

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Percorso Finanza

Anno Accademico 2022 / 2023



Tesi di Laurea Magistrale

**Idrogeno verde e batterie: tecnologie e mercati a confronto
per il futuro della decarbonizzazione europea**

Relatore

Prof. Enrico Luciano

Correlatore

Prof.ssa Laura Rondi

Laureando

Federico Trivellone

Matricola 288945

*Alla mia famiglia
Inesauribile fonte di supporto e ispirazione*

*A Lorenzo, Elio, Mario, Stefano e Giovanni
La mia famiglia torinese*

A Gianna e zia Licia

“Sic parvis magna”

ABSTRACT

La lotta al cambiamento climatico è una delle missioni più importanti che l'uomo dovrà affrontare nei prossimi decenni: per riuscire a mantenere sotto controllo l'innalzamento della temperatura terrestre è necessario ridurre il più possibile l'emissione di gas climalteranti quali, ad esempio, l'anidride carbonica (decisamente il più noto tra tutti, nonché quello maggiormente responsabile del surriscaldamento globale), il metano, gli ossidi di zolfo e gli ossidi di azoto. In questo lavoro si farà riferimento a tutte le industrie che fanno registrare livelli di emissioni molto elevate, come la generazione di energia elettrica, la mobilità (tradizionale e pesante) e l'industria chimica e metalmeccanica, analizzando più nello specifico il contesto europeo, considerando quanto l'Europa (diversamente rispetto ad altre zone del mondo, come la Cina, l'India, o gli stessi Stati Uniti d'America) si stia attivamente impegnando per ridurre il livello di emissioni che produce.

L'inserimento di elettricità proveniente da fonti rinnovabili ha permesso di alleviare il problema, riducendo la percentuale di energia prodotta dalle fonti tradizionali (carbon fossile e gas naturale) ma senza poterlo risolvere del tutto, date le problematiche relative al disaccoppiamento e discontinuità che le fonti rinnovabili presentano.

In questo progetto di tesi verranno discusse due tecnologie, l'idrogeno verde e le batterie, il cui utilizzo mostra ottime potenzialità in funzione della decarbonizzazione.

La trattazione inizia con l'analisi delle caratteristiche più generali delle due tecnologie, quali le tecnologie produttive e le rispettive catene del valore (capitolo 2).

Si prosegue, poi, con l'analisi del contesto economico, prima a livello globale (capitolo 3) e poi a livello europeo (capitolo 4), analizzando sia la dimensione del mercato allo stato attuale, che le previsioni di crescita fino al 2030.

Successivamente sono riportate, dopo un'attenta analisi di benchmarking sulle emissioni complessive generate sia dalle forme di generazione elettrica tradizionale (gas naturale e carbon fossile) che dalle tecnologie a oggetto di questa tesi, tutte le principali problematiche associate all'idrogeno verde e alle batterie (in termini di fattibilità economica, impatto ambientale complessivo, fattibilità tecnica) e delle potenziali strategie risolutive (capitolo 5).

Dopo aver delineato, quindi, le caratteristiche fondamentali delle due tecnologie, i rispettivi mercati mondiali ed europei, nonché le principali problematiche, si passa all'analisi del contesto competitivo europeo (capitolo 6) attraverso l'analisi di due campioni costituiti da aziende attive

nei due mercati; i due campioni sono segmentati attraverso diversi criteri (posizionamento nella catena del valore, dimensione, posizionamento geografico) e analizzati in funzione delle varie segmentazioni, oppure analizzati dopo aver applicato due criteri di segmentazione congiuntamente (ad esempio, analisi per dimensione – posizionamento geografico o per dimensione – posizionamento nella catena del valore).

Infine, il settimo e ultimo capitolo è relativo all'innovazione tecnologica, per sottolineare quanto i due mercati siano fortemente dipendenti dalla ricerca e sviluppo: per ognuno dei due mercati saranno scelte le due startup europee più rappresentative all'interno del mercato, ovvero la francese Lhyfe (idrogeno verde) e la svedese Northvolt (batterie), e analizzate per comprendere come l'innovazione può innestarsi all'interno del mercato e cambiarlo profondamente.

Il principale obiettivo europeo è perseguire con successo quanto delineato dai trattati internazionali siglati nel corso degli anni, come il Protocollo di Tokio o gli Accordi di Parigi, nonché di raggiungere la neutralità carbonica (ovvero un equilibrio a somma zero tra gas climalteranti emessi e assorbiti) entro il 2050.

L'applicazione delle politiche implementate non solo dall'Unione Europea, ma anche dai singoli Stati in autonomia, come incentivi all'utilizzo e investimenti nella ricerca (volti a potenziare il mercato interno per le aziende già attive e favorire la nascita di nuove imprese ad elevato contenuto tecnologico) possono essere la chiave di volta per accelerare notevolmente la decarbonizzazione, già nel 2030, avvicinando la neutralità carbonica prevista per il 2050.

Sommario

1)	INTRODUZIONE.....	6
	1.1) BIBLIOGRAFIA.....	10
2)	ANALISI DELLA CATENA DEL VALORE	11
	2.1) Idrogeno	11
	2.2) Batterie.....	15
	2.3) BIBLIOGRAFIA.....	20
3)	ANALISI DEL CONTESTO ATTUALE, SU SCALA MONDIALE (CON PROIEZIONI DI CRESCITA).....	23
	3.1) Idrogeno	24
	3.2) Batterie.....	29
	3.3) Analisi comparativa.....	35
	3.4) BIBLIOGRAFIA.....	37
4)	ANALISI DEL CONTESTO EUROPEO (CON PROIEZIONI DI CRESCITA).....	40
	4.1) Idrogeno	41
	4.2) Batterie.....	47
	4.3) Analisi comparativa.....	54
	4.4) BIBLIOGRAFIA.....	55
5)	ANALISI DELLE PROBLEMATICHE ATTUALI E FUTURE (CON POTENZIALI STRATEGIE RISOLUTIVE)	59
	5.1) Benchmarking delle emissioni, tra idrogeno verde, batterie e metodi tradizionali (gas naturale e carbon fossile)	60
	5.2) Idrogeno.....	67
	5.3) Batterie	71
	5.4) BIBLIOGRAFIA	76

6)	ANALISI DI POSIZIONAMENTO E ANALISI ECONOMICA DELLE PRINCIPALI AZIENDE EUROPEE	81
	6.1) Idrogeno.....	82
	6.2) Batterie	103
	6.3) Analisi comparativa	130
	6.4) BIBLIOGRAFIA	132
7)	ANALISI DELLE PRINCIPALI STARTUP EUROPEE	140
	7.1) Il caso Lhyfe.....	140
	7.2) Il caso Northvolt	144
	7.3) BIBLIOGRAFIA	150
8)	CONCLUSIONI	152
	8.1) I quesiti di ricerca	152
	8.2) Limitazioni.....	155
	8.3) Prospettive future.....	156
	8.4) BIBLIOGRAFIA	157
9)	BIBLIOGRAFIA COMPLETA.....	158
10)	ALLEGATI	179
	Allegato 1: aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde, in ordine alfabetico	179
	Allegato 2: fatturato, EBITDA e investimenti in R&D di tutte le aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde	182
	Allegato 3: test di correlazione tra fatturato ed EBITDA per le aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde	185
	Allegato 4: aziende attive nel mercato delle batterie, in ordine alfabetico	186
	Allegato 5: fatturato, EBITDA e investimenti in R&D di tutte le aziende attive nel mercato delle batterie.....	190
	Allegato 6: test di correlazione tra fatturato ed EBITDA per le aziende attive nel mercato delle batterie	193

1) INTRODUZIONE

“Una mancata attivazione di misure sul cambiamento climatico porterà a future perdite economiche dell’ordine del 5-20% del PIL globale, mentre i costi annuali per la riduzione delle emissioni di gas serra a livelli accettabili ammonterebbero a non più dell’1% del valore dello stesso indicatore” ^(1.1) è un estratto del Rapporto Stern pubblicato nel 2006, un documento prodotto da Sir Nicholas Stern, al tempo capo del Servizio Economico Governativo inglese ed ex economista capo della Banca Mondiale, uno dei primi rapporti in cui si indicavano i potenziali rischi e impatti del cambiamento climatico incontrollato, e i vari costi e opportunità associati alle azioni per combattere questo fenomeno.

Se il ventesimo secolo viene ricordato per le due Guerre Mondiali, questo ventunesimo secolo vedrà come protagonista principale la lotta al riscaldamento globale, attraverso cambiamenti epocali sotto ogni punto di vista: economico, sociale, industriale, energetico ^(1.2).

Proprio su quest’ultimo aspetto si focalizzerà questo progetto di tesi: già da molti anni si parla di crisi energetica e di transizione ecologica, due fenomeni estremamente rilevanti per gli scenari non solo economici, ma anche geopolitici e sociali che si andranno a delineare nei prossimi decenni.

Per crisi energetica si intende una situazione prolungata di significativa carenza di fonti per l’approvvigionamento energetico in un determinato Paese, o a livello globale, fenomeno esploso in concomitanza con l’invasione russa in Ucraina ^(1.3), e strettamente collegato al concetto di transizione ecologica, ovvero il processo di innovazione tecnologica e rivoluzione ambientale volto a favorire contemporaneamente l’economia e lo sviluppo, mantenendo un approccio rispettoso dell’ambiente e della sostenibilità, attraverso sfide molto ambiziose, tra cui: il raggiungimento della neutralità climatica, con emissioni nette pari a zero nel 2050; la conversione dell’economia tradizionale in “green economy”, ovvero sia circolare e decarbonizzata; la gestione circolare dei rifiuti; la transizioni delle città in “green city” ^(1.4).

All’interno di questo specifico contesto, si innesta la ricerca di nuove e rivoluzionarie tecnologie che possano salvare il pianeta dal surriscaldamento globale, allo stesso tempo senza stravolgere completamente l’economia e le abitudini degli individui.

Il processo che dovrebbe portare alla decarbonizzazione è iniziato con l’utilizzo, sempre più diffuso e incentivato anche da provvedimenti governativi (attuati sia dai singoli Paesi che dall’Unione Europea), di energia proveniente da fonti non fossili che, però, non sono in grado

di soddisfare completamente la domanda di energia elettrica, specie in condizioni di instabilità energetica dovuta a condizioni geopolitiche avverse (in particolare si fa riferimento alla riapertura di centrali a carbone in molti paesi europei nei mesi successivi l'inizio del conflitto russo-ucraino).

Proprio a fronte di potenziali nuovi scenari per cui l'approvvigionamento energetico tradizionale dovesse rimanere così dipendente da equilibri mondiali sempre più instabili, lo sviluppo di soluzioni tecnologiche innovative è diventata una priorità.

Due delle tematiche più importanti, che verranno analizzate in questo progetto di tesi, sono la transizione dalla mobilità tradizionale ad alternative eco-friendly, e le potenzialità di immagazzinamento dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.

L'importanza della transizione della mobilità urbana è espressa, tra i tanti report pubblicati negli ultimi anni, nella relazione speciale del giugno 2020 pubblicata dalla Corte dei conti Europea ^(1.5), nella quale si evidenzia che le emissioni prodotte dai trasporti ammontano al 23% del totale nelle aree urbane; un cambiamento radicale permetterebbe non solo una sostanziale diminuzione delle emissioni in atmosfera, ma anche un netto miglioramento della qualità dell'aria, soprattutto nei centri urbani maggiormente trafficati, risultando in notevoli benefici di salute per i cittadini.

Allo stesso modo è fondamentale sottolineare che la generazione di elettricità a partire da sole fonti rinnovabili sarebbe quasi impossibile se non venissero implementate delle tecnologie complementari, in quanto le problematiche associate a tutte queste soluzioni ecologiche restano ancora irrisolte; in particolare si fa riferimento alla discontinuità, la caratteristica per cui in determinati periodi si produce meno energia rispetto alla domanda, con conseguente deficit energetico e necessità di appoggiarsi ad altre forme, spesso fossili, di approvvigionamento energetico, mentre in altri se ne produce molta di più, con conseguente surplus energetico e necessità di immagazzinare l'energia prodotta per evitare che venga dispersa.

Allo stesso tempo, la tendenza all'elettrificazione di molti aspetti della vita quotidiana ha portato alla necessità che in ogni istante la produzione di energia elettrica soddisfi la domanda, spesso molto variabile non solo a seconda delle stagioni, ma anche all'interno di una stessa giornata (picchi di domanda che si raggiungono solo in determinate ore) e spesso disaccoppiata rispetto ai picchi di generazione elettrica da fonti rinnovabili.

Ovviamente, non tutte le forme di generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili soffrono allo stesso modo delle problematiche sopra descritte, che infatti toccano principalmente il fotovoltaico e l'eolico ^(1.6), anche se in Europa più del 50% dell'energia elettrica rinnovabile proviene da queste due fonti [Figura 1.1], rendendo necessaria l'implementazione di tecnologie di accumulo che possano attenuare questi fenomeni, immagazzinando energia nei momenti di surplus energetico e rilasciandola nei momenti di deficit.

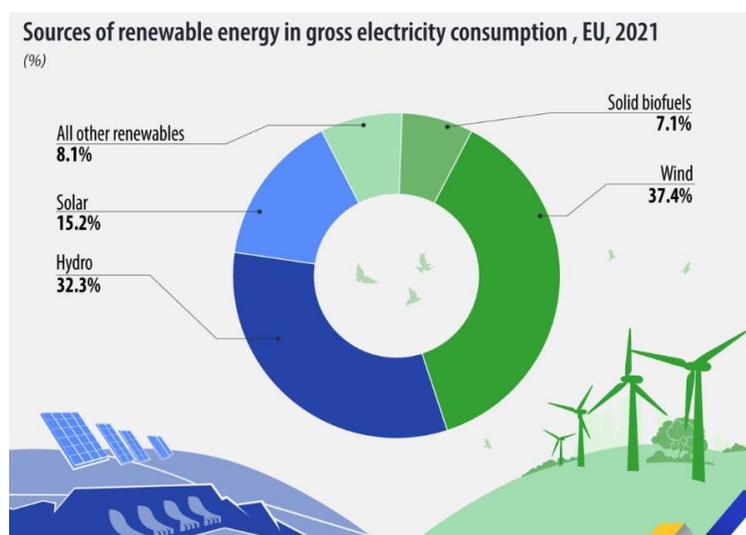


Figura 1.1: mix energetico proveniente da fonti rinnovabili in Europa ^(1.7)

Questo progetto di tesi si focalizza sull'analisi delle due principali alternative che la comunità tecnico – scientifica ha prodotto negli ultimi anni: l'utilizzo di idrogeno come vettore energetico oppure l'utilizzo di sistemi di batterie, partendo dal contesto mondiale ed europeo, verificando le potenzialità tecniche ed economiche con annessi rischi e problematiche, integrando l'attività di innovazione portata avanti dalle startup e dagli enti di ricerca a supporto di queste ultime, e concludendo con delle possibili ipotesi circa gli scenari europei futuri, se queste due tecnologie potranno convivere e lavorare sinergicamente, oppure se una sarà destinata a prendere il sopravvento sull'altra.

Più specificamente, la struttura dell'elaborato è la seguente:

- Nel secondo capitolo verrà descritta la catena del valore di entrambe le tecnologie, necessaria per comprendere quanto le due tecnologie, per quanto siano utilizzate e utilizzabili per risolvere problemi simili, siano tra loro diverse.
- Nel terzo capitolo si analizzerà il contesto economico – industriale su scala mondiale, le potenzialità di crescita future per entrambe le tecnologie, con particolare focus sulla comparazione tra le due.
- Il quarto capitolo tratterà del mercato europeo, andando più nel dettaglio delle dinamiche economiche e istituzionali per promuovere e finanziare la ricerca e l'adozione su larga scala di entrambe le tecnologie, in contrapposizione con altre aree del mondo quali gli Stati Uniti o l'Asia (in particolare India e Cina).
- Nel quinto capitolo, verranno descritte le principali problematiche legate all'utilizzo su larga scala di entrambe le tecnologie, sia per il medio termine che per il lungo termine; si farà particolare attenzione soprattutto alle implicazioni derivanti dalla potenziale adozione su larga scala dell'una tecnologia rispetto all'altra, utilizzando come ulteriore metro di paragone, sia dal punto di vista delle emissioni che dal punto di vista del costo, la metodologia tradizionale di generazione di energia elettrica (gas naturale e carbone, nello specifico).
- Nel sesto capitolo il focus sarà rivolto ai principali players europei già presenti sul mercato, analizzando parametri quali il fatturato, la redditività (EBITDA) e gli investimenti effettuati in R&D, e altre caratteristiche più di contorno quali la numerosità di aziende strutturate già presenti nel settore (con potenziali sbilanciamenti del potere di mercato a favore delle realtà più grandi).
- Il settimo capitolo manterrà la stessa impostazione analitica del primo, cambiando l'oggetto di studio dalle aziende strutturate alle due principali startup europee, una per ogni mercato.
- Infine, nell'ottavo capitolo si concluderà il progetto con un'analisi delle potenzialità di utilizzo sinergico oppure antagonista tra le due tecnologie analizzate, a fronte di quanto descritto nei capitoli precedenti, con delle ipotesi su eventuali scenari futuri.

1.1) BIBLIOGRAFIA

- 1.1 Stern, N. Stern review: the economics of climate change. United Kingdom: N. p., 2006. Web.
- 1.2 Cianciullo, Antonio, and Gianni Silvestrini. La corsa della green economy: come la rivoluzione verde sta cambiando il mondo. Edizioni Ambiente, 2010.
- 1.3 FABRIS, Andrea Angelo. L'analisi della crisi energetica degli anni"70 a confronto con la crisi in corso nell'ultimo triennio (2020-2022). 2022.
- 1.4 RONCHI, Edo. Le sfide della transizione ecologica. Edizioni Piemme, 2021.
- 1.5 Mobilità urbana sostenibile nell'UE: senza l'impegno degli Stati membri non potranno essere apportati miglioramenti sostanziali; Sezione di audit II.
- 1.6 BALLATORE, S.; VANTADORI, F. INTEGRAZIONE FRA ENERGIE PRODOTTE DA FONTI RINNOVABILI: IL FUTURO DELL'IDROELETTRICO. XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 2012.
- 1.7 Eurostat; 2022; sources of renewable energy in gross electricity consumption; Eurostat Data Browser.

2) ANALISI DELLA CATENA DEL VALORE

Prima di analizzare nello specifico le dinamiche economiche e di mercato legate all'idrogeno e alle batterie, è fondamentale descriverne al meglio la catena del valore, in modo da comprenderne al meglio la complessità intrinseca e le varie fasi che la ricerca e l'attività industriale stanno tentando di potenziare, non solo per velocizzare il più possibile il processo di transizione ecologica richiesto dalle istituzioni europee, ma anche per essere le prime a raggiungere un livello di efficienza economica tale da garantire una posizione di vantaggio rispetto ai competitors, migliorando gli aspetti più carenti, più difficili, o meno esplorati della catena del valore.

Questo ragionamento non si applica solo per le imprese strutturate già operanti nel settore, ma vale anche per gli enti di ricerca, che possono ottenere grande prestigio e riconoscimenti a livello internazionale, per le startup, che sperano di fare scale up molto importanti, per gli investitori che sperano di ottenere ritorni molto importanti sui propri investimenti.

2.1) Idrogeno

Per analizzare al meglio la catena del valore dell'idrogeno è necessaria una precisazione fondamentale: l'idrogeno è un vettore energetico già prodotto e utilizzato in numerose forme e mercati, in particolare quello asiatico, ma non tutte le tecniche di produzione di questo elemento sono ecologicamente valide.

Esistono tre principali tipologie di idrogeno [Tabella 2.1]: grigio, blu e verde; i principali fattori differenzianti sono, oltre a modalità e tecnologie di produzione, il quantitativo di anidride carbonica equivalente emessa durante il processo produttivo, e il costo unitario di produzione. La prima tipologia (idrogeno grigio) è attualmente quella più presente sul mercato, dato che le caratteristiche di produzione e di integrabilità con altri processi produttivi lo rendono estremamente più vantaggioso rispetto alle alternative: l'idrogeno grigio si ottiene, infatti, per estrazione da metano e altri idrocarburi, oppure come prodotto di scarto di reazioni chimiche. L'idrogeno blu non differisce dall'idrogeno grigio nelle modalità di produzione, che sono identiche (si tratta sempre di produzione tramite estrazione da metano e altri idrocarburi, oppure come prodotto di scarto di reazioni chimiche), ma nelle tecnologie implementate durante il processo, che prevede l'utilizzo di tecnologie di CCS (Carbon Capture and Storage, tecniche di

cattura, trasporto e stoccaggio di CO₂ prodotta dai processi industriali) in grado di diminuire le emissioni in atmosfera.

Infine, l'ultima e più interessante tipologia di idrogeno è indicata come "verde", completamente diversa rispetto alle prime due sia nel processo produttivo che per le tecnologie utilizzate: si ottiene, infatti, tramite elettrolisi dell'acqua, oppure come risultato della reazione chimica dell'alluminio metallico con l'acqua.

Quest'ultima modalità, per quanto tecnicamente plausibile, presenta diverse problematiche ^(2.1) che la rendono di fatto non appetibile; in particolare si fa riferimento alla necessità di dover prevenire l'ossidazione dello strato superficiale dell'alluminio metallico, al prezzo delle materie in input non stabile (fortemente dipendente dal prezzo di mercato dell'alluminio), e agli alti costi di estrazione (non solo economici, ma anche sociali) che renderebbero necessario l'utilizzo, anziché di alluminio metallico, di rottami di alluminio, spesso in lega con altri elementi che gli conferiscono caratteristiche fisico / chimiche diverse e variabili, impossibilitando la standardizzazione del processo produttivo.

La differente denominazione serve per far capire immediatamente quale sia l'impatto ambientale della produzione di ogni tipologia di idrogeno, in termini di chilogrammi di CO₂ equivalente emessa in atmosfera per ogni chilogrammo di idrogeno prodotto ^(2.2).

Seguirà, nei capitoli successivi, l'analisi dettagliata sia dal punto di vista delle emissioni di gas serra in atmosfera che dal punto di vista economico (costo necessario per produrre la stessa quantità di energia), tramite un confronto con le modalità tradizionali di produzione di energia elettrica (ovvero gas naturale e carbone).

Ovviamente la produzione di idrogeno grigio comporta emissioni notevolmente maggiori rispetto alle altre due, con una media di circa 300 chilogrammi di CO₂ equivalente per ogni kg di idrogeno, quantitativo considerevole se si considera, come benchmark, che la produzione di un chilogrammo di plastica genera l'emissione di circa 6 chilogrammi di CO₂ equivalente in atmosfera ^(2.3).

L'aggiunta di apposite tecnologie di CCS permette di ridurre considerevolmente le emissioni, con un'efficacia che oscilla tra l'80% e il 90% di anidride carbonica catturata nel processo; questo non rende l'idrogeno blu completamente eco – friendly, ma riesce a far scendere le emissioni fino a una media di circa 35 Kg di CO₂ equivalente.

La produzione di idrogeno verde, invece, prevede che si utilizzino degli elettrolizzatori per separare l'acqua nelle sue componenti fondamentali (ossigeno e idrogeno per l'appunto); questo processo è definibile completamente a zero emissioni se l'elettricità utilizzata per far funzionare gli elettrolizzatori proviene da fonti rinnovabili.

L'ultimo essenziale aspetto da valutare è il costo di produzione (in \$ / Kg), per capire le ragioni che determinano la situazione attuale del mercato ^(2,4): l'idrogeno grigio è la tipologia dominante grazie ai costi di produzione molto bassi rispetto alle due controparti (come specificato poc'anzi, la modularità con altri processi industriali permette di condividere parte degli impianti), che in media sono pari a circa 3 \$ / Kg; l'implementazione di tecnologie specifiche per abbassare il carbon footprint fanno leggermente alzare il costo complessivo di produzione, per cui l'idrogeno blu presenta un costo medio di circa 4 \$ / Kg; infine l'idrogeno verde, a causa dell'incertezza tecnologica e della mancanza di un design dominante di processo, presenta il costo più elevato di tutti, per altro con una forbice di variabilità molto ampia (in media varia tra i 3 \$ / Kg e gli 8 \$ / Kg, per una media di circa 6 \$ / Kg) [Tabella 2.1].

Per questo progetto di tesi si farà riferimento esclusivo all'idrogeno verde, perché più promettente in termini di scenari futuri per la decarbonizzazione; le altre tecnologie sono o troppo legate a processi ad elevate emissioni; quindi, poco futuribili con la prospettiva dell'abbandono sempre crescente di fonti fossili, o troppo complicate da serializzare con il set di competenze industriali e tecnologiche attuali.

le diverse tipologie di idrogeno				
tipologia	grigio	blu	verde	
tecnica produttiva	scarto di reazioni chimiche, oppure estratto da metano e altri idrocarburi	analogo a quello grigio, utilizzo di CCS (carbon capture and storage)	elettrolisi	risultato della reazione dell'alluminio con l'acqua
emissioni CO2 equivalente per 1 kWh di energia prodotta	≈ 300 kg	≈ 35 kg	0 kg	0 kg
costo di produzione	≈ 3 \$/kg	≈ 4 \$/kg	≈ 6 \$/kg	variabile: fortemente dipendente dal prezzo dell'alluminio

Tabella 2.1: comparazione delle caratteristiche delle diverse famiglie di idrogeno

Una volta definite le caratteristiche fondamentali dell'idrogeno verde prodotto mediante elettrolisi, è fondamentale descriverne al meglio la catena del valore.

La catena del valore dell'idrogeno consta di quattro fasi principali: produzione, stoccaggio e trasporto, sviluppo di infrastrutture, e utilizzo ^{(2.5); (2.6); (2.7)}.

- La produzione avviene mediante elettrolisi dell'acqua, utilizzando energia rinnovabile; sostanzialmente gli elettrolizzatori sono strumenti in grado di separare le molecole di idrogeno e ossigeno presenti nell'acqua utilizzando energia elettrica come input; una volta terminato il processo, l'idrogeno prodotto viene compresso e immagazzinato.
- Stoccaggio e trasporto: l'idrogeno prodotto viene trasportato e immagazzinato in serbatoi ad alta pressione; questa è una fase molto delicata della catena del valore, in quanto si tratta di una sostanza altamente infiammabile, trasportata (in forma liquida o gassosa) a pressioni molto alte, che quindi richiedono degli standard di sicurezza ed efficienza non indifferenti.
- Sviluppo di infrastrutture: l'idrogeno deve essere distribuito attraverso reti di gasdotti (riqualificando quelli già esistenti per il trasporto di gas naturale, oppure costruendone di nuovi, dedicati) e reti di stazioni di servizio, utilizzate sia per il rifornimento di veicoli privati (automobili a celle a combustibile) che per l'alimentazione di impianti industriali.
- Utilizzo: insieme di tutti i possibili campi di applicazione dell'idrogeno come input.

breakdown della catena del valore	suppliers	produzione
		stoccaggio e trasporto
		sviluppo di infrastrutture
	end users (tecnologie che utilizzano l'idrogeno come input)	applicazioni industriali (chimica, metalmeccanica, ecc)
		mobilità
		storage di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili

Tabella 2.2: schema di tutte le fasi che compongono la catena del valore dell'idrogeno verde

Le prime tre fasi della catena del valore possono essere sintetizzate dalla dicitura “suppliers”, ovvero tutti gli attori che ivi operano forniscono idrogeno o infrastrutture ad altre entità perché lo utilizzino, sono a monte della catena del valore; al contrario l'ultima fase, l'utilizzo, quella

più a valle della catena del valore, presenta diverse declinazioni, a seconda di quale uso gli attori nel mercato fanno dell'idrogeno; nello specifico, i principali utilizzi sono relativi alla mobilità green (sviluppo di veicoli a celle a combustibile, che utilizzano quindi l'idrogeno come principale carburante), alle applicazioni industriali (l'idrogeno è altamente utilizzato nell'industria chimica per la produzione di ammoniaca, e nell'industria metalmeccanica, come additivo), e allo storage di energia elettrica (come vettore energetico ad alta densità, in grado di ridurre il problema della discontinuità per le fonti di energia rinnovabile, perché di fatto permetterebbe di convertire tutto l'eventuale surplus di energia elettrica in idrogeno, che verrebbe stoccato e trasformato nuovamente in energia elettrica in caso di necessità) [Tabella 2.2].

2.2) Batterie

La catena del valore delle batterie, a differenza dell'idrogeno, non presenta distinzioni così nette e marcate tra le diverse tipologie maggiormente utilizzate nel contesto odierno, in quanto si tratta di tecnologia più matura dal punto di vista tecnologico e industriale, fattore che ha determinato l'innesto di standard all'interno della filiera oramai consolidati ^(2.8), lo sviluppo e l'adozione di tecniche specifiche (benché l'aspetto di innovazione tecnologica sia sempre un fattore preponderante, che potrebbe stravolgere completamente quella che, a oggi, viene considerata la prassi).

Il campo di applicazione delle batterie è estremamente vasto, considerando quanto stia diventando preponderante la tendenza a elettrificare ogni aspetto della vita quotidiana, ma lo si può ricondurre a tre principali macro-famiglie [Tabella 2.3]:

- Elettronica di consumo: comunemente associata a tutti i dispositivi portatili che, per funzionare, hanno bisogno di batterie interne; generalmente per questo utilizzo si adoperano batterie con tecnologie consolidate, come il litio-ione o il nickel-metallo idruro, in grado di garantire le caratteristiche di leggerezza, compattezza e buona durata della carica.
- Mobilità: di fondamentale importanza per la transizione della mobilità dalle fonti fossili tradizionali ad alternative ecologiche, devono garantire un'elevata densità energetica per garantire un'autonomia adeguata; le tecnologie che, a oggi, sono più utilizzate sono il litio-ione e il polimero di litio, ma nuove tecnologie si stanno lentamente facendo largo

nel panorama competitivo, in modo da aumentare sempre di più l'autonomia, ridurre i rischi associati all'eccessivo surriscaldamento delle celle (molti dei componenti sono altamente infiammabili, e i principi di incendio possono essere molto complicati da estinguere), e diminuire il più possibile i tempi di ricarica ^(2.9).

- Storage di energia elettrica: utilizzo che sta diventando sempre più importante e si stima diventi prevalente nel medio lungo termine, come soluzione alle problematiche associate alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili (in particolare si fa riferimento alla generazione di energia tramite fotovoltaico ed eolico), ovvero il disaccoppiamento e la discontinuità (picchi di produzione energetica non simultanei ai picchi di domanda e produzione non costante nel corso di intervalli di tempo regolari, rispettivamente); le batterie, in questo settore, vengono utilizzate per immagazzinare l'energia durante i picchi di produzione, rilasciandola quando aumenta la domanda; si fa uso generalmente di batterie con dimensioni considerevoli, le tecnologie più utilizzate sono il litio-ione, il nichel-cadmio, il piombo-acido, e il vanadio-redox (anche in questo campo di applicazione si riscontrano molti tentativi di innovazione, col principale obiettivo di sostituire tecnologie consolidate, ma inquinanti nella produzione e nello smaltimento, con alternative maggiormente sostenibili dal punto di vista ambientale) ^{(2.10); (2.11)}.

scheda degli utilizzi		
elettronica di consumo	storage di energia	mobilità elettrica

Tabella 2.3: scheda degli utilizzi delle batterie

Come accennato poc'anzi, i differenti possibili utilizzi per le batterie non portano ad avere diverse catene del valore, a seconda delle caratteristiche necessarie al corretto funzionamento (ad esempio per l'elettronica di consumo è fondamentale che le batterie abbiano dimensioni ridotte, siano leggere e che presentino una batteria durevole, mentre per la mobilità diventa molto importante la densità energetica, a scapito di peso e dimensioni).

La catena del valore delle batterie, rispetto alla controparte dell'idrogeno, risulta essere più articolata, in quanto si rendono necessarie, oltre alle attività più facilmente ipotizzabili come la lavorazione dei materiali e l'assemblaggio, delle attività a monte (estrazione dei materiali) e a

valle (riciclo delle batterie a fine vita); nel complesso si può sintetizzare in sei passaggi fondamentali ^(2.12) [Tabella 2.4].

breakdown della catena del valore	estrazione mineraria (cobalto, nickel, litio, manganese)
	raffinazione dei materiali
	realizzazione dei materiali attivi (componenti chimicamente attivi contenuti nei due elettrodi e nell'elettrolita)
	produzione delle pile (unità elementari)
	produzione delle batterie
	riciclo e riutilizzo

Tabella 2.4: catena del valore delle batterie

- Estrazione mineraria: la produzione delle batterie richiede l'utilizzo di diverse materie prime, in particolare metalli (nello specifico litio, cobalto, manganese e nichel), terre rare (un gruppo di 17 elementi chimici utilizzati non solo nella produzione di batterie, ma anche di molti altri prodotti tecnologici) e polveri di grafite ^(2.13); questo primo passo della catena del valore è particolarmente critico, a causa delle implicazioni non solo ambientali (il processo di estrazione è altamente inquinante, richiede l'utilizzo di molta acqua ed energia, spesso è causa di deforestazione), ma anche sociali (i principali paesi esportatori di materie prime sono paesi in via di sviluppo, nelle cui miniere spesso si verificano fenomeni di sfruttamento di lavoro minorile, corruzione e conflitti armati) ^(2.14).
- Raffinazione dei materiali: le materie prime estratte nel primo step della catena del valore devono essere trattate per poter essere utilizzate come componenti all'interno delle batterie; nello specifico, in questo passaggio si cerca di massimizzare la purezza dei minerali (litio e nichel), in modo da garantire una qualità elevata del prodotto finale e cercare di minimizzare l'impatto ambientale del processo produttivo nel suo complesso ^(2.15).
- Realizzazione dei materiali attivi ^(2.16); ^(2.17); ^(2.18): in questa fase vengono realizzati le componenti elementari per il buon funzionamento delle batterie, ovvero gli elettrodi e l'elettrolita; i primi sono i due poli con carica opposta, chiamati catodi se aventi carica negativa o anodi se aventi carica positiva, il secondo è l'elemento di separazione, che

permette il trasferimento di ioni, quindi il flusso di corrente elettrica; questo passaggio è fondamentale, in quanto la scelta sulla composizione chimica e sulla struttura dei componenti (in ultima analisi, quindi, la scelta dei precursori chimici, la preparazione delle polveri, la miscelatura dei materiali e la formatura degli elettrodi) determina le caratteristiche della batteria in termini di prestazioni (capacità di immagazzinare energia, velocità nella ricarica, durata) e di sicurezza (in particolare per l'elettrolita, che dovrebbe evitare cortocircuiti o altri problemi di sicurezza interni alla batteria); allo stato attuale della tecnologia per la realizzazione degli elettrodi vengono utilizzate polveri di ossidi metallici (litio-cobalto, litio-nichel, litio-manganese, litio-ferro-fosfato) e la grafite, mentre per la realizzazione dell'elettrolita, che può essere solido o liquido a seconda del tipo di batteria, si utilizza generalmente acido solforico diluito o polimeri ionici; l'attività di ricerca in questo specifico passaggio della catena del valore è molto attiva, specie negli ultimi anni, con la ricerca e la sperimentazione sempre più intensiva di alternative ai materiali attivi tradizionali che offrano prestazioni ancora migliori e che rispettino maggiormente i criteri di ecosostenibilità che questa fase della catena del valore non sempre riesce a rispettare, tuttavia non ancora si hanno riscontri completamente positivi dal mercato, dato che i costi di produzione sono ancora troppo elevati rispetto alle alternative tradizionali.

