tecnologie avanzate, le attività di produzione che vengono rilocalizzate vicino al consumatore finale e che mirano alla riduzione degli scarti, fino all'utilizzo del prodotto e alla gestione dei rifiuti, che nel caso dell'energia hanno l'obiettivo di ridurre le emissioni (Bobier, J.-F., et al., 2022).

Come si evince anche dagli esempi presentati nel capitolo, i focus delle realtà che adottano un approccio *Deep Tech* nella risoluzione dei problemi legati alla sostenibilità e alle fonti energetiche sono rappresentati dall'impegno per lo sviluppo di fonti low-carbon e di tecnologie per la conservazione dell'energia prodotta dalle fonti intermittenti, insieme a progetti per aumentare la capacità produttiva delle fonti pulite e altri per integrare con fonti continue l'energia intermittente prodotta dalle fonti rinnovabili, di cui un esempio è rappresentato dallo sviluppo di idrogeno (H₂) pulito, e l'impegno verso la realizzazione di reattori nucleari a fusione,

insieme a queste, lo sviluppo di tecnologie per la rimozione del carbonio dall'atmosfera ed il suo successivo stoccaggio. Le start up *Deep Tech* hanno il potenziale per rivoluzionare il mercato energetico e modificare il mix di fonti energetiche ottimale, ma è necessario che gli investimenti pubblici e privati sostengano insieme lo sviluppo di queste nuove soluzioni per garantire l'affermazione di un sistema più sostenibile ed affidabile (De la Tour, A., et al., 2022).

Vi sono tre fattori che influenzano in misura preponderante i modelli di business in diversi settori e sono classificabili come le "tre D", ovvero Decarbonizzazione, Digitalizzazione e Decentralizzazione. Queste sono strettamente connesse e stimolano i progressi ed i cambiamenti di ciascuna dimensione reciprocamente, con il potenziale di avere impatti dirompenti anche sul sistema energetico. La decarbonizzazione è un elemento presente in tutte le strategie e politiche energetiche internazionali. La decentralizzazione invece è un elemento che deriva dalla sempre maggiore partecipazione dei consumatori nelle attività e nella generazione di energia, ad esempio tramite gli impianti di energia solare ed eolico costruiti da privati, questo ha effetti anche sulla distribuzione dell'offerta energetica. Infine, la digitalizzazione permette di sviluppare nuove modalità per lo scambio di prodotti o servizi e nuove modalità di interazione, che sulla base dei digital business abilitano le transazioni tra pari (Peer-to-peer), tutte queste variabili permettono di generare nuovi modelli di business (Di Silvestre, M. L., et al., 2018).

Ci si aspetta che fino al 2040 coesisteranno due principali modelli fra i sistemi energetici: il modello Bulk, ovvero la presenza di reti estese per la trasmissione di massa dell'energia ad intere regioni e la presenza di grandi impianti centralizzati di fonti rinnovabili; ed il modello Micro, che comprende piccoli cluster e micro reti distribuite che si caratterizzano per la generazione di energia decentralizzata e la partecipazione attiva dei consumatori nella produzione e distribuzione di energia, che ne assicura il coordinamento, la sicurezza e l'efficienza. (Di Silvestre, M. L., et al., 2018).

Uno studio condotto da Gitelman L. e Kozhevnikov M. individua alcuni dei nuovi modelli di business che ci si aspetta si affermeranno nel settore energetico a partire dalle prospettive attuali e che modificheranno sostanzialmente la struttura degli attuali modelli di generazione e fornitura dell'energia. La nascita di nuovi modelli di business è stata spinta dalla liberalizzazione del mercato energetico e dalla crescita della competizione nel settore grazie all'ingresso di attori privati. I prodotti offerti, rispetto alla tradizionale fornitura di energia, sono sempre più elaborati e tecnologicamente diversificati tra loro a seconda delle fonti o delle tecniche impiegate per produrla, e non sono quindi intercambiabili.

I modelli di business identificati dallo studio sono classificabili in tre categorie principali a

seconda delle caratteristiche che li accomunano:

1. Modelli di produzione e distribuzione dell'energia decentralizzati che si poggiano su piattaforme e sullo sviluppo reti tramite sistemi digitalizzati: questi modelli si basano sulla formazione di reti o comunità energetiche, diversamente dalle tradizionali strutture verticalmente integrate e monopolizzate che hanno caratterizzato il sistema energetico, e permettono di mettere in comunicazione produttori di energia decentralizzati con gli operatori locali e abilitano la formazione di relazioni tra pari tipiche del modello della sharing economy.
2. Modelli di Business Green, legati allo sviluppo di tecnologie pulite: gli attori che operano secondo questi modelli sfruttano le tecnologie per lo sviluppo di fonti green grazie alle quali offrire energia rinnovabile e pulita. Possono essere identificati due distinti modelli di business per l'energia prodotta da fonti rinnovabili, uno il modello di business Customer-side e l'altro il modello di business Utility-side. Il primo è un modello basato su impianti di energia rinnovabile che sono di proprietà del consumatore e sono generalmente di ridotte dimensioni, come i pannelli fotovoltaici, microturbine eoliche e pompe di calore geotermico, che danno vita a sistemi green su scala ridotta. Il secondo invece fa riferimento ad impianti e progetti su larga scala, come impianti eolici e fotovoltaici di grandi dimensioni, ma anche impianti di produzione di energia da biomassa o fonti alternative, che permettono di generare energia su larga scala e di immetterla nella rete ampliando la quota di energie rinnovabili presenti nel mix energetico offerto (Richter, M., 2012).
3. Servitizzazione dei modelli di business: questi modelli permettono di customizzare l'offerta secondo le necessità del cliente sfruttando servizi digitali e offrendo il prodotto come un servizio. Vi sono numerosi archetipi di Service Business Model per il settore energetico, alcuni dei quali sono, ad esempio, i modelli Energy-as-a-Service (EaaS) che attraverso piattaforme digitali permettono di gestire e ottimizzare l'utilizzo dell'energia a ridurre i relativi costi e sprechi richiedendo al consumatore di sottoscrivere un abbonamento per l'utilizzo della stessa; i modelli Solar-as-a-Service (SaaS), che vendono energia elettrica prodotta da fotovoltaico senza il bisogno per l'utente di installare impianti propri; i modelli Trading-as-a-Service (TaaS), dove i consumatori di una comunità o di una stessa area mettono a disposizione degli altri utenti, tramite una piattaforma e dietro corrispettivo economico, l'energia prodotta ma non consumata (Singh, M., et al., 2022).

Questi modelli di business evidenziano i benefici generati dalla combinazione della tecnologia e dell'innovazione a livello di modelli di business, e che possono essere riconosciuti anche nell'ambito dell'approccio *Deep Tech*, secondo i quattro pilastri individuati da Bobier, J.-F.

et al., ovvero: la maggior durabilità e utilizzo condiviso dei prodotti, basata sull'offerta di prodotti come servizi per ottimizzarne al massimo l'utilizzo, e la riparazione o l'aggiornamento del prodotto per massimizzare la durata; il coinvolgimento dei consumatori che diventano "prosumers" in quanto offrono le proprie risorse; il miglioramento delle performance offerte da un prodotto tramite la focalizzazione sul core value ricercato dai consumatori in ottica di sostenibilità; ed infine la virtualizzazione, intesa come l'offerta di prodotti virtuali alternativi grazie alla digitalizzazione ed al metaverso.