- Produzione delle pile^(2.19): in questa fase della catena del valore si realizzano le celle elementari della batteria, che poi verranno assemblate in moduli e pacchi batteria (il prodotto finale pronto per l'utilizzo effettivo); questa fase è particolarmente delicata, in quanto la realizzazione delle celle determina l'efficienza e la durata della batteria nel suo complesso; il processo consta nell'impilare alternativamente anodo, elettrolita e catodo in un involucro sigillato, prestando attenzione a diversi fattori fondamentali come la densità di carica, la distribuzione dell'elettrolita e la compressione delle componenti, in modo da ottenere un risultato finale che rispetti le caratteristiche fondamentali di qualità e affidabilità per il buon funzionamento della batteria, una volta assemblata; esistono diverse tipologie di produzione delle pile, dalle più semplici e standardizzate (produzione di celle elementari piombo-acido, che consiste nella semplice pressatura delle piastra con un elettrolita liquido) oppure più sofisticate (produzione di celle elementari agli ioni di litio, in cui devono essere depositati film sottili di materiale attivo su substrati di

alluminio o rame); anche questa fase della catena del valore potrebbe essere soggetta, nel medio-lungo termine, a cambiamenti sostanziali in seguito all'attività di ricerca che potrebbe portare all'utilizzo di nuovi materiali attivi, che richiederebbero tecniche di produzione diverse rispetto a quelle odierne.

- Produzione delle batterie: realizzazione di moduli e pacchi batteria assemblando le singole celle; in questa fase non si effettua esclusivamente l'interconnessione delle celle, in modo tale che possano lavorare insieme, ma anche tutta una serie di sistemi per la gestione del prodotto finale e l'involucro esterno^(2.20); per interconnessione delle celle si intende la creazione di sistemi in serie, in parallelo o ibridi per raggiungere le caratteristiche desiderate nel complesso per il pacchetto batteria, nello specifico la configurazione delle celle determina la tensione e la capacità; i sistemi di gestione⁽²⁸⁾ riguardano principalmente gli aspetti termici ed energetici del modulo, i primi per garantire che le singole celle mantengano una temperatura adeguata (evitare il surriscaldamento della batteria ed aumentarne la vita utile), mentre i secondi per monitorare e controllare la distribuzione della carica tra le singole celle (evitare potenziali squilibri di carica eccessivi che potrebbero andare a danneggiare la batteria); in ultimo viene realizzato un involucro esterno in grado di proteggere le celle da urti, vibrazioni e agenti atmosferici (esistono diverse possibili scelte sui materiali e sul design con cui vengono solitamente realizzati gli involucri, dipendenti sostanzialmente dall'utilizzo per cui la batteria è concepita, tenendo conto delle caratteristiche di resistenza meccanica, peso, durata e sicurezza che il modulo deve garantire)^(2.21).
- Riciclo e riutilizzo: le batterie hanno al loro interno tanti materiali preziosi, che possono essere recuperati anche se il modulo, nel suo complesso, è arrivato alla fine della sua vita utile (quindi non riesce più a garantire durante l'utilizzo le caratteristiche per cui è stato ingegnerizzato, come la durata, l'efficienza, la velocità di ricarica, eccetera); a tal proposito l'attività di riciclo e riutilizzo delle batterie a fine vita diventa molto importante soprattutto per i potenziali scenari energetici futuri, in cui questa tecnologia diventerà sempre più parte integrante della vita quotidiana, e si renderà necessario aumentare notevolmente la produzione di moduli e pacchi batteria^(2.22); in questo scenario, tutto il processo di estrazione delle materie prime necessarie alla produzione potrebbe diventare insostenibile, perciò da circa una decade ha assunto rilevanza fondamentale la possibilità

di recuperare materiali necessari alla produzione di nuove batterie (nello specifico litio, cobalto, manganese e nichel) partendo dal riciclo di quelle a fine vita; le batterie usate devono essere raccolte in modo sicuro, per evitare incidenti o danni ambientali, per poi essere smontate; una volta, quindi, estratte le celle dall'involucro e da tutti gli elementi di controllo (cavi, terminali e moduli interni) vengono separati i materiali; questa è la fase più critica del riciclo, in quanto i processi di separazione sono specifici per ogni materiale, e questi ultimi hanno un valore intrinseco, che un procedimento errato potrebbe intaccare; in seguito i materiali rientrano nella catena del valore come fossero stati appena estratti, e subiscono nuovamente le fasi di raffinazione, realizzazione dei materiali attivi, produzione di celle elementari e assemblaggio di moduli e pacchi batteria; l'implementazione di tecnologie di riciclo economicamente sostenibili è fondamentale per la buona riuscita dei progetti energetici ecosostenibili, data la primaria necessità di efficientare l'utilizzo delle risorse necessarie in input (ovvero le terre rare) (2.23).

2.3) BIBLIOGRAFIA

- 2.1 Massachusetts Institute of Technology (MIT) Energy Initiative; Using Aluminum and Water to Make Clean Hydrogen Fuel When and Where It's Needed; URL: <https://energy.mit.edu/news/using-aluminum-and-water-to-make-clean-hydrogen-fuel-when-and-where-its-needed/#:~:text=Another%20option%20for%20producing%20hydrogen,form%20aluminum%20hydroxide%20and%20hydrogen.>
- 2.2 'Clean' hydrogen? An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen; CCEP Working Paper 21-03 March 2021; Thomas Longden, Fiona J. Beck, Frank Jotzo, Richard Andrews, Mousami Prasad
- 2.3 Lindkvist, L., Svanström, M., & Finnveden, G. (2014). Life Cycle Assessment of PET Bottle Recycling - Analysis of the Environmental Impact of Different Recycling Routes. *Journal of Cleaner Production*, 78, 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.089>
- 2.4 Autore/i: International Energy Agency (IEA); Titolo: Global Hydrogen Review 2021: Executive Summary; Tipo di pubblicazione: Rapporto; Data di pubblicazione: 2021;

Editore: International Energy Agency (IEA); URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021/executive-summary>

- 2.5 Spath, P.L. and Mann, M.K. (2000). Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming. National Renewable Energy Laboratory.
- 2.6 U.S. Department of Energy. (2021). Hydrogen Production: Electrolysis. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- 2.7 IEA. (2021). The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. International Energy Agency.
- 2.8 Yilmaz, E. (2019). The battery industry: Supply chain and manufacturing process overview. *Procedia Manufacturing*, 38, 164-1169. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.037>
- 2.9 Singh, L., & Sharma, V. (2020). Electric vehicles: progress, challenges, and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 261, 121183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121183>
- 2.10 Yang, Z., Zhang, J., Kintner-Meyer, M. C. W., Lu, X., & Choi, D. (2011). Electrochemical energy storage for green grid. *Chemical Reviews*, 111(5), 3577-3613. <https://doi.org/10.1021/cr100290v>
- 2.11 Sioshansi, R. (Ed.). (2019). Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04538-6>
- 2.12 Bauer, C., Hofer, J., Althaus, H.J., and Del Duce, A. (2019). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles—an analysis of the battery production process. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(3), 381-397.
- 2.13 United Nations Conference on Trade and Development (2020). Commodities at a Glance: Special issue on strategic battery and energy materials. UNCTAD.
- 2.14 Battaglia, C., Freni, S., and Carraro, M. (2020). Environmental and social impacts of lithium-ion batteries and their recycling potential. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120168.
- 2.15 D. D. MacDonald, "Nickel refining and recycling," *Journal of Metals*, vol. 53, no. 2, pp. 22-27, 2001.

- 2.16 Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: status, prospects and future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419-2430.
- 2.17 Winter, M., & Brodd, R. J. (2004). What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245-4270.
- 2.18 Goodenough, J. B., & Park, K. S. (2013). The Li-ion rechargeable battery: a perspective. *Journal of the American Chemical Society*, 135(4), 1167-1176.
- 2.19 Armand, M., & Tarascon, J. M. (2008). Building better batteries. *Nature*, 451(7179), 652-657.
- 2.20 L. Lu, J. Li, J. Park, et al., "Manufacturing and Design of Lithium-Ion Batteries: A Review", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no. 4, 2015.
- 2.21 P. Moseley, "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs", *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 3, pp. 906-913, 2011.
- 2.22 Hagelüken, C. (2018). Recycling of battery metals—a review of current processes and technologies. *Journal of Power Sources*, 393, 181-199.
- 2.23 Paulino, J. F. T., & Pereira, C. C. (2021). Battery recycling: state-of-the-art and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127443

3) ANALISI DEL CONTESTO ATTUALE, SU SCALA MONDIALE (CON PROIEZIONI DI CRESCITA)

In questa sezione verranno introdotte le prime misure quantitative, in modo da circoscrivere al meglio i mercati di entrambe le tecnologie su scala globale allo stato attuale e dare loro una dimensione economica misurabile.

Questa analisi preliminare è necessaria sia per comprendere al meglio la diffusione e l'importanza delle due tecnologie, in termini di utilizzo e di dimensione attuale del mercato, che per fornire una baseline rispetto alle rispettive stime di crescita.

Tutte le stime di crescita faranno riferimento all'anno 2030, una data importante per la transizione ecologica, in quanto si tratta di un passaggio intermedio, un punto di riferimento fondamentale per gli obiettivi climatici a lungo termine stabiliti dall'Accordo di Parigi, che prevede come obiettivo ridurre le emissioni di gas serra e limitare l'aumento della temperatura globale entro 1,5° C rispetto ai livelli preindustriali, entro il 2050 ^(3.1).

Non si è scelto di utilizzare il 2050 come data obiettivo per le stime economiche di lungo periodo, in quanto si tratta di un orizzonte temporale troppo lungo per la produzione di stime affidabili, data l'enorme attività di ricerca accademica e industriale sulle due tecnologie in questione, che potrebbero portare al raggiungimento di economie di scala oppure alla scoperta di design di prodotto o di processo dominanti, e determinare degli scenari completamente inaspettati.

L'indice economico che verrà utilizzato per valutare la crescita dei due mercati è il CAGR, ovvero tasso di crescita annuale composto (compound annual growth rate), che permette di visualizzare, in percentuale, la crescita annua del mercato (in funzione di una delle seguenti metriche: ricavi, volumi di vendita, valore della produzione, numero di utenti), tenendo conto dell'orizzonte temporale [Formula 3.1].

$$CAGR = \left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{\frac{1}{t}} - 1$$

Formula 3.1: espressione per il calcolo del CAGR

Dove:

- V_i rappresenta il valore iniziale
- V_f rappresenta il valore finale
- t rappresenta l'orizzonte temporale considerato

Data l'evidente differenza nello stato di sviluppo e applicazione delle due tecnologie (l'idrogeno verde è ancora praticamente inutilizzato, mentre le batterie hanno già ampi campi di utilizzo su larga scala), le metriche utilizzate per l'analisi del mercato attuale su scala globale saranno differenti.

Le fonti principali per la realizzazione di questa sezione sono principalmente di matrice istituzionale: la maggior parte delle informazioni relative al mercato mondiale dell'idrogeno verde deriva dai report dell'International Energy Agency, mentre per le analisi sulle batterie verranno riportate informazioni presenti in report di illustri società di consulenza quali McKinsey & Company e Deloitte, oltre che in documenti pubblicati dalle istituzioni europee negli ultimi anni.

3.1) Idrogeno

Analizzare il mercato mondiale dell'idrogeno verde è un esercizio particolarmente delicato dato che, allo stato attuale della tecnologia, non esistono revenue stream sufficienti per determinarne la dimensione economica effettiva, né in termini di produzione né di domanda specifica.

Come specificato all'inizio del capitolo, per arrivare a definire la dimensione del mercato mondiale di idrogeno verde bisognerà partire da metriche più generali [Tabella 3.1] e operare delle opportune trasformazioni per ottenere valori più prettamente utilizzabili per un'analisi economica.

	andamento della domanda	
	2021	2030
domanda globale (M ton)	94	180
% idrogeno verde che copre la domanda	1%	≈ 19%
CAGR	≈ 49%	

Tabella 3.1: mercato globale dell'idrogeno verde (in M ton)

La domanda di idrogeno verde, al momento, rappresenta una frazione troppo piccola rispetto alla domanda globale di idrogeno ^(3.2): nel recente report dell'International Energy Agency (avente obiettivo la revisione del sistema energetico nel suo complesso, in funzione della potenziale adozione dell'idrogeno verde come vettore) viene stimato che l'idrogeno verde copre circa l'1% della domanda globale di idrogeno.

Queste percentuali così esigue non permettono di analizzare il mercato in termini direttamente monetari (ovvero calcolandone la grandezza come valore economico della domanda nel suo complesso), rendendo possibile il calcolo solo mediante una stima indiretta.

L'International Energy Agency, in un report del 2021 (il più recente anno disponibile per avere dei dati sufficientemente accurati), fornisce una stima sulla domanda globale di idrogeno (in aggregato, quindi indipendente dalla tipologia) pari a circa 94 milioni di tonnellate; allo stesso modo l'International Energy Agency ha stimato che la quota di domanda che viene effettivamente coperta dall'idrogeno verde è pari all'1% circa ^(3.3).

Considerando affidabile questa stima si arriva a dimensionare il mercato mondiale dell'idrogeno verde in volumi prodotti, pari a 0,94 M ton.

Per effettuare il passaggio dai volumi alla dimensione economica è necessaria una premessa: il calcolo della grandezza di un mercato a partire dal valore della produzione è un'approssimazione, che si rende necessaria a causa della mancanza di altri parametri utilizzabili (come già sottolineato, la tecnologia è ancora troppo acerba e non permette di definire con precisione la domanda e l'offerta specifica, dei prezzi standardizzati, un panorama competitivo sufficientemente ampio).

Esistono, ovviamente, dei principi economici ^(3.4) che permettono questo passaggio logico, in quanto il valore della produzione fornisce in linea teorica il volume di scambi legati al mercato,

è correlato alla domanda del bene in questione, e fornisce una stima del contributo economico del bene sull'economia globale.

Il range di costo per la produzione di un chilo di idrogeno verde (già introdotto nel capitolo precedente) è molto ampio, variabile tra i 3 \$/Kg e gli 8 \$/Kg, a causa di una combinazione di fattori^(3.5): l'efficienza e la capacità di scala delle diverse tecnologie sono fortemente variabili tra loro; il costo dell'energia rinnovabile da utilizzare per l'elettrolisi dell'acqua varia notevolmente a seconda del paese in cui si produce; mancanza di investimenti significativi in infrastrutture per il raggiungimento delle economie di scala, che permetterebbero di aumentare l'efficienza e diminuire il costo unitario.

Considerando, quindi, un valore intermedio tra il massimo e il minimo, si assume che il costo medio di produzione di un chilogrammo di idrogeno verde sia pari a 5,5 \$; che, moltiplicato per il volume globale di idrogeno verde prodotto (ricavato in precedenza) permette di giungere ad una prima approssimazione della dimensione economica del mercato, pari a circa 5,17 miliardi di dollari.

Dimensionato il mercato attuale dell'idrogeno verde, è necessario stimare il potenziale andamento di quest'ultimo al 2030, per avere contezza delle potenzialità economiche rispetto alle tecnologie concorrenti.

L'International Energy Agency^(3.3) stima che, al 2030, la domanda globale di idrogeno (in aggregato rispetto alla tecnologia produttiva) passerà dalle 94 milioni di tonnellate registrate nel 2021 a circa 180 milioni di tonnellate; perciò, secondo l'IEA il mercato globale dell'idrogeno crescerà annualmente (CAGR) del 7,5% circa.

Questo indice di crescita potrebbe risultare fuorviante, in quanto sembrerebbe abbastanza contenuto per un mercato considerato così importante per la transizione ecologica e nel quale sono in atto corposi programmi di investimento su scala mondiale (sia da parte delle imprese che vogliono entrare nel settore, che da parte delle istituzioni nazionali ed internazionali).

È molto importante distinguere tra mercato dell'idrogeno nel suo complesso (CAGR = 7,5%) e mercato dell'idrogeno verde (CAGR = 49%): un report del CH JU (Clean Hydrogen Joint Undertaking) del 2020^(3.6), ipotizza diversi scenari possibili, identificando un best case scenario, in cui vengono intraprese tutte le attività necessarie per lo sviluppo e l'adozione su larga scala dell'idrogeno verde come vettore energetico, e un worst case scenario, in cui queste

attività non vengono messe in atto completamente, con risultato delle proiezioni di crescita più contenute.

Si può ipotizzare uno scenario intermedio tra i due casi limite, un base case scenario che permetta di ottenere analisi economiche né troppo ottimistiche né troppo pessimistiche [Tabella 3.2].

	dimensione del mercato al 2030		
	<i>best case</i>	<i>base case</i>	<i>worst case</i>
domanda globale di idrogeno (in M ton)	180		
frazione di domanda soddisfatta da idrogeno verde (in percentuale)	24%	19%	13%
frazione di domanda soddisfatta da idrogeno verde (in M ton)	43,2	33,3	23,4
CAGR	53%	49%	43%
dimensione del mercato (in B\$)	86,4	66,6	46,8

Tabella 3.2: stime sul mercato dell'idrogeno verde al 2030

Le stime al 2030 sulla frazione di domanda globale di idrogeno soddisfatta dall'idrogeno verde mostrano numeri potenzialmente molto significativi rispetto alla situazione attuale: il range di copertura della domanda varia tra il 13% e il 24%, con una media del 19%, decisamente maggiore rispetto al circa 1% coperto nel 2021.

Il passaggio successivo è trasformare, per ogni scenario, le percentuali di copertura in volumi, ottenendo un range compreso tra 23,4 e 43,2 milioni di tonnellate, con una media di 33,3 milioni di tonnellate.

Per ricavare la dimensione del mercato in termini economici, che sia coerente con quanto ricavato per il 2021, è necessario utilizzare le stime sul costo di produzione dell'idrogeno verde al 2030, sul quale gli studi di diverse organizzazioni internazionali quali IRENA ^(3.7), Energy Strategy Reviews ^(3.8), e WEC ^(3.9) sono abbastanza concordi: si stima che il range di costo possa passare dall'attuale 3 \$/Kg – 8 \$/Kg, potenzialmente a 1,5 \$/Kg – 2,5 \$/Kg.

Sono da notare due aspetti molto significativi, ovvero la significativa riduzione del costo unitario di produzione (che passa da una media di 5,5 \$/Kg a 2 \$/Kg), fondamentale per aumentare la competitività rispetto alle alternative, e la diminuzione della variabilità, necessaria per garantire maggiore stabilità dell'attività economica.

Utilizzando, come per il calcolo al 2021, il costo medio di produzione stimato al 2030, pari a 2 \$/Kg, si può calcolare la dimensione del mercato per ogni scenario futuro, compreso tra un minimo di 46,8 miliardi di dollari e un massimo di 86,4 miliardi di dollari, con una media di circa 66,6 miliardi di dollari.

Il tasso di crescita annuale del mercato dell'idrogeno verde è, di conseguenza, molto diverso rispetto a quello calcolato per il mercato dell'idrogeno in aggregato; infatti, se le stime di crescita prevedono che quest'ultimo cresca del 7,5% su base annua, il primo ha proiezioni molto più incoraggianti: il range di crescita annua si dovrebbe attestare tra il 43% dello scenario pessimistico e il 53% dello scenario ottimistico, con una media intorno al 49% annuo.

Le motivazioni sottostanti a queste stime di crescita così esplosive sono da ricercarsi in alcuni specifici drivers di crescita ^(3.10) [Tabella 3.3]:

- Il cambiamento climatico e la transizione energetica, fattori molto importanti a partire dal breve termine, in quanto l'adozione su larga scala dell'idrogeno verde come vettore energetico permetterebbe di ridurre notevolmente l'utilizzo di fonti fossili, principale causa di emissione di gas serra in atmosfera, e di raggiungere gli obiettivi internazionali sul clima ^(3.11).
- L'implementazione di celle a combustibile più efficienti per il settore automotive è, allo stesso modo, un fattore molto importante anche nel breve termine, dato che questa soluzione tecnologica permette di ottenere veicoli a zero emissioni, dato che l'idrogeno permetterebbe di generare elettricità in modo pulito ed efficiente ^(3.12).
- L'utilizzo dell'idrogeno verde come forma di stoccaggio di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili in periodi di surplus produttivo è un fattore molto importante nel lungo termine, dato che la generazione intermittente propria delle fonti rinnovabili come l'eolico o il fotovoltaico può essere gestita convertendo l'elettricità in idrogeno, immagazzinato e utilizzato quando la domanda di energia elettrica aumenta ^(3.14), ma non è determinante nel medio periodo, in quanto le fonti rinnovabili non sono ancora la fonte primaria di approvvigionamento energetico (rappresentano, infatti, il 38% ^(3.15)

dell'energia elettrica prodotta in UE e il 21% ^(3.16) dell'energia elettrica prodotta negli Stati Uniti).

	descrizione	importanza
driver di crescita	Cambiamento climatico e transizione ecologica	alta
	Implementazione di celle a combustibile più efficienti per il settore automotive	alta
	Forma di stoccaggio di energia elettrica da fonti rinnovabili in periodi di surplus produttivo	media (breve termine) - alta (lungo termine)

Tabella 3.3: principali driver di crescita per il mercato dell'idrogeno verde

3.2) Batterie

Le batterie sono considerate, a oggi, l'elemento chiave per la transizione ecologica, verso un mondo a basse emissioni di carbonio.

Il mercato mondiale è in costante crescita, grazie all'esplosione della domanda di veicoli elettrici e il sempre maggiore sviluppo di energie rinnovabili (che richiedono sistemi di accumulo integrati per l'immagazzinamento e la distribuzione asincrona di energia pulita).

Queste premesse portano ad avere disponibili molte metriche per un'analisi dettagliata a livello globale, a partire dai dati relativi alla domanda, arrivando in seguito a dimensionare il mercato dal punto di vista economico, analizzandone i revenue streams.

In un rapporto pubblicato da Deloitte ^(3.17) nel 2022 si riporta la domanda globale di batterie in GWh per l'anno 2021, pari a 268 GWh; nello stesso documento si fa riferimento ai potenziali fattori determinanti per la crescita della domanda, quali l'aumento di energia stoccabile per la gestione della rete elettrica (espansione delle fonti rinnovabili) e diffusione su larga scala dei veicoli elettrici; il World Economic Forum ^(3.18) infatti stima che, nel base case scenario per il 2030, la domanda globale di batterie arriverà a toccare i 2600 GWh l'anno.

Ovviamente per il verificarsi di queste stime di crescita è necessario che l'industria mondiale punti sull'elettrificazione come principale alternativa alla mobilità tradizionale e che la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili mantenga i tassi di crescita attuali, rendendo di fatto necessaria l'implementazione di sistemi di accumulo.

Nel base case scenario, quindi, la domanda globale di batterie presenta, tra il 2021 e il 2030 registra un tasso di crescita annuo composto pari al 28,8% circa, valore elevato anche per industrie ad alta crescita come quella tecnologica o quella delle energie rinnovabili [Tabella 3.4].

dimensione del mercato attuale (in GWh)		
2021	2030	CAGR
268	2623	28,8%

Tabella 3.4: mercato globale delle batterie (in GWh)

L'analisi del mercato mondiale delle batterie può essere ulteriormente estesa, dato che nel rapporto del World Economic Forum sono riportate, sia per l'anno in cui sono stati raccolti i dati (2021) che per il 2030, due potenzialmente interessanti segmentazioni del mercato: la prima per applicazione [Tabella 3.5], la seconda per macroarea geografica (che verrà discussa nel capitolo seguente).

dimensione del mercato per applicazione (GWh)			
<i>applicazione</i>	<i>2021</i>	<i>2030</i>	<i>CAGR</i>
elettronica di consumo	55	69	2%
storage di energia	6	221	50%
mobilità elettrica	207	2333	31%

Tabella 3.5: mercato globale delle batterie per applicazione (in GWh)

Questa prima segmentazione evidenzia la diversità nei tassi di crescita annui per le tre principali applicazioni; in particolare, l'elettronica di consumo è il segmento di mercato con la crescita annua stimata più bassa, pari al 2%, a causa della maturità del mercato e della scarsa innovazione tecnologica che lo caratterizza ^(3.19).

Al contrario, per lo storage di energia e la mobilità elettrica si prevede una crescita annua molto sostenuta, rispettivamente al 50% e al 31%; le motivazioni sottostanti queste stime così ottimistiche sono dovute, per lo storage di energia alla sempre crescente necessità di accumulare elettricità proveniente da fonti rinnovabili (in particolare fotovoltaico ed eolico), per renderla disponibile quando necessario; per la mobilità elettrica, invece, al progressivo miglioramento

delle batterie (in particolare all'aumento dell'autonomia dei veicoli elettrici) e alla crescente sensibilità delle politiche pubbliche alla riduzione delle emissioni inquinanti, con incentivi sempre maggiori all'acquisto di auto elettriche ^(3.17).

È possibile aggiungere un ulteriore livello di dettaglio a questa prima segmentazione, analizzando la quota di mercato, in percentuale, che ogni applicazione copre, sia per il 2021 [Grafico 3.1], che per il 2030 [Grafico 3.2].

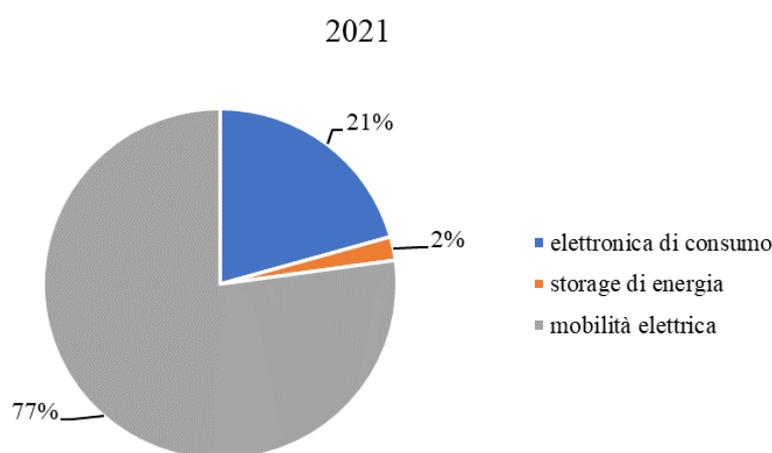


Grafico 3.1: partizione del mercato al 2021 per applicazione

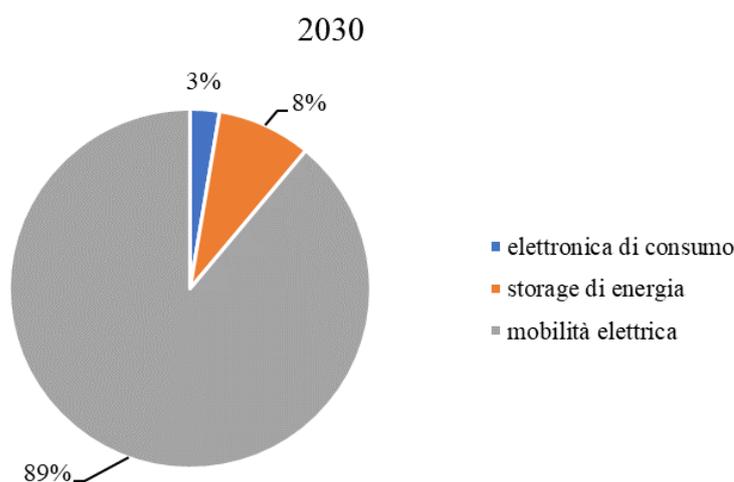


Grafico 3.1: partizione del mercato al 2030 per applicazione

È interessante notare che, a oggi, l'elettronica di consumo rappresenta circa un quinto della domanda globale di batterie; le stime per il 2030, tuttavia, segnalano questo segmento come in

fortissima contrazione rispetto agli altri due (questo in termini relativi, in assoluto si stima comunque che il settore cresca leggermente su base annua), passando dal 21% registrato nel 2021 al 3% stimato al 2030 (contrazione del 18%).

Questo fenomeno è da ricercarsi, oltre alle motivazioni sottostanti al tasso di crescita annuo così contenuto, nella saturazione del mercato di prodotti elettronici di consumo e nel ciclo di vita relativamente breve che questi ultimi presentano (il ciclo di sostituzione è ridotto, perciò la domanda di nuove batterie si riduce) ^(3.20).

Il segmento più emblematico per la transizione ecologica nel suo complesso è, probabilmente, lo storage di energia, che passa dal 2% registrato nel 2021, a una quota di mercato pari al solo 8% stimata nel 2030, questo nonostante le stime indichino che si tratti di un segmento con fortissima crescita su base annua (CAGR al 50%); dato che l'utilizzo delle batterie per lo stoccaggio di energia elettrica è correlato alla diffusione e all'utilizzo delle fonti rinnovabili, da questa stima si può sicuramente desumere una maggiore penetrazione del mercato da parte di queste ultime, comunque non tale da rimpiazzare completamente le fonti fossili ^(3.21).

Infine, il segmento della mobilità elettrica, che già a oggi domina il mercato, rappresentando il 77% del totale, e che si stima aumenterà ancora di più la sua importanza rispetto agli altri due, grazie alle previsioni relative all'aumento delle vendite di veicoli elettrici (il cui acquisto sarebbe anche incentivato da politiche istituzionali).

BloombergNEF, infatti, prevede che entro il 2040 i veicoli elettrici rappresenteranno circa il 58% delle vendite globali di nuovi veicoli ^(3.21), portando il segmento della mobilità elettrica a coprire circa l'89% del mercato al 2030.

L'analisi del mercato in funzione della domanda globale è un passaggio fondamentale per avere una prima valutazione preliminare sulle potenziali implicazioni economiche, in quanto il reperimento di dati robusti e affidabili risulta molto difficile.

Spesso le informazioni sui flussi economici generati dai vari step della catena del valore non sono disponibili, a causa della continua evoluzione della tecnologia e delle potenziali applicazioni, che non permette di avere a disposizione dati sempre aggiornati, oppure dell'elevata competizione intrinseca al mercato, che porta le aziende a non rendere pubbliche informazioni sui rispettivi ricavi e quote di mercato (senza contare che molte aziende operanti nel settore sono società private, non tenute a divulgare informazioni finanziarie).

Per l'analisi dei flussi economici generati dal mercato globale delle batterie si farà riferimento, di conseguenza, ad una delle poche fonti attendibili e aggiornate: una relazione pubblicata da McKinsey nel 2021, nella quale si stima la grandezza del mercato in termini economici, fornendone anche una previsione per il 2030 ^(3.22) [Tabella 3.6].

dimensione del mercato in termini economici		
	<i>2021</i>	<i>2030</i>
revenue streams (in B\$)	57	303
CAGR	20%	
investimenti necessari in 9 anni per la realizzazione del base case scenario	440	

Tabella 3.6: stima economica per il mercato globale delle batterie

Il flusso economico generato lungo la catena del valore, secondo McKinsey, nel 2021 ha toccato i 57 miliardi di dollari, con proiezioni di crescita molto sostenute per il 2030; nello specifico, grazie all'aumento previsto della domanda di accumulatori (l'elemento che accomuna le tre principali applicazioni delle batterie), si stima che al 2030 la catena del valore possa arrivare a generare, nel complesso, circa 300 miliardi di dollari.

La precedente segmentazione per applicazione permette di dedurre che i segmenti trainanti questo incremento così sostenuto (CAGR pari al 20%) sono i due a crescita maggiore (mobilità elettrica e storage di energia).

Un elemento interessante da analizzare è la differenza tra il tasso di crescita composto annuo della domanda e del flusso economico: il primo registra un incremento del 28% su base annuale; il secondo, invece, registra una crescita più bassa, pari al 20% su base annuale.

Questa differenza rientra nello spettro delle possibilità, quando si analizza un settore estremamente frammentato, nel quale non ancora si stabiliscono rapporti di dominanza tra gli attori che ivi operano: la crescente adozione di veicoli elettrici e sistemi di accumulo portano a far crescere la domanda, ma la concorrenza molto forte e le conseguenti politiche di prezzo diminuiscono la crescita dei flussi economici.

Un altro elemento molto importante da considerare nell'analisi economica è la previsione sugli investimenti necessari a raggiungere il base case scenario appena descritto, riportata in una relazione dell'International Energy Agency ^(3.22).

In questo documento si assume che, per raggiungere gli obiettivi climatici prefissati sarà necessario aumentare significativamente la produzione di batterie per far fronte alla domanda, investendo nell'intera catena del valore.

Dal punto di vista strategico, le fasi della catena del valore maggiormente interessanti per gli investimenti più ingenti sono la produzione delle pile (circa 200 miliardi di dollari) e l'estrazione e lavorazione delle materie prime (circa 100 miliardi di dollari).

Questi passaggi sono i più impattanti sulla competitività del mercato e sulla sostenibilità della filiera nel suo complesso: la produzione delle pile ^(3.23), infatti, è il segmento con il più alto valore aggiunto nella catena del valore, ma anche quello con maggiori costi, difficoltà e incertezza tecnologica, perciò gli investimenti in questa fase permetterebbero di migliorare l'efficienza e la capacità delle singole celle, aumentandone durata e sicurezza, due fattori fondamentali per la competitività e la diffusione di nuove potenziali applicazioni; l'estrazione delle materie prime ^(3.24), allo stesso modo, è fondamentale per la competitività all'interno del mercato, in quanto la maggior parte dei materiali necessari alla realizzazione delle batterie si concentra in poche regioni del mondo, rendendo l'intera catena del valore vulnerabile a interruzioni della fornitura e fluttuazioni dei prezzi, perciò gli investimenti per aumentare la diversificazione delle fonti di approvvigionamento sono fondamentali per diminuire il rischio di formazione di monopoli od oligopoli, garantendo maggiore resilienza all'intero mercato globale.

Le stime di crescita del mercato delle batterie sono supportate, come per il mercato dell'idrogeno, da diversi driver di crescita [Tabella 3.6]; i principali sono i seguenti:

- La decarbonizzazione del trasporto urbano e il supporto alla transizione ecologica, che sono il motore principale della crescita del mercato, a partire dal breve termine; l'adozione su larga scala di veicoli elettrici e la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, insieme all'utilizzo di batterie nello stoccaggio di energia elettrica, sono sempre più importanti per l'espansione del mercato globale delle batterie ^{(3.21); (3.22)}.
- La creazione di valore economico globale è un fattore relativamente poco importante nel breve termine, in quanto l'industria delle batterie non ha ancora raggiunto livelli di sviluppo e maturità tali da garantire occupazione diretta a un numero rilevante di individui, ma le stime al 2030 ^(3.25) prevedono un potenziale di occupazione diretta nel

settore pari a circa 10 milioni di lavoratori, un incremento considerevole, se comparato col mezzo milione attuale.

- Il passaggio verso l'economia circolare è un driver mediamente importante nel breve termine, dato che la diffusione delle batterie non è ancora capillare, ma diventerà fondamentale per il lungo termine, permettendo il riciclo di batterie a fine vita e migliorando la sostenibilità dell'intera catena del valore e riducendone l'impatto ambientale; l'European Environment Agency ^(3.26) stima, infatti, che questo passaggio permetterebbe di ridurre dell'11% le emissioni di gas inquinanti entro il 2030.
- Infine, è molto importante, fin dal breve termine, la possibilità di utilizzare le batterie per fornire energia elettrica a circa 850 milioni di persone ^(3.27) che ne sono sprovviste, in particolare per comunità che vivono in aree remote o che non hanno accesso alla rete elettrica (si stimano 15 milioni di persone in America Latina, 575 milioni di persone in Africa Subsahariana e 85 milioni di persone nel resto del Mondo).

	descrizione	importanza
drivers di crescita	decarbonizzazione del trasporto urbano e supporto alla transizione ecologica	alta
	creazione di valore economico globale	bassa (breve termine) - alta (lungo termine)
	passaggio da economia lineare a economia circolare	media (breve termine) - alta (lungo termine)
	possibilità di fornire energia elettrica a circa 850 milioni di persone che ne sono sprovviste	alta

Tabella 3.7: principali driver di crescita per il mercato delle batterie

3.3) Analisi comparativa

Come si evince dalle analisi economiche, il mercato delle batterie agli ioni di litio domina su quello dell'idrogeno; la principale motivazione è la differenza di sviluppo e conoscenza sulle due tecnologie: se le batterie agli ioni di litio sono una soluzione attualmente consolidata, le tecnologie riguardanti l'idrogeno sono ancora in fase di sviluppo, ma stanno lentamente

guadagnando terreno, tanto che il mercato dell'idrogeno presenta un tasso annuo di crescita composto maggiore rispetto a quello delle batterie.

Per quanto riguarda il settore automobilistico, ovvero il principale driver di crescita per entrambi i mercati, attualmente è chiara la posizione nettamente dominante delle batterie agli ioni di litio rispetto alle celle a combustibile a idrogeno, in quanto offrono un'elevata efficienza, una buona autonomia e un importante vantaggio di costo; tuttavia, specie per i veicoli pesanti come camion e autobus, si stanno registrando dei passi avanti nell'utilizzo delle celle a combustibile a idrogeno, data la loro maggiore efficienza nell'alimentazione di veicoli di grandi dimensioni e ad alta potenza e maggiore autonomia.

Anche se le batterie agli ioni di litio rappresentano la soluzione di mobilità sostenibile storicamente più efficiente, le celle a combustibile a idrogeno possono abbattere i tempi di rifornimento (che avviene con tempistiche comparabili a quelle di un'auto tradizionale) e producono solo acqua come sottoprodotto di scarto, riducendo l'impatto ambientale nel suo complesso.

La maggiore disponibilità di batterie a fine vita da dover riciclare o riutilizzare per ridurre l'impatto ambientale, le ha rese la tecnologia attualmente preferita per lo stoccaggio di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili; tuttavia, nonostante la maggior densità energetica, le celle a combustibile a idrogeno presentano un vantaggio intrinseco molto importante: sono in grado di immagazzinare energia per periodi molto più lunghi, dato che l'idrogeno può essere stoccato per a lungo termine senza degradarsi.

Data la differenza di maturità tra le due tecnologie, le batterie hanno un evidente vantaggio di costo sull'idrogeno, che può essere perso col tempo se non verranno superate le criticità quali il degrado della capacità e l'instabilità a lungo termine.

In riferimento alle stime di crescita del mercato delle batterie, si deve notare che molte delle stime si basano esclusivamente sull'efficientamento della tecnologia e della catena del valore, senza considerare eventuali alternative credibili; questo è dovuto al fatto che, al momento, non esistono ancora tecnologie sufficientemente mature e competitive sul mercato.

Nonostante ciò, è importante sottolineare la continua e costante evoluzione del settore, con potenziali innovazioni tecnologiche che potrebbero modificare radicalmente le stime attuali. Entrambe le analisi, infine, sono basate principalmente sul CAGR, il cui valore (anche se molto elevato) non garantisce il successo sul mercato, dato che potrebbero innestarsi altri fattori a

oggi non preventivabili, come la competitività del prezzo, la disponibilità di materie prime, la facilità di integrazione nel sistema esistente, la facilità di manutenzione, la sicurezza, la sostenibilità ambientale, la regolamentazione, la concorrenza reciproca tra le due tecnologie.

3.4) BIBLIOGRAFIA

- 3.1 United Nations Environment Programme. (2019). The Emissions Gap Report 2019. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR19ESEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 3.2 IEA (2022), Hydrogen, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/hydrogen>, License: CC BY 4.0
- 3.3 International Energy Agency (IEA). The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. Paris: IEA, 2019. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
- 3.4 Mankiw, N. G., Taylor, M. P., & Begg, D. K. (2014). Economics. Cengage Learning EMEA.
- 3.5 P. Moriarty and D. Keith, "Hydrogen production costs: A comparative analysis of steam methane reforming and electrolysis," Energy Policy, vol. 35, no. 12, pp. 6440-6455, Dec. 2007. doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.033
- 3.6 Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition. 2020.
- 3.7 IRENA. (2020). Green hydrogen cost reduction: A guide to accelerating the scale-up. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Green-hydrogen-cost-reduction>
- 3.8 Lozza, G., Chiesa, M., & Pellegrini, L. (2021). Green hydrogen production costs at near term: A comparative analysis of alkaline and proton exchange membrane electrolysis. Energy Strategy Reviews, 33, 100597. doi: 10.1016/j.esr.2020.100597
- 3.9 World Energy Council. (2020). Hydrogen: Scaling up. Retrieved from https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2020/02/Hydrogen_Scaling_Up_World_Energy_Council_report_2020.pdf

- 3.10 Frost & Sullivan. (2022, July 07). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>
- 3.11 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.
- 3.12 Fuel Cell and Hydrogen Energy Association. (2021). 2021 National Fuel Cell & Hydrogen Forum
- 3.13 IRENA (International Renewable Energy Agency). (2020). Hydrogen: a renewable energy perspective.
- 3.14 International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspectives 2020.
- 3.15 Commissione europea (2021). Renewable energy in the EU - European Commission. Disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-eu_en
- 3.16 U.S. Energy Information Administration (2021). Renewable energy explained - U.S. Energy Information Administration (EIA). Disponibile all'indirizzo: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>
- 3.17 Deloitte. (2022). Energy resources: Renewable energy industry outlook 2022. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-eri-2022-industry-outlook-renewable%20energy.pdf>
- 3.18 World Economic Forum. (2020). A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential of the Battery Value Chain. https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf
- 3.19 McKinsey & Company. (2021). Recharging economies: The EV battery manufacturing outlook for Europe. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe>

- 3.20 McKinsey & Company. (2019). Capturing the battery value-chain opportunity. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/capturing-the-battery-value-chain-opportunity>
- 3.21 BloombergNEF. (2021). Electric Vehicle Outlook 2021. https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF_EVO2021_26-05-21_vF.pdf
- 3.22 International Energy Agency. (2021). Global EV Outlook 2021: Accelerating the Transition to Electric Vehicles. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- 3.23 Yoshino, A., Brodd, R.J. & Kozawa, A. The Birth of the Lithium-Ion Battery. *Angew. Chem. Int. Ed.* 51, 5791–5799 (2012). <https://doi.org/10.1002/anie.201201429>
- 3.24 European Commission, JRC Science for Policy Report, "Responsible sourcing of raw materials for the EU's strategic industries" (2019). <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/responsible-sourcing-raw-materials-eus-strategic-industries>
- 3.25 International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable energy and jobs – Annual review 2020.
- 3.26 European Environment Agency. (2018). Circular by design - Products in the circular economy. <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-by-design>
- 3.27 Scognamiglio, F., & Castellano, F. (2015). Batteries for Energy Storage in Stand-Alone Photovoltaic Systems. *Energies*, 8(10), 10999-11029. doi: 10.3390/en81010999

4) ANALISI DEL CONTESTO EUROPEO (CON PROIEZIONI DI CRESCITA)

In questa sezione si restringerà il campo d'analisi, passando dal mercato mondiale a quello europeo per l'idrogeno e per le batterie.

L'Europa è una regione chiave per lo sviluppo delle due tecnologie in analisi (e, conseguentemente, dei rispettivi mercati) dato l'impegno profuso verso l'ambizioso programma di transizione energetica e ambientale messo in atto dalla maggior parte degli Stati, con l'obiettivo principale di ridurre le emissioni di gas serra e di promuovere la sostenibilità energetica.

L'Unione Europea, infatti, ha avviato specifici programmi di sviluppo sia per l'idrogeno che per le batterie (lanciati nel 2020 e nel 2018, rispettivamente) nel tentativo di sviluppare entrambe le filiere nel loro complesso e di creare, così, industrie competitive e sostenibili.

Come per il capitolo precedente e a causa delle medesime problematiche ivi descritte, anche nell'analisi del mercato europeo si farà riferimento al 2030 come anno target per le stime economiche e della domanda, per entrambi i mercati.

Per comprendere la diffusione e l'importanza delle due tecnologie in Europa, si farà riferimento alle misure quantitative più significative per entrambi i mercati, quali: l'ammontare di investimenti previsti fino al 2030 per lo sviluppo della filiera, la domanda, i flussi economici generati lungo l'intera catena del valore.

È necessario ribadire che, a causa della differenza di maturità tra le due tecnologie (conseguentemente tra i due mercati), non sarà possibile analizzarle utilizzando le medesime metriche, piuttosto si cercherà di far convergere misure differenti alla dimensione economica, utilizzando quest'ultima come metro di paragone principale.

Si utilizzerà nuovamente il CAGR (Compound Annual Growth Rate) come misura economica per valutare la crescita percentuale annua dei due mercati, sempre tenendo presente, come già evidenziato nel capitolo precedente, che le stime economiche di lungo periodo (ovvero le previsioni al 2050) per le due tecnologie in questione presentano un grado di incertezza molto elevato; per poter effettuare delle analisi maggiormente robuste dal punto di vista statistico, si è scelto nuovamente il 2030 come anno target per le stime di crescita future.

Le fonti utilizzate saranno principalmente di matrice istituzionale (report della Commissione Europea), provenienti da illustri società di consulenza (Deloitte, McKinsey & Co) o redatte da analisti indipendenti (BloombergNEF, Frost&Sullivan).

4.1) Idrogeno

Il mercato europeo dell'idrogeno verde, al pari di quello mondiale, è ancora in fase di sviluppo, con molte sfide ancora da affrontare, come la necessità di ridurre i costi di produzione per renderlo competitivo rispetto alle alternative (idrogeno grigio e idrogeno blu, nello specifico) e di implementare l'infrastruttura necessaria alla distribuzione e allo stoccaggio.

Nonostante ciò, il potenziale di questa tecnologia per gli obiettivi climatici di lungo periodo è stato ampiamente riconosciuto in tutta Europa, con programmi di sviluppo e finanziamento lungo tutta la catena del valore, nello specifico si segnalano le seguenti iniziative:

- Il Regno Unito, nel 2020, ha presentato la sua strategia per l'idrogeno verde, avente come obiettivi per il 2030 la produzione di 5 GWh di energia e la riduzione dei costi dell'80%; il Governo inglese, inoltre, introdurrà incentivi fiscali per l'uso dell'idrogeno verde in diversi settori industriali e un "Hydrogen Business Council" per promuovere investimenti privati nel settore ^(4.1).
- La Norvegia è stato un Paese pioniere nella produzione di idrogeno verde, grazie alla grande disponibilità di energia elettrica rinnovabile, proveniente principalmente dall'idroelettrico; nel 2021 è stata presentata una nuova strategia per l'idrogeno verde, che prevede di aumentarne la produzione fino a 5 GWh entro il 2030; l'obiettivo principale è la riduzione delle emissioni nel settore dei trasporti e nelle industrie ad alta intensità di energia, come la produzione di acciaio e fertilizzanti ^(4.2).
- La Svizzera, per raggiungere l'obiettivo di eliminare completamente l'uso dei combustibili fossili entro il 2050, punta a sostituirli con l'idrogeno verde nei settori del trasporto e dell'energia; la strategia presentata nel 2020 dal Governo svizzero prevede di aumentare la produzione di idrogeno verde fino a 10 TWh entro il 2040, in modo da coprire almeno il 5% del fabbisogno energetico; in parallelo, la Svizzera sta anche promuovendo la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie per la produzione e per l'utilizzo ^(4.3) dell'idrogeno verde.

- La Commissione Europea ha presentato, nel 2020, il suo “Piano d’Azione per l’Idrogeno”, che prevede una serie di misure per sviluppare l’idrogeno come vettore energetico e ridurre le emissioni di gas serra; i tre obiettivi principali sono: scalare la produzione di idrogeno verde fino a 10 milioni di tonnellate entro il 2030, con l’obiettivo di diventare il primo continente a zero emissioni di carbonio entro il 2050; promuovere l’uso dell’idrogeno nei settori in cui la decarbonizzazione è complicata sfruttando l’elettrificazione (definiti, nello specifico, “hard-to-abate applications”), come l’industria chimica (nella quale l’idrogeno verde può essere utilizzato come materia prima, per la produzione di ammoniaca o di metanolo, due precursori di prodotti chimici), l’industria dell’acciaio (ne potrebbe beneficiare non solo dal punto di vista della generazione di energia diretta, ma anche dal punto di vista più tradizionale, considerando quanto l’idrogeno venga già utilizzato nel settore come agente chimico necessario alla produzione), i trasporti pesanti (non possono beneficiare dell’elettrificazione a causa di una combinazione di fattori, quali le lunghe distanze da percorrere, i tempi di ricarica elevati, il peso eccessivo delle batterie da dover installare sui mezzi, di conseguenza la generazione di energia motrice tramite idrogeno potrebbe essere la soluzione migliore), l’integrazione dei sistemi energetici (l’utilizzo di idrogeno permette di stoccare energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili in modo permanente, migliorando l’efficienza e la stabilità della rete elettrica). Creare un mercato dell’idrogeno integrato in Europa, con standard tecnici comuni, regole di sicurezza, certificazione e marchi di qualità per garantire la sicurezza dei prodotti e la loro interoperabilità a livello europeo. Questo programma si basa sulla collaborazione tra Paesi europei, il settore privato e la società civile, e prevede anche un investimento significativo per finanziare la ricerca e lo sviluppo, le infrastrutture e le tecnologie a basse emissioni di carbonio ^(4.4).

Al momento è impossibile dimensionare accuratamente il mercato europeo in termini di revenue streams, a causa della scarsa maturità della tecnologia, ancora in fase di sviluppo, che determina una mancanza di dati e metriche oggettive.

Come già descritto poc’anzi, per promuovere lo sviluppo dell’intera catena del valore dell’idrogeno verde e per favorirne l’utilizzo in diversi settori, dall’industria e trasporto pesanti,

alla produzione e stoccaggio di energia, molti Paesi europei hanno avviato importanti programmi volti allo sviluppo della tecnologia e, conseguentemente, del mercato.

I vari piani d'azione sono correlati a ingenti programmi di investimento, che rimangono l'unica metrica oggettiva e utilizzabile, non tanto per fornire un'approssimazione del mercato europeo, quanto più per fungere da baseline economica, sulla quale calcolare i ritorni futuri, in caso le stime di produzione fossero veritiere [Tabella 4.1].

programma	ente finanziatore	somma investita (B\$)	piano temporale degli investimenti
<i>Next Generation EU</i>	Unione Europea	490	2020 - 2030
<i>IPCEI Hy2Use</i>	Unione Europea	5,2	2024 - 2026
<i>Clean Hydrogen Partnership</i>	Unione Europea	0,3	2022
<i>Plan Hydrogène</i>	Governo francese	7,4	2022 - 2030
<i>Nationale Wasserstoffstrategie</i>	Governo tedesco	13,07	2022 - 2040
<i>Piano Nazionale per la Transizione Energetica</i>	Governo italiano	10,58	2022 - 2030
<i>Waterstofvisie</i>	Governo olandese	2,22	2022 - 2030

Tabella 4.1: principali piani di finanziamento per lo sviluppo dell'idrogeno verde

Il programma di investimento più corposo è il Next Generation EU ^(4.5), avviato dall'Unione Europea nel 2020: si tratta di un piano di ripresa economica per affrontare gli impatti socioeconomici della pandemia di COVID-19 e promuovere la transizione verde e digitale; in questo programma è previsto un sostanzioso finanziamento per sostenere progetti e iniziative in diversi mercati, anche emergenti e ancora poco sviluppati, come l'idrogeno verde.

L'UE ha stabilito l'obiettivo di diventare un leader mondiale nella produzione e nell'utilizzo dell'idrogeno verde, con un piano di investimenti annui che passano dai 2 miliardi euro impiegati nel 2020, fino ad arrivare a 35 miliardi di euro al 2030, per un totale di 490 miliardi di euro immessi lungo l'intera catena del valore.

Questo programma si concentra sul potenziamento dell'intera catena del valore, più specificamente:

- Prevede finanziamenti per sostenere la produzione di idrogeno verde utilizzando fonti di energia elettrica rinnovabile, come l'eolico, il fotovoltaico e l'idroelettrico, includendo lo sviluppo di impianti per l'elettrolisi ad alta capacità.
- Punta alla creazione di infrastrutture dedicate alla distribuzione dell'idrogeno verde, come stazioni di rifornimento o alla conversione di reti già esistenti (a oggi utilizzate per il trasporto di gas).
- Promuove l'utilizzo dell'idrogeno verde in diversi settori, quali il trasporto su strada (specie per mezzi pesanti), il trasporto marittimo, l'industria manifatturiera, la produzione e lo stoccaggio di energia.
- Finanzia la ricerca e l'innovazione, con l'obiettivo ultimo di migliorare le tecnologie esistenti, sviluppare nuovi processi e promuovere l'efficienza lungo l'intera catena del valore.

Un altro importantissimo contributo all'economia dell'idrogeno è il programma avviato dall'IPCEI (Important Projects of Common European Interest), che mira a sostenere progetti legati all'utilizzo dell'idrogeno verde, tramite investimenti per un totale previsto di 5,2 miliardi di euro nel triennio 2024 – 2026, in ambito specificamente industriale.

L'IPCEI Hy2Use ^(4.7), (Hydrogen for Industrial Use, questa la denominazione ufficiale del programma) si focalizza sull'applicazione dell'idrogeno verde in ambito industriale per la riduzione delle emissioni di carbonio, promuovendo così la transizione verso un'economia il più possibile decarbonizzata, stimolando l'innovazione, l'efficienza e la competitività dell'industria europea.

Il programma copre principalmente i settori della chimica, della raffinazione, della siderurgia e dell'industria manifatturiera ad alta intensità energetica, coinvolgendo allo stesso tempo aziende, enti di ricerca e Stati membri dell'Unione Europea, con l'obiettivo di sviluppare progetti di collaborazione nell'ambito dell'idrogeno verde, volti al miglioramento della tecnologia dal punto di vista della produzione, dell'infrastruttura per trasporto e stoccaggio, dell'utilizzo industriale.

Infine, è da menzionare l'operato della Green Hydrogen Partnership, un'iniziativa della Commissione Europea (che coinvolge diverse parti interessate, quali aziende, enti di ricerca e

autorità pubbliche) che mira a promuovere lo sviluppo e l'utilizzo dell'idrogeno verde come fonte energetica sostenibile.

La Green Hydrogen Partnership coordina le attività legate all'intera catena del valore dell'idrogeno verde a livello europeo, favorendo la collaborazione tra gli attori del settore, promuovendo l'innovazione, facilitando l'implementazione di progetti e finanziando lo sviluppo e la realizzazione di progetti innovativi.

Nel 2022 sono stati stanziati circa 300 milioni di euro per lo sviluppo della filiera, dalla produzione all'utilizzo ^(4.8), iniziativa rinnovata anche per il 2023 con ulteriori 225 milioni di euro ^(4.9).

Parallelamente ai programmi di finanziamento supervisionati direttamente dall'Unione Europea, molti Stati vedono nell'idrogeno verde una concreta opportunità per ridurre le emissioni gas serra e accelerare la transizione ecologica, avviando di conseguenza una serie di programmi di finanziamento singolarmente finanziati ^(4.10).

Tendenzialmente tutte le iniziative condividono i medesimi obiettivi (sviluppo della catena del valore, supporto all'innovazione tecnologica, raggiungimento della leadership a livello europeo, collaborazione internazionale); le differenze principali sono da ricercarsi o nell'orizzonte temporale in cui gli investimenti sono programmati, oppure nei diversi budget stanziati:

- Il Governo francese, tramite il “Plan Hydrogène”, ha stanziato 7,6 miliardi di euro da investire entro il 2030, pianificandone una buona parte (3,6 miliardi di euro) per il 2023 ^(4.11).
- Il Governo tedesco ha avviato il “Nationale Wasserstoffstrategie”, che prevede un totale di circa 13 miliardi di euro da investire nel settore fino al 2040 ^(4.12).
- L'Italia ha destinato circa 10,5 miliardi di euro allo sviluppo della tecnologia con il “Piano Nazionale per la Transizione Energetica”, con orizzonte temporale 2030 ^(4.13).
- Il Governo olandese, infine, ha stanziato 2,22 miliardi di euro tramite il “Waterstofvisie”, da investire tra il 2022 e il 2030 ^(4.14).

Non tutti i Paesi che puntano attivamente sull'idrogeno per sostituire le fonti fossili e raggiungere gli obiettivi di sostenibilità dell'European Green Deal hanno reso note le rispettive previsioni di finanziamento; infatti, Nazioni quali il Regno Unito, la Spagna, la Danimarca e la

Norvegia si sono limitati a divulgare esclusivamente i propri obiettivi specifici per orizzonti temporali medio – lunghi, tendenzialmente simili rispetto a quanto già descritto precedentemente ^(4.15).

Tuttavia, anche se attualmente il mercato europeo dell'idrogeno verde è ancora in uno stadio molto prematuro per descriverne la dimensione effettiva, l'European Clean Hydrogen Alliance (un'iniziativa dell'Unione Europea nata per accelerare e facilitare lo sviluppo e l'implementazione dell'idrogeno pulito in Europa) si è posta come obiettivo per il 2024 lo sviluppo di almeno 6 GW di elettrolizzatori per la produzione di idrogeno, da aumentare a 40 GW entro il 2030 ^(4.16).

Il range attuale di efficienza degli elettrolizzatori utilizzati per produrre idrogeno verde è compreso tra il 60% e l'80% ^(4.17), mentre nelle previsioni per il 2030 prodotte da IRENA ^(4.18) si ipotizza che l'innovazione tecnologica possa portare il livello di efficienza all'80% stabile; utilizzando questi dati, si può ricavare il range di produzione stimato al 2024 (a partire dai 6 GW di potenza installata), compreso tra 3,6 GWh e 4,8 GWh, l'obiettivo di produzione fissato come target per il 2030 (a partire dai 40 GW di potenza installata), pari a circa 32 GWh.

Le stime sulla crescita della domanda hanno delle ovvie implicazioni sulle potenzialità future del mercato in termini economici: la Commissione Europea ha infatti stimato che, al 2030, il mercato dell'idrogeno verde in Europa raggiungerà un valore complessivo di circa 180 miliardi di euro l'anno ^(4.16).

Per analizzare al meglio le potenzialità economiche del mercato è necessario chiarire due ipotesi preliminari:

- Si suppone che la distribuzione degli investimenti su base annua sia costante; ovvero, ogni anno viene investito lo stesso ammontare di denaro all'interno della catena del valore dell'idrogeno verde.
- Si suppone che la crescita del mercato sia esponenziale; per un mercato altamente tecnologico questa assunzione è giustificata dall'effetto che l'innovazione e lo sviluppo della tecnologia hanno su quest'ultimo ^(4.19).

La prima ipotesi permette di ricavare un'approssimazione dell'ammontare di investimenti annui tra il 2022 e il 2030, pari a 54 miliardi di euro.

La seconda ipotesi permette di ricavare i parametri di una possibile funzione esponenziale in grado di simulare la crescita del mercato nel tempo: $f(x) = e^{k \cdot t} - w \rightarrow f(x) = e^{0,58 \cdot t} - 1$; dove t rappresenta l'anno in cui viene calcolata la grandezza del mercato, mentre $f(x)$ rappresenta la grandezza di quest'ultimo, in miliardi di euro.

La scelta dei parametri $k = 0,58$ e $w = 1$ permette di modellare un mercato che all'istante iniziale (2022) è ancora inesistente, $f(t_0) = 0$, e che al nono anno (2030) raggiunga una dimensione complessiva di 180 miliardi di euro, $f(t_9) = 180$.

In ottica futura, se le previsioni di crescita del mercato fossero rispettate, già al 2028 (settimo anno a partire dal 2022) la dimensione economica del mercato sarebbe maggiore rispetto all'ammontare di capitale investito all'interno della catena del valore; infatti, $f(t_7) = 57$ miliardi di euro, con aspettative di ritorno economico sempre crescenti per tutti gli anni successivi.

Benché, quindi, il mercato europeo dell'idrogeno verde sia ancora in una fase ancora molto prematura per poterne stimare con certezza la dimensione attuale, molti Stati europei (sia membri dell'Unione Europea che non facenti parte di quest'ultima) ne hanno riconosciuto le potenzialità economiche, e hanno conseguentemente messo a punto specifici piani d'azione (accompagnati da ingenti investimenti, sia di matrice nazionale che sovranazionale) e iniziative strategiche per il potenziamento dell'intera catena del valore.

4.2) Batterie

Il mercato europeo delle batterie, negli ultimi anni, ha registrato una netta crescita, grazie a diversi fattori trainanti, come l'aumento della domanda di veicoli elettrici, lo sviluppo delle energie rinnovabili, la necessità di implementare soluzioni di stoccaggio, il maggiore interesse verso tecnologie in grado di velocizzare la transizione ecologica.

Conseguentemente, l'Unione Europea e molti altri Paesi singolarmente hanno messo a punto una serie di iniziative volte a favorire gli investimenti, lo sviluppo tecnologico e la cooperazione internazionale per promuovere tutta la filiera delle batterie, riconoscendone l'importanza strategica per l'autonomia energetica.

L'iniziativa più importante, presentata nel 2018 dalla Commissione Europea, è il "Piano d'Azione per le Batterie" ^(4.20), con obiettivo la creazione di un mercato europeo delle batterie che fosse competitivo e sostenibile rispetto ai principali competitors internazionali, concentrandosi sull'intera filiera (dalla produzione dei materiali, al riciclo e riutilizzo delle batterie a fine vita).

Le principali azioni operative previste dal Piano sono indirizzate all'aumento della capacità produttiva europea, alla ricerca e allo sviluppo di materiali innovativi, alla creazione di standard e regolamenti condivisi, alla promozione dell'innovazione; uno dei passaggi più importanti è l'implementazione di misure specifiche volte alla riduzione dell'impatto ambientale associato alla filiera, specialmente nei passaggi iniziali (estrazione e realizzazione dei materiali) e finali (smaltimento e riciclo delle batterie esauste).

Unitamente all'attività di coordinamento e supporto alla filiera delle batterie, il Piano prevede anche un budget destinato alle attività necessarie alla realizzazione degli obiettivi previsti, per un totale di 1,6 miliardi di euro per il periodo 2022 – 2027.

Similmente rispetto al mercato europeo dell'idrogeno verde, diversi Paesi, anche per decisioni autonome rispetto alle iniziative comunitarie, hanno annunciato piani di investimento per lo sviluppo interno dell'industria ^(4.21):

- La Germania ha destinato 3 miliardi di euro (al 2024) allo sviluppo di un'infrastruttura produttiva interna su larga scala e alla promozione dell'innovazione e dello sviluppo nel settore
- La Francia ha pianificato 700 milioni di euro per aumentare la produzione interna di batterie e per sostenere la ricerca, l'innovazione e lo sviluppo di tecnologie innovative
- Il Regno Unito ha annunciato investimenti per un totale di 500 milioni di sterline per aumentare la capacità produttiva di batterie, principalmente applicabili al settore della mobilità
- La Norvegia non ha previsto investimenti diretti nella filiera, piuttosto ha un ruolo di coordinamento tra società norvegesi e grandi attori industriali che vogliono realizzare impianti di produzione e infrastrutture di ricarica sul suolo norvegese

Attualmente il mercato delle batterie in Europa è in una fase di crescita elevata, questo grazie alle motivazioni precedentemente descritte; la tecnologia, inoltre, beneficia di una relativa maturità raggiunta nel corso degli anni, in quanto si tratta di soluzioni già ampiamente conosciute e utilizzate: le batterie agli ioni di litio, ad esempio, sono attualmente la tecnologia dominante sul mercato, grazie alle prestazioni affidabili e all'efficienza elevata che riescono a offrire.

La maturità tecnologica ha permesso, nel corso degli ultimi anni, di realizzare una filiera produttiva su larga scala e, grazie alla competizione delle grandi aziende sul mercato, di efficientare il processo produttivo, abbassando i costi di produzione e, conseguentemente, il prezzo finale.

L'interesse strategico nei confronti del mercato, tuttavia, spinge le grandi aziende del settore a investire in soluzioni tecnologiche innovative in grado di migliorare ulteriormente le performance attuali (in termini di affidabilità, efficienza e sicurezza) e le istituzioni a creare o potenziare tutte le infrastrutture necessarie a facilitarne l'utilizzo su larga scala.

Le batterie hanno già raggiunto un livello di maturità tecnologica tale per cui si possa già definire un mercato con dei ritorni economici effettivi, non solo in Europa ma in tutto il mondo, sia allo stato attuale, nonché delle stime accurate per il 2030, prodotte da Mckinsey & Company ^(4.22) [Tabella 4.2].

dimensione del mercato per macroarea geografica (GWh)			
<i>macroarea geografica</i>	<i>2021</i>	<i>2030</i>	<i>CAGR</i>
Cina	184	1222	23%
USA	32	357	31%
Europa	31	443	35%
Resto del Mondo	22	702	47%

Tabella 4.2: dimensione del mercato per macroarea geografica (in GWh)

I dati relativi alla produzione di batterie in GWh, al 2021, mostrano una chiara posizione di vantaggio della Cina rispetto a tutte le altre macroaree geografiche: attualmente in Cina la produzione di batterie è di circa sei volte superiore rispetto alle principali controparti (USA e

resto del mondo), e addirittura di nove volte superiore rispetto a tutte le altre economie mondiali (USA ed Europa escluse, ovviamente).