Analizzando gli impatti attraverso la matrice, in un settore non carbon removal con un modello di business tradizionale, è possibile inserire le aziende che commercializzano luce, gas e soluzioni energetiche, come ad esempio Eni Plenitude, che ha un'offerta composta da un mix energetico proveniente da fonti miste sia rinnovabili che non (Eni Plenitude, n.d.). Un impatto diretto delle tecnologie pulite è legato alla decarbonizzazione ed offerta di soluzioni energetiche provenienti da fonti pulite e sostenibili, aziende come Dolomiti Energia garantiscono un'offerta 100% green con l'obiettivo di contribuire alla riduzione dell'impatto ambientale ed alla decarbonizzazione (Dolomiti Energia, n.d.).

Nel settore carbon removal si inseriscono le realtà che offrono un prodotto innovativo, adottando inizialmente un modello di business tradizionale, un esempio è Twelve, caso presentato in precedenza nel capitolo, che produce prodotti CO2Made per diversi settori, invertendo quello che è il tradizionale ciclo di emissioni di carbonio, che qui viene impiegato come input produttivo.

Un modello di business innovativo, invece, fa leva invece sulla monetizzazione delle esternalità positive generate da prodotti o attività che contribuiscono alla decarbonizzazione. Il carbon market, ad esempio, permette di commercializzare crediti derivanti da progetti che tutelano clima e ambiente generando esternalità positive, come progetti di rimozione della CO2 e altri gas climalteranti. Al di là dei tradizionali progetti, come le attività di riforestazione, promossi per generare e poi vendere crediti, un'opportunità innovativa può svilupparsi a partire dalla generazione di crediti di carbonio attraverso la realizzazione di prodotti Carbon Made, come nel caso di Twelve, o di aziende che producono biochar e cemento a partire dalla CO2. La rimozione della CO2 dall'atmosfera ed il suo impiego per generare nuovi prodotti permette di trasformare il costo dell'abbattimento delle emissioni in valore, nuove risorse e opportunità (Armel, T., 2022). Attraverso la rimozione della CO2 dall'atmosfera vengono generate contemporaneamente esternalità positive per l'ambiente. La monetizzazione delle esternalità positive è connessa alla generazione e vendita dei crediti, che diventano la fonte di ricavo primaria, consentendo di offrire i prodotti CO2 made a prezzi molto vantaggiosi, incentivandone l'adozione e rendendoli competitivi rispetto a quelli tradizionali (Jankowski,

T.²⁸, 2021). Questo modello di monetizzazione delle esternalità potrebbe essere applicato anche in altri ambiti, non solo in quello ambientale, tramite la vendita crediti di diversa natura o certificazioni.

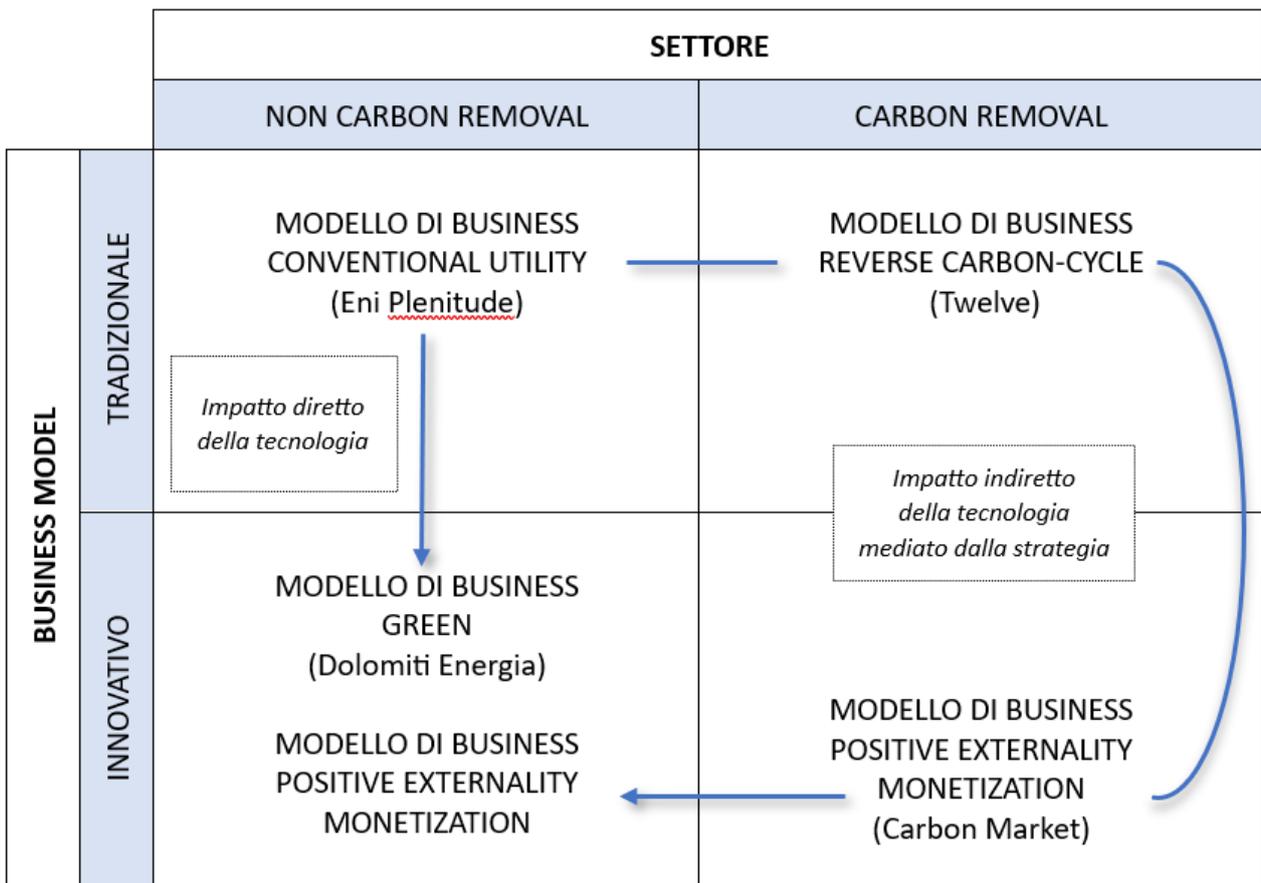


Figura 45: Matrice per l'analisi dell'impatto del Carbon Removal sui modelli di business
 Fonte: Elaborazione propria

²⁸ Jankowski Tito è il fondatore di Air Miners, un acceleratore per realtà che vogliono entrare nel settore della carbon removal.

Conclusione

L'obiettivo a partire dal quale si è sviluppato il presente elaborato è quello di approfondire le caratteristiche del *Deep Tech* ed analizzare i possibili impatti generati sui modelli di business. Il *Deep Tech* ha il potenziale per generare impatti su tutte le dimensioni della realtà ed è focalizzato sulla ricerca di soluzioni ai problemi fondamentali che incontra la società. Si fonda su tecnologie avanzate cross-settoriali, che combinando competenze trasversali generano innovazioni disruptive ed abilitano nuove opportunità di business ed applicazioni tecnologiche.

Nei capitoli sono state descritte le caratteristiche degli ambiti principali nei quali questo approccio all'innovazione esprime il suo maggior potenziale, presentando le prospettive di crescita e le applicazioni abilitate a livello cross-settoriale ed analizzando inoltre il contributo di ciascun ambito al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Ciò che è emerso dall'analisi è che: attraverso l'innovativo paradigma produttivo del Future Farming si sviluppano nuovi modelli operativi con l'obiettivo di superare i limiti tradizionalmente incontrati da Nature Co-Design e Agricoltura in ambiente controllato, sfruttando le soluzioni generate da questa onda d'innovazione. La Space Economy invece si caratterizza sempre di più per la contemporanea presenza di attori pubblici e privati, che stimolano la nascita di partnership e collaborazioni. Il Super Computing garantirà benefici trasversali a tutti i settori, ed in questa fase in cui la tecnologia quantistica è ancora in fase di sviluppo, l'accesso alla tecnologia è garantito attraverso il cloud. I modelli di business più innovativi mirano a sviluppare piattaforme che mettano a disposizione sistemi di diversi provider per rispondere alle esigenze di un bacino di utenti più ampio. Infine, le sfide e difficoltà legate alla crisi climatica ed agli obiettivi di decarbonizzazione che interessano tutti i settori, abilitano nuove opportunità strategiche. Una delle strategie innovative perseguibili è quella di monetizzare le esternalità positive prodotte dalla riduzione degli agenti inquinanti, generando nuovi modelli di business.

Perché questa nuova onda di innovazione, che ci si aspetta sarà la più dirompente, sprigioni tutto il suo potenziale e permetta di raggiungere una maggiore efficienza nella risoluzione delle sfide fondamentali, è importante che si sviluppi un ecosistema adatto ad accoglierla. La formazione di talenti con le competenze necessarie, lo sviluppo di un sistema di finanziamenti adeguato alle sue caratteristiche, lo stimolo della collaborazione e l'abbattimento delle barriere, sono tutti obiettivi che è importante raggiungere.

Il *Deep Tech* è l'approccio che VeniSIA ha scelto di adottare per supportare lo sviluppo e

la scalabilità di idee imprenditoriali e soluzioni tecnologiche in grado di affrontare le sfide ambientali, sociali ed economiche associate agli SDG definiti dalle Nazioni Unite.

VeniSIA è un ecosistema di innovazione per la sostenibilità basato a Venezia. Il progetto è stato ideato nel 2020 da Carlo Bagnoli, professore ordinario di Innovazione Strategica presso il Dipartimento di Management dell'Università Ca' Foscari, che ha avuto la lungimiranza di individuare in Venezia e nel suo ambiente fragile e unico il contesto perfetto per sviluppare e testare soluzioni scalabili per le sfide globali di sostenibilità del nostro tempo.

VeniSIA ambisce a ripopolare Venezia attraverso una community di innovatori che contribuisca a rendere la città lagunare la capitale mondiale della sostenibilità, "la più antica città del futuro".

VeniSIA propone quattro diversi programmi - Scaleup Co-Innovation, Human Venturing, Startup Acceleration e Venture Builder - con cui mira a supportare la generazione, lo sviluppo e la scalabilità di innovative idee imprenditoriali e soluzioni tecnologiche in ambito *Deep Tech*.

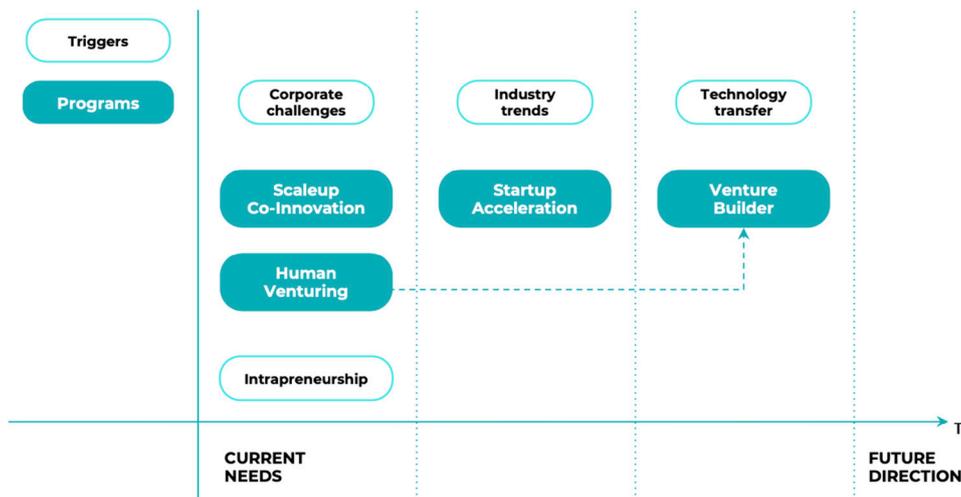


Figura 45: Matrice per l'analisi dell'impatto del Carbon Removal sui modelli di business
Fonte: Elaborazione propria

L'ecosistema VeniSIA, attraverso i propri programmi e le iniziative che supporta, contribuisce a superare le quattro sfide fondamentali (presentate all'interno del Capitolo 1) che caratterizzano l'approccio all'innovazione *Deep Tech*.

Future Farming Initiative, iniziativa promossa e supportata da VeniSIA, opera per cercare

di spingere più in là i confini della scienza e per favorire la scalabilità del minimum viable product. Si tratta di un'infrastruttura di ricerca preindustriale e trasferimento tecnologico che mira a diventare un punto di riferimento a livello europeo nell'ambito del Future Farming e ad attrarre proposte progettuali e ricercatori da tutto il mondo con l'obiettivo di generare progetti industriali e startup tecnologiche in ambito *Deep Tech*.

Per quanto riguarda la sfida relativa alla difficoltà a farsi finanziare, VeniSIA, attraverso una recente collaborazione strategica avviata con Canova SGR S.p.A., intende fornire supporto finanziario alle startup fortemente orientate all'innovazione *Deep Tech*. La partnership con Canova SGR S.p.A e il suo fondo Nova 1, consente a VeniSIA di assicurare gli strumenti finanziari adeguati alle esigenze delle startup selezionate.

Infine, VeniSIA, attraverso i propri programmi, supporta le aziende e le startup nel complesso processo di re-immaginazione delle catene del valore e dei modelli di business.

È sempre più fondamentale supportare le innovazioni in ambito *Deep Tech* e lavorare per fare in modo che questo approccio trasformativo possa esprimere tutto il suo potenziale. La sua importanza risiede nella capacità di ampliare in modo esponenziale lo spazio delle opzioni perseguibili per affrontare problemi fondamentali (Bagnoli, C. & Portincaso, M., 2021).