Il dominio su scala globale del mercato cinese rispetto a tutte le altre controparti è determinato dall'anticipo con cui il Governo cinese ha riconosciuto le potenzialità delle batterie, sia a livello energetico che a livello strategico, circa 5 – 10 anni prima rispetto alla concorrenza ^(4.23); investendo pesantemente nello sviluppo del settore e favorendo con interventi governativi la domanda interna, a oggi la Cina è diventata il più grande mercato mondiale per i veicoli elettrici, permettendo, così, alle aziende locali di acquisire maggiore esperienza, di migliorare la tecnologia e beneficiare delle economie di scala ^(4.24).

Allo stesso tempo la Cina ha continuato a investire in ricerca e sviluppo per arrivare a nuovi standard tecnologici maggiormente prestazionali e sicuri, con costi di produzione contenuti; ad esempio, le nuove batterie al litio-ferro-fosfato, o LFP, ad alta densità energetica, già diventate molto popolari per i veicoli elettrici ^(4.25).

Le proiezioni di crescita relative alla produzione (CAGR), al 2030, mostrano che il mercato cinese continuerà a crescere nella prossima decade a ritmi abbastanza sostenuti (crescita annua di poco superiore al 20%), anche se inferiori rispetto alle aspettative di crescita europee (35% annuo), statunitensi (31% annuo) e del resto del mondo (47%).

Il dato decisamente più interessante è l'esplosione della produzione nel resto del mondo, a scapito sia dell'Europa che degli USA, principalmente grazie alla facilità di accesso alle materie prime necessarie per la produzione e le politiche industriali molto aggressive che molti Stati hanno iniziato a intraprendere ^(4.26).

Oltre alle stime sulla domanda, McKinsey & Company ha pubblicato, nello stesso report citato precedentemente, le stime sui ricavi nel mercato globale ^(4.22), suddivise per passaggio della catena del valore e per macroarea geografica, in modo da avere una visione complessiva su quale possa essere l'evoluzione del mercato, quale passaggio della catena del valore possa essere maggiormente profittevole e quali macro – attori possano avere posizioni maggiormente rilevanti [Tabella 4.3], [Tabella 4.4].

revenue streams al 2030 (in B\$) per macroarea geografica e per step della value chain

		<i>step della value chain</i>						
		<i>estrazione mineraria</i>	<i>raffinazione dei materiali</i>	<i>realizzazione dei materiali attivi</i>	<i>produzione delle celle</i>	<i>produzione delle batterie</i>	<i>riciclo e riutilizzo</i>	totale per macroarea geografica
<i>macroarea geografica</i>	<i>Cina</i>	2	17	15	64	20	8	126
	<i>USA</i>	0	1	2	21	9	1	34
	<i>Europa</i>	0	1	2	18	7	1	29
	<i>Resto del Mondo</i>	6	55	5	34	13	1	114
totale per step della value chain		8	74	24	137	49	11	303

Tabella 4.3: dimensione del mercato (in B\$)

revenue streams al 2030 (in percentuale) per macroarea geografica e per step della value chain

		<i>step della value chain</i>						
		<i>estrazione mineraria</i>	<i>raffinazione dei materiali</i>	<i>realizzazione dei materiali attivi</i>	<i>produzione delle celle</i>	<i>produzione delle batterie</i>	<i>riciclo e riutilizzo</i>	totale per macroarea geografica
<i>macroarea geografica</i>	<i>Cina</i>	0,7%	5,6%	5,0%	21,1%	6,6%	2,6%	41,6%
	<i>USA</i>	0,0%	0,3%	0,7%	6,9%	3,0%	0,3%	11,2%
	<i>Europa</i>	0,0%	0,3%	0,7%	5,9%	2,3%	0,3%	9,6%
	<i>Resto del Mondo</i>	2,0%	18,2%	1,7%	11,2%	4,3%	0,3%	37,6%
totale per step della value chain		2,6%	24,4%	7,9%	45,2%	16,2%	3,6%	

Tabella 4.3: dimensione del mercato (in percentuale)

Le stime effettuate da McKinsey & Company riportano un valore complessivo del mercato mondiale pari a circa 303 miliardi di dollari, una crescita importante rispetto al valore registrato nel 2021, pari a 57 miliardi di dollari.

Osservando i dati presenti nelle due tabelle di cui sopra è chiaro quale sia il segmento più profittevole all'interno della catena del valore: la produzione delle celle elementari, che da sola rappresenta circa il 45% del mercato (137 miliardi di dollari), è il passaggio a maggior valore aggiunto, in quanto rappresenta la fase cruciale della filiera, quella che necessita la più alta specializzazione, tecnologie sofisticate, e processi produttivi complessi.

È abbastanza sorprendente, invece, che la raffinazione dei materiali generi maggiori flussi economici rispetto alla produzione delle batterie (24,4% e 16,2% rispetto al totale; 74 miliardi di dollari e 49 miliardi di dollari, rispettivamente); verosimilmente una potenziale spiegazione potrebbe ricercarsi in una combinazione delle seguenti:

- La scarsità dei materiali (terre rare) utilizzate per la produzione delle celle e la domanda in rapida crescita potrebbero, congiuntamente, aumentarne il prezzo.
- La raffinazione è un processo fisico chimico complesso, grazie al quale si ottengono dei materiali con delle specifiche proprietà; la trasformazione permette ai materiali grezzi di trasformarsi in materiali di alto valore, perciò il valore aggiunto associato a questo passaggio è molto elevato.
- La raffinazione dei materiali richiede competenze tecniche e conoscenze specializzate molto ampie, impedendo il livello di standardizzazione che l'assemblaggio delle batterie può raggiungere.

Come si evince da quanto appena descritto, alcuni segmenti sono maggiormente redditizi rispetto agli altri perché richiedono maggiore specializzazione, standard tecnologici più elevati, minore possibilità di standardizzare il processo, di conseguenza anche meno competizione sul mercato, che spingerebbe i margini al ribasso.

Al contrario, gli altri segmenti nella catena del valore non riescono a essere ugualmente profittevoli, a causa di caratteristiche intrinseche a questi ultimi, quali la forte competizione globale e gli elevati costi fissi (estrazione mineraria, che rappresenta il 2,6% della redditività totale; realizzazione dei materiali attivi, che rappresenta il 7,9% della redditività totale), oppure la poca maturità tecnologica, in quanto fase relativamente nuova rispetto alle altre, che richiede elevati investimenti in infrastrutture e processi specifici, nonché in ricerca e sviluppo costante (riciclo e riutilizzo delle batterie, che rappresentano il 3,6% della redditività complessiva).

I dati sulla redditività per macroarea geografica rispecchiano perfettamente quanto già evidenziato nell'analisi del mercato in termini di produzione, con la Cina notevolmente avanti rispetto a tutti gli altri attori (126 miliardi di dollari, il 41,6%), e con il resto del mondo che supera nettamente gli USA e l'Europa (che rappresentano solo l'11,2% e il 9,6% della redditività totale, rispettivamente), arrivando quasi a competere con la Cina stessa.

Un'osservazione particolare potrebbe riguardare la minor redditività dell'Europa rispetto agli USA, benché la prima faccia registrare stime maggiori in termini di produzione; le motivazioni a favore di quest'ultima potrebbero essere riconducibili alla maggiore facilità di approvvigionamento di materie prime (l'Europa è fortemente dipendente dall'importazione, gli USA meno) e al maggiore interesse nei confronti di batterie ad alta tecnologia, che generano valore aggiunto più elevato a scapito della produzione, più contenuta, in quanto destinate a segmenti di mercato ad alto margine (veicoli elettrici di lusso, sistemi di stoccaggio energetico su larga scala).

segmentazione del mercato al 2030 (in percentuale) per step della value chain

		<i>step della value chain</i>					
		<i>estrazione mineraria</i>	<i>raffinazione dei materiali</i>	<i>realizzazione dei materiali attivi</i>	<i>produzione delle celle</i>	<i>produzione delle batterie</i>	<i>riciclo e riutilizzo</i>
<i>macroarea geografica</i>	<i>Cina</i>	25,0%	23,0%	62,5%	46,7%	40,8%	72,7%
	<i>USA</i>	0,0%	1,4%	8,3%	15,3%	18,4%	9,1%
	<i>Europa</i>	0,0%	1,4%	8,3%	13,1%	14,3%	9,1%
	<i>Resto del Mondo</i>	75,0%	74,3%	20,8%	24,8%	26,5%	9,1%
totale per step della value chain		8	74	24	137	49	11

Tabella 4.4: segmentazione del mercato (in percentuale) per step della catena del valore

Guardando alla segmentazione del mercato prevista per il 2030 [Tabella 4.4], è chiaro come l'Europa (al pari degli USA) non ricopra una posizione rilevante, di fatto superata da tutti gli altri macro-attori: la Cina, infatti, è il mercato più importante per gli ultimi passaggi della catena del valore, infatti rappresenta il 62,5% della redditività associata alla realizzazione dei materiali attivi (15 miliardi di dollari su 24 totali), il 46,7% della redditività associata alla produzione delle celle (64 miliardi di dollari su 137 totali), il 40,8% della redditività associata alla produzione delle batterie (20 miliardi di dollari su 49 totali) e il 72,7% della redditività associata al riciclo e riutilizzo delle batterie a fine vita (8 miliardi di dollari su 11 totali); mentre il resto del mondo domina le prime fasi della catena del valore, generando il 75% dei ricavi associati

all'estrazione delle materie prime (6 miliardi di dollari su 8 totali) e il 74,5% dei ricavi associati alla raffinazione dei materiali (55 miliardi di dollari su 74 totali).

L'Europa, in questo contesto, è in una posizione di netto svantaggio, non riuscendo a competere in modo efficace con gli attori principali nel mercato, sia nelle prime fasi della catena del valore, dato che nei primi anni ha sottostimato l'importanza strategica associata all'approvvigionamento di materie prime, non avendo sufficienti risorse interne per soddisfare la domanda e avendo ritardato il processo di integrazione verticale che l'avrebbe resa meno dipendente dall'importazione ^(4.27), sia nelle fasi successive, principalmente a scapito della Cina, a causa della mancanza di economie di scala sufficienti e di regolamentazioni molto più stringenti in ambito ambientale ^(4.28).

4.3) Analisi comparativa

Contrariamente rispetto all'idrogeno verde, il mercato europeo delle batterie è già molto sviluppato; ha un vantaggio temporale, in termini di maturità tecnologica, di circa una decade, dato che i primi ritorni economici effettivi sono iniziati a emergere intorno al 2012 – 2013 ^(4.29), in seguito all'aumento della domanda di veicoli elettrici e alla ricerca di soluzioni tecnologiche in grado di accelerare la transizione energetica.

L'idrogeno verde, essendo una tecnologia molto più acerba, non ha ancora un design dominante di prodotto o di processo, non ha ancora raggiunto volumi tali da beneficiare delle economie di scala e non esiste un panorama competitivo tale per cui si possano innestare le dinamiche proprie di un mercato effettivo (competizione tra attori del mercato); queste mancanze impediscono alle aziende che attualmente potrebbero operare nel settore di avere sufficienti incentivi nella ricerca e nello sviluppo di una filiera efficiente ed economicamente redditizia; per questa ragione l'innovazione e gli investimenti vengono portati avanti principalmente dalle istituzioni, al pari di quanto fatto per il mercato delle batterie una decade addietro, per favorire la nascita e lo sviluppo del mercato europeo.

Facendo riferimento a queste premesse, la conclusione ovvia sarebbe completamente in favore delle batterie, ma la realtà è ben diversa ^(4.30): l'Europa ha una posizione di netto svantaggio nel mercato delle batterie rispetto alla Cina (a causa degli investimenti tardivi e della domanda interna molto inferiore) e rispetto al resto del mondo (a causa della mancanza di una rete di

approvvigionamento efficiente o, ancora meglio, integrata per quanto concerne le materie prime, poco presenti sul suolo europeo).

La competizione nel mercato delle batterie è già molto agguerrita, e l'Europa rischia di perseguire una posizione di rilievo all'interno di un mercato già dominato da potenze con esperienza e con economie di scala già abbondantemente raggiunte; l'idrogeno verde potrebbe rappresentare una grande opportunità economica sostenibile, se l'Europa riuscisse a porsi in una posizione dominante rispetto agli altri macro-attori del mercato ^(4.31).

L'Europa, sotto questo punto di vista, ha pianificato una serie di investimenti e di iniziative (corredate da diversi studi di fattibilità effettuati dalla Commissione Europea) per posizionarsi come leader mondiale nel nascente mercato dell'idrogeno verde, grazie al vantaggio tecnologico e di know-how specifico.

Mettendo in pratica il piano d'azione relativo all'idrogeno verde, in funzione delle previsioni di crescita del mercato, l'Europa acquisirebbe una posizione di vantaggio a livello globale, con tutti i benefici associati, non solo puramente economici (diversificazione dell'economia, creazione di posti di lavoro, attrazione di investimenti), ma anche dal punto di vista energetico (miglioramento della sicurezza energetica e riduzione delle emissioni di carbonio).

4.4) BIBLIOGRAFIA

- 4.1 Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2021). UK's hydrogen future.
<https://www.gov.uk/government/publications/uks-hydrogen-future>
- 4.2 Norwegian Ministry of Petroleum and Energy. (2021). National strategy for hydrogen.
<https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/national-strategy-for-hydrogen/id2851262/>
- 4.3 Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications. (2020). National Strategy for Hydrogen and Fuel Cell Technology.
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/topics/hydrogen/national-strategy-for-hydrogen-and-fuel-cell-technology.html>
- 4.4 Sustainable and Smart Mobility Strategy - European Commission. (2020, December 9). European Commission. Recuperato da:
https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/news/2020-12-09-sustainable-and-smart-mobility-strategy_en

- 4.5 Deloitte. (2020). The European Hydrogen Economy. Recuperato da <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/energy-resources/The%20European%20Hydrogen%20Economy%20.pdf>
- 4.6 Commissione europea. (2022, 3 febbraio). Commission welcomes political agreement on the Just Transition Fund Plus to support the transition to a climate-neutral economy. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5676
- 4.7 Commissione europea. (2022, 3 febbraio). Commission welcomes political agreement on the Just Transition Fund Plus to support the transition to a climate-neutral economy[ComunicatoStampa]; https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5676
- 4.8 Green Hydrogen Partnership. (2022). Call for Proposals 2022. Recuperato da https://www.clean-hydrogen.europa.eu/apply-funding/call-proposals-2022/call-proposals-2022_en
- 4.9 Green Hydrogen Partnership. (2023, gennaio). CALL UPDATE - flash info - Call HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-2 [PDF]. Recuperato da https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2023-01/CALL%20UPDATE%20-%20flash%20info%20-%20Call%20HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-2_0.pdf
- 4.10 Frost & Sullivan. (2022, luglio 7). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. Recuperato da <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>
- 4.11 Gouvernement.fr. (2018, giugno 1). Plan Hydrogène. Recuperato da <https://www.gouvernement.fr/plan-hydrogene>
- 4.12 Bundesregierung. (2020). Nationale Wasserstoffstrategie. Recuperato da <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/wasserstoff-strategie-1752048>
- 4.13 Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica; 2022; Piano per la Transizione Ecologica; Recuperato da: https://asvis.it/public/asvis2/files/Eventi_ASviS/PTE_definitivo.pdf
- 4.14 Ministry of Economic Affairs and Climate Policy; 2020; Government Strategy on Hydrogen; Recuperato da:

<https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>

- 4.15 SADIK-ZADA, Elkhan Richard. Political economy of green hydrogen rollout: A global perspective. *Sustainability*, 2021, 13.23: 13464.
- 4.16 WAPPLER, Mona, et al. Building the green hydrogen market—Current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022.
- 4.17 Falcone, P. M., Hiete, M., & Sapio, A. (2021). Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insights. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 31, 100506.
- 4.18 IRENA (International Renewable Energy Agency). (2020). Green Hydrogen Cost Reduction: Renewable Power Generation Costs in 2020. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf
- 4.19 Autore: Charles I. Jones; Titolo: Economic Growth; Anno: 2002; Editore: W.W. Norton & Company; ISBN: 978-0393924989
- 4.20 European Commission. (2018). A European strategic approach to battery research and innovation. Recuperato da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0772&from=EN>.
- 4.21 BROUSSELY, M. Lithium batteries R&D activities in Europe. *Journal of power sources*, 1999, 81: 137-139.
- 4.22 McKinsey & Company. "Recharging Economies: The EV Battery Manufacturing Outlook for Europe." <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe>.
- 4.23 BloombergNEF. (2020). China dominates electric vehicle battery supply chain. Retrieved from: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-battery-supply-chain-china-dominates/>
- 4.24 S&P Global Market Intelligence. (2021). China's dominance in battery production worries EU. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news->

insights/latest-news-headlines/china-s-dominance-in-battery-production-worries-eu-63367214

- 4.25 The Guardian. (2020). China leads world in electric vehicle sales. <https://www.theguardian.com/business/2020/apr/28/china-leads-world-in-electric-vehicle-sales>
- 4.26 The Guardian. (2020). China leads world in electric vehicle sales. <https://www.theguardian.com/business/2020/apr/28/china-leads-world-in-electric-vehicle-sales>
- 4.27 DA SILVA LIMA, LÍgia, et al. The role of raw materials to achieve the Sustainable Development Goals: Tracing the risks and positive contributions of cobalt along the lithium-ion battery supply chain. *Journal of Industrial Ecology*, 2022.
- 4.28 "Europe's Position in the Battery Value Chain - Challenges and Opportunities" (2020) di JRC Science for Policy Report - Questo rapporto pubblicato dal Joint Research Centre (JRC)
- 4.29 European Commission. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A European Strategy for Batteries. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0798>
- 4.30 Huiwen Gong, Teis Hansen; The rise of China's new energy vehicle lithium-ion battery industry: The coevolution of battery technological innovation systems and policies; *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 46, 2023; 100689; ISSN 2210-4224; <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.100689>
- 4.31 Barbara Breitschopf et al; The role of renewable H₂ import & storage to scale up the EU deployment of renewable H₂; ENTEC (Energy Transition Expertise Centre); 2022

5) ANALISI DELLE PROBLEMATICHE ATTUALI E FUTURE (CON POTENZIALI STRATEGIE RISOLUTIVE)

In questo quinto capitolo, dopo aver analizzato il mercato mondiale ed europeo dell'idrogeno verde e delle batterie, si analizzeranno, sempre da un punto di vista tendenzialmente europeo, sia le problematiche attuali (quindi le sfide da superare, associate al contesto attuale) che quelle future (tutte le difficoltà che potrebbero emergere nel prossimo futuro), con tutte le potenziali strategie da porre in essere per mitigare gli effetti negativi sulla crescita di entrambi i mercati; come per i capitoli precedenti, l'anno target al quale si farà riferimento come orizzonte temporale è il 2030.

L'esplosione dei due mercati attualmente in atto nel continente europeo, ha messo in luce diverse necessità specifiche, descritte più nel dettaglio, all'interno delle sezioni dedicate.

- Per l'idrogeno verde ^(5.1) si riscontra la carenza di infrastrutture efficienti per la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione su larga scala.
- Per le batterie ^(5.2) è necessaria la realizzazione di una rete di ricarica adeguata al supporto della mobilità elettrica, a oggi assente e a carico della rete elettrica tradizionale (che non riuscirebbe a sostenere la completa elettrificazione del settore trasporti), nonché la necessità di creare una catena di approvvigionamento integrata (e non dipendente dalle importazioni) per le materie prime critiche (terre rare, quali Nickel, Cobalto, Manganese), necessarie per la realizzazione di batterie ad alte prestazioni

Esistono, poi, diverse problematiche comuni ai due mercati, principalmente di natura legislativa (è necessario che le politiche e i regolamenti, sia dell'Unione Europea che degli Stati, vengano adeguati in modo da favorire l'adozione e l'innovazione, incentivando gli investimenti e creando un ambiente favorevole allo sviluppo dei mercati), di sicurezza, di sostenibilità e di efficienza delle tecnologie impiegate.

A valle della trattazione, per ognuna delle tecnologie, saranno definite delle potenziali strategie (istituzionali e non), la cui implementazione potrebbe risultare decisiva per la risoluzione dei problemi individuati.

Una sezione antecedente all'analisi delle problematiche relative ai due specifici mercati verrà dedicata al benchmarking costi – emissioni; nello specifico si metterà in relazione il trade-off

tra costi di generazione elettrica ed emissioni di gas serra, in prima istanza per le modalità tradizionali di generazione di energia (gas naturale e carbon fossile), in seguito comparando i valori ottenuti con le performance delle principali alternative ritenute ecosostenibili (batterie e idrogeno); questa sezione è necessaria per spiegare le principali motivazioni che ancora impediscono un'effettiva transizione dalle fonti fossili alle alternative meno impattanti dal punto di vista ambientale.

Le principali fonti utilizzate sono provenienti da organi istituzionali, come i rapporti della Commissione Europea, i report prodotti da rinomate società di consulenza quali Deloitte e McKinsey & Company, e le analisi provenienti da istituti di ricerca indipendenti come BloombergNEF e Frost&Sullivan

5.1) Benchmarking delle emissioni, tra idrogeno verde, batterie e metodi tradizionali (gas naturale e carbon fossile)

Il primo passaggio fondamentale per analizzare le attuali problematiche associate all'adozione delle batterie o dell'idrogeno come fonti energetiche è legato allo studio delle alternative attualmente in essere, alle forme di generazione di energia tradizionali, cercando di comprendere le motivazioni sottostanti alla difficoltà nel passare da queste modalità, che hanno un impatto ambientale acclarato in termini di emissioni, a delle alternative ritenute maggiormente ecosostenibili.

Il Consiglio dell'Unione Europea ^(5.3) riporta, in un documento ufficiale pubblicato a maggio 2023, quali sono le principali fonti energetiche che compongono il mix energetico europeo nel 2022.

Da questo rapporto si riscontra quanto, nonostante i grandi investimenti a favore delle energie rinnovabili, le fonti fossili ancora rappresentino una parte molto significativa del mix energetico; infatti, il gas naturale rimane la fonte energetica maggiormente utilizzata in assoluto (copre circa il 20% della produzione energetica europea), mentre il carbon fossile ha subito una riduzione nell'utilizzo a partire dall'ultimo decennio, benché non sia affatto scomparso, come auspicabile, dalle principali fonti di generazione energetica (copre, infatti, circa il 16% della produzione energetica europea).

È ovvio che esistano delle motivazioni che spingono l'Europa a mantenere, all'interno del proprio mix energetico, delle fonti non rinnovabili; ma prima di avanzare delle ipotesi a riguardo, è necessario comprendere quale possa essere il range di emissioni associato a ciascuna delle due fonti fossili ^{(5.4); (5.5)} [Tabella 5.1].

	range (min / max) di emissioni in g / kWh			
	CO ₂	CH ₄	NO _x	SO _x
<i>gas naturale</i>	190 / 230	5 / 10	0,1 / 0,3	0,01 / 0,03
<i>carbon fossile</i>	900 / 1100	≈ 0	0,5 / 1	5 / 15

Tabella 5.1: range di emissioni per il gas naturale e per il carbon fossile

Come si evince dalla rappresentazione tabellare di cui sopra, la combustione di gas naturale e carbon fossile, necessaria alla produzione di energia elettrica, non produce esclusivamente anidride carbonica, il principale gas responsabile dell'effetto serra ^(5.6), ma anche altri composti dannosi per l'ambiente, più specificamente:

- Metano (CH₄), un gas serra molto potente (in grado di trattenere molto più efficacemente il calore), anche se presente in atmosfera con concentrazioni molto inferiori rispetto all'anidride carbonica ^(5.7).
- Ossidi di azoto (NO_x), un sottoprodotto della combustione ad alte temperature dei combustibili fossili; questi gas sono fortemente climalteranti, contribuiscono alla formazione di smog e all'inquinamento atmosferico ^(5.8).
- Ossidi di zolfo (SO_x), gas che contribuiscono all'acidificazione degli ecosistemi terrestri e acquatici; nello specifico, reagendo con l'acqua presente in atmosfera, questi gas possono formare particelle di acido solforico, e risultare nelle cosiddette "piogge acide" ^(5.9).

Il gas naturale è ritenuto una fonte di energia relativamente pulita rispetto al carbon fossile, come si evince dai dati riportati (in grammi di gas emesso per ogni kWh di energia prodotta) poc'anzi; infatti, la combustione del gas necessaria alla produzione di energia ha come principali sottoprodotti l'anidride carbonica e l'acqua.

Durante il processo di combustione, a seconda poi della tecnologia utilizzata e dell'efficienza dei cicli di combustione messi in atto, può verificarsi la formazione di ossidi di azoto; al contrario, la produzione di ossidi di zolfo è sostanzialmente irrilevante (0,01 / 0,03 grammi per 1 kWh prodotto).

Le emissioni di metano, invece, non sono relative alla fase di combustione, piuttosto si concentrano nelle fasi di estrazione dai giacimenti e di trasporto alle centrali, nelle quali possono verificarsi delle fughe di questo gas climalterante ^(5.4).

Il carbon fossile, invece, è una delle fonti energetiche maggiormente inquinanti, a causa sia dell'elevato contenuto di carbonio in esso presente (che, quindi, si libera in atmosfera durante la combustione), sia della presenza non trascurabile di altri elementi, nello specifico azoto e zolfo, che portano alla formazione dei rispettivi ossidi ^(5.5).

La comparazione delle emissioni spiega perfettamente la ragione per la quale il gas naturale sia considerato una fonte energetica relativamente pulita: in fase di combustione, infatti, il gas produce, rispetto al carbon fossile, l'80% in meno di anidride carbonica, l'80% in meno di ossidi di azoto, e il 99% in meno di ossidi di zolfo.

Prese in questa forma, le emissioni di gas climalteranti per le due fonti di energia non riescono a fornire un quadro effettivo e sintetico dell'impatto ambientale associato al loro utilizzo: è necessario, per ottenere delle metriche più facilmente comparabili, aggregare le diverse emissioni in una misura standard di impatto sul riscaldamento globale, l'anidride carbonica equivalente (CO₂eq), che rappresenta la quantità di anidride carbonica avente lo stesso impatto sul riscaldamento globale di un dato gas serra.

L'utilizzo di questa misura è dettato dalla diversità che diversi gas serra presentano in termini di potenziale di riscaldamento globale (PRG), in termini di capacità nel trattenere calore e tasso di decadimento in atmosfera, diverso per ognuno dei gas climalteranti; l'anidride carbonica è utilizzata come punto di riferimento, in quanto si tratta del gas serra più comune, con PRG di riferimento pari a 1 ^(5.10).

I gas emessi durante l'utilizzo di gas e carbon fossile per la produzione di energia presentano i seguenti fattori di conversione ^(5.11):

- Per il metano (CH₄) si utilizza un moltiplicatore 25x.
- Per gli ossidi di azoto (NO_x) si utilizza un moltiplicatore 298x.
- Per gli ossidi di zolfo (SO_x) si utilizza un moltiplicatore 1x.

Una volta operate le opportune trasformazioni, si può ottenere un range di emissioni univoco, in anidride carbonica equivalente, per il gas naturale e per il carbon fossile [Tabella 5.2].

	range (min / max) di emissioni in g CO ₂ eq / kWh				
	CO ₂	CH ₄ in CO ₂ eq	NO _x in CO ₂ eq	SO _x in CO ₂ eq	tot in CO ₂ eq
<i>gas naturale</i>	190 / 230	125 / 250	30 / 90	≈ 0	345 / 570
<i>carbon fossile</i>	900 / 1100	≈ 0	150 / 300	5 / 15	1055 / 1415

Tabella 5.2: range di emissioni per il gas naturale e per il carbon fossile in CO₂ equivalente

Facendo uso della conversione in CO₂ equivalente, si giunge a una misura sintetica per esprimere il range di emissioni del gas naturale e del carbon fossile; osservando la colonna finale, in cui viene riportato il range di emissioni, in aggregato, si evince la principale motivazione per cui il gas naturale venga considerato una fonte di energia relativamente pulita: le emissioni complessive di quest'ultimo sono inferiori, in media, del 76% circa rispetto al carbon fossile.

Per completare l'analisi di benchmarking, tuttavia, non è sufficiente fermarsi alla quantificazione delle emissioni di anidride carbonica equivalente generate da gas naturale e carbon fossile; è necessario comparare questi dati alle emissioni generate dalle potenziali alternative, le tecnologie oggetto di questa tesi: l'idrogeno e le batterie.

È importante, inoltre, considerare anche i costi associati alla produzione di una stessa quantità di energia (in questo specifico caso 1 kWh), in modo da avere una visione generale, che possa comprendere anche l'efficienza e la sostenibilità delle diverse opzioni energetiche prese in esame ^{(5.12); (5.13)} [Tabella 5.3].

Non mettere in relazione le emissioni ai costi porterebbe a delle analisi parziali, in cui non verrebbe presa in considerazione l'efficacia della tecnologia (emissioni in rapporto ai costi associati) e non si riuscirebbe a desumere la sostenibilità economica delle varie alternative (i costi influenzano notevolmente la competitività e la scalabilità delle tecnologie).

benchmark costi - emissioni		
	<i>emissioni (g CO₂ eq / kWh)</i>	<i>costo (\$ / kWh)</i>
<i>gas naturale</i>	345 / 570	0,05 / 0,15
<i>carbon fossile</i>	1055 / 1415	0,04 / 0,12
<i>batterie (ioni di litio)</i>	200 / 400	0,24 / 0,44
<i>idrogeno grigio</i>	9000 / 12000	0,05 / 0,15
<i>idrogeno CCS</i>	≈ 1000	0,06 / 0,18
<i>idrogeno verde</i>	≈ 100	0,08 / 0,25

Tabella 5.3: confronto costi emissioni per le fonti energetiche in esame

Prima di procedere con l'analisi dei dati raccolti, è necessaria una precisazione: a differenza di gas naturale e carbon fossile, che tramite la combustione permettono di generare energia elettrica in modo diretto, l'idrogeno deve essere prodotto tramite elettrolisi e le batterie devono essere ricaricate; si possono definire, infatti, mezzi indiretti di generazione elettrica, ovvero dei sistemi di stoccaggio che consentono di immagazzinare energia prodotta in uno specifico momento per un utilizzo successivo.

Dunque, per calcolare le emissioni associate all'idrogeno e alle batterie per la produzione di un kWh di energia elettrica è necessario considerare sia le emissioni in uso (ovvero le emissioni generate per produrre idrogeno e ricaricare le batterie) che le emissioni associate al ciclo di vita (ovvero tutte le emissioni generate durante tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale).

Dalla rappresentazione tabellare si evince un vantaggio di costo delle fonti fossili rispetto a tutte le altre: produrre 1 kWh di energia utilizzando gas naturale o carbon fossile, in media, costa meno rispetto a quasi tutte le alternative disponibili; le motivazioni sono principalmente dettate dall'ampia disponibilità (gas naturale e carbon fossile sono risorse abbondanti in molte parti del mondo, il che permette di mantenere i costi relativamente bassi rispetto a risorse meno abbondanti, o la cui estrazione e lavorazione richiede processi più complessi), dalla presenza di infrastrutture per il trasporto, l'estrazione, la produzione e la distribuzione molto sviluppate (non esistono costi di implementazione o di avviamento rispetto a nuove tecnologie o a fonti energetiche che richiedono infrastrutture specializzate) e dalla maturità della tecnologia (le

centrali utilizzate per la produzione di energia elettrica si basano su tecnologie ampiamente consolidate e ottimizzate, che permettono di ridurre i costi di produzione ed esercizio).

L'idrogeno grigio ^(5.14) è l'unica fonte energetica alternativa che presenta dei costi comparabili alle fonti fossili tradizionali, questo perché la produzione avviene in regime di forti economie di scopo (ricordiamo, come già descritto al secondo capitolo, che si tratta di un prodotto di scarto di reazioni chimiche, oppure estratto a partire da metano e altri idrocarburi) che ne abbattano notevolmente i costi; dal punto di vista della sostenibilità ambientale, però, questa fonte energetica è la peggiore in assoluto: il quantitativo di emissioni necessario alla realizzazione di 1 kWh è di gran lunga superiore rispetto a tutte le altre; perciò, non è assolutamente da prendere in considerazione come una potenziale alternativa sostenibile alla generazione energetica tradizionale.

Allo stesso modo, l'idrogeno prodotto implementando delle tecnologie di CCS ^(5.14) (carbon capture and storage, oppure idrogeno blu) è un'alternativa totalmente sconveniente rispetto alle fonti fossili, in questo caso sia dal punto di vista ambientale (la produzione di 1 kWh di energia genera pressoché lo stesso quantitativo di anidride carbonica equivalente rispetto al carbon fossile, di molto maggiore rispetto al gas naturale) che dal punto di vista economico (l'implementazione di tecnologie atte alla cattura e allo stoccaggio dell'anidride carbonica emessa durante il processo produttivo hanno, ovviamente, un costo, che fa diminuire le prestazioni economiche dell'idrogeno blu, senza azzerarne le emissioni).

L'idrogeno verde, come facilmente preventivabile, è l'alternativa alle fonti fossili maggiormente svantaggiata sotto il profilo della convenienza economica (produrre 1 kWh di energia utilizzando idrogeno verde costa circa il doppio rispetto al carbon fossile e poco meno del doppio rispetto al gas naturale), ma la migliore in assoluto dal punto di vista della sostenibilità ambientale: se prodotto utilizzando energia da fonti rinnovabili, infatti, le emissioni in uso sono nulle, e le emissioni lungo il ciclo di vita sono pari a circa 100 g per ogni kWh ^(5.15); allo stato attuale, però, gli elevati costi di realizzazione delle infrastrutture di supporto (ancora inesistenti) rappresentano un grande disincentivo all'utilizzo dell'idrogeno verde come fonte energetica alternativa alle fonti fossili.