Bibliografia

- Aboy, M., Minssen, T. & Kop, M. Mapping the Patent Landscape of Quantum Technologies: Patenting Trends, Innovation and Policy Implications. *IIC* 53, 853–882 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40319-022-01209-3>
- AG, Strategizer. (n.d.). Value proposition canvas. Value Proposition. <https://www.strategizer.com/canvas/value-proposition-canvas>
- AgriGeo. (2023, May 16). Agrigeo - e-GEOS. e. <https://www.e-geos.it/digital-platforms/agrigeo/>
- Air Protein. AIR PROTEIN. (n.d.). <https://www.airprotein.com/>
- Airminers. AirMiners. (n.d.). <https://airminers.org/>
- Algayerova, O., Bárcena, A., Dashti, R., Alisjahbana, A. S., & Songwe, V. (2021, November 1). UNSDG | Scaling up carbon dioxide removal to achieve climate targets. United Nations. Retrieved April 23, 2023, from <https://unsdg.un.org/latest/blog/scaling-carbon-dioxide-removal-achieve-climate-targets>
- Amit, R., & Zott, C. (2012). Creating value through business model innovation. *MIT Sloan management review*.
- Armel, T. (2022, August 11). Turning atmospheric carbon removal from cost to revenue generator. EY. https://www.ey.com/en_us/strategy/three-ways-to-turn-atmospheric-carbon-removal-from-a-cost-to-a-revenue-generator
- Azil, A., Ramanathan, B., Blaufelder, C., Levy, C., & Nielsen, T. (2021, October 28). Putting carbon markets to work on the path to net zero. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/putting-carbon-markets-to-work-on-the-path-to-net-zero>
- Bagnoli, C. & Maura, A. (2021). *Business model circolari*. Giappichelli.
- Bagnoli, C., Albarelli, A., Biazzo, S., Biotto, G., Marseglia, G. R., Massaro, M., Messina, M., Muraro, A., & Troiano, L. (2022). *Digital Business Models for Industry 4.0 how innovation and technology shape the future of companies*. Springer Nature Switzerland AG.
- Bagnoli, C., Bravin, A., Massaro, M., & Vignotto, A. (11 December 2018) 'Business Model 4.0' I modelli di business vincenti per le imprese italiane nella quarta rivoluzione industriale. *Studi e Ricerche*. doi:10.30687/978-88-6969-286-4.
- Bagnoli, C., Massaro, M., Dal Mas, F., & Demartini, M. (2018). Defining the concept of business model: Searching for a business model framework. *International Journal of Knowledge and Systems Science (IJKSS)*, 9(3), 48-64.
- Bagnoli, C., & Portincaso M., (2021). *Deep Tech*, Harvard Business Review Italia
- Bagnoli, C., & Massimo, P. (2021). *Nature Co-Design una nuova rivoluzione industriale*

“generativa.”, Harvard Business Review Italia, 84-91

- Barth, A., Chan, B., & Kaladiouk, K. (2023, March 20). One year into the BIL: Catalyzing US investments in Energy. McKinsey & Company. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/one-year-into-the-bil-catalyzing-us-investments-in-energy>
- Bayerstadler, A., Becquin, G., Binder, J., Botter, T., Ehm, H., Ehmer, T., ... & Winter, F. (2021). Industry quantum computing applications. *EPJ Quantum Technology*, 8(1), 25.
- BCG, (2020), *Deep Tech, The Third Innovation Wave and Nature Co-Design*
- Benke, K. & Tomkins, B., (2017) Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13:1, 13-26, DOI: 10.1080/15487733.2017.1394054
- Biancone, P. P., Brescia, V., Lanzalonga, F., & Alam, G. M. (2022). Using bibliometric analysis to map innovative business models for vertical farm entrepreneurs. *British Food Journal*, 124(7), 2239-2261.
- Bignami, L. (2017, June 5). Trasformare l'anidride Carbonica in Prodotti utili. Focus.it. <https://www.focus.it/ambiente/ecologia/trasformare-lanidride-carbonica-in-prodotti-utili>
- Biondi, M., Heid, A., & Henke, N. (2021). Quantum computing use cases are getting real. Retrieved from McKinsey: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-use-cases-are-getting-real-what-you-need-to-know>
- Bluestein, A. (n.d.). Meet the 10 most innovative space companies - fast company. <https://www.fastcompany.com/90849109/most-innovative-companies-space-2023>
- Bobier, J.-F., Cerisy, T., Coulin, A.-D., Blecher, C., Sassoon, V., & Alexander, B. (2024, February 27). Breaking the Cost Barrier on Biomanufacturing. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2024/breaking-the-cost-barrier-on-biomanufacturing>
- Bobier, J.-F., Goedel, N., Paschkewitz, J., Gross-Selbeck, S., Gourévitch, A., & Coulin, A.-D. (2022, October 31). Deep Tech powers new net-zero business models. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2022/advanced-tech-powers-new-net-zero-business-model>
- Bogobowicz, M., Gao, S., Masiowski, M., Mohr, N., Soller, H., Zimmel, R., & Zesko, M. (2023, April 24). Quantum Technology sees record investments, progress on talent gap. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-technology-sees-record-investments-progress-on-talent-gap>
- Borghesi, S. (n.d.). Regulated and Voluntary Carbon Markets: Perspectives and Business Opportunities: Deloitte Italy: Events. Deloitte Italia. <https://www2.deloitte.com/it/it/>

pages/about-deloitte/events/regulated-and-voluntary-carbon-markets.html

- Bova, F., Goldfarb, A., & Melko, R. G. (2021). Commercial applications of quantum computing. *EPJ quantum technology*, 8(1), 2.
- Bryce Tech. (2022). 2021 Global Satellite Industry Revenues, Bryce Tech file:///C:/Users/User/Downloads/SIA%20SSIR%202022.pdf
- Broadbent, J., & Laughlin, R. (2003). Public-private partnerships: an introduction. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*.
- Browne, O. (2023, January 27). European Deep Tech Startups. Dealroom.co. <https://dealroom.co/blog/european-deep-tech-in-2023>
- Brukardt, R., Klempner, J., & Stokes, B. (2021, December 10). R&D for space: Who is actually funding it?. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/r-and-d-for-space-who-is-actually-funding-it>
- Brukardt, R., Klempner, J., & Stokes, B. (2022, January 27). Space: Investment shifts from GEO to leo and now beyond. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-investment-shifts-from-geo-to-leo-and-now-beyond>
- Brukardt, R., Klempner, J., Pachtod, D., & Stokes, B. (2022, May 19). The role of space in driving sustainability, security, and development on Earth. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/the-role-of-space-in-driving-sustainability-security-and-development-on-earth#/>
- Brukardt, R., Klempner, J., Sternfels, B., & Stokes, B. (2023, March 27). Space: The missing element of your strategy. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-missing-element-of-your-strategy?cid=other-eml-onp-mip-mck&hlkid=3ce5a00789d54a6094478aec51090bd2&hctky=11943466&hdpid=dd5212a8-2229-4d50-9fb1-6a0597532479>
- Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental conservation*, 14(4), 291-294.
- Buchholz, S., Axelsen, J.B., Pham, A.D., & Brown, C., (2021). Quantum chemistry <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/cyber-risk/application-of-quantum-computing.html>
- Buongiorno J., Freda R., Aumier S., Chilton K. 2021. A Strategy to Unlock the Potential of Nuclear Energy for a New and Resilient Global Energy-Industrial Paradigm. *The Bridge* 51(2):48-56.
- Buzzi Unicem Italia. (2020). L'impianto pilota del progetto cleanker è stato inaugurato. Buzzi Unicem Italia. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.buzziunicem.it/media/news/l-impianto-pilota-del-progetto-cleanker-e-stato-inaugurato>