Per quanto concerne le batterie è stata presa in considerazione la tipologia maggiormente diffusa e dominante sul mercato, ovvero la batteria agli ioni di litio, sia per le applicazioni commerciali che per le applicazioni industriali (compresa la mobilità elettrica); la ragione di

questa scelta è dettata dalla grandissima disponibilità di fonti, studi e rapporti riguardanti le emissioni e i costi associati.

Dalla rappresentazione tabellare si nota che, sia sotto il punto di vista delle emissioni che dei costi, le batterie non siano così poco inquinanti né economiche, perciò è necessaria un'opportuna contestualizzazione dei dati riportati.

I costi e le emissioni in uso delle batterie ^{(5.16); (5.17)} sono, infatti, molto competitivi rispetto alle alternative fossili (considerando il mix energetico europeo attuale, infatti, per generare 1 kWh di elettricità si emettono tra 100 e 300 grammi di anidride carbonica equivalente, e i costi sono compresi tra 0,1 \$ e 0,3 \$); di conseguenza, la totalità di quanto riportato è da attribuire ai costi e alle emissioni che si generano lungo il ciclo di vita.

Un rapporto di McKinsey ^(5.18) pubblicato nel 2023 stima che, per ogni kWh, una batteria emetta circa 95000 g di anidride carbonica equivalente, principalmente nelle fasi di realizzazione dei materiali attivi (33% delle emissioni), di estrazione e raffinazione delle materie prime (27% delle emissioni), di produzione delle celle e assemblaggio dei moduli (27% delle emissioni). Allo stesso modo, i costi delle batterie sono stati stimati da un report di BloombergNEF ^(5.19), nel quale si evidenzia, per ogni kWh, il costo complessivo di una batteria, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento, pari a circa 141 \$.

Mediando questi due dati per il numero di cicli di carico e scarico che una batteria è in grado di sopportare lungo il suo ciclo di vita, si giunge a quanto riportato nella tabella.

Nonostante le performance (costi ed emissioni), se analizzate lungo l'intero ciclo di vita, siano leggermente peggiori rispetto all'idrogeno e alle altre fonti fossili, le batterie sono comunque ritenute fondamentali per la decarbonizzazione e la riduzione delle emissioni di CO₂ a livello globale, questo grazie alla riduzione dei costi nel tempo (una volta sostenuto il costo, la batteria ha una vita media sufficientemente lunga da ammortizzarlo) e dalle prospettive sulla decarbonizzazione della filiera produttiva stessa (nel rapporto di McKinsey citato precedentemente, si stima che dal 2030 le emissioni generate lungo il ciclo di vita possano ridursi fino a un range compreso tra 12 e 24 kg di CO₂ equivalente).

5.2) Idrogeno

L'idrogeno verde è una fonte energetica, come già descritto nei capitoli precedenti, relativamente nuova, le tecnologie per sfruttarla al meglio sono ancora in fase abbastanza acerba, perciò non è ancora ritenuta un'alternativa credibile alle fonti energetiche tradizionali, sia dal punto di vista della mobilità, che dal punto di vista dello storage di energia elettrica. L'idrogeno verde, come ogni tecnologia innovativa ha affrontato in passato (batterie comprese), per essere adottato su larga scala deve fronteggiare diversi ostacoli che ne potrebbero compromettere lo sviluppo ^(5.20), tutti molto rilevanti nel breve e medio termine, ma potenzialmente risolvibili nel lungo periodo, attraverso l'adozione di specifiche strategie risolutive [Tabella 5.4].

	descrizione	importanza
ostacoli alla crescita	CAPEX per la produzione, lo stoccaggio e il trasporto elevati; mancanza di infrastrutture dedicate	alta (breve/medio termine) - media (lungo termine)
	Mancanza di contesti legislativi specifici	alta (breve/medio termine) - media (lungo termine)
	Preoccupazioni circa la sicurezza, lo stoccaggio e il costo di produzione per le celle a combustibile a idrogeno	alta (breve/medio termine) - media (lungo termine)
	Mancanza di consapevolezza e di accettazione dell'idrogeno come fonte di energia pulita da parte degli utilizzatori finali	alta (breve/medio termine) - media (lungo termine)

Tabella 5.4: principali ostacoli alla crescita dell'idrogeno verde

La produzione, lo stoccaggio e il trasporto dell'idrogeno verde richiedono investimenti significativi in impianti e infrastrutture specifiche, che allo stato attuale sono assenti; questa assenza rappresenta una delle sfide più importanti per lo sviluppo su larga scala, soprattutto nel breve e medio termine.

La realizzazione delle infrastrutture necessarie è un processo lungo e costoso (perché richiede elevate immobilizzazioni monetarie in asset fissi, o CAPEX), ma necessario per fare in modo che il mercato possa espandersi e iniziare a generare dei ritorni economici rilevanti.

In questa circostanza diventa fondamentale la collaborazione tra enti pubblici e aziende private per lo sviluppo congiunto dell'infrastruttura, attraverso l'utilizzo di sussidi, incentivi fiscali e programmi di finanziamento in grado di abbassare i costi a carico delle aziende private, grazie anche alla condivisione delle risorse.

L'adozione di queste potenziali strategie permetterebbe quantomeno di mitigare, se non di risolvere, questa problematica, rendendo gli investimenti nella filiera dell'idrogeno verde molto più appetibili, grazie alla prospettiva sui potenziali ritorni futuri, legati all'aumento della produzione e al raggiungimento delle economie di scala.

La mancanza di contesti legislativi dedicati può costituire un ostacolo, un effettivo rallentamento, allo sviluppo e all'adozione dell'idrogeno verde su scala europea; questa problematica è particolarmente rilevante nel breve e nel medio termine, ma potrebbe essere facilmente ovviata tramite l'attività normativa da parte delle istituzioni nazionali e comunitarie: l'introduzione di normative e regolamenti ad hoc (ad esempio incentivi fiscali, tariffe agevolate, obblighi di quota di utilizzo per settori specifici) e di standard tecnologici (sia per le tecnologie produttive che per l'infrastruttura di approvvigionamento) permetterebbero di accelerare lo sviluppo dell'idrogeno verde, in quanto ne favorirebbero la crescita tramite investimenti e progresso tecnologico; nello specifico, la Commissione Europea ha introdotto l'idrogeno verde all'interno del Green Deal europeo ^(5.21), prevedendone l'integrazione all'interno delle politiche e delle normative comunitarie, seguita dalla Germania ^(5.22), che ha approvato nel 2021 la "Legge tedesca sull'idrogeno verde", per promuovere lo sviluppo e l'utilizzo dell'idrogeno verde nel paese.

Le celle a combustibile a idrogeno sono una tecnologia promettente per l'utilizzo dell'idrogeno come fonte di energia ma, data la poca maturità della tecnologia, esistono una serie di preoccupazioni riguardanti la sicurezza, specialmente in termini di manipolazione di stoccaggio dell'idrogeno, che deve essere mantenuto ad alta pressione, e riguardanti i costi di produzione delle celle.

Anche in questa circostanza diventa fondamentale la collaborazione tra aziende ed enti pubblici, tramite investimenti importanti in ricerca e sviluppo, per migliorare la sicurezza delle

tecnologie (sistemi di stoccaggio sicuri e metodi avanzati di distribuzione) e l'adozione di standard di sicurezza rigidi e linee guida per tutte le fasi della catena del valore.

Questi sforzi permetterebbero, allo stesso tempo, di migliorare le tecnologie attualmente in uso e i processi produttivi, conseguentemente di abbassare i costi di produzione e raggiungere più facilmente le economie di scala.

Infine, è ancora carente (non solo nel panorama europeo, ma anche su scala globale) la consapevolezza circa le potenzialità dell'idrogeno verde come fonte di energia pulita, sia a livello industriale che dei consumatori.

Questa è una tematica che deve essere affrontata dalle istituzioni, attraverso campagne di sensibilizzazione rivolte agli utilizzatori finali e attraverso la collaborazione attiva con l'industria; così facendo si promuoverebbe l'idrogeno verde come alternativa energetica credibile alle fonti fossili in numerosi settori (industria dell'acciaio, industria chimica, trasporti pesanti, mobilità tradizionale, generazione e stoccaggio di energia) insieme ai benefici ambientali che ne deriverebbero ^{(5.23); (5.24); (5.25)}.

Sempre in relazione agli svantaggi di costo, questa volta in funzione della potenza installata (kW), si riscontra per l'idrogeno una minore competitività non solo rispetto alle fonti fossili tradizionali, ma anche rispetto ad altre fonti rinnovabili di generazione energetica [Tabella 5.5], [Grafico 5.1] ^{(5.25); (5.26); (5.27); (5.28); (5.29); (5.15)}.

idrogeno vs principali fonti rinnovabili	idrogeno	eolico	idroelettrico	fotovoltaico	biomassa	geotermico
CAPEX in \$/kW	1400 - 1800	2200 - 2600	2000 - 5000	1300 - 2000	2500 - 4500	3100 - 3500
%CAPEX sul costo totale	35%	95%	95%	97%	95%	98%
OPEX in \$/kW	450 - 600	115 - 135	100 - 250	25 - 40	125 - 225	60 - 70
%OPEX sul costo totale	12%	5%	5%	2%	5%	2%
altri costi in %CAPEX	2100 - 2700	ND	ND	ND	ND	ND
%altri costi sul totale	53%	0%	0%	0%	0%	0%
costo totale in \$/kW	4525	2520	3675	1700	3675	3366

Tabella 5.5: costi associati all'installazione di un kW di potenza; confronto tra idrogeno verde ed altre fonti rinnovabili

COSTI DELLE PRINCIPALI FONTI RINNOVABILI

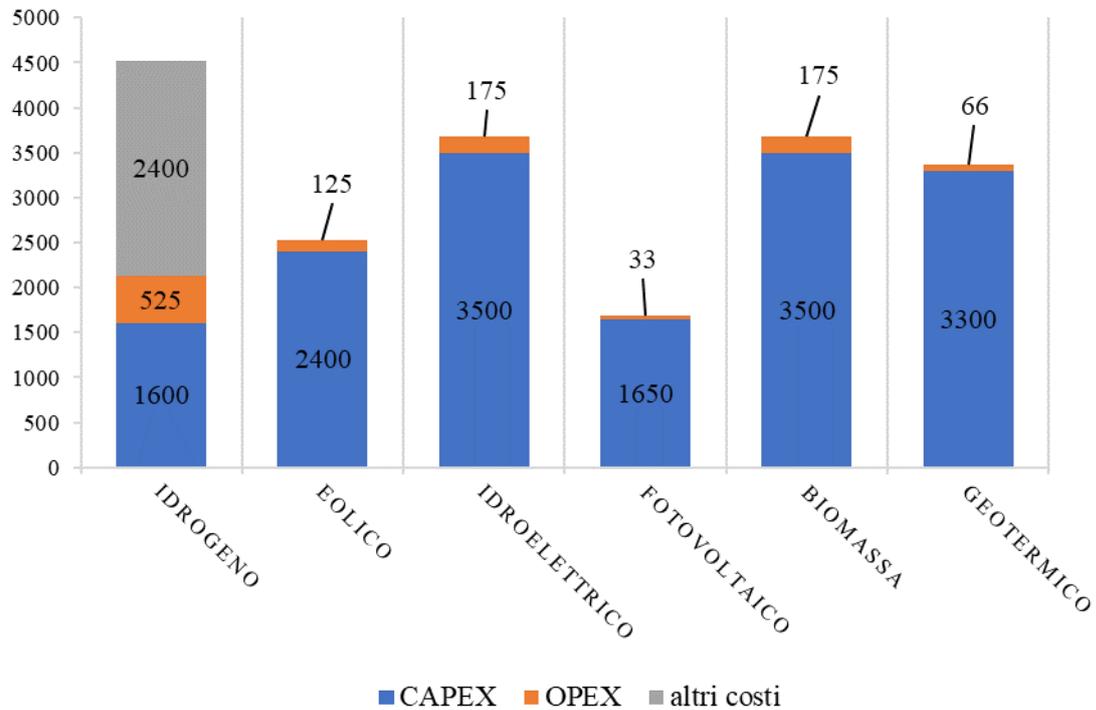


Grafico 5.1: rappresentazione grafica dei costi associati all'installazione di un kW di potenza; confronto tra idrogeno verde ed altre fonti rinnovabili

Come si evince dalla rappresentazione grafica di cui sopra, l'idrogeno verde è ancora in posizione svantaggiosa rispetto anche alle altre fonti rinnovabili, in quanto richiede una spesa maggiore a tutte le altre, a parità di potenza installata.

La composizione dei costi, tuttavia, permette una serie di riflessioni particolarmente interessanti: per le altre fonti rinnovabili (eolico, idroelettrico, fotovoltaico, biomassa, geotermico) si riscontra che la quasi totalità dei costi complessivi è impiegata in CAPEX, o costi fissi, con percentuali che variano tra il 98% del geotermico e il 95% dell'eolico, dell'idroelettrico e della biomassa; i costi operativi (od OPEX), di conseguenza, rappresentano solo una piccola percentuale dei costi totali, senza la presenza di altri costi rilevanti.

L'idrogeno verde, invece, ha una composizione dei costi molto diversa: i CAPEX sono molto contenuti, infatti rappresentano solo il 35% dei costi totali, il valore più basso (soprattutto in percentuale, ma anche in assoluto) rispetto a tutte le altre fonti rinnovabili; mentre gli OPEX

sono notevolmente superiori rispetto alle altre fonti rinnovabili, anche in questo caso sia in percentuale che in assoluto.

Per questa analisi sui costi dell'idrogeno verde si è deciso di non includere il costo dell'elettricità all'interno degli OPEX, in modo da valutare in modo più accurato il contributo specifico del primo rispetto al totale; questa scelta, apparentemente controintuitiva, in questo caso specifico diventa particolarmente rilevante, dato che più della metà dei costi totali (circa il 53% per la precisione) è imputabile direttamente all'utilizzo di energia elettrica.

L'energia elettrica rappresenta la voce di costo più importante perché, per produrre idrogeno verde, è necessario che venga utilizzata energia proveniente da fonti rinnovabili, il cui prezzo è spesso elevato e variabile; la soluzione più promettente al problema (già in fase di testing) è la possibilità di implementare impianti combinati (ad esempio: idrogeno – eolico, idrogeno – fotovoltaico), con elettrolizzatori modulari efficienti, in modo da abbattere i costi relativi all'energia elettrica ^(5.30).

L'International Energy Agency, nel medesimo report citato poc'anzi ^(5.24), fornisce anche delle stime, in termini di costo, riguardanti i CAPEX associati alla produzione di idrogeno verde: le stime per il 2030 indicano una potenziale riduzione fino a un range compreso tra i 450 \$/kW e i 500 \$/kW.

Questi dati evidenziano una notevole possibilità e libertà di manovra, in termini di potenziali strategie utilizzabili per rendere competitivo l'idrogeno verde, attraverso la riduzione dei CAPEX (miglioramento dell'efficienza e della modularità degli elettrolizzatori utilizzati), del costo associato all'elettricità (attraverso la realizzazione di impianti combinati), o di entrambi; così facendo l'idrogeno verde diventerebbe un vettore energetico competitivo sul mercato.

5.3) Batterie

Le batterie sono ritenute la principale alternativa alle fonti fossili per moltissime applicazioni, come l'industria, i trasporti, i sistemi di accumulo energetico e molto altro; per questa ragione la filiera ha attratto un grande ammontare di investimenti nel corso dell'ultimo decennio (il World Economic Forum stima che, solo in Europa, circa 60 miliardi di euro siano stati investiti nella catena del valore delle batterie), provenienti sia da enti pubblici, che da aziende private ^(5.31).

Nonostante la maturità della tecnologia e gli investimenti effettuati lungo tutta la filiera, le batterie mostrano ancora delle problematiche da risolvere per potersi affermare come tecnologia sostitutiva rispetto alle fonti fossili [Tabella 5.6] ^{(5.32); (5.33)}.

	descrizione	importanza
ostacoli alla crescita	assenza di infrastrutture di ricarica distribuite e capillari, la cui implementazione richiede grandi investimenti	alta (breve / medio termine) - media (lungo termine)
	costi elevati per l'utente finale	media (breve termine) - bassa (medio / lungo termine)
	mix energetico composto da fonti fossili	alta (breve termine) - media (medio / lungo termine)
	rischi sociali (sfruttamento manodopera minorile) e ambientali (emissioni elevate) lungo la catena del valore	media (breve termine) - alta (medio - lungo termine)
	manca di un contesto legislativo specifico, che favorisca l'utilizzo e l'adozione delle tecnologie su scala globale	media (breve termine) - media (medio / lungo termine)
	poca efficienza nel trattenere energia elettrica per lunghi periodi di tempo	media (breve termine) - media (medio - lungo termine)

Tabella 5.6: principali ostacoli alla crescita delle batterie

Uno dei principali ostacoli alla crescita del mercato delle batterie è relativa al settore della mobilità: infatti, come evidenziato da McKinsey & Company in un rapporto pubblicato nel 2022 ^(5.34), non esiste ancora un'infrastruttura di ricarica distribuita e capillare per la ricarica dei veicoli elettrici.

Allo stato attuale la transizione massiccia dalla mobilità tradizionale alla mobilità elettrica non è sostenibile, in quanto andrebbe a sovraccaricare eccessivamente la rete elettrica; l'ottenimento di questo ambizioso risultato passa dall'implementazione di una rete di ricarica estesa, che comprenda stazioni di ricarica pubbliche, punti di ricarica veloce e infrastrutture per la ricarica domestica.

Lo stesso report evidenzia la necessità di instaurare un'ampia collaborazione tra enti pubblici e aziende private, con delle politiche che possano promuovere la cooperazione tra le parti interessate e favorire gli ingenti investimenti necessari.

Un'altra problematica rilevante, sempre relativa alla mobilità elettrica, è associata al costo per l'utente finale: i veicoli elettrici, infatti, secondo una stima effettuata dall'International Clean Council on Clean Transportation ^(5.35), hanno un prezzo di vendita di circa il 20% in media più alto rispetto alle controparti a combustione tradizionale; la stima è relativa al mercato europeo e, se si considera la riduzione di spesa che in media il consumatore finale ottiene accedendo ai vari sussidi attivati in tutta Europa, la differenza può ridursi ulteriormente, fino al 10% - 15% circa.

Inoltre, BloombergNEF ^(5.36) prevede che, in circa una decina d'anni, l'attività delle imprese operanti sul mercato, grazie alla ricerca tecnologica in innovazione, al raggiungimento delle economie di scala e all'efficientamento della produzione, possa far diminuire ulteriormente il costo dei veicoli elettrici per il consumatore, avvicinandoli sensibilmente al prezzo delle auto a combustione interna (sempre, ovviamente, considerando gli incentivi governativi).

Anche il mix energetico con cui viene generata l'elettricità è un aspetto molto rilevante per l'impatto ambientale complessivo associato all'utilizzo delle batterie; infatti, utilizzare fonti fossili per ricaricare le batterie contribuisce alle emissioni di gas inquinanti durante il ciclo di vita di queste ultime.

Non si tratta di una problematica estremamente annosa (come specificato poc'anzi, i veri dubbi sull'effettiva sostenibilità delle batterie non sono da porsi in relazione alle emissioni in uso, quanto più in relazione alle emissioni generate lungo il ciclo di vita), come sottolineato da un documento ufficiale dell'Unione Europea ^(5.37), in quanto il mix energetico comprende già una buona percentuale di fonti rinnovabili (vicina al 40%), che potrebbe ulteriormente aumentare nel medio – lungo termine, grazie al grande impegno che l'Europa ha posto nell'ultimo decennio, e che continuerà a porre negli anni successivi, circa la produzione di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili.

L'adozione su larga scala e in diversi settori delle batterie potrebbe comportare diversi rischi di natura ambientale e sociale; allo stato attuale la filiera non ha ancora una dimensione tale da giustificare tali preoccupazioni, ma lo scale-up dell'intera catena del valore [Tabella 5.7] previsto nei prossimi anni potrebbe avere risvolti negativi soprattutto nelle aree più deboli del mondo, nelle quali vengono realizzate le prime fasi della catena del valore (estrazione mineraria e raffinazione delle materie prime); le prime avvisaglie sono state evidenziate da un report pubblicato da Deloitte nel 2022 ^(5.38), nel quale si riportano le condizioni di lavoro non sicure e

lo sfruttamento di manodopera minorile (solo in Repubblica Democratica del Congo si contano 35000 adolescenti che lavorano nelle miniere di cobalto).

andamento della domanda di materie prime (k ton / y)		
materia prima	2021	2030
<i>cobalto</i>	187	364
<i>litio (LCE)</i>	334	651
<i>nickel</i>	3166	6172
<i>manganese</i>	27853	54302

Tabella 5.7: andamento della domanda di materie prime

Si prevede che l'estrazione delle materie prime necessarie alla realizzazione delle batterie cresca del 7,7% su base annua ^(5.39), ed è necessario che venga garantita una catena di approvvigionamento trasparente, sostenibile e rispettosa dei diritti umani; da questo specifico punto di vista, è fondamentale che le istituzioni impongano alle aziende operanti nel settore un rigoroso set di standard e certificazioni per l'estrazione e la lavorazione responsabile dei minerali, coinvolgendo le organizzazioni internazionali operanti nelle zone del mondo in cui si svolgono queste fasi della filiera.

Come accennato poc'anzi, le problematiche associate alla filiera delle batterie sono principalmente imputabili alle emissioni generate lungo la catena del valore [Tabella 5.8].

emissioni totali (in M Ton CO₂ eq)	
<i>2021</i>	35
<i>2030</i>	182
<i>moltiplicatore</i>	5,2x

Tabella 5.8: emissioni generate, in aggregato, dalla filiera delle batterie su scala globale

La filiera delle batterie, nel 2021, ha prodotto circa 35 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente, come evidenziato da un articolo pubblicato su Energy & Environmental Science ^(5.40), nel quale si evidenzia l'importanza di ridurre l'impronta di carbonio associata ai sistemi di stoccaggio basati sulle batterie.

Benché la filiera delle batterie non possa affatto considerarsi ecosostenibile, il confronto con le alternative attuali è comunque positivo: l'European Environment Agency ^(5.41) riporta che, da solo, il settore della mobilità tradizionale nel 2021 ha generato in Europa 750 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente (la filiera delle batterie, quindi, ha generato appena il 5% delle emissioni rispetto alla mobilità tradizionale).

Lo scale-up della produzione previsto per il 2030 comporta, secondo le stime, un incremento significativo nelle emissioni di gas climalteranti lungo la filiera, che potrebbe essere mitigato attraverso la collaborazione tra le istituzioni (imposizione di standard rigorosi di sostenibilità) e le aziende operanti nel settore (miglioramento dei processi produttivi e di smaltimento, grazie all'innovazione tecnologica).

Anche le batterie, similmente rispetto all'idrogeno verde, sicuramente trarrebbero beneficio se venisse implementato un contesto legislativo specifico (a oggi presente solo parzialmente) che possa influenzare in modo positivo l'utilizzo e l'adozione della tecnologia su larga scala; sotto questo punto di vista è fondamentale l'attività delle istituzioni nazionali e sovranazionali, che già hanno iniziato a muoversi in questa direzione (l'Unione Europea, infatti, ha proposto un regolamento ^(5.37) che potesse armonizzare le norme relative alle batterie nel mercato europeo, stabilire dei requisiti di sostenibilità e promuovere l'innovazione).

Infine, relativamente allo storage di energia elettrica, un'applicazione estremamente rilevante, le batterie presentano un problema di tipo tecnologico particolarmente importante: la poca efficienza nel trattenere elettricità a lungo termine ^(5.42).

Per efficienza di un sistema di storage energetico si intende la quantità di energia immagazzinata rispetto a quella recuperata durante il processo di scarica; una bassa efficienza comporta perdite significative di energia durante il ciclo di immagazzinamento e recupero.

Allo stato attuale della tecnologia, i sistemi di storage energetico realizzati mediante batterie mostrano perdite di conversione elettrica e chimica, più perdite da auto-scarica dovute alla degradazione dei materiali; la motivazione è dettata dall'utilizzo, per questi sistemi, di batterie a fine vita riciclate, la cui efficienza media si attesta tra il 60% e l'80% rispetto a una batteria nuova, con la stessa capacità nominale ^(5.43).

Per far fronte a questa problematica, sono attualmente in fase di sviluppo delle nuove tecnologie con prestazioni migliori (batterie a flusso, batterie al litio-zolfo, super-condensatori), in grado di ridurre le perdite e aumentare l'efficienza nel trattenere e recuperare energia; allo stesso

tempo le aziende operanti nel settore stanno studiando e mettendo in pratica dei processi per il miglioramento dei sistemi di gestione, utilizzando tecnologie innovative in grado di ottimizzare i processi di controllo, gestire in modo intelligente della carica e la pianificare al meglio l'uso dell'energia immagazzinata ^(5.44).

5.4) BIBLIOGRAFIA

- 5.1 NOTTEBOOM, Theo; HARALAMBIDES, Hercules. Seaports as green hydrogen hubs: advances, opportunities and challenges in Europe. *Maritime Economics & Logistics*, 2023, 25.1: 1-27.
- 5.2 AMICI, Julia, et al. A roadmap for transforming research to invent the batteries of the future designed within the european large scale research initiative battery 2030+. *Advanced Energy Materials*, 2022, 12.17: 2102785.
- 5.3 Consiglio dell'Unione Europea. (05-2023). Come viene prodotta e venduta l'elettricità nell'UE. URL: [https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/#:~:text=Nel%202022%20l'UE%20ha,carbone%20\(15%2C8%25\)](https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/#:~:text=Nel%202022%20l'UE%20ha,carbone%20(15%2C8%25).).
- 5.4 IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Recuperato da <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- 5.5 European Environment Agency. (2018). *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2016 and inventory report 2018*. Recuperato da <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018>
- 5.6 United Nations Framework Convention on Climate Change. (2002). *The Kyoto Protocol*. Recuperato da <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol>
- 5.7 U.S. Environmental Protection Agency. (2020). *Sulfur Dioxide (SO2) Pollution*. Recuperato da <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- 5.8 O'DONOUGHUE, Patrick R., et al. Life cycle greenhouse gas emissions of electricity generated from conventionally produced natural gas: systematic review and harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, 18.1: 125-144.

- 5.9 CLARKE, Lee B.; SLOSS, Lesley L. Trace elements-emissions from coal combustion and gasification. 1992.
- 5.10 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- 5.11 PAVARELLI, Federico. Modelli e scenari futuri per l'energia e le emissioni climalteranti= Models and future scenarios for energy and climate-changing emissions. 2023. PhD Thesis. Politecnico di Torino.
- 5.12 MONIZ, Ernest J., et al. The future of natural gas. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- 5.13 WU, X. D., et al. Embodied energy analysis for coal-based power generation system-highlighting the role of indirect energy cost. *Applied energy*, 2016, 184: 936-950.
- 5.14 SULEMAN, Fahad; DINCER, Ibrahim; AGELIN-CHAAB, Martin. Comparative impact assessment study of various hydrogen production methods in terms of emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41.19: 8364-8375.
- 5.15 Till Weidner, Victor Tulus, Gonzalo Guillén-Gosálbez; Environmental sustainability assessment of large-scale hydrogen production using prospective life cycle analysis; *International Journal of Hydrogen Energy*; Volume 48, Issue 22; 2023; Pages 8310-8327; ISSN 0360-3199; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.044>.
- 5.16 HAO, Han, et al. GHG Emissions from the production of lithium-ion batteries for electric vehicles in China. *Sustainability*, 2017, 9.4: 504.
- 5.17 WOOD III, David L.; LI, Jianlin; DANIEL, Claus. Prospects for reducing the processing cost of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 2015, 275: 234-242.
- 5.18 Martin Linder et al; The race to decarbonize electric-vehicle batteries; McKinsey & Company; 2023; URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries>
- 5.19 Veronika Henze; Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh; BloombergNEF; 2022; URL:

<https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>

- 5.20 Frost & Sullivan. (2022, July 07). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>
- 5.21 Commissione Europea. "Una strategia europea per l'idrogeno pulito." Disponibile: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-hydrogen-strategy_it
- 5.22 German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. "Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) und zur Weiterentwicklung des Wirtschaftsrechts im Bereich der erneuerbaren Energien." Disponibile: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetze/gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien-eeg-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- 5.23 IEA (International Energy Agency). (2020). The Future of Hydrogen. Retrieved from: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- 5.24 European Commission. (2020). Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/hydrogen_strategy.pdf
- 5.25 Hydrogen Council. (2020). Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. URL: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study.pdf
- 5.26 KAPETAKI, Z., et al. Clean energy technologies in coal regions: Opportunities for jobs and growth. European Union: Joint Research Centre, 2020.
- 5.27 European Union; Sustainable Energy Handbook; 2020; URL: <https://capacity4dev.europa.eu/groups/public-energy/library>
- 5.28 International Energy Agency. (2022). Global Hydrogen Review 2022. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>
- 5.29 Structures Insider. (n.d.). Green Hydrogen: Current and Projected Production Costs. Retrieved from <https://www.structuresinsider.com/post/green-hydrogen-current-and-projected-production-costs>

- 5.30 International Energy Agency (IEA). (2019). Power-to-Gas: Technology and Business Models. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/power-to-gas-technology-and-business-models>
- 5.31 World Economic Forum. (n.d.). A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030; retrieved from: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf
- 5.32 Frost & Sullivan. (2022, March 18). Growth Opportunities in Hydrogen Storage, Li-ion Batteries, Thermal Energy Storage, and Cloud Based Platforms for Battery Management Systems. Retrieved from <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-hydrogen-storage-li-ion-batteries-thermal-energy-storage-and-cloud-based-platforms-for-battery-management-systems.html>
- 5.33 Frost & Sullivan. (2021, July 16). Growth Opportunities in Floating Wind Energy Platforms, Sodium-ion Batteries, and Battery Anode Materials. Retrieved from <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-floating-wind-energy-platforms-sodium-ion-batteries-and-battery-anode-materials.html>
- 5.34 McKinsey & Company. (2022). Recharging economies: The EV battery manufacturing outlook for Europe. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe>
- 5.35 International Council on Clean Transportation (ICCT) - "The Effect of Purchase Incentives on Electric Vehicle Adoption in the Netherlands" (2019) - https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-NL-incentives-effect_Oct2019.pdf
- 5.36 Colin McKerracher; The EV price gap narrows; BloombergNEF; 25/06/2021; URL: <https://about.bnef.com/blog/the-ev-price-gap-narrows/>
- 5.37 European Union. (2020). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on batteries and waste batteries. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>

- 5.38 Deloitte. (n.d.). Industry Outlook Renewable Energy 2022. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-eri-2022-industry-outlook-renewable%20energy.pdf>
- 5.39 Battery Raw Materials Market Size and Share; Forecast - 2030. (s.d.). Acumen Research and Consulting; Latest Market Research Reports and Trends. <https://www.acumenresearchandconsulting.com/battery-raw-materials-market>
- 5.40 Wu, M., Gong, Z., Xia, Y., & Wang, G. (2021). Carbon footprint of battery energy storage systems for electric vehicles. *Energy & Environmental Science*, 14(6), 3983-3993. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2021/ee/d1ee00691f>
- 5.41 European Environment Agency; 2022; Greenhouse gas emissions from transport in Europe; URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>
- 5.42 U.S. Department of Energy - "Grid Energy Storage" - <https://www.energy.gov/eere/electricity/grid-energy-storage>
- 5.43 Z. Li, H. Dai, L. Zheng, J. Wang, "Energy Storage System: A Critical Review", *Applied Energy*, Vol. 137, pp. 511-536, 2015.
- 5.44 S. Suresh, N. Sundaravadivelu, K. Ramani, "Recent Advancements in Electrical Energy Storage Systems: A Comparative Study", *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 2, Issue 5, May 2013.

6) ANALISI DI POSIZIONAMENTO E ANALISI ECONOMICA DELLE PRINCIPALI AZIENDE EUROPEE

L'obiettivo dei capitoli precedenti era introdurre e spiegare al meglio l'importanza e le caratteristiche delle due principali tecnologie, ritenute fondamentali per la transizione ecologica: l'idrogeno verde e le batterie.

Illustrare in modo esaustivo sia il diverso grado di maturità, che si riflette nei rispettivi mercati di riferimento sia a livello globale che a livello europeo, che le diverse problematiche che impediscono alle due tecnologie di imporsi su larga scala come alternativa credibile alle fonti fossili, era un passaggio preliminare molto importante.

Una volta raccolte e presentate le informazioni di natura più prettamente teorica come, ad esempio, i piani d'azione approvati dalle istituzioni (sia nazionali che sovranazionali), i piani d'investimento, sia diretti che indiretti (iniziative per facilitare gli investimenti da parte di aziende private), e le iniziative legislative volte a far rientrare queste tecnologie innovative all'interno dei vari codici giuridici, diventa fondamentale analizzare più nel dettaglio le imprese europee operanti nelle due filiere.

In questo sesto capitolo saranno analizzate le principali aziende operanti nei due settori, attraverso tre principali segmentazioni:

- Per fatturato annuo, utilizzato come stimatore approssimativo della dimensione delle varie aziende che costituiscono il panorama competitivo europeo attuale ^(6.1).
- Per distribuzione geografica.
- Per segmento della catena del valore in cui l'azienda opera.

La segmentazione relativa alla catena del valore è fondamentale nella determinazione dell'attrattività per le imprese, individuando quali passaggi vedono il maggior numero di aziende competere, e che caratteristiche presentano le aziende che ivi competono.

L'obiettivo ultimo è delineare un panorama competitivo che possa confermare o smentire quanto predetto dai documenti pubblicati dalle istituzioni (ad esempio, i report della Commissione Europea, dell'International Energy Agency, o del World Economic Forum) e da illustri società di consulenza (quali McKinsey & Company o Deloitte).

A differenza dei precedenti capitoli, tuttavia, in questo non si farà riferimento a documenti o report pubblicati da enti istituzionali, da società di consulenza o da istituti di ricerca, ma avrà come base l'analisi dei report annuali pubblicati dalle aziende operanti nei due mercati.

L'utilizzo dei report annuali (relativi al 2021) è fondamentale per la realizzazione di due specifici dataset (uno per ogni mercato), che comprendono le principali aziende europee attive in uno o più segmenti che costituiscono le catene del valore.

Una volta analizzate le caratteristiche dei due mercati dal punto di vista interno, un passaggio molto importante sarà valutarne la competitività (attraverso l'analisi delle principali aziende internazionali che già ivi operano e confrontandole con le controparti europee) e stimarne le potenzialità future e l'attrattività (quante imprese hanno interesse a entrare nei due mercati). Successivamente all'analisi di entrambi i mercati, l'ultima sezione di questo sesto capitolo sarà dedicata all'analisi comparativa tra i due, per evidenziare le principali differenze e i reciproci vantaggi di un mercato rispetto all'altro.

6.1) Idrogeno

Di seguito elencate (in ordine dimensionale) tutte le aziende che costituiscono il dataset associato all'analisi delle aziende europee, per il mercato dell'idrogeno verde; per ogni azienda verrà riportato il rispettivo core business e in che modo l'attività di ognuna può essere ricondotta alla filiera dell'idrogeno verde ^(Allegato 1).

- Resato ^(6.2): progettazione, produzione e fornitura di sistemi di alta pressione utilizzati in settori come l'industria petrolifera, i gas industriali e l'industria dell'idrogeno.
- SFC Energy ^(6.3): produzione e fornitura di celle a combustibile a idrogeno e sistemi di gestione energetica per applicazioni residenziali, commerciali e industriali.
- Gaussin ^(6.4): progettazione e fornitura di veicoli industriali e soluzioni di trasporto per applicazioni come la movimentazione di container, il trasporto pesante e la logistica interna, alimentate sia a idrogeno che a batterie.
- Green Hydrogen Systems ^(6.5): progettazione, produzione e fornitura di elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) per la produzione di idrogeno verde.

- ITM Power ^(6.6): sviluppo e produzione di elettrolizzatori ad alta pressione per la produzione di idrogeno verde per settori come la mobilità, l'industria e l'energia stazionaria.
- McPhy Energy ^(6.7): progettazione e fornitura di soluzioni per lo stoccaggio e la distribuzione di idrogeno verde utilizzato in settori come la mobilità e l'industria.
- Sunfire ^(6.8): produzione di impianti di elettrolisi ad alta temperatura e sistemi di conversione di energia.
- Enapter ^(6.9): produzione di elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) per la produzione di idrogeno verde.
- HydrogenPro ^(6.10): produzione e fornitura di sistemi di elettrolizzatori ad alta efficienza per la produzione di idrogeno verde.
- Powercell Sweden AB ^(6.11): produzione di celle a combustibile a idrogeno per applicazioni di trasporto, generazione di energia stazionaria e altre applicazioni industriali.
- GREENSTAT ^(6.12): produzione e fornitura di idrogeno verde e altre soluzioni energetiche sostenibili, insieme a servizi di consulenza per la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.
- Nel Hydrogen ^(6.13): progettazione, produzione e fornitura di sistemi di elettrolisi ad alta efficienza per la produzione di idrogeno pulito.
- Total Energies ^(6.14): fornitura di energia, servizi energetici e soluzioni sostenibili, con interessi nell'idrogeno verde (produzione, distribuzione e ricerca) e nelle batterie.
- Octopus Hydrogen ^(6.15): sviluppo di infrastrutture di produzione e distribuzione di idrogeno verde, insieme a soluzioni integrate per la mobilità a idrogeno e la gestione energetica.
- Siemens Energy ^(6.16): fornitura di soluzioni energetiche complete, comprese tecnologie per l'idrogeno verde (elettrolizzatori, sistemi di stoccaggio e applicazioni industriali) e per le batterie.
- Severn Trent ^(6.17): fornitura di servizi idrici e di gestione dei rifiuti, con interesse nell'utilizzo dell'idrogeno verde per la decarbonizzazione delle operazioni e per la fornitura di energia sostenibile.

- Air Liquide ^(6.18): produzione e fornitura di gas industriali, compreso l'idrogeno verde, per diverse applicazioni industriali.
- Evonik ^(6.19): produzione di prodotti chimici specializzati e soluzioni materiali, con interessi nell'idrogeno verde (produzione di catalizzatori e tecnologie per la produzione) e nelle batterie.
- Linde Engineering ^(6.20): ingegneria, progettazione e fornitura di impianti di produzione e infrastrutture correlate, nonché soluzioni per lo stoccaggio e la distribuzione.
- Engie ^(6.21): produzione e distribuzione di energia, servizi energetici e soluzioni sostenibili; fornitura di energia elettrica, gas naturale, servizi di gestione energetica e soluzioni di transizione energetica, che includono anche l'idrogeno verde e le batterie.
- Uniper SE ^(6.22): generazione, stoccaggio e fornitura di energia; produzione di energia elettrica e termica, con un crescente interesse nell'idrogeno verde e nelle tecnologie delle batterie.
- MAN Energy Solutions ^(6.23): sviluppo e fornitura di motori a combustione interna, turbine e soluzioni di generazione di energia, compresi progetti legati all'idrogeno verde e alle batterie per applicazioni marine e industriali.
- EDF ^(6.24): produzione, distribuzione e fornitura di energia elettrica e gas; produzione di energia da fonti tradizionali e rinnovabili, compreso l'interesse nello sviluppo di progetti legati all'idrogeno verde e alle batterie.
- Shell ^(6.25): esplorazione, estrazione, raffinazione, distribuzione e commercializzazione di prodotti petroliferi e del gas e gestione di stazioni di servizio; sviluppo di progetti, tecnologie e infrastrutture per la produzione, la distribuzione e l'utilizzo dell'idrogeno verde; progetti avviati anche nella realizzazione di infrastrutture di ricarica per la mobilità elettrica, di sistemi di stoccaggio energetico e di gestione dei sistemi di batterie.
- ENEL ^(6.26): produzione, distribuzione e vendita di energia elettrica; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Eni ^(6.27): produzione, raffinazione e commercializzazione di petrolio, gas naturale e energia; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Iberdrola ^(6.28): produzione, distribuzione e commercializzazione di energia elettrica; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.

- Thyssenkrupp ^(6.29): società attiva nei settori dell'ingegneria industriale e nei materiali; sviluppo di tecnologie per la produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Gasunie ^(6.30): sviluppo dell'infrastruttura e delle reti di trasporto per il gas naturale e l'idrogeno, svolgendo un ruolo chiave nello sviluppo di progetti per l'utilizzo e la distribuzione dell'idrogeno verde.

Breakdown della catena del valore

azienda	sede	produzione	stoccaggio e trasporto	sviluppo di infrastrutture	applicazioni industriali	mobilità	storage di energia
Resato	Olanda		x				
SFC Energy	Germania					x	x
Gaussin	Francia					x	
Green Hydrogen Systems	Danimarca	x					
ITM Power	UK	x					
McPhy Energy	Francia		x				
Sunfire	Germania	x					
Enapter	Germania	x					
HydrogenPro	Norvegia	x					
Powercell Sweden AB	Svezia					x	x
GREENSTAT	Norvegia	x	x				
Nel Hydrogen	Norvegia	x	x	x			
Total Energies	Francia	x	x				
Octopus Hydrogen	UK	x	x			x	x
Siemens Energy	Germania	x	x				
Severn Trent	UK	x					
Air Liquide	Francia	x	x				
Evonik	Germania	x					
Linde Engineering	Germania		x	x			
Engie	Francia	x	x				
Uniper SE	Germania	x	x				
MAN Energy Solutions	Germania	x				x	
EDF	Germania	x	x				
Shell	Uk	x	x				
ENEL	Italia	x					
Eni	Italia	x					
Iberdrola	Spagna	x					
Thyssenkrupp	Germania	x					
Gasunie	Olanda		x	x			

Tabella 6.1: posizionamento delle aziende all'interno della catena del valore dell'idrogeno verde

Per visualizzare meglio il posizionamento delle varie aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde, è stata realizzata una prima segmentazione del mercato, per segmento della catena del valore: ogni azienda è stata analizzata, individuando e riportando il segmento (oppure i segmenti) in cui opera [Tabella 6.1].

Analizzando le occorrenze (che rappresentano se un'azienda è attiva in uno specifico segmento della filiera dell'idrogeno verde) è possibile ottenere delle informazioni interessanti riguardanti lo stato attuale del mercato [Tabella 6.2], [Grafico 6.1], [Grafico 6.2].

	<i>produzione</i>	<i>stoccaggio e trasporto</i>	<i>sviluppo di infrastrutture</i>	<i>applicazioni industriali</i>	<i>mobilità</i>	<i>storage di energia</i>
Occorrenze per segmento	22	14	3	0	5	3
Occorrenze per segmento in percentuale	47%	30%	6%	0%	11%	6%

Tabella 6.2: occorrenze totali e percentuali per segmento della catena del valore

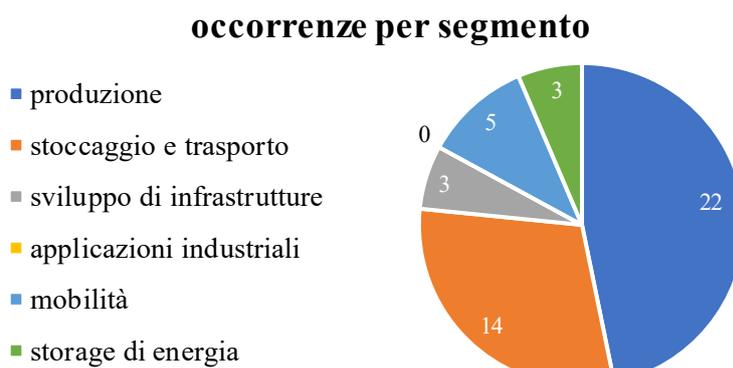


Grafico 6.1: rappresentazione grafica delle occorrenze totali per segmento

occorrenze per segmento in percentuale

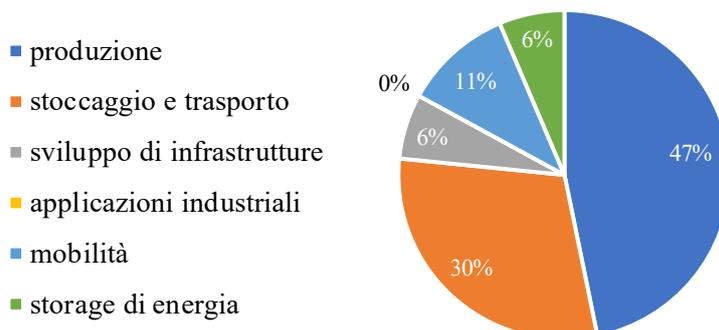


Grafico 6.2: rappresentazione grafica delle occorrenze percentuali per segmento

Facendo riferimento al posizionamento delle aziende all'interno della catena del valore si nota chiaramente quanto le prime fasi siano estremamente più attrattive per le aziende: l'83% delle occorrenze si colloca, infatti, all'interno della prima parte della filiera.

Come definito nella sezione 2.1, queste prime tre fasi possono essere definite in aggregato come "suppliers", ovvero si collocano a monte della catena del valore, fornendo idrogeno o tecnologie per produrlo, tecnologie per lo stoccaggio e il trasporto, oppure le infrastrutture necessarie al funzionamento della filiera.

Anche all'interno delle prime fasi si nota un netto squilibrio nei campi d'attività delle aziende, infatti il 47% delle occorrenze (22 su 47 totali) è relativo al segmento della produzione di idrogeno verde, e il 30% delle occorrenze (14 su 47) è relativo al segmento dello stoccaggio e trasporto.

Questi dati confermano quanto la tecnologia sia ancora in una fase molto acerba, data l'evidente enfasi iniziale da parte delle aziende sulla produzione, lo sviluppo e l'implementazione dell'infrastruttura necessaria al supporto dell'intera catena del valore.

Nella fase iniziale della transizione verso un'economia che comprenda anche l'idrogeno verde, infatti, è fondamentale creare una solida base di produzione, stoccaggio, distribuzione e infrastrutturale, che possa garantire la disponibilità e l'accessibilità dell'idrogeno verde a tutti i settori che possono attivamente farne uso, quali la produzione di energia (o più specificamente lo stoccaggio), la mobilità e l'industria.

Inoltre, le fasi iniziali della catena del valore sono fondamentali per il controllo e il funzionamento della filiera nel suo complesso; questo spinge molte aziende a concentrarsi sulle fasi a monte della filiera, per posizionarsi come leader nella nascente industria e avere maggiori opportunità di mercato future.

Tuttavia, lo sviluppo di infrastrutture è ancora un segmento poco attenzionato dalle imprese (registra solo il 6% delle occorrenze, 3 su 47 totali), a causa dei costi di realizzazione delle infrastrutture molto elevato, insieme all'incertezza tecnologica riguardante le potenziali economie di scopo che potrebbero innescarsi sfruttando le infrastrutture già esistenti (ad esempio la rete di gasdotti presenti sul suolo europeo a oggi utilizzati esclusivamente per il trasporto di gas naturale, che potrebbero essere adattate anche al trasporto di idrogeno tramite delle semplici miglorie, meno costose rispetto alla realizzazione ex novo di un'infrastruttura simile).

Le aziende, allo stato attuale, preferiscono concentrare i loro sforzi e il loro interesse operativo sul miglioramento della competitività dell'idrogeno verde come fonte energetica rinnovabile e, una volta raggiunto un grado di maturità tecnologica tale da giustificare gli investimenti in grandi infrastrutture, inizieranno a competere anche in questa fase della filiera.

Una menzione spetta all'interesse che diverse aziende ripongono nell'utilizzo dell'idrogeno verde come vettore energetico per la mobilità; tra i segmenti a valle della catena del valore è quello maggiormente attrattivo, registrando l'11% delle occorrenze (5 su 47 totali), dato che la tecnologia (celle a combustibile a idrogeno) è sufficientemente avanzata per essere utilizzata nell'immediato (per veicoli commerciali pesanti e leggeri, autobus, treni e navi).

L'idrogeno verde, nel campo della mobilità, presenta diversi vantaggi rispetto alle batterie ^(6.31), come tempi di ricarica più rapidi (il tempo necessario per effettuare un rifornimento completo per un veicolo a batterie può raggiungere diverse ore, anche se i cosiddetti "superchargers" permettono di ricaricare parzialmente il veicolo in pochi minuti, mentre per i veicoli a idrogeno il rifornimento completo richiede circa 3-5 minuti, tempistiche simili a quello di un veicolo a combustione interna tradizionale) e maggiore autonomia (i veicoli elettrici hanno un'autonomia media di 200 – 400 chilometri, mentre i veicoli a idrogeno hanno un'autonomia media di 400 – 600 chilometri).

Al contrario, si evidenzia una totale assenza di aziende che operano nel segmento industriale associato all'idrogeno verde (ovvero utilizzo dell'idrogeno verde per processi industriali come l'industria chimica, metalmeccanica o dell'acciaio), questo a causa di due specifiche ragioni:

- Le applicazioni industriali richiedono una maggiore adattabilità tecnologica per integrare l'idrogeno verde nei processi produttivi esistenti (necessità di risolvere problematiche di tipo tecnico e ingegneristico rilevanti).
- Le industrie in questione sono tecnologicamente molto mature e competono tra loro principalmente sull'efficienza produttiva (quindi sul costo), perciò, dato che la riconversione dei processi esistenti richiederebbe investimenti significativi e c'è incertezza sulla competitività rispetto ad altre fonti e materie prime, i costi di produzione aumenterebbero eccessivamente.

Tuttavia, grazie al miglioramento delle tecnologie di produzione, di stoccaggio, di trasporto e delle infrastrutture, e al raggiungimento delle economie di scala, IRENA ^(6.32) prevede che, entro il 2030, i costi associati alla produzione e all'utilizzo dell'idrogeno verde possano passare dal costo medio attuale, circa 0,165 \$ / kWh, a una media di circa 0,03 \$ / kWh; nel report citato poc'anzi vengono riportati i costi in funzione di 1 kg di idrogeno verde prodotto; dato che le analisi nei capitoli precedenti sono sempre state riportate in funzione di 1 kWh, è stata operata una semplice conversione utilizzando il rapporto tra energia prodotta (33,3 kWh) per ogni kg di idrogeno.

Se la riduzione di costo effettiva dovesse corrispondere a quella prevista (si ricordano le condizioni di incertezza associate al mercato e alla tecnologia), l'idrogeno verde diventerebbe una valida soluzione per la decarbonizzazione delle industrie tradizionali, grazie al netto abbassamento del costo di integrazione.

Infine, il segmento relativo allo storage di energia è anch'esso oggetto di poco interesse da parte delle aziende (registra il 6% delle occorrenze, 3 su 47 totali), a causa dell'ancora troppo limitato utilizzo delle fonti rinnovabili, in proporzione rispetto alle fonti fossili.

Già allo stato attuale la gestione dei surplus energetici e la gestione del disaccoppiamento tra domanda e offerta sono una problematica molto rilevante per la diffusione e l'utilizzo su larga scala delle fonti rinnovabili, con la transizione verso un'economia centrata sull'utilizzo esclusivo (o quasi) delle fonti rinnovabili questi temi diventeranno sempre più centrali.

L'utilizzo dell'idrogeno come tecnologia per lo stoccaggio di energia elettrica ^(6.33), secondo questa prospettiva, diventerà centrale grazie alle ottime performance che garantisce, sia in termini di rapporto tra il tempo massimo di stoccaggio e quantità di energia, che in termini di efficienza nella riconversione in elettricità (già allo stato attuale gli elettrolizzatori hanno un'efficienza media pari a circa l'80%).

A questa preliminare analisi sull'attrattività dei vari segmenti per le aziende europee, è importante aggiungere un ulteriore livello di analisi: non tutte le aziende che costituiscono il dataset sono direttamente confrontabili tra loro, data la spesso significativa differenza dimensionale ^(Allegato 2).

Come già specificato nell'introduzione di questo sesto capitolo, verrà utilizzato il fatturato come stimatore approssimativo della dimensione aziendale [Tabella 6.3], [Grafico 6.3].

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$
<i>Resato</i>	Olanda	24
<i>SFC Energy</i>	Germania	64
<i>Gaussin</i>	Francia	53
<i>Green Hydrogen Systems</i>	Danimarca	1
<i>ITM Power</i>	UK	6
<i>McPhy Energy</i>	Francia	13
<i>Sunfire</i>	Germania	70
<i>Enapter</i>	Germania	8
<i>HydrogenPro</i>	Norvegia	2
<i>Powercell Sweden AB</i>	Svezia	15
<i>GREENSTAT</i>	Norvegia	1
<i>Nel Hydrogen</i>	Norvegia	76
<i>Total Energies</i>	Francia	184700
<i>Octopus Hydrogen</i>	UK	2270
<i>Siemens Energy</i>	Germania	15094
<i>Severn Trent</i>	UK	2282
<i>Air Liquide</i>	Francia	22810
<i>Evonik</i>	Germania	14995
<i>Linde Engineering</i>	Germania	30793
<i>Engie</i>	Francia	55866
<i>Uniper SE</i>	Germania	164000
<i>MAN Energy Solutions</i>	Germania	3821
<i>EDF</i>	Germania	84461
<i>Shell</i>	Uk	45104
<i>ENEL</i>	Italia	88004
<i>Eni</i>	Italia	76575
<i>Iberdrola</i>	Spagna	39114
<i>Thyssenkrupp</i>	Germania	34015
<i>Gasunie</i>	Olanda	1386,3

Tabella 6.3: fatturato delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

fatturato (2021) in M\$

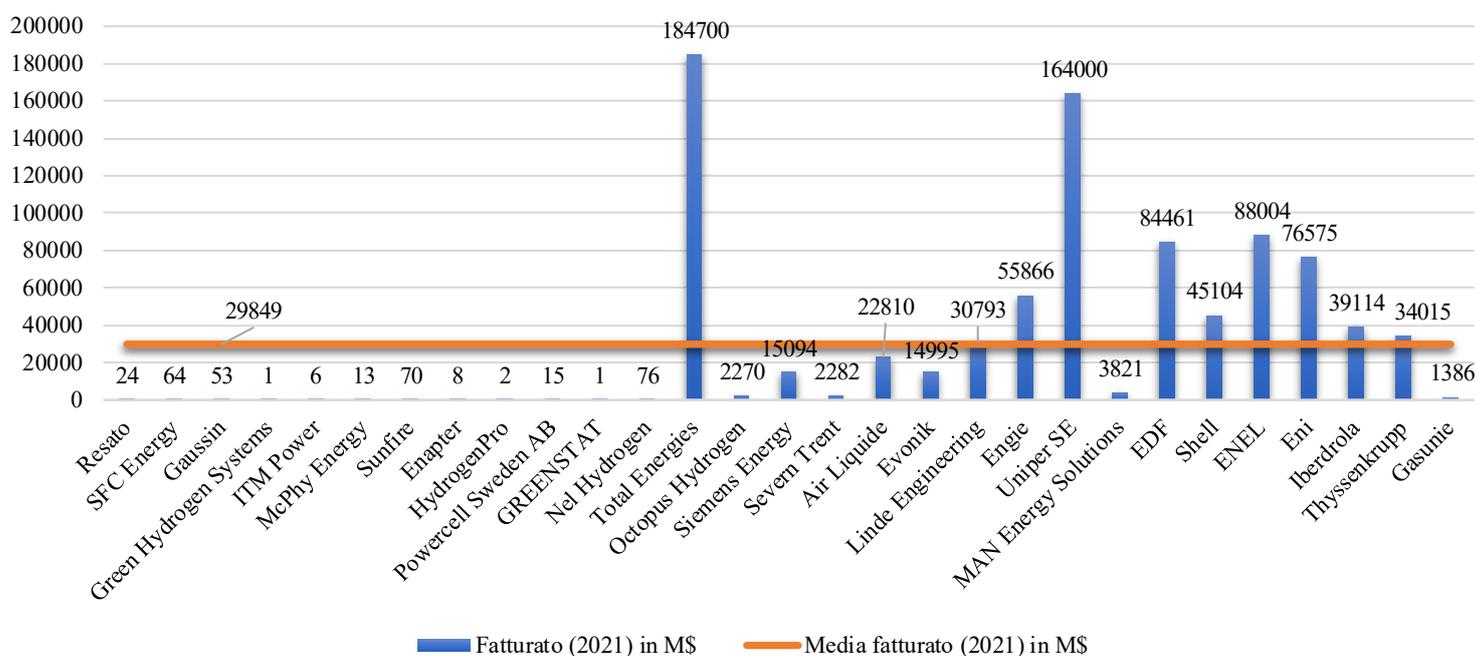


Grafico 6.3: fatturato delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

Come si evince dalla rappresentazione grafica, è possibile suddividere il dataset in due sottogruppi, in funzione del fatturato; nello specifico, si nota: una prima parte delle imprese che non arriva a superare i 100 milioni di dollari di fatturato annuo, e una seconda parte il cui fatturato annuo è superiore al miliardo.

Il primo sottogruppo conta 12 delle 29 imprese totali (41%), il secondo conta le 17 su 29 imprese restanti (59%); non si rileva un sostanziale squilibrio nella numerosità dei due sottogruppi, anzi la presenza considerevole di aziende relativamente piccole (in relazione alle dimensioni delle aziende che costituiscono il secondo sottogruppo) rispecchia le caratteristiche dei mercati emergenti ^(6.34), nei quali confluiscono sia imprese relativamente piccole, grazie alla dimensione ridotta e al minor numero di barriere all'ingresso, che imprese multinazionali, alle quali la maggiore capacità finanziaria consente di effettuare gli investimenti necessari con maggiore facilità.

A fronte di ciò, per entrambi i sottogruppi, verranno analizzati il fatturato, l'EBITDA e gli investimenti in ricerca e sviluppo dedicati all'idrogeno verde, con l'obiettivo di studiarne le

principali caratteristiche [Tabella 6.4], [Grafico 6.4], [Grafico 6.5], [Grafico 6.6], [Tabella 6.5], [Grafico 6.7], [Grafico 6.8], [Grafico 6.9].

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
<i>Resato</i>	Olanda	24,0	ND	ND
<i>SFC Energy</i>	Germania	64,3	-0,8	6,1
<i>Gaussin</i>	Francia	52,8	ND	ND
<i>Green Hydrogen Systems</i>	Danimarca	0,8	-21,6	9,6
<i>ITM Power</i>	UK	5,7	-26,1	0,6
<i>McPhy Energy</i>	Francia	13,1	-15,5	ND
<i>Sunfire</i>	Germania	69,6	ND	ND
<i>Enapter</i>	Germania	8,3	-7,6	3,7
<i>HydrogenPro</i>	Norvegia	1,8	ND	1,5
<i>Powercell Sweden AB</i>	Svezia	15,3	-7,9	ND
<i>GREENSTAT</i>	Norvegia	1,1	-2,7	ND
<i>Nel Hydrogen</i>	Norvegia	76,3	-21,0	16,5

Tabella 6.4: parametri economici delle aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

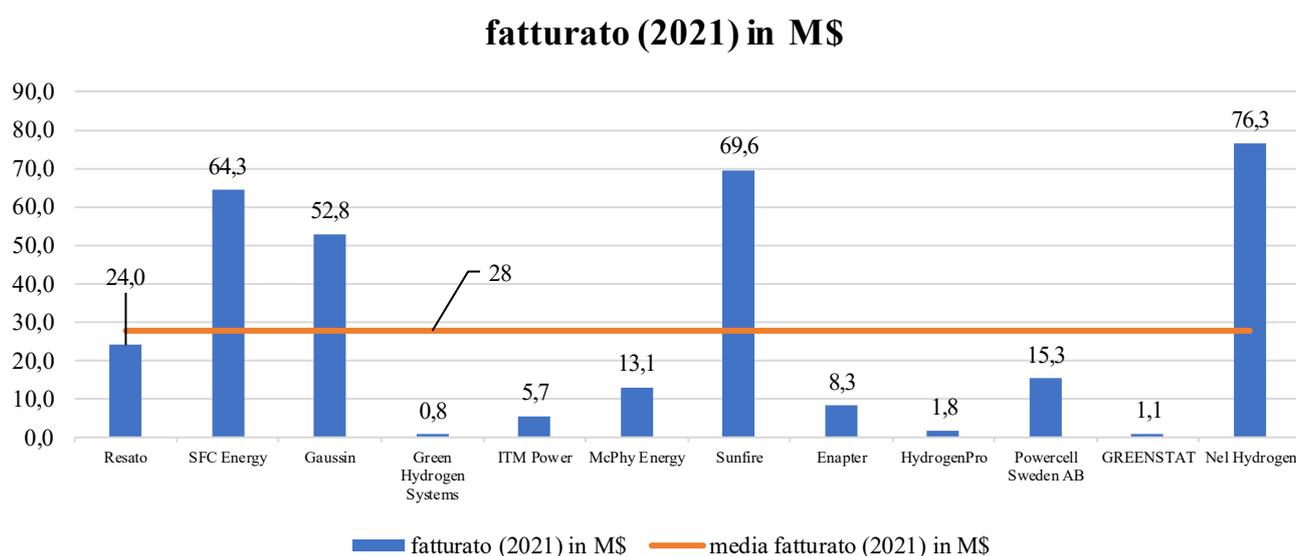


Grafico 6.4: fatturato (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato inferiore a 100 M\$)

EBITDA (2021) in M\$

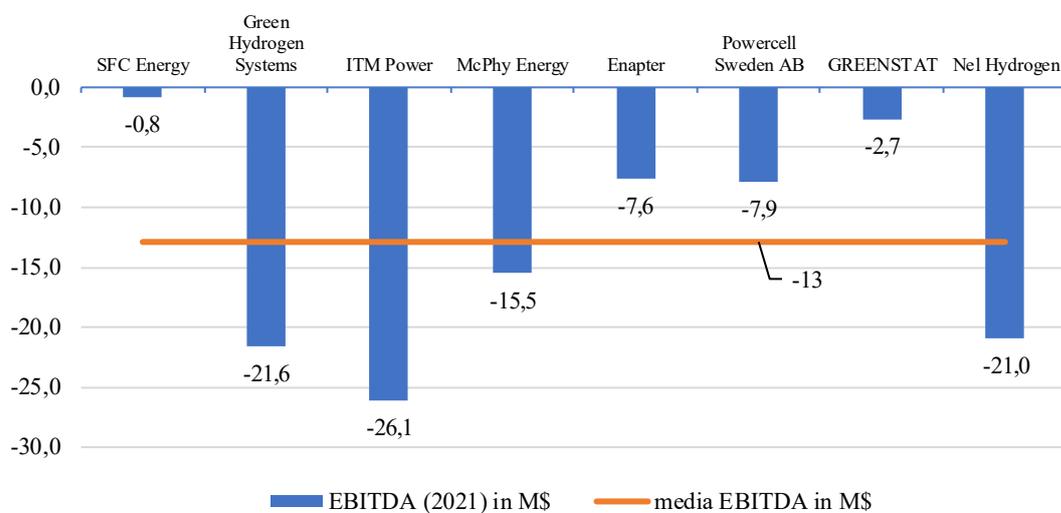


Grafico 6.5: EBITDA (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato inferiore a 100 M\$)

investimenti in R&D (2021) in M\$

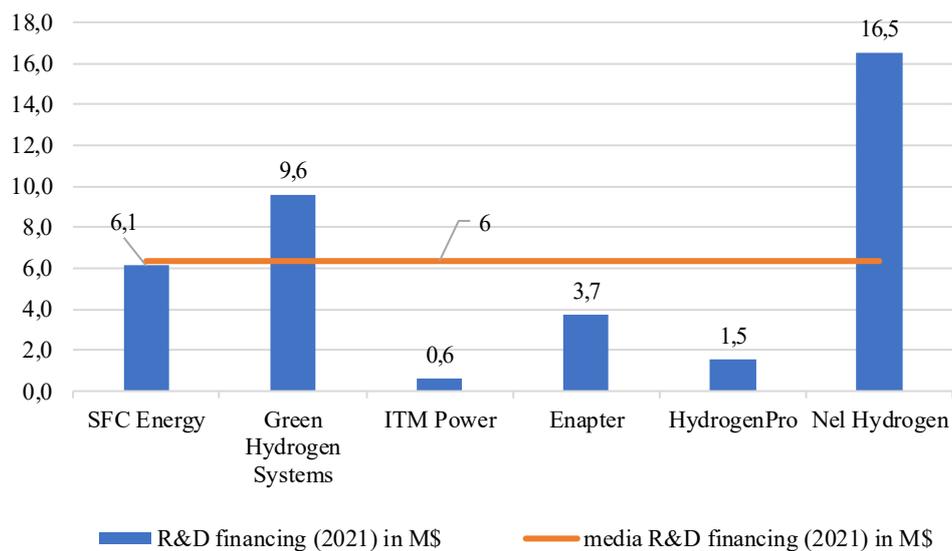


Grafico 6.6: R&D (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato inferiore a 100 M\$)

azienda	sede	fatturato (2021) in M€	EBITDA (2021) in M€	R&D financing (2021) in M€
Total Energies	Francia	184700,0	1393,0	824,0
Octopus Hydrogen	UK	2270,0	ND	11,3
Siemens Energy	Germania	15094,0	9091,0	1130,0
Severn Trent	UK	2281,9	1036,6	641,0
Air Liquide	Francia	22810,0	6333,0	304,0
Evonik	Germania	14995,0	2383,0	464,0
Linde Engineering	Germania	30793,0	10179,0	143,0
Engie	Francia	55866,0	10600,0	159,0
Uniper SE	Germania	164000,0	1856,0	329,0
MAN Energy Solutions	Germania	3821,0	ND	500,0
EDF	Germania	84461,0	18000,0	661,0
Shell	Uk	45104,0	55004,0	28,5
ENEL	Italia	88004,0	19200,0	130,0
Eni	Italia	76575,0	600,0	250,0
Iberdrola	Spagna	39114,0	12006,0	50,0
Thyssenkrupp	Germania	34015,0	1416,0	600,0
Gasunie	Olanda	1386,3	763,0	ND