- Byrd, G. T., & Ding, Y. (2023). Quantum Computing: Progress and Innovation. *Computer*, 56(1), 20-29.
- Candelon, F., Goedel, N., Gourévitch, A., Männig, M., & Patel, V. (2023, March 6). What's your synthetic biology strategy? BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2023/what-is-your-synthetic-bio-strategy>
- Candelon, F., Gombeaud, M., & Stokol, G. (2021, August 6). Commentary: Synthetic biology could help business save the planet. *Fortune*. <https://fortune.com/2021/08/06/synthetic-biology-plant-based-meats-bioengineering-environmental-impact/>
- Candelon, F., Gombeaud, M., Stokol, G., Patel, V., Gourévitch, A., & Goedel, N. (2022). Synthetic biology is about to disrupt your industry. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2022/synthetic-biology-is-about-to-disrupt-your-industry>
- CB Insights. (2021, April 23). How quantum computing will transform these 9 industries. CB Insights Research. Retrieved April 14, 2023, from <https://www.cbinsights.com/research/quantum-computing-industries-disrupted/>
- Chlela, S., & Selosse, S. (2023). Carbon Dioxide Removal in SDGs and Nationally Determined Contributions. In *SDGs in the European Region* (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing.
- Chukwu, U. (2018). The Bang for Buck with Quantum Computing. *Medium*. Retrieved April 18, 2023, from <https://medium.com/@uic126/the-bang-for-buck-with-quantum-computing-38bf2ef24b5f>
- Citi, (2022)., The Dawn of a new Age. https://icg.citi.com/icghome/what-wethink/citigps/insights/space_20220509
- Cleanker LEAP. (n.d.). Cleanker is a project addressing CO2 Capture from cement production. CLEANKER is a project addressing CO2 capture from cement production. Retrieved April 26, 2023, from <http://www.cleanker.eu/home-page-it>
- Climeworks AG. (n.d.). Direct air capture: A technology to fight climate change. Direct air capture: a technology to fight climate change. Retrieved April 24, 2023, from <https://climeworks.com/direct-air-capture>
- Cohen, G., Yeh, D., Secon, H., Zou, K., & Taylor, M., (2024, May). FOAK Guide: A playbook for first-of-a-kind climate tech projects, Sightline Climate.
- Cometto, M., Contri, P., Gulerce, Z., Lazerwitz, B., Magne, B., Tot, M., Turton, h., & van Heek, A., IAEA (2022), *Climate Change and Nuclear Power 2022 Securing Clean Energy for Climate Resilience*, IAEA <https://www.iaea.org/sites/default/files/iaea-ccnp2022-body-web.pdf>
- Cooper, P., Ernst, P., Kiewell, D., & Pinner, D. (2022, May 19). Quantum computing just might save the planet. McKinsey & Company. Retrieved April 14, 2023, from <https://>

www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-just-might-save-the-planet

- Copernicus, (n.d.), Informazioni Su Copernicus. <https://www.copernicus.eu/it/informazioni-su-copernicus>
- Cosmi, R. (n.d.). La Space economy tra prospettive di Sviluppo Nazionali e internazional. EAI. <https://www.eai.enea.it/archivio/ricerca-e-innovazione-per-la-sfida-spaziale/la-space-economy-tra-prospettive-di-sviluppo-nazionali-e-internazionali.html>
- Cramer, C., Lacivita, B., Laws, J., Malik, M. N., & Olynyk, G. (2023, March 21). What will it take for nuclear power to meet the Climate Challenge?. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/what-will-it-take-for-nuclear-power-to-meet-the-climate-challenge#/>
- De la Tour, A., Maurice, L., Durand, V., Bobier, J.-F., & Coulin, A.-D. (2022). Cleaner energies - media-publications.bcg.com. <https://media-publications.bcg.com/BCG-Hello-Tomorrow-Report-Cleaner-Energy.pdf>
- De la Tour, A., Portincaso, M., Goedel, N., Chaudhry, U., Tallec, C., Gourévitch, A., (2021). Deep Tech: The Great Wave of Innovation, Boston Consulting Group & Hello Tomorrow
- De la Tour, A., Portincaso, M., Goedel, N., Legris, A., Pedroza, S., Gourévitch, A., (2021). Nature Co-Design: a Revolution in the Making, Boston Consulting Group & Hello Tomorrow
- Guest, M., Jackson, C., Terry, S., & Cooper, E. (2021, June 17). The Economics of Space: From Exploration to mining. Deloitte United Kingdom. <https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/consulting/articles/economics-of-space.html>
- Denig, B., Furey, A., Hardcastle, D., Hight, C., & Huenteler, H. (2023, February 13). Voluntary Carbon Markets in 2023: A bumpy road behind, Crossroads ahead. Bain. <https://www.bain.com/insights/voluntary-carbon-markets-in-2023-a-bumpy-road-behind-crossroads-ahead/>
- Di Silvestre, M. L., Favuzza, S., Sanseverino, E. R., & Zizzo, G. (2018). How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 483-498.
- Di Tullo, P. (2023). The New Space Economy: Business models, sustainability profiles and accountability. FrancoAngeli.
- Dionisio, E.A., Inacio Junior, E., Morini, C. and Carvalho, R.d.Q. (2023), "Identifying necessary conditions to deep-tech entrepreneurship", *RAUSP Management Journal*, Vol. 58 No. 2, pp. 162-185. <https://doi.org/10.1108/RAUSP-09-2022-0203>
- Dolomiti Energia. Chi Siamo. (n.d.). <https://www.dolomitienergia.it/chi-siamo.html>
- D-Wave Systems. (n.d.). Quantum in production: Optimizing E-Commerce Logistics - D-Wave Systems. https://www.dwavesys.com/media/2pnfscch/the-pattison-food-group_

case_story_v7-1.pdf

- Edwin, P., Gunnels, J., & al., e. (2019). On "Quantum Supremacy". Retrieved from IBM: <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy/>
- EIA. (n.d.). Renewable generation surpassed coal and nuclear in the U.S. Electric Power Sector in 2022. Homepage - U.S. Energy Information Administration (EIA). <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=55960#:~:text=The%20combined%20wind%20and%20solar,%2C%20at%20less%20than%201%25.>
- EIB, 2019, European Investment Bank, The future of the European space sector How to leverage Europe's technological leadership and boost investments for space ventures https://www.eib.org/attachments/thematic/future_of_european_space_sector_en.pdf
- Ellen McArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. Accelerating towards a circular economy transition | Report. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- Energy Dome. (n.d.). CO2 Battery. Energy Dome. Retrieved April 26, 2023, from <https://energydome.com/co2-battery/>
- Energy Dome. (2022, June 8), Energy Dome inaugura con successo il Primo Impianto al mondo con batterie alla CO2 per l'accumulo Energia a Lunga Durata. Business Wire. <https://www.businesswire.com/news/home/20220607006331/it/>
- Eni Plenitude. Plenitude, servizi e offerte per Casa e Business. (n.d.). <https://eniplenitude.com/>
- Environmental Protection Agency. (n.d.). Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance. EPA. Retrieved April 24, 2023, from <https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>
- ESA, (2022). Ministers back ESA's bold ambitions for space with record 17% rise. https://www.esa.int/Newsroom/Press_Releases/Ministers_back_ESA_s_bold_ambitions_for_space_with_record_17_rise
- ESA (2020). Why it is important to keep investing in space during and after the Covid-19 crisis? <https://space-economy.esa.int/article/71/why-it-is-important-to-keep-investing-in-space-during-and-after-the-covid-19-crisis>
- EU Innovation Fund. (n.d.). Large-scale calls. Climate Action EU Innovation Fund. Retrieved April 26, 2023, from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/large-scale-calls_en
- Evers, M., Heid, A., & Ostojic, I. (2021). Pharma's digital Rx: Quantum computing in drug research and development. Retrieved from McKinsey: <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/pharmas-digital-rx-quantum-computing-in-drug->