Tabella 6.5: parametri economici delle aziende con fatturato superiore a 100 M€

fatturato (2021) in M€

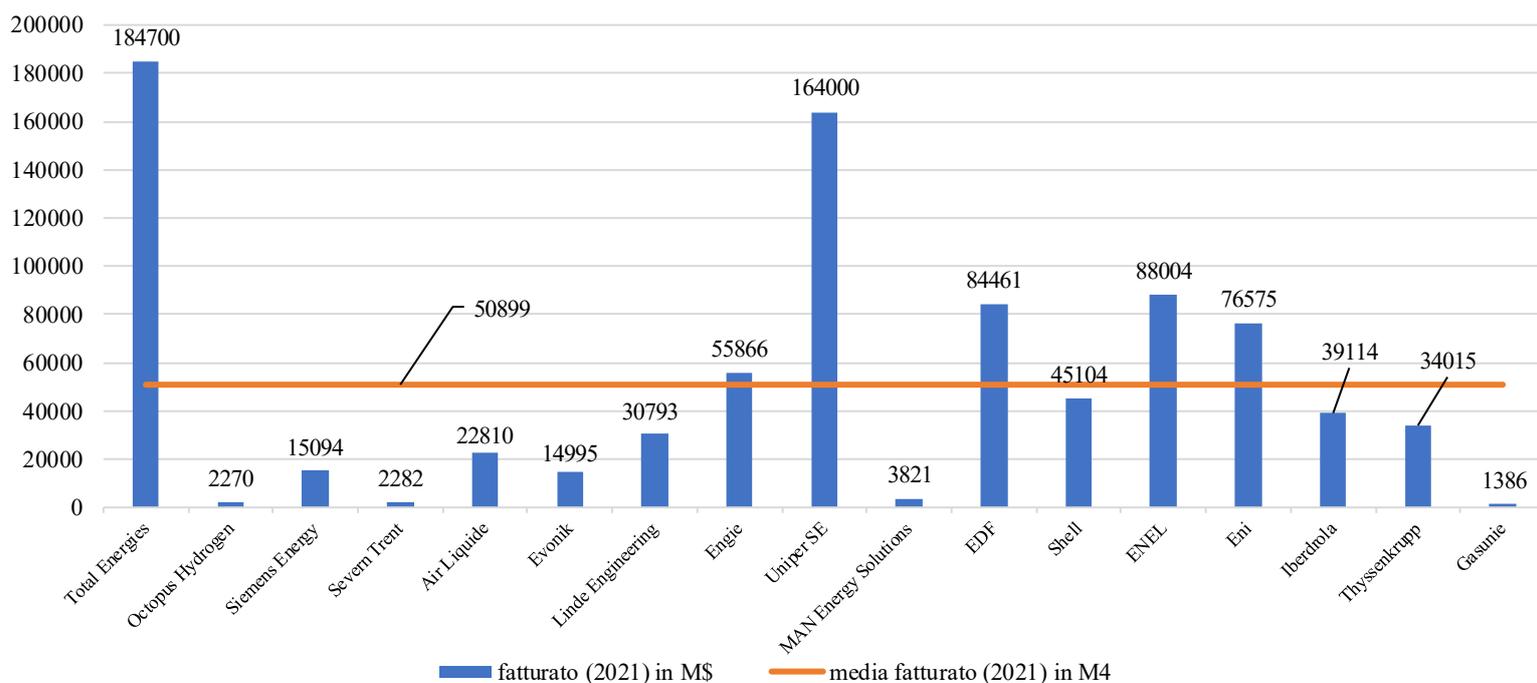


Grafico 6.7: fatturato (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato superiore a 100 M€)

EBITDA (2021) in M\$

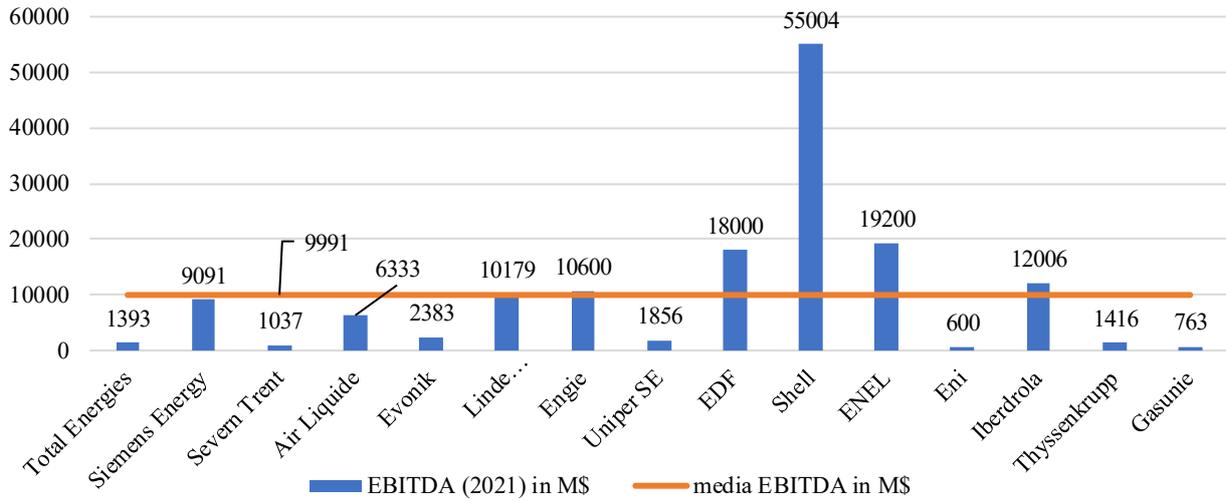


Grafico 6.8: EBITDA (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato superiore a 100 M\$)

investimenti in R&D (2021) in M\$

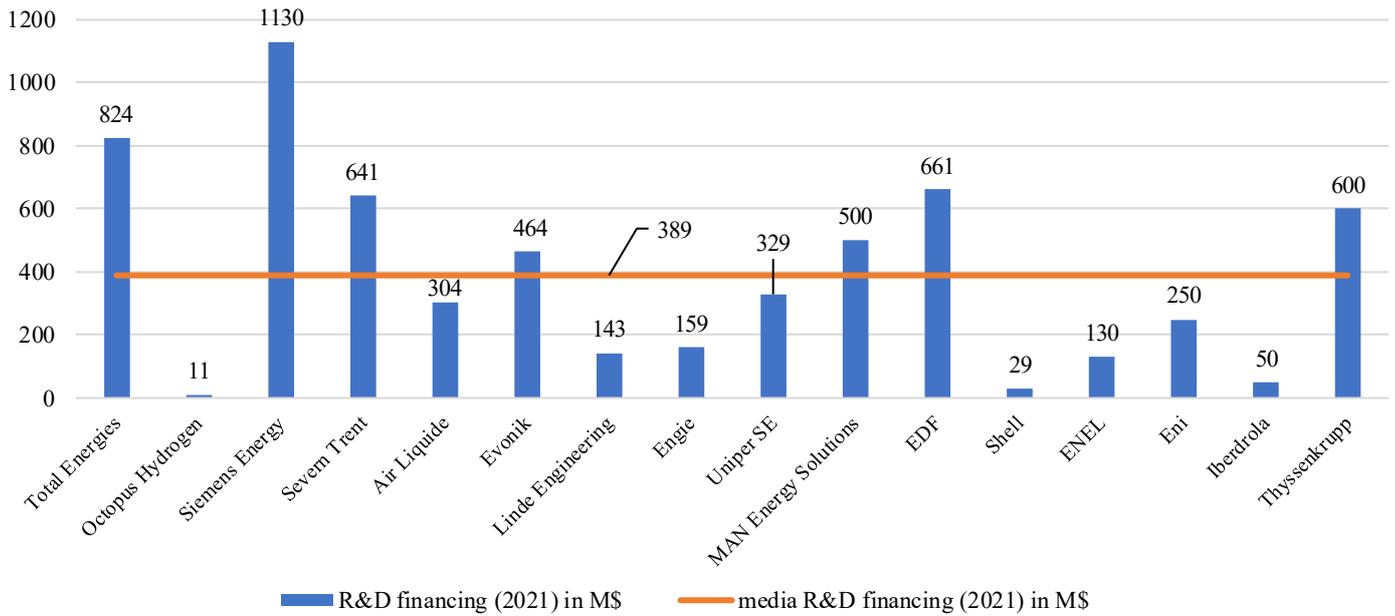


Grafico 6.9: R&D (2021) aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (fatturato superiore a 100 M\$)

La suddivisione delle aziende nei due sottogruppi è fondamentale per spiegare alcune caratteristiche riconducibili alla dimensione:

- Esiste una netta differenza tra le informazioni disponibili per le aziende con fatturato inferiore a 100 milioni di euro e le aziende con fatturato superiore a 100 milioni di euro; per queste ultime infatti, è stato quasi sempre possibile ricavare le informazioni relative all'EBITDA e agli investimenti in R&D; la ragione principale è il maggior obbligo di rendicontazione finanziaria a carico delle grandi multinazionali, al contrario delle controparti, meno propense a fornire informazioni dettagliate.
- C'è correlazione tra il fatturato e l'EBITDA delle aziende attive nel mercato ^(Allegato 3); tutte le aziende con fatturato inferiore a 100 milioni di euro registrano EBITDA negativi, mentre tutte le aziende con fatturato superiore a 100 milioni di euro registrano EBITDA positivi: le prime, infatti, sono tutte aziende che investono moltissime risorse con l'obiettivo di crescere (come Green Hydrogen Systems, ITM Power, Greenstat) o di espandersi (SFC Energy, Nel Hydrogen) aumentando così i costi operativi, mentre le seconde sono grandi multinazionali, quotate in borsa e attive in molti mercati, perciò possono godere delle enormi risorse economiche derivanti dalle principali linee di business, per investire (anche in modo sostanzioso) in nuovi mercati senza eccessive conseguenze negative sull'EBITDA.
- In assoluto, le aziende con fatturato superiore a 100 milioni di euro investono più fondi in ricerca e sviluppo rispetto alle aziende con fatturato inferiore a 100 milioni di euro (in media, nel 2021, le prime hanno investito 389 milioni, mentre le seconde 6 milioni); tuttavia, se si rapporta la media degli investimenti in R&D al fatturato medio, si nota che le seconde investono una percentuale molto maggiore del loro fatturato rispetto alle prime (21,4 % rispetto a 0,7%); questo perché per le aziende più piccole, spesso, è fondamentale puntare sull'innovazione per crescere, espandersi e ottenere vantaggio competitivo nel mercato.

Analizzando congiuntamente le performance economiche ed il posizionamento delle aziende all'interno della catena del valore, si nota che un totale di 15 aziende su 29 sono operative in più di un singolo segmento (51,7%).

Tra le aziende attive in più segmenti, ben 11 su 15 (il 73,3%) appartiene al gruppo che ha fatto registrare nel 2021 più di 100 milioni di fatturato, mentre solo 4 su 15 (il 26,3%) fa parte dell'altro gruppo.

Questa proporzione così sbilanciata a favore delle aziende più grandi è perfettamente esplicabile: le grandi multinazionali hanno accesso a fonti finanziarie molto più ampie rispetto alle piccole aziende e, anche se gli investimenti sono volti principalmente alla diversificazione rispetto alle principali linee di business, ragionando in ottica di economie di scopo è più funzionale investire in due segmenti attigui (produzione – stoccaggio e distribuzione, stoccaggio e distribuzione – sviluppo di infrastrutture, mobilità – storage) ad alto valore aggiunto, per massimizzare l'uso delle risorse e migliorarne l'efficienza, senza contare le potenzialità di avere maggiore controllo su tutta la filiera.

Al contrario, le aziende più piccole, che hanno meno disponibilità economica per esplorare più settori contemporaneamente, puntano principalmente sull'iperspecializzazione e sull'innovazione all'interno di uno specifico passaggio della catena del valore, come dimostrato dall'elevata percentuale media di investimento in ricerca e sviluppo.

Un altro elemento molto rilevante da analizzare è la collocazione geografica delle aziende attive nel mercato europeo dell'idrogeno verde [Tabella 6.5], [Grafico 6.10]: una distribuzione ineguale delle aziende sul territorio europeo permette di capire in quali paesi è più facile entrare nel mercato per le imprese, nonché quali siano gli elementi facilitatori (come norme specifiche, agevolazioni, investimenti governativi).

distribuzione geografica in aggregato	
<i>Germania</i>	34%
<i>Francia</i>	17%
<i>Penisola Scandinava</i>	17%
<i>UK</i>	14%
<i>Olanda</i>	7%
<i>Italia</i>	7%
<i>Spagna</i>	3%

Tabella 6.6: distribuzione geografica in aggregato delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

distribuzione geografica in aggregato

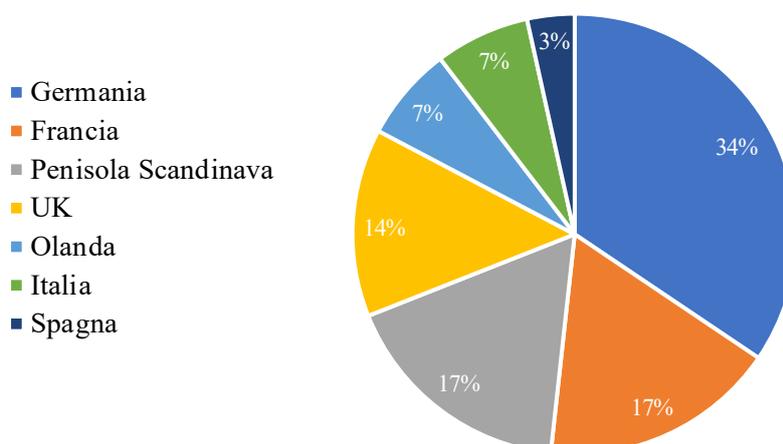


Grafico 6.10: distribuzione geografica in aggregato delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

Per semplicità di analisi si è deciso di aggregare sotto l'etichetta "Penisola Scandinava" tutte le aziendelocate tra Danimarca, Svezia e Norvegia.

Come si evince dal grafico a torta, la Germania è la nazione che ospita più aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde (34%, 10 su 29 totali), seguita dalla Francia (17%, 5 su 29 totali), dalla Penisola Scandinava (17%, 5 su 29 totali) e dal Regno Unito (14%, 4 su 29 totali).

La Germania, ad esempio, ha implementato una serie di politiche e incentivi per promuovere l'utilizzo dell'idrogeno verde, finanziando direttamente la ricerca e lo sviluppo delle tecnologie (come già accennato nel precedente capitolo); unitamente a questa serie di facilitazioni di natura principalmente governativa, la Germania presenta una solida base industriale e un'ampia rete di infrastrutture sviluppate che, insieme alla forte presenza di fonti rinnovabili sul territorio (nello specifico eolico e fotovoltaico), facilitano gli investimenti e la nascita di imprese.

Anche in Francia lo sviluppo di aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde è fortemente influenzato dalle politiche governative; infatti, lo Stato francese ha riconosciuto l'idrogeno verde come soluzione chiave per la decarbonizzazione, investendo direttamente nella ricerca, nello sviluppo e nell'implementazione delle tecnologie, e avviando una proficua collaborazione tra enti governativi, istituti di ricerca e aziende per sviluppare progetti congiunti; questa

combinazione di fattori ha creato un ambiente favorevole all'innovazione, agli investimenti e all'attrazione di aziende nel settore.

Il fattore chiave, invece, per la presenza così marcata di aziende nella Penisola Scandinava è l'abbondanza di elettricità proveniente da fonti rinnovabili (nello specifico idroelettrico ed eolico), adatte alla produzione di idrogeno verde, e le competenze tecniche molto avanzate nel settore dell'energia pulita.

Il Regno Unito conta leggermente meno aziende rispetto ai paesi citati poc' anzi, ma comunque la numerosità è maggiore rispetto agli altri Stati europei, questo perché ha avviato delle politiche meno specifiche rispetto ai primi, ma comunque sufficienti per spingere alcune imprese a entrare nel mercato dell'idrogeno verde.

Gli altri paesi europei hanno sul loro territorio molte meno aziende attive nel mercato, anche se le condizioni al contorno potrebbero essere favorevoli (si pensi alla generazione elettrica da fotovoltaico ed eolico in Spagna e Italia, oppure alle competenze tecniche disponibili), perché manca una chiara direzione governativa sulla potenzialità dell'idrogeno verde, quindi molte aziende non hanno tutti gli incentivi necessari per entrare attivamente sul mercato.

Per completare l'analisi sulla distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato, si può inserire, come parametro di segmentazione, la dimensione economica di queste ultime [Tabella 6.7], [Grafico 6.11], [Tabella 6.8], [Grafico 6.12].

distribuzione geografica aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

<i>Germania</i>	25%
<i>Francia</i>	17%
<i>Penisola Scandinava</i>	42%
<i>UK</i>	8%
<i>Olanda</i>	8%
<i>Italia</i>	0%
<i>Spagna</i>	0%

Tabella 6.7: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde con fatturato inferiore a 100 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

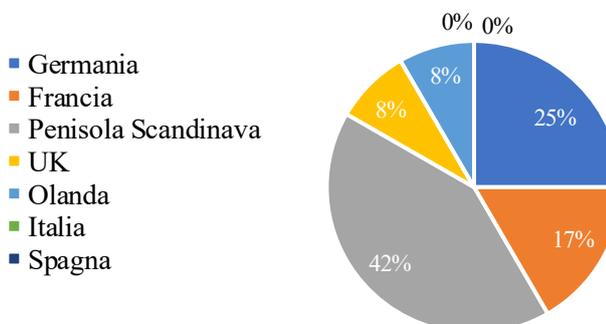


Grafico 6.11: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde con fatturato inferiore a 100 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato superiore a 100 M\$

<i>Germania</i>	41%
<i>Francia</i>	18%
<i>Penisola Scandinava</i>	0%
<i>UK</i>	18%
<i>Olanda</i>	6%
<i>Italia</i>	12%
<i>Spagna</i>	6%

Tabella 6.8: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde con fatturato superiore a 100 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato superiore a 100 M\$

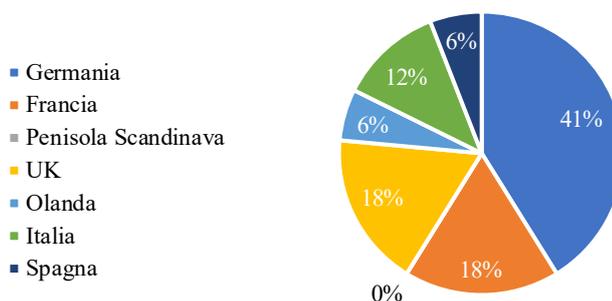


Grafico 6.12: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde con fatturato inferiore a 100 M\$

Aggiungendo questo ulteriore filtro d'analisi, si nota che la Germania è la nazione più attrattiva in assoluto per le aziende con fatturato superiore a 100 milioni di euro (ne ospita infatti ben 7 su 17 totali, per un 41% complessivo), benché conti anche un'ottima percentuale di aziende più piccole (25%, 3 su 12 totali).

Questo fenomeno è dovuto principalmente all'ecosistema industriale tedesco, uno dei più grandi e robusti d'Europa, principalmente costituito da aziende molto grandi; la combinazione tra questa caratteristica e tutti gli incentivi governativi elencati poc'anzi favorisce l'ingresso massiccio delle aziende multinazionali tedesche all'interno del mercato (benché, come già accennato, la presenza di aziende tedesche con meno di 100 milioni di fatturato sia assolutamente non trascurabile, dimostrazione dell'efficacia delle politiche governative).

Uno dei confronti più considerevoli è relativo alla Penisola Scandinava, che non conta nessuna grande azienda attiva nel mercato, ma solo aziende con fatturato inferiore a 100 milioni di euro (42%, 5 su 12 totali).

Le principali motivazioni di questo fenomeno sono relative alla tendenza all'iperspecializzazione da parte di molte aziende scandinave: come descritto precedentemente, la Penisola Scandinava è una delle aree al mondo con maggiori competenze tecniche e ingegneristiche nel campo dell'energia pulita, e sfrutta queste competenze, spesso di provenienza accademica, per avviare collaborazioni con le aziende del territorio; così facendo le aziende riescono a concentrarsi su settori specifici.

Paesi come la Francia e il Regno Unito, invece, hanno un tessuto economico più simile a quello tedesco (prevalenza di grandi multinazionali rispetto alle PMI), ma solo relativamente a settori strategici, quali l'energia, l'automotive, l'aerospaziale e la chimica; questa maggiore diversificazione dell'economia si riflette anche nel mercato dell'idrogeno verde, infatti entrambi i paesi ospitano un numero rilevante di imprese con fatturato superiore ai 100 milioni di euro (3 su 17 totali per entrambi i paesi, 18%).

Una menzione spetta anche all'Italia, che conta solo grandi imprese attive nel mercato dell'idrogeno verde (2 su 17 totali, 12%), per altro trattasi di Eni ed ENEL, due aziende statali, in controtendenza rispetto a quello che è il tessuto economico italiano, fortemente incentrato sulla piccola e media impresa.

Infine, analizzando anche la competizione internazionale che le aziende europee fronteggiano nel mercato dell'idrogeno verde, sono stati individuati i seguenti principali competitors:

- General Electric ^(6.35), statunitense, una delle più grandi società industriali conglomerate al mondo, attiva in molti settori, tra cui l'elettrificazione, l'energia, l'aviazione, la salute e il trasporto; nel 2021 ha fatturato circa 74 miliardi di dollari, con un EBITDA di circa 7,7 miliardi di dollari; è entrata nel mercato dell'idrogeno verde grazie alla produzione di elettrolizzatori.
- Mitsubishi Motors ^(6.36), una società multinazionale giapponese automobilistica specializzata nella produzione di veicoli a combustione interna, veicoli elettrici e veicoli ibridi; nel 2021 ha fatturato circa 29,5 miliardi di dollari, con un EBITDA di circa 3,1 miliardi di dollari; recentemente ha iniziato a esplorare la produzione di veicoli a idrogeno.
- Plug Power ^(6.37), un'azienda statunitense specializzata nella produzione di celle a combustibile a idrogeno e sistemi di stoccaggio; nel 2021 ha fatturato circa 701 milioni di dollari, con un EBITDA negativo di circa 448 milioni di dollari.
- Ballard Power Systems ^(6.38), un'azienda canadese che si occupa di sviluppo e produzione di celle a combustibile a idrogeno; nel 2021 ha fatturato circa 105 milioni di dollari, con un EBITDA negativo di circa 82 milioni di dollari.
- Cummins ^(6.39), un'azienda statunitense specializzata nella progettazione, produzione e distribuzione di motori a combustione interna; nel 2021 ha fatturato circa 24 miliardi di

dollari, con un EBITDA di circa 3,5 miliardi di dollari; recentemente ha iniziato a interessarsi alla produzione di soluzioni per la mobilità a idrogeno.

- Kawasaki Heavy Industries ^(6.40), una multinazionale giapponese che opera in diversi settori, quali l'industria automobilistica, aerospaziale, ferroviaria ed energia; nel 2021 ha fatturato circa 10,5 miliardi di dollari, con un EBITDA di circa 394 milioni di dollari; recentemente ha iniziato a produrre soluzioni per l'elettrolisi e per la mobilità a idrogeno.

Come si evince dai dati economico finanziari e dal posizionamento delle aziende internazionali nella catena del valore, si ripete quanto già visto nell'analisi delle aziende europee, ovvero il mercato dell'idrogeno verde interessa sia a grandi aziende multinazionali, che generalmente hanno fatturato superiore al miliardo di dollari, EBITDA positivi e interesse a operare in più segmenti, che ad aziende più piccole, generalmente con fatturato inferiore al miliardo di dollari, EBITDA negativi e focus su uno specifico segmento.

Allo stato attuale, altre grandi multinazionali (le statunitensi Chevron ed ExxonMobil) hanno espresso interesse a entrare nel mercato dell'idrogeno verde, nel segmento della produzione, ma non ancora hanno avviato le attività necessarie per considerarsi degli effettivi competitors internazionali.

6.2) Batterie

Di seguito elencate tutte le aziende (in ordine dimensionale) che costituiscono il dataset associato all'analisi delle aziende europee, per il mercato delle batterie; per ogni azienda verrà riportato il rispettivo core business e in che modo l'attività di ognuna può essere ricondotta alla filiera delle batterie ^(Allegato 4).

- Miba Battery Systems ^(6.41): specializzata nello sviluppo e nella produzione di soluzioni di connessione elettrica per il settore delle batterie, offrendo componenti di alta qualità per la connessione affidabile e sicura delle celle di batteria.
- SUEZ ^(6.42): azienda leader nel settore dei servizi ambientali e delle risorse, che opera in diversi settori, tra cui la gestione dei rifiuti e il riciclaggio; offre soluzioni sostenibili per il recupero e il riciclaggio di materiali, inclusi quelli utilizzati nel settore delle batterie.
- Forsee Power ^(6.43): specializzata nello sviluppo e nella produzione di soluzioni di accumulo energetico per varie applicazioni, tra cui la mobilità elettrica; fornisce batterie al litio avanzate e sistemi di gestione energetica per ottimizzare l'efficienza e l'autonomia delle applicazioni elettriche.
- Sovema Group SPA ^(6.44): fornisce attrezzature e macchinari per la produzione di batterie al piombo-acido, come macchinari per la formazione delle piastre, l'assemblaggio delle celle e altre fasi del processo di produzione delle batterie al piombo.
- Leclanché ^(6.45): azienda specializzata nella progettazione, sviluppo e produzione di batterie avanzate per diverse applicazioni, tra cui la mobilità elettrica, l'energia stazionaria e l'industria.
- Gaussin ^(6.4): azienda specializzata nello sviluppo e nella produzione di veicoli elettrici a batteria per il trasporto di merci e passeggeri; fornisce soluzioni di mobilità sostenibile che integrano batterie al litio per l'alimentazione dei loro veicoli.
- Nordic Mining ^(6.46): società mineraria impegnata nell'estrazione di minerali strategici, inclusi quelli utilizzati nell'industria delle batterie come il litio, il cobalto e il nichel.
- Finnish Minerals Group ^(6.47): società di proprietà statale che gestisce e promuove la produzione sostenibile di minerali e metalli in Finlandia, tra cui quelli utilizzati nella produzione di batterie.

- Gränges ^(6.48): azienda specializzata nella produzione di prodotti in alluminio a uso specializzato per diverse industrie, tra cui l'industria delle batterie; fornisce materiali e soluzioni di alluminio ad alte prestazioni utilizzati nella produzione di batterie.
- Italmatch Chemicals ^(6.49): azienda chimica specializzata nella produzione di additivi chimici per diverse applicazioni industriali; fornisce additivi chimici utilizzati anche nell'industria delle batterie per migliorare le prestazioni e la sicurezza delle batterie.
- Comau ^(6.50): azienda leader nella fornitura di soluzioni di automazione industriale; offre tecnologie avanzate per l'assemblaggio e la produzione nel settore delle batterie, contribuendo all'efficienza e alla qualità nella produzione di batterie.
- Monbat ^(6.51): produttore di batterie specializzate, comprese le batterie al piombo-acido e le batterie al litio, per una vasta gamma di applicazioni; fa uso anche di materie prime per la produzione nuove batterie ottenute tramite il riciclaggio di batterie a fine vita.
- Manz ^(6.52): azienda che fornisce soluzioni di automazione e produzione per l'industria delle batterie; produzione di macchinari e attrezzature per la realizzazione di celle e moduli di batterie al litio.
- Aurubis ^(6.53): azienda leader nella produzione di rame e altri metalli, compreso il rame utilizzato nelle batterie.
- Boliden ^(6.54): società mineraria che produce metalli e minerali utilizzati nell'industria delle batterie, come il rame e il nichel.
- Ferroglobe ^(6.55): produttore globale di leghe di silicio e metalli ferrosi, che vengono utilizzati come materiali chiave nella produzione di elettrodi per batterie al litio.
- SGL Carbon ^(6.56): produttore di materiali a base di carbonio utilizzati in diverse industrie, tra cui l'industria delle batterie, nello specifico elettrodi e altri componenti a base di carbonio.
- Lanxess AG ^(6.57): azienda chimica specializzata nella produzione di materiali e additivi chimici, inclusi quelli utilizzati nell'industria delle batterie
- Metso Outotec ^(6.58): azienda che fornisce attrezzature e soluzioni per l'industria mineraria e del riciclaggio, comprese le tecnologie utilizzate nella produzione e nel riciclaggio delle batterie.

- Rio Tinto ^(6.59): Rio Tinto è una delle principali società minerarie al mondo, impegnata nell'estrazione di una vasta gamma di materie prime, tra cui il litio e il cobalto utilizzati nelle batterie.
- Arkema ^(6.60): azienda chimica globale che offre una vasta gamma di prodotti chimici e materiali innovativi; è entrata anche nel settore delle batterie, fornendo materiali avanzati, come polimeri e additivi chimici, utilizzati nella produzione di batterie.
- Evonik Industries ^(6.19): azienda chimica specializzata nella produzione di materiali ad alte prestazioni; nel settore delle batterie, fornisce materiali e tecnologie avanzate per migliorare l'efficienza, la durata e la sicurezza delle batterie al litio.
- Cronimet Holding ^(6.61): società attiva nel settore del riciclaggio dei metalli, compresi quelli utilizzati nelle batterie come il litio, il nichel e il cobalto; ha un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie e nella gestione sostenibile dei materiali di scarto.
- Solvay ^(6.62): azienda chimica globale che fornisce una vasta gamma di materiali chimici e soluzioni per diverse industrie; nel settore delle batterie, offrono materiali e additivi specializzati per migliorare le prestazioni e la sicurezza delle batterie al litio.
- Umicore ^(6.63): azienda specializzata nella tecnologia dei materiali, concentrata sulle soluzioni per la mobilità sostenibile e l'energia pulita; nel settore delle batterie, forniscono materiali e sistemi di riciclaggio per batterie al litio, promuovendo una gestione sostenibile dei materiali.
- Stena Recycling ^(6.64): azienda leader nel settore del riciclaggio e della gestione dei rifiuti; svolge un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie, recuperando materiali preziosi e contribuendo alla riduzione dell'impatto ambientale.
- Total Energies ^(6.13): società energetica multinazionale integrata, che offre una vasta gamma di soluzioni energetiche, tra cui lo sviluppo di batterie e sistemi di accumulo energetico; è impegnata nella produzione e nello sviluppo di batterie avanzate per applicazioni diverse.
- Siemens Energy ^(6.16): azienda leader nella fornitura di soluzioni energetiche, inclusa la fornitura di sistemi di accumulo energetico e soluzioni per il settore delle batterie.
- Engie ^(6.21): multinazionale specializzata nella fornitura di soluzioni energetiche e servizi di transizione verso una società a basse emissioni di carbonio; impegnata nello sviluppo

di soluzioni di stoccaggio energetico basate su batterie per favorire l'integrazione delle energie rinnovabili.

- Uniper SE ^(6.22): società energetica impegnata nella produzione, nel commercio e nella fornitura di energia; nel contesto delle batterie, sono coinvolti nello sviluppo di soluzioni di accumulo energetico basate su batterie per ottimizzare l'uso delle risorse energetiche e la gestione della domanda.
- EDF ^(6.24): importante società energetica che opera in diversi settori, inclusa la produzione e la distribuzione di energia elettrica; nel campo delle batterie, è coinvolta nello sviluppo di soluzioni di accumulo energetico e sistemi di gestione della domanda per migliorare l'efficienza e la resilienza del sistema energetico.
- Shell ^(6.25): una delle più grandi compagnie petrolifere e di gas al mondo, che sta espandendo anche le sue attività nel settore delle energie rinnovabili; nel settore delle batterie, Shell è coinvolta nella produzione e nel commercio di batterie e sistemi di accumulo energetico per applicazioni mobili e stazionarie.
- BASF ^(6.65): azienda chimica globale con una vasta gamma di prodotti chimici e materiali, compresi quelli utilizzati nella produzione di batterie; fornisce materiali attivi come l'ossido di cobalto e l'ossido di nichel utilizzati nelle batterie al litio.
- Veolia ^(6.66): società specializzata nella gestione e nel trattamento dei rifiuti, nonché nella fornitura di servizi ambientali, svolge un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie esauste.

Similmente rispetto a quanto già fatto per l'idrogeno verde, per visualizzare meglio il posizionamento delle aziende europee nel mercato delle batterie, è stata effettuata una prima analisi, nella quale, per ogni azienda attiva nel mercato, è stato individuato e riportato il segmento (oppure i segmenti) in cui opera [Tabella 6.9].

breakdown della catena del valore							
azienda	sede	estrazione mineraria	raffinazione dei minerali	realizzazione dei materiali attivi	produzione delle pile	produzione delle batterie	riciclo e riutilizzo
<i>Miba Battery Systems</i>	Austria				x	x	
<i>SUEZ</i>	Francia						x
<i>Forsee Power</i>	Francia				x	x	
<i>Sovema Group SPA</i>	Italia				x		
<i>Leclanché</i>	Francia				x	x	
<i>Gaussin</i>	Francia					x	
<i>Nordic Mining</i>	UK	x					
<i>Finnish Minerals Group</i>	Finlandia	x					
<i>Gränges</i>	Svezia		x				
<i>Italmatch Chemicals</i>	Italia			x			
<i>Comau</i>	Italia				x	x	
<i>Monbat</i>	Bulgaria				x	x	x
<i>Manz</i>	Germania				x		
<i>Aurubis</i>	Germania	x					
<i>Boliden</i>	Svezia	x					
<i>Ferroglobe</i>	UK		x	x			
<i>SGL Carbon</i>	Germania			x			
<i>Lanxess AG</i>	Germania			x			
<i>Metso:Outotec</i>	Finlandia		x				x
<i>Rio Tinto</i>	UK	x					
<i>Arkema</i>	Francia			x			
<i>Evonik Industries AG</i>	Germania		x	x			
<i>Cronimet Holding</i>	Germania						x
<i>Solvay SA</i>	Belgio			x			
<i>Umicore</i>	Belgio		x				x
<i>Stena Recycling International AB</i>	Svezia						x
<i>Total Energies</i>	Francia				x	x	
<i>Siemens Energy</i>	Germania				x	x	
<i>Engie</i>	Francia				x	x	
<i>Uniper SE</i>	Germania				x	x	
<i>EDF</i>	Germania				x	x	
<i>Shell</i>	UK				x	x	
<i>BASF</i>	Germania			x			
<i>Veolia</i>	Francia						x

Tabella 6.9: posizionamento delle aziende all'interno della catena del valore delle batterie

Anche in quest'analisi verranno analizzate le occorrenze (che rappresentano se un'azienda è attiva in uno specifico segmento della filiera delle batterie) per ottenere delle informazioni riguardanti lo stato attuale del mercato europeo [Tabella 6.10], [Grafico 6.13], [Grafico 6.14].