research-and-development

- Evers, M., Stein-Asmussen, A., Szlezak, N., & Zemp, A. (2023, January 10). Europe's bio revolution: Biological innovations for complex problems. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/europes-bio-revolution-biological-innovations-for-complex-problems#/>
- Farmroad. (n.d.). <https://engage.farmroad.io/hubfs/2021%20Global%20CEA%20Census%20Report.pdf>
- French, K. E. (2019). Harnessing synthetic biology for sustainable development. *Nature Sustainability*, 2(4), 250-252.
- Gava, E., (2022). Proteine alternative, crescono gli investimenti nel food tech, *Il Sole 24 Ore*
- Gil Denis, Didier Alary, Xavier Pasco, Nathalie Pisot, Delphine Texier, Sandrine Toulza, From new space to big space: How commercial space dream is becoming a reality, *Acta Astronautica*, Volume 166, 2020, Pages 431-443, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.08.031>.
- Gilbert, M. (2020). Best practices in fermentation bioprocess development. *The Bioprocessing Blog*. https://blog.culturebiosciences.com/best_practices
- Ginkgo Bioworks. (n.d.). <https://www.ginkgobioworks.com/about/>
- Gitelman, L., & Kozhevnikov, M. (2023). New Business Models in the Energy Sector in the Context of Revolutionary Transformations. *Sustainability*, 15(4), 3604.
- Guarda, T., Torres, W., Augusto, M.F. (2022). The Impact of Quantum Computing on Businesses. In: Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C., Garau, C. (eds) *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2022 Workshops. ICCSA 2022. Lecture Notes in Computer Science*, vol 13380. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1
- Harlé, N., Soussan, P., & de la Tour, A. (2017). What deep-tech startups want from corporate partners. *The Boston Consulting Group & Hello Tomorrow*.
- Honegger, M., Michaelowa A., & Roy J., (2021) Potential implications of carbon dioxide removal for the sustainable development goals, *Climate Policy*, 21:5, 678-698, DOI: 10.1080/14693062.2020.1843388
- Hunter, S., Pijselman, M., Clinton-Tarestad, P., Lewis, H., & Bell, D. M. J. (2022, July 8). How can your quantum vision be transformed into a sustainable reality. How can your quantum vision be transformed into a sustainable reality | EY UK. Retrieved April 14, 2023, from https://www.ey.com/en_uk/emerging-technologies/how-can-your-quantum-vision-be-transformed-into-a-sustainable-reality
- Hyperloop Italia. (n.d.). <https://hyperloopitalia.com/>

- IAEA. (2021, May 13). ITER: The World's Largest Fusion Experiment. IAEA. <https://www.iaea.org/bulletin/iter-the-worlds-largest-fusion-experiment>
- IAEA. (2022, March 31). What is nuclear fusion?. IAEA. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>
- IBM RXN for Chemistry. (n.d.). Retrieved April 16, 2023, from <https://rxn.res.ibm.com/>
- IBM. (n.d.) Exploring quantum computing use cases for manufacturing. Retrieved April 14, 2023, from <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/quantum-manufacturing>
- IEA (2022), *World Energy Investment 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>, License: CC BY 4.0
- IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)
- Size, A. P. (2020), 4. Projections of the Future Size of the Space Economy., in Crane, K. W., Linck, E., Lal, B., & Wei, R. Y. (2020). *Measuring the space economy: Estimating the value of economic activities in and for space*. INSTITUTE FOR DEFENSE ANALYSES ALEXANDRIA VA.
- Institute for the future. IFTF. (n.d.). <https://legacy.iftf.org/biomade/>
- IntesaSanPaolo, (2021) *Spazio: nuova frontiera per economica e ricerca*, Direzione Studi e Ricerche, https://group.intesasanpaolo.com/content/dam/portalgroup/repository-documenti/research/it/industria/studi-di-settore/Report_Space._novembre_2021.pdf
- IPCC. (n.d.). *Ar6 synthesis report: Climate change 2023*. IPCC. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- IQM. (n.d.) *We build quantum computers*. Retrieved April 19, 2023, from <https://www.meetiqm.com/>
- Jankowski, T. (2021, October 28). *New business models for carbon removal (carbon removal updates week #136)*. YouTube. Video, 7:13. <https://youtu.be/EojNALvuh-Y>
- Jenkins, J., Berente, N., & Angst, C. (2022). *The Quantum Computing Business Ecosystem and Firm Strategies*. *power*, 7(12), 13.
- Kanamura, T. (2021) in *Handbook of Energy Economics and Policy* (Eds. Rubino, A., Sapio, A., & La Scala, M.), pp. 275-299, (Academic Press, 2021)
- Kask, J. & Linton, G. (2023), "Editorial: Five principles for overcoming obstacles in deep-tech startup journeys", *Journal of Small Business and Enterprise Development*, Vol. 30 No. 1, pp. 1-3. <https://doi.org/10.1108/JSBED-02-2023-477>
- Kim, M. J. (2023). *Toward Coherence: A Space Sector Public-Private Partnership Typology*. *Space Policy*, 101549.
- Kowalczyk, W. W. (2022, October 28). *Let's make quantum computing about sustainability*.

Zapata Computing. Retrieved April 14, 2023, from <https://www.zapatacomputing.com/lets-make-quantum-computing-about-sustainability/>

- Kreibich, N., & Hermwille, L., (2021) Caught in between: credibility and feasibility of the voluntary carbon market post-2020, *Climate Policy*, 21:7, 939-957, DOI: 10.1080/14693062.2021.1948384
- L, J. (2023, January 27). Tesla Carbon Credit Sales Reach record \$1.78 billion in 2022. Carbon Credits. <https://carboncredits.com/tesla-carbon-credit-sales-reach-record-1-78-billion-in-2022/>
- Langione, M., Bobier, J.-F., Meier, C., Hasenfuss, S., & Schulze, U. (2019). Will Quantum Computing Transform Biopharma R&D? Retrieved from Boston Consulting Group: <https://www.bcg.com/publications/2019/quantum-computing-transform-biopharma-research-development>
- Lei, Y., Guo, Y., Li, X., & Jing, Z. (2022). Space economy: a new frontier of information systems, analytics and digital commerce. *Industrial Management & Data Systems*, (ahead-of-print).
- LLNL. (2022, December 14). Lawrence Livermore National Laboratory achieves fusion ignition. LLNL. <https://www.llnl.gov/news/lawrence-livermore-national-laboratory-achieves-fusion-ignition>
- Lombardi, B. P., & Lombardi Jr, I. (2022). Vertical farm: prospects for achieving sustainable development goals. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 16.
- Maninder. (2023, April 12). Quantum initiatives worldwide - update 2023. Qureca. Retrieved April 15, 2023, from <https://qureca.com/quantum-initiatives-worldwide-update-2023/>
- Marelli, P. (2023, February 24). Satelliti, ecco le 10 Aziende da Tenere d'occhio nel 2023. SpacEconomy 360. <https://www.spaceeconomy360.it/industria-spaziale/satelliti-ecco-le-10-aziende-da-tenere-docchio-nel-2023/>
- MASE., (n.d.), Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra. https://www.mase.gov.it/sites/default/files/lts_gennaio_2021.pdf
- McKinsey & Company. (2022, June 13). Five fifty: The future of the space economy. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/five-fifty-the-future-of-the-space-economy>
- McKinsey Report. (2021, December 14). Quantum computing: An emerging ecosystem and industry use cases. McKinsey & Company. Retrieved April 14, 2023, from <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-use-cases-are-getting-real-what-you-need-to-know>
- Mercedes x Ibm. (n.d.). Envisioning a new wave in power. IBM. Retrieved April 16, 2023, from <https://www.ibm.com/case-studies/daimler/>

- Microsoft. (n.d.). Che Cos'è azure quantum? - azure quantum. Azure Quantum | Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/it-it/azure/quantum/overview-azure-quantum>
- Mohr, N., Peltz, K., Zimmel, R., & Zesko, M. (2022, December 1). Five lessons from ai on closing quantum's talent gap-before it's too late. McKinsey & Company. Retrieved April 18, 2023, from <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/five-lessons-from-ai-on-closing-quantums-talent-gap-before-its-too-late>
- Morach, B., Clausen, M., Rogg, J., Brigl, M., Schulze, U., Dehnert, N., Hepp, M., Yang, V., Kurth, T., von Koeller, E., Burchardt, J., Witte, B., Obloj, P., Koktenturk, S., Grosse-Holz, F., Stolt-Nielsen Meinel, O., (2022). The Untapped Climate Opportunity in Alternative Proteins, Boston Consulting Group
- Morach, B., Witte, B., Walker, D., von Koeller, E., Grosse-Holz, F., Rogg, J., Brigl, M., Dehnert, N., Obloj, P., Koktenturk, S., Schulze, U., (2021). Food for Thought: The Protein Transformation, Boston Consulting Group
- Morrow, D. R., Buck, H. J., Burns, W. C., Nicholson, S., & Turkaly, C. (2018). Why talk about carbon removal?. Carbon Removal Briefing Paper (Washington, DC: Institute for Carbon Removal Law and Policy, American University), DOI/10.17606/M6H66H.
- Nallamothula, L. (2021). Quantum Ecosystem Development Using Advanced Cloud Services. In: Elbiaze, H., Sabir, E., Falcone, F., Sadik, M., Lasaulce, S., Ben Othman, J. (eds) Ubiquitous Networking. UNet 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12845. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86356-2_14
- Nedayvoda, A., Mockel, P., & Graf, L. (2020). Deep tech solutions for emerging markets.
- Network Digital 360, In Veneto "future farming", l'infrastruttura deep tech per la sostenibilità. ESG360. (2023, May 12). <https://www.esg360.it/environmental/aprira-in-veneto-future-farming-linfrastruttura-deep-tech-per-la-sostenibilita/>
- Neufeld, D. (2022, February 9). Long waves: The history of innovation cycles. Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/the-history-of-innovation-cycles/>
- Norman Foster Foundation., (2022, December 21), Nuclear battery. Norman Foster Foundation. <https://normanfosterfoundation.org/project/nuclear-battery/>
- OECD (2012), OECD Handbook on Measuring the Space Economy, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264169166-en>.
- OECD (2022), OECD Handbook on Measuring the Space Economy, 2nd Edition, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/8bfef437-en>.
- Officinae Bio. (n.d.). <https://officinae.bio/>
- Orús, R., Mugel, S., & Lizaso, E. (2019). Quantum computing for finance: Overview and prospects. *Reviews in Physics*, 4, 100028.
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business model generation: a handbook for

visionaries, game changers, and challengers (Vol. 1). John Wiley & Sons

- Paris Agreement. (2015). United Nations. UNFCCC. Retrieved April 22, 2023, from https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- Parrella R.M., Spirito G., Cirina C., and Falvella M.C., (2022) The New Space Economy and New Business Models. *New Space The Journal of Space Entrepreneurship and Innovation* (291-297). <http://doi.org/10.1089/space.2021.0020>
- Paschkewitz, J., Courtaux, M., Patel, V., Candelon, F., & Gourévitch, A. (2022). What CEOs need to know about deep tech. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2022/ceos-need-to-know-about-deep-technologies>
- Paul, R. (2019). Google claims 'quantum supremacy' for computer. Retrieved from BBC: <https://www.bbc.com/news/science-environment-50154993>
- Prateek, K., Maity, S. (2023). Quantum Programming on Azure Quantum—An Open Source Tool for Quantum Developers. In: Pandey, R., Srivastava, N., Singh, N.K., Tyagi, K. (eds) *Quantum Computing: A Shift from Bits to Qubits. Studies in Computational Intelligence*, vol 1085. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9530-9_16
- Pulidindi, K., & Prakash, A. (2021). Vertical farming market size, growth statistics 2021 - 2027 report. Global Market Insights Inc. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/vertical-farming-market>
- Pwc (2022) *Main Trends & Challenges in the Space Sector*, 3rd edition
- Quantum Inspire. (n.d.). Knowledge base. Retrieved from <https://www.quantum-inspire.com/kbase/what-is-a-qubit/>
- Qureca. (2022). Overview on quantum initiatives worldwide - update 2022. Retrieved from Qureca: <https://qureca.com/overview-on-quantum-initiatives-worldwide-update-2022/>
- Reeves, M., Fuller, J., (2020). Abbiamo bisogno di immaginazione, ora più che mai, *Harvard Business Review*
- Relazione della commissione al parlamento europeo e al consiglio sul funzionamento del mercato europeo del carbonio nel 2020, COM/2021/962 final
- Report SIF, (2019), Gli impatti di IA e di Blockchain sui modelli di business https://www.unive.it/pag/fileadmin/user_upload/eventi/conferenze/sif/documenti/Report_AI_e_Blockchain_SIF_2020_.pdf
- Research, I. I. B. M. (2020, October 23). Quantum computing and AI to enable our sustainable future. Medium. Retrieved April 14, 2023, from <https://ibm-research.medium.com/quantum-computing-and-ai-to-enable-our-sustainable-future-58aa494cd4bc>
- Richter, M. (2012). Utilities' business models for renewable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2483-2493.
- Rietsche, R., Dremel, C., Bosch, S., Steinacker, L., Meckel, M., & Leimeister, J. M. (2022).

Quantum computing. *Electronic Markets*, 1-12.

- Rigetti., (n.d.). Welcome to Quantum Cloud Services - QCS Documentation. <https://docs.rigetti.com/qcs/>
- Romanin, P., Moretti, M., Benvenuti, F., Grossi, G., Siri, A., Villani, L.A., Tonegutti, M. Industrial Decarbonization Pact: un'alleanza per la piena decarbonizzazione dei settori hard to abate, (2022). Boston Consulting Group
- Romanin, P., Moretti, M., Benvenuti, F., Grossi, G., Siri, A., Villani, L.A., Tonegutti, M., (2022). Industrial Decarbonization Pact: un'alleanza per la piena decarbonizzazione dei settori hard to abate. Boston Consulting Group
- Romansanta, A., Ahmadova, G., Wareham, J., & Priego, L. P. (2022). Deep tech: Unveiling the foundations (august 21, 2021). ESADE Working Papers Series 276, doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4009164>.
- Romme, A. G. L. (2022). Against All Odds: How Eindhoven Emerged as a Deeptech Ecosystem. *Systems*, 10(4), 119. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/systems10040119>
- Romme, A.G.L., Bell, J. & Frericks, G., (2023). Designing a deep-tech venture builder to address grand challenges and overcome the valley of death. *J Org Design*. <https://doi.org/10.1007/s41469-023-00144-y>
- Rothman, A., Paschkewitz, J., MacDougall, A., Verma, M., & Chaudhry, U. (2023, March 23). How synthetic biology can make a materials difference. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2023/how-synthetic-biology-materials-can-make-a-difference>
- Ruane, J., McAfee, A., & Oliver, W. D. (2021, December 14). Quantum computing for Business Leaders. *Harvard Business Review*. Retrieved April 18, 2023, from <https://hbr.org/2022/01/quantum-computing-for-business-leaders>
- Schumpeter, J. A. (1942). *Socialism, capitalism and democracy*. Harper and Brothers.
- Schutselaars, J., Romme, A. G. L., Bell, J., Bobelyn, A. S. A., & van Scheijndel, R. (2023). Designing and Testing a Tool That Connects the Value Proposition of Deep-Tech Ventures to SDGs. *Designs*, 7(2), 50. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/designs7020050>
- Seaborg. (n.d.). Seaborg Technologies. Seaborg. <https://www.seaborg.com/>
- Sendeco2. (n.d.). Prezzi CO2. Sendeco2. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.sendeco2.com/it/prezzi-co2>
- Shalf, J. (2020). The future of computing beyond Moore's Law. Retrieved from <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061>
- Shamsrizi, M., Pakura, A., Wiechers, J., Pakura, S., & Dauster, D. V. (2021). Digital

entrepreneurship for the “Decade of action”. *Digital Entrepreneurship*, 303.

- Shell, & BCG. (n.d.). Exploring the future of the Voluntary Carbon Market. Shell Global. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.shell.com/shellenergy/othersolutions/carbonmarketreports.html>
- Schuh, G. & Latz, T., (2022) “Concept for the Identification of Governmental Needs for Actions within the Technology Transfer of Deep Tech,” 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1015-1020, doi: 10.1109/IEEM55944.2022.9989824.
- Siegel, J.E., Krishnan, S., (2020). Cultivating Invisible Impact with Deep Technology and Creative Destruction - Letter from Academia, *Journal of Innovation Management*, www.open-jim.org, 8(3), 6-19.
- SIF. (2022, September 14). SIF 2022: 8 Settembre 2022. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=lyiGf-3_GTc
- SIF. (2022, September 20). SIF 2022: 9 Settembre 2022. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Vz4yxH56YZI>
- Singh, M., Jiao, J., Klobasa, M., & Frietsch, R. (2022). Servitization of Energy Sector: Emerging Service Business Models and Startup’s Participation. *Energies*, 15(7), 2705.
- Space economy: Verso una nuova frontiera per l’innovazione e la sostenibilità. Politecnico di Milano School of Management. (2022, March 11). <https://www.som.polimi.it/space-economy-verso-una-nuova-frontiera-per-linnovazione-e-la-sostenibilita/>
- Sqim. SQIM. (n.d.). <https://www.sqim.bio/>
- Standing Ovation. (n.d.). <https://www.standing-ovation.co/>
- Statista. (2021). Forecast size of the quantum computing market worldwide in 2020 and 2027. Retrieved from Statista: <https://www.statista.com/statistics/1067216/global-quantum-computing-revenues/>
- Stokes, D.E., (1997). *Pasteur’s Quadrant - Basic Science and Technological Innovation*, Brookings Institution Press
- Streichfuss, M., Alexander, M., Hammermeister F., & Heuer A., (2021, May 11). Quantum technology: The Next Big Disruption? Roland Berger. Retrieved April 15, 2023, from <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Quantum-technology-The-next-big-disruption.html>
- Swayne, M. (2021). China’s Superconducting Quantum Computer Sets Quantum Supremacy Milestone. Retrieved from The Quantum Insider: <https://thequantuminsider.com/2021/06/30/chinas-superconducting-quantum-computer-sets-quantum-supremacy-milestone>
- Swayne, M. (2022, July 18). Odyssey Therapeutics acquires Quantum Drug Discovery Startup

rahko. The Quantum Insider. Retrieved April 16, 2023, from <https://thequantuminsider.com/2021/12/13/odyssey-therapeutics-acquires-quantum-drug-discovery-startup-rahko/>

- Terran Orbital. (2022, October 14). <https://terranorbital.com/>
- Thomas, T., Schicht, R., Waas, A., Sonty, S. S., Martinez, M., Levey, J., & Wasserman, A. (2023, February 16). Satellites are the next frontier for Industrial Companies. BCG Global. <https://www.bcg.com/publications/2022-unlocking-the-value-of-the-satcom-market>
- Thomson, L. (2022). Leveraging the value from digitalization: a business model exploration of new technology-based firms in vertical farming. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(9), 88-107.
- Tiseo, I. (2023, February 6). Forecast Carbon Offset Price 2030-2050. Statista. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/1284060/forecast-carbon-offset-prices-by-scenario/#:~:text=Carbon%20offset%20prices%20could%20reach,credits%2C%20from%20removed%20emissions%20only.>
- Tiseo, I., (2023, April 25). Annual CO2 emissions worldwide 1940-2022. Statista. Retrieved April 26, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/#:~:text=Global%20carbon%20dioxide%20emissions%20from,GtCO%E2%82%82%20%2D%20their%20highest%20ever%20level.>
- Trendaflov, I. (2022). Impact of quantum computing on sectors in society based on its application to real-world use case problems (Bachelor's thesis, University of Twente)
- Twelve, The Carbon Transformation Company. twelve. (n.d.). <https://www.twelve.co/>
- Ultra Energy. (n.d.). Extending the life of nuclear power generation plants: Ultra energy. Extending the life of nuclear power generation plants | Ultra Energy. <https://www.ultra.energy/industries/nuclear/plant-life-extension/>
- UN Secretary General. (2023). SDG Progress Report. Progress towards the Sustainable Development Goals: Towards a Rescue Plan for People and Planet. https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-04/SDG_Progress_Report_Special_Edition_2023_ADVANCE_UNEDITED_VERSION.pdf
- UNDP. (2022, June 30). What are carbon markets and why are they important? UNDP Climate Promise. Retrieved April 25, 2023, from <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-are-carbon-markets-and-why-are-they-important>
- United Nations. (n.d.). The 17 goals | sustainable development. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- UNOOSA report with the European GNSS Agency, United Nations, January 2018, European Global Navigation Satellite System and Copernicus: Supporting the Sustainable Development

Goals BUILDING BLOCKS TOWARDS THE 2030 AGENDA https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/stspace/stspace71_0_html/st_space_71E.pdf

- US BEA, (2022). Updated and Revised Estimates of the U.S. Space Economy, 2012-19. <https://www.bea.gov/system/files/2022-01/Space-Economy-2012-2019.pdf>
- Volkswagen Group Italia (n.d.). Il Gruppo Volkswagen è partner di QuantumScape per garantirsi l'accesso alla tecnologia delle batterie allo stato solido | Volkswagen Group Italia. (n.d.). Retrieved April 16, 2023, from <https://www.volkswagengroup.it/Apps/WebObjects/VGI.woa/wa/viewSection?id=3915>
- Walsh, L. (2021, March 29). Growing underground: Smart farming in the heart of London. University of Cambridge. <https://www.cam.ac.uk/stories/growingunderground>
- Wijngaarde, Y. (2022, September 1). 2021: The Year of deep tech. Dealroom.co. <https://dealroom.co/blog/2021-the-year-of-deep-tech>
- Wirtz, B. W., Pistoia, A., Ullrich, S., & Göttel, V. (2016). Business models: Origin, development and future research perspectives. *Long range planning*, 49(1), 36-54.
- World Commission on Environment and Development (WCED), *Our Common Future*, New York, NY, USA: Oxford University Press, 1987
- Yndurain, E., Woerner, S., & Egger, D. J. (2019). Exploring quantum computing use cases for financial services. Retrieved from IBM: <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/exploring-quantum-financial>
- Zero. ZERO. (n.d.). <https://www.zerofarms.it/>
- Zott, C., e Amit, R., (2007) Business Model Design and the Performance of Entrepreneurial Firms. *Organization Science* 18 (2): 181-199. <https://doi.org/10.1287/orsc.1060.0232>