	<i>estrazione mineraria</i>	<i>raffinazione dei minerali</i>	<i>realizzazione dei materiali attivi</i>	<i>produzione delle pile</i>	<i>produzione delle batterie</i>	<i>riciclo e riutilizzo</i>
occorrenze per segmento	5	5	8	13	12	7
occorrenze per segmento in percentuale	10%	10%	16%	26%	24%	14%

Tabella 6.10: occorrenze totali e percentuali per segmento della catena del valore

occorrenze per segmento

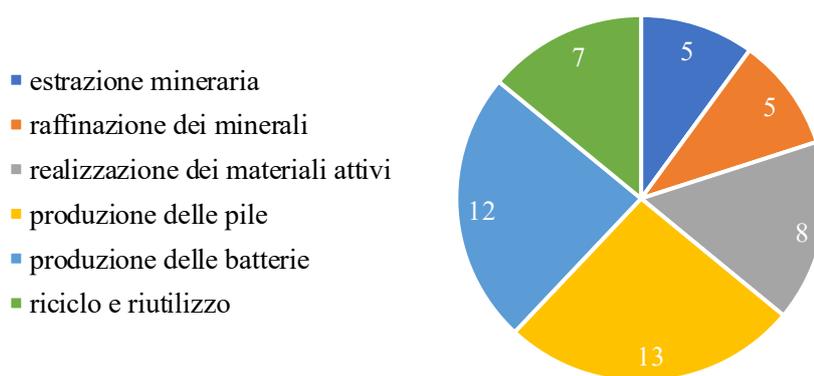


Grafico 6.13: rappresentazione grafica delle occorrenze totali per segmento

occorrenze per segmento in percentuale

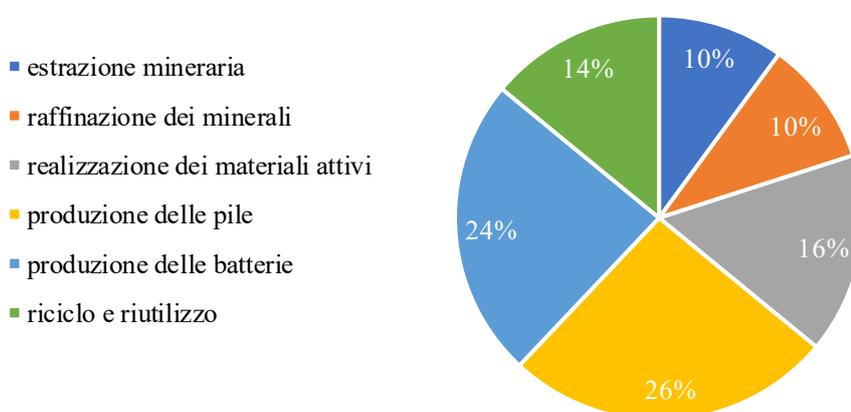


Grafico 6.14: rappresentazione grafica delle occorrenze percentuali per segmento

Come si evince dall'analisi delle occorrenze, la metà delle occorrenze totali (25 su 50, il 50%) si registra in due specifiche fasi della catena del valore: produzione delle pile (o celle elementari) e produzione delle batterie; in questi due specifici e distinti (come descritto nel secondo capitolo) passaggi si registrano, rispettivamente, il 26% delle occorrenze (13 su 50 totali) e il 24% delle occorrenze (12 su 50 totali).

Queste due fasi sono le maggiormente attrattive per le aziende che operano nel mercato delle batterie, in quanto rappresentano le fasi critiche della catena del valore, le fasi in cui i materiali (benché già trattati e trasformati a monte) vengono definitivamente lavorati per diventare il prodotto finale, pronto all'uso.

In queste due fasi, dunque, anche in funzione dell'elevata specializzazione tecnica richiesta e degli investimenti minimi necessari per le infrastrutture e la produzione, si concentra il massimo valore aggiunto all'interno della filiera nel suo complesso, il che spiega l'elevata competizione registrata.

È anche molto importante sottolineare la sostanziale parità tra le occorrenze registrate nel segmento della produzione delle celle elementari e nel segmento dell'assemblaggio delle batterie; questo fenomeno è perfettamente spiegabile dalla fortissima interdipendenza associata a queste due fasi della catena del valore.

Le celle elementari, infatti, sono il componente principale delle batterie, e la realizzazione di entrambe richiede competenze simili in termini di competenze ingegneristiche, assemblaggio e controllo qualità, con grandi potenzialità per le aziende di fare economie di scopo.

All'interno del dataset, infatti, 14 aziende sono attive in almeno uno dei due segmenti, e 11 di queste (il 78,6%) sono operative in entrambi; questo conferma quanto asserito poc'anzi, in relazione all'interdipendenza e alle economie di scopo, e permette di aggiungere un'ulteriore dettaglio d'analisi: avere il controllo diretto su entrambe le fasi più importanti per la catena del valore permette alle aziende di avere vantaggio competitivo (per l'appunto, grazie alle economie di scopo e al pooling di risorse tecniche necessarie all'ingegnerizzazione e alla realizzazione del prodotto finito) rispetto alle controparti che operano solo in uno dei due segmenti della catena del valore in questione.

I settori meno attrattivi per le aziende sono, in funzione delle occorrenze registrate, quelli a monte nella catena del valore, ovvero l'estrazione mineraria con 5 occorrenze su 50 totali (il 10%) e la raffinazione dei minerali con 5 occorrenze su 50 totali (il 10% del totale).

Si tratta di due segmenti diversi, ma le ragioni per cui non vedono molta concorrenza, con poche aziende al loro interno sono simili.

- Costi elevati e complessità tecnica: l'estrazione mineraria richiede ingenti investimenti in attrezzature per poter solo avviare le attività di estrazione dei materiali grezzi dal sottosuolo; la raffinazione dei materiali richiede l'attuazione di processi chimici molto complessi e delicati di purificazione dei materiali; dal punto di vista della complessità, entrambe i processi richiedono tecnologie altamente specializzate e competenze molto specifiche.
- Restrizioni ambientali e normative stringenti: l'estrazione mineraria può portare a impatti ambientali e sociali molto significativi, come la riduzione eccessiva delle risorse naturali, la distruzione di habitat, la produzione di scarti inquinanti, lo sfruttamento di manodopera minorile (come già descritto nel capitolo quinto); la raffinazione dei materiali può comportare la generazione di sostanze chimiche nocive o la generazione di rifiuti pericolosi, se non trattati e smaltiti in modo corretto; a fronte di ciò, le aziende operanti in questi due specifici settori sono spesso soggette a normative ambientali e di sicurezza particolarmente stringenti, che fungono da disincentivo per l'ingresso di potenziali competitors.
- Maturità tecnologica: entrambi i settori sono consolidati e maturi, caratterizzati da un numero esiguo di aziende che ivi operano con molto potere di mercato (si può definire un oligopolio), che posseggono e gestiscono le risorse minerarie chiave (il controllo sulle miniere impedisce l'accesso al mercato di potenziali concorrenti) e hanno relazioni stabili e consolidate negli anni coi propri clienti.

Tuttavia, analizzando le occorrenze in questi due segmenti, si nota una circostanza singolare: diversamente da quanto riscontrato per la produzione delle celle elementari e l'assemblaggio delle batterie, chi opera nell'estrazione mineraria, non opera nella raffinazione dei materiali; infatti, 5 aziende sono attive nel primo settore e nessuna di queste è attiva nel secondo, e viceversa 5 aziende sono attive nel secondo settore e nessuna di queste è attiva nel primo.

Queste due attività potrebbero essere percepite come affini, inducendo a pensare che possano innestarsi meccanismi simili (economie di scopo e pooling di competenze tecniche ingegneristiche) a quanto già descritto per la produzione delle celle elementari e l'assemblaggio

delle batterie; in realtà i due passaggi a monte della catena del valore richiedono specializzazioni, competenze e risorse differenti (le tecnologie e le infrastrutture necessarie per la raffinazione dei materiali sono maggiormente vicine all'industria chimica, e potrebbero essere non direttamente legate all'attività di estrazione mineraria, anche se, come verrà descritto a valle di questo capitolo, alcune aziende internazionali hanno optato per integrarsi verticalmente anche nelle fasi a monte della catena del valore).

Similmente rispetto alle prime due fasi della catena del valore, un'altra attività poco attrattiva per le imprese è quella del riciclo e del riutilizzo delle batterie arrivate a fine vita, che conta 7 occorrenze su 50 totali (il 14%).

Questo segmento in questione è ancora poco sviluppato ed esplorato, considerando che la diffusione delle batterie, sia per la mobilità che per lo storage di energia, non è ancora capillare; di conseguenza, le aziende europee attive nel settore sono generalmente grandi multinazionali dello smaltimento dei rifiuti, non aziende dedicate esclusivamente e specificamente al trattamento di batterie a fine vita.

Come accennato poc'anzi, infatti, le esigenze di riciclo e di riutilizzo sono emerse da relativamente poco tempo, per abbassare l'impatto ambientale associato al ciclo di vita delle batterie (i materiali principali possono essere recuperati, rigenerati, e riutilizzati per la realizzazione di nuove batterie).

Inoltre, i processi di riciclo sono molto complessi, e richiedono la separazione e il recupero di materiali preziosi, da trattare in modo sicuro ed efficiente per evitare che rilascino sostanze inquinanti in atmosfera e per massimizzare il quantitativo di risorse recuperate, perciò non tutte le aziende operative nella gestione dei rifiuti avrebbero gli incentivi, le competenze o la disponibilità economica per poter iniziare a svolgere questa attività.

È altresì interessante analizzare il segmento relativo alla realizzazione dei materiali attivi, che ha totalizzato 8 occorrenze su 50 totali (il 16%).

Osservando le aziende che svolgono questa attività nella filiera delle batterie, si nota che l'87,5% di esse (7 su 8 totali) non sono attive in nessun altro segmento della catena del valore; la motivazione principale traspare se ne si osserva il core business: si tratta quasi esclusivamente di aziende chimiche, il cui core business è relativo all'industria chimica in generale, non si tratta di aziende specializzate nella realizzazione di prodotti chimici specifici per il mercato delle batterie.

Le economie di scopo (in termini di competenze necessarie per la fornitura dei prodotti necessari al mercato delle batterie) hanno permesso, quindi, a diverse aziende chimiche di entrare in questo specifico segmento del mercato.

Infine, l'ultima considerazione interessante è relativa alla distribuzione generale delle occorrenze: considerando sempre l'esistenza di fasi maggiormente critiche (produzione delle celle elementari e assemblaggio delle batterie) alle quali è associato il valore aggiunto più alto, pertanto dei livelli attesi di concorrenza interna e attrattività maggiore, la distribuzione delle occorrenze nella restante parte della filiera non è sbilanciata a favore di nessun segmento; questo certifica l'importanza di tutte le fasi per il corretto funzionamento della catena del valore, che risultano così equamente attrattive (con leggere fluttuazioni) per le aziende.

Una volta conclusa l'analisi introduttiva sull'attrattività dei segmenti per le aziende europee, è possibile passare al secondo livello di analisi, che consiste nella suddivisione delle aziende in sottogruppi, in funzione della dimensione, in modo da poter effettuare dei confronti tra aziende che dimensionalmente si assomigliano, data la spesso notevole differenza che è possibile riscontrare all'interno del dataset ^(Allegato 5).

Come già specificato nell'introduzione di questo sesto capitolo, il fatturato sarà lo stimatore approssimativo della dimensione aziendale [Tabella 6.11], [Grafico 6.15].

azienda	sede	fatturato (2021) in M€
<i>Miba Battery Systems</i>	Austria	55,0
<i>SUEZ</i>	Francia	17,2
<i>Forsee Power</i>	Francia	72,4
<i>Sovema Group SPA</i>	Italia	34,3
<i>Leclanché</i>	Francia	23,4
<i>Gaussin</i>	Francia	52,8
<i>Nordic Mining</i>	Norvegia	1,0
<i>Finnish Minerals Group</i>	Finlandia	406,9
<i>Gränges</i>	Svezia	463,8
<i>Italmatch Chemicals</i>	Italia	294,1
<i>Comau</i>	Italia	229,2
<i>Monbat</i>	Bulgaria	209,8
<i>Manz</i>	Germania	237,8
<i>Aurubis</i>	Germania	16300,0
<i>Boliden</i>	Svezia	6561,9
<i>Ferroglobe</i>	UK	1778,9
<i>SGL Carbon</i>	Germania	1007,0
<i>Lanxess AG</i>	Germania	7557,0
<i>Metso:Outotec</i>	Finlandia	4236,0
<i>Rio Tinto</i>	UK	44600,0
<i>Arkema</i>	Francia	9500,0
<i>Evonik Industries AG</i>	Germania	16077,5
<i>Cronimet Holding</i>	Germania	4000,0
<i>Solvay SA</i>	Belgio	10100,0
<i>Umicore</i>	Belgio	4000,0
<i>Stena Recycling</i>	Svezia	2710,0
<i>Total Energies</i>	Francia	184700,0
<i>Siemens Energy</i>	Germania	15094,0
<i>Engie</i>	Francia	55866,0
<i>Uniper SE</i>	Germania	164000,0
<i>EDF</i>	Germania	84461,0
<i>Shell</i>	Uk	45104,0
<i>BASF</i>	Germania	78598,0
<i>Veolia</i>	Francia	28508,1

Tabella 6.11: fatturato delle aziende attive nel mercato delle batterie

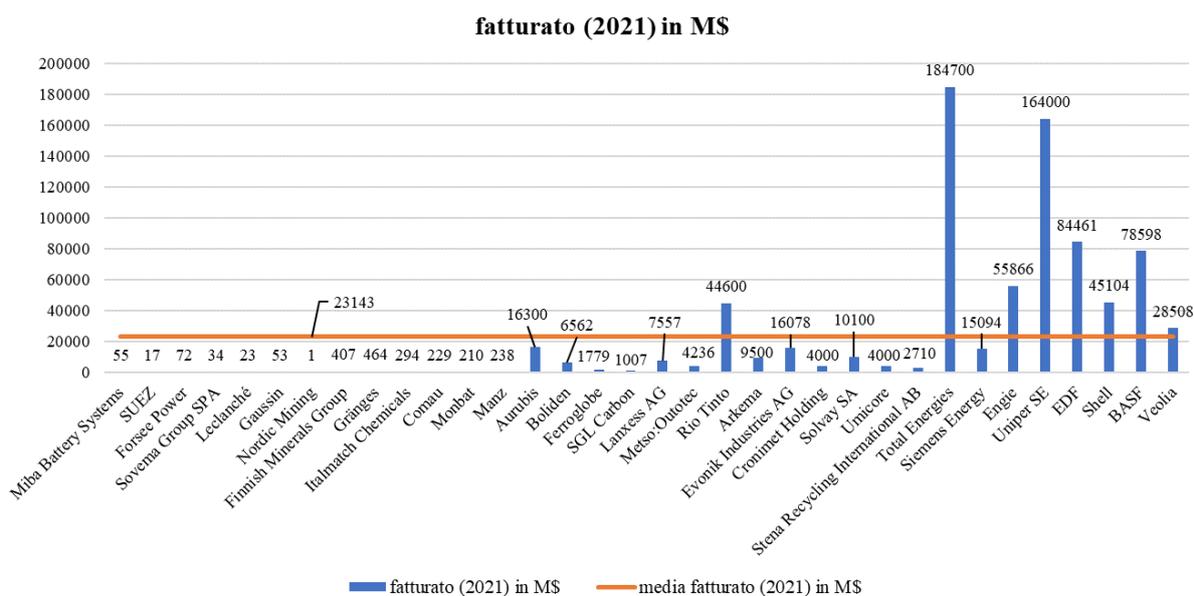


Grafico 6.15: fatturato delle aziende attive nel mercato delle batterie

In questo specifico caso, la rappresentazione grafica non è di molto aiuto nell'identificazione dei potenziali sottogruppi, perciò si farà riferimento a quanto riportato nella tabella presentata poc'anzi.

Osservando il fatturato delle aziende presenti nel dataset, è possibile suddividere quest'ultimo in tre sottogruppi: il primo conta tutte le aziende il cui fatturato relativo al 2021 è inferiore a 100 milioni di dollari, il secondo conta tutte le aziende il cui fatturato relativo al 2021 è compreso tra 100 e 500 milioni di dollari, il terzo conta tutte le aziende il cui fatturato relativo al 2021 è superiore ai 500 milioni di dollari.

Nel primo sottogruppo confluiscono 7 delle 34 imprese totali (20,5%), nel secondo confluiscono 6 delle 34 imprese totali (17,6%), le restanti 21 imprese (61,9% del totale) confluiscono tutte nel terzo e ultimo sottogruppo.

Dalla popolosità dei tre sottogruppi si evince una netta disproporzione all'interno del mercato, a favore di aziende molto grandi (ogni azienda appartenente al terzo sottogruppo ha fatturato, nel 2021, più di un miliardo di dollari).

Ci sono diversi fattori che spiegano la struttura del mercato attuale, come sottolineato da diversi report pubblicati su Frost&Sullivan nel 2013^(6.67), 2018^(6.68) e 2019^(6.69); il primo formula delle

ipotesi riguardanti il mercato futuro, gli altri due invece espongono i driver principali del mercato.

- Uno dei fattori principali è l'elevata struttura di costi (ricerca e sviluppo, infrastrutture, impianti di produzione, tecnologie all'avanguardia) che le aziende devono sostenere per iniziare a operare attivamente nel mercato.
- Sono molto importanti, inoltre, le economie di scopo, ovvero l'utilizzo di conoscenze e di risorse già a disposizione delle aziende, derivanti dall'esperienza pregressa e trasferibili in nuovi mercati per ottenere vantaggio competitivo; il vantaggio competitivo si traduce, di conseguenza, nell'efficientamento delle attività e in una maggiore facilità nel raggiungere le economie di scala.
- Un altro fattore da non sottovalutare è il consolidamento all'interno del settore, ovvero un processo di acquisto delle grandi multinazionali di aziende più piccole, con l'obiettivo per le prime di espandere la presenza nel mercato e ottenere sinergie operative (si pensi all'acquisizione, da parte di Total, una multinazionale francese nel settore dell'energia, di SAFT, un gruppo francese specializzato nella produzione di celle elementari e sistemi di batterie, per 950 milioni di euro, nel 2016).
- Infine, non si può non considerare il vantaggio competitivo delle grandi aziende derivante dal brand e dalle relazioni stabili e continuative coi rispettivi clienti.

Per analizzare al meglio le aziende, che diversamente avrebbero dimensioni troppo diverse tra loro per essere confrontabili, verranno forniti il fatturato, l'EBITDA e gli investimenti in ricerca e sviluppo, per ognuno dei tre sottogruppi precedentemente individuati [Tabella 6.12], [Grafico 6.16], [Grafico 6.17], [Grafico 6.18], [Tabella 6.13], [Grafico 6.19], [Grafico 6.20], [Grafico 6.21], [Tabella 6.14], [Grafico 6.22], [Grafico 6.23], [Grafico 6.24].

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
Miba Battery Systems	Austria	55,0	ND	ND
SUEZ	Francia	17,2	ND	103,0
Forsee Power	Francia	72,4	-14,4	ND
Sovema Group SPA	Italia	34,3	3,0	ND
Leclanché	Francia	23,4	-47,7	12,6
Gaussin	Francia	52,8	ND	ND
Nordic Mining	Norvegia	1,0	-0,8	12,7

Tabella 6.12: parametri economici delle aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

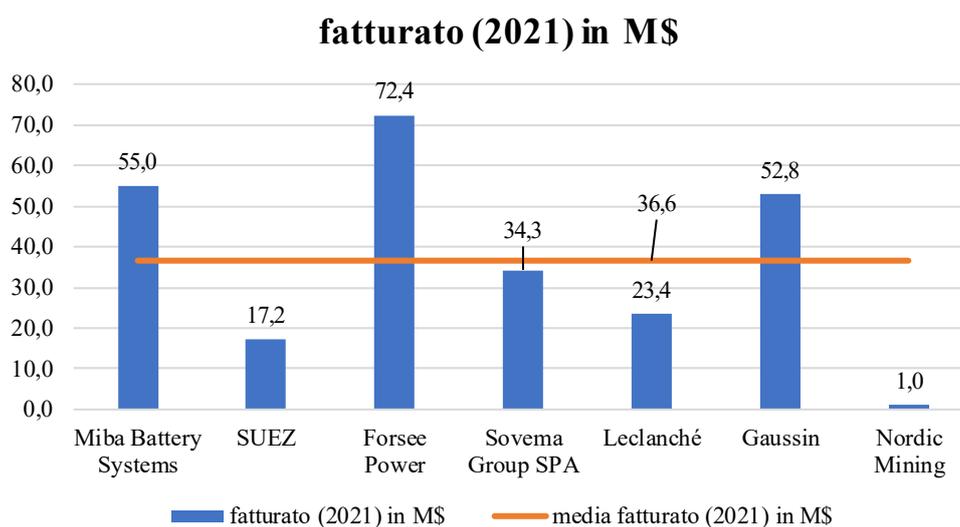


Grafico 6.16: fatturato (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato inferiore a 100 M\$)

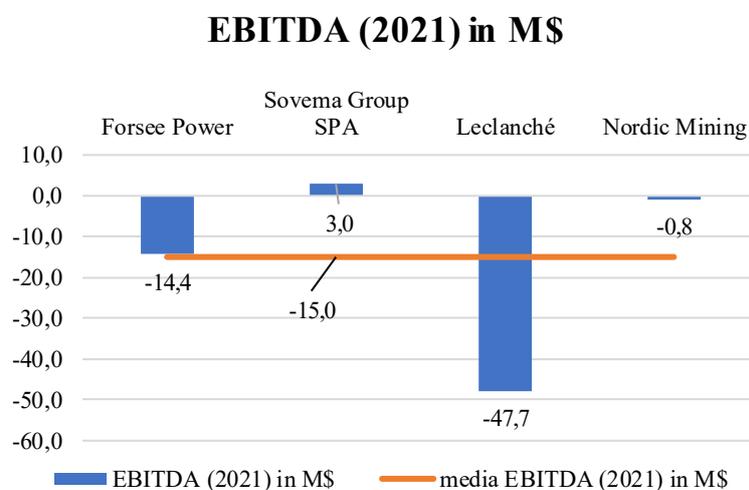


Grafico 6.17: EBITDA (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato inferiore a 100 M\$)

investimenti in R&D (2021) in M\$

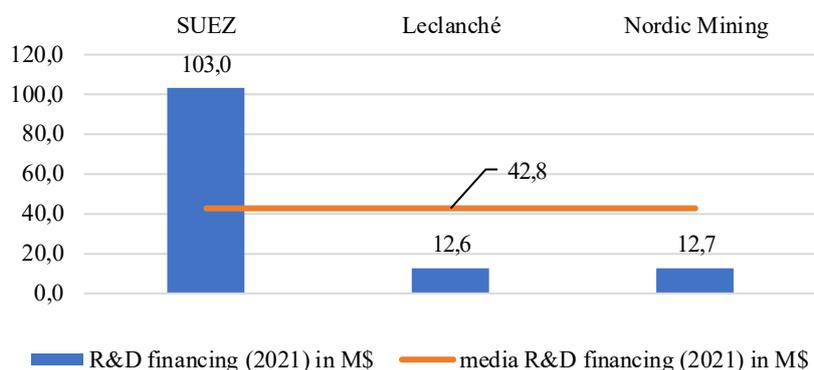


Grafico 6.18: R&D (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato inferiore a 100 M\$)

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
<i>Finnish Minerals Group</i>	Finlandia	406,9	-3,2	ND
<i>Gränges</i>	Svezia	463,8	160,9	ND
<i>Italmatch Chemicals</i>	Italia	294,1	48,7	ND
<i>Comau</i>	Italia	229,2	-49,0	ND
<i>Monbat</i>	Bulgaria	209,8	25,6	4,3
<i>Manz</i>	Germania	237,8	181,3	16,0

Tabella 6.13: parametri economici delle aziende con fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$

fatturato (2021) in M\$

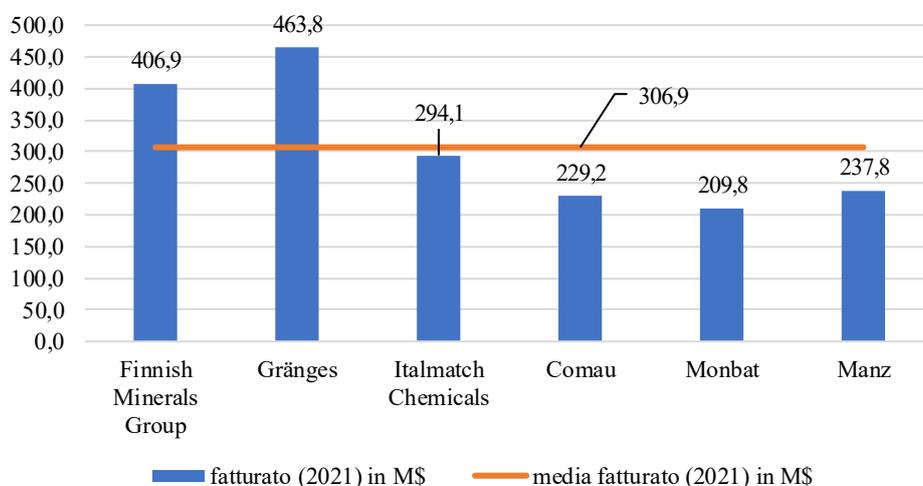


Grafico 6.19: fatturato (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$)

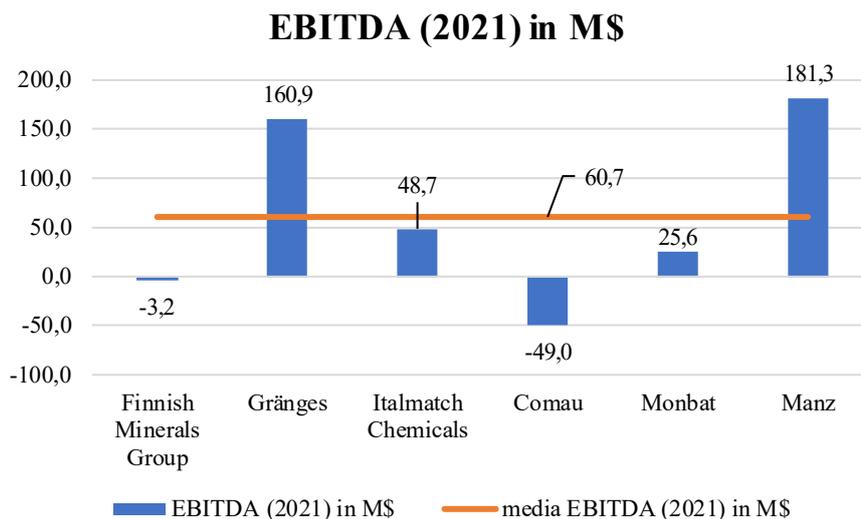


Grafico 6.20: EBITDA (2021) aziende attive nel mercato delle batterie
(fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$)

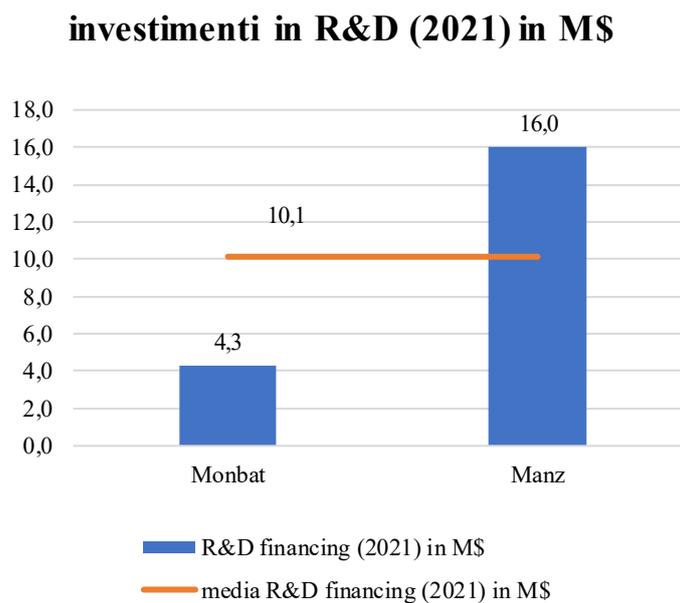


Grafico 6.21: R&D (2021) aziende attive nel mercato delle batterie
(fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$)

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
<i>Aurubis</i>	Germania	16300,0	588,0	12,0
<i>Boliden</i>	Svezia	6561,9	1057,4	66,5
<i>Ferroglobe</i>	UK	1778,9	179,0	10,6
<i>SGL Carbon</i>	Germania	1007,0	140,0	31,0
<i>Lanxess AG</i>	Germania	7557,0	1010,0	115,0
<i>Metso:Outotec</i>	Finlandia	4236,0	587,0	70,0
<i>Rio Tinto</i>	UK	44600,0	37,7	50,0
<i>Arkema</i>	Francia	9500,0	1727,0	243,0
<i>Evonik Industries AG</i>	Germania	16077,5	2561,9	498,8
<i>Cronimet Holding</i>	Germania	4000,0	ND	85,2
<i>Solvay SA</i>	Belgio	10100,0	2356,0	298,0
<i>Umicore</i>	Belgio	4000,0	1250,0	ND
<i>Stena Recycling</i>	Svezia	2710,0	294,4	2,1
<i>Total Energies</i>	Francia	184700,0	1393,0	824,0
<i>Siemens Energy</i>	Germania	15094,0	9091,0	1130,0
<i>Engie</i>	Francia	55866,0	10600,0	159,0
<i>Uniper SE</i>	Germania	164000,0	1856,0	329,0
<i>EDF</i>	Germania	84461,0	18000,0	661,0
<i>Shell</i>	Uk	45104,0	55004,0	28,5
<i>BASF</i>	Germania	78598,0	11348,0	193,0
<i>Veolia</i>	Francia	28508,1	4233,8	ND

Tabella 6.13: parametri economici delle aziende con fatturato superiore a 500 M\$

fatturato (2021) in M\$

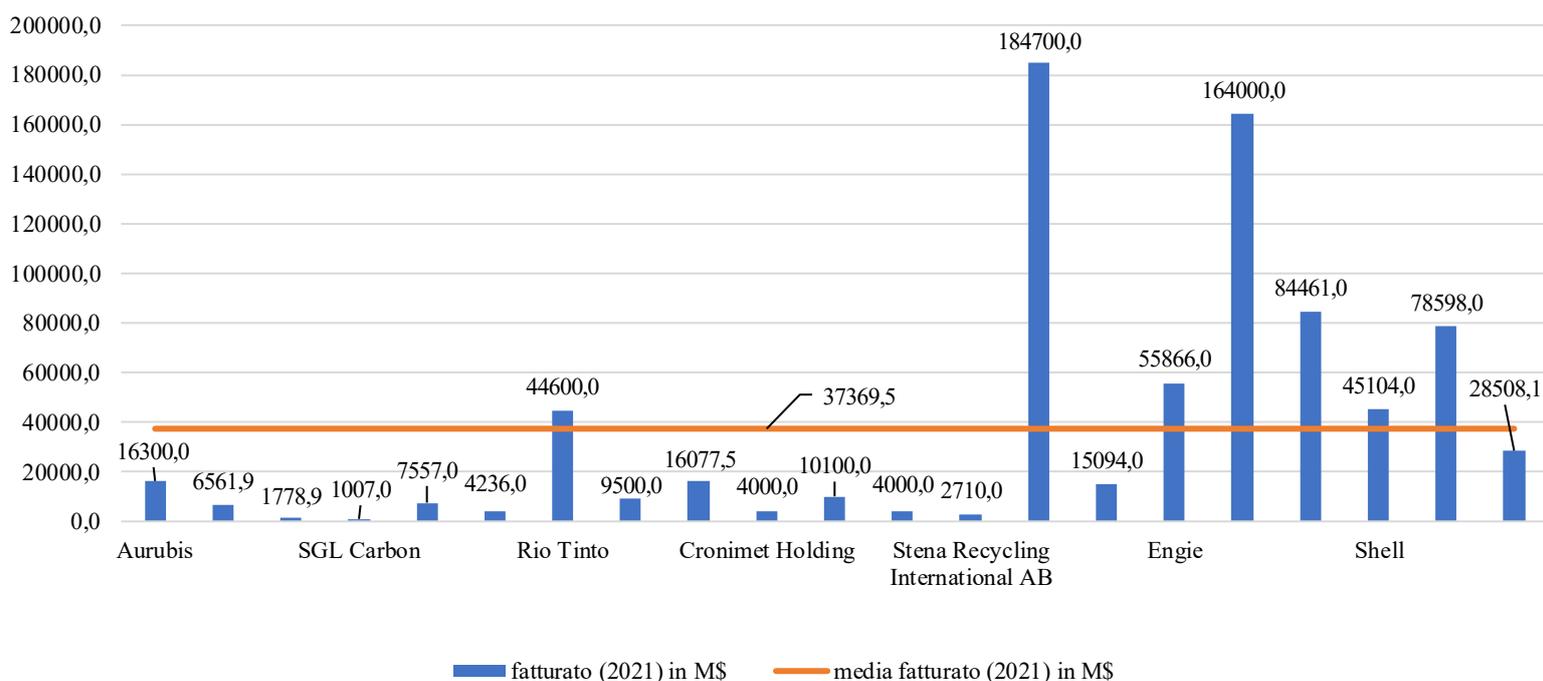


Grafico 6.22: fatturato (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato superiore a 500 M\$)

EBITDA (2021) in M\$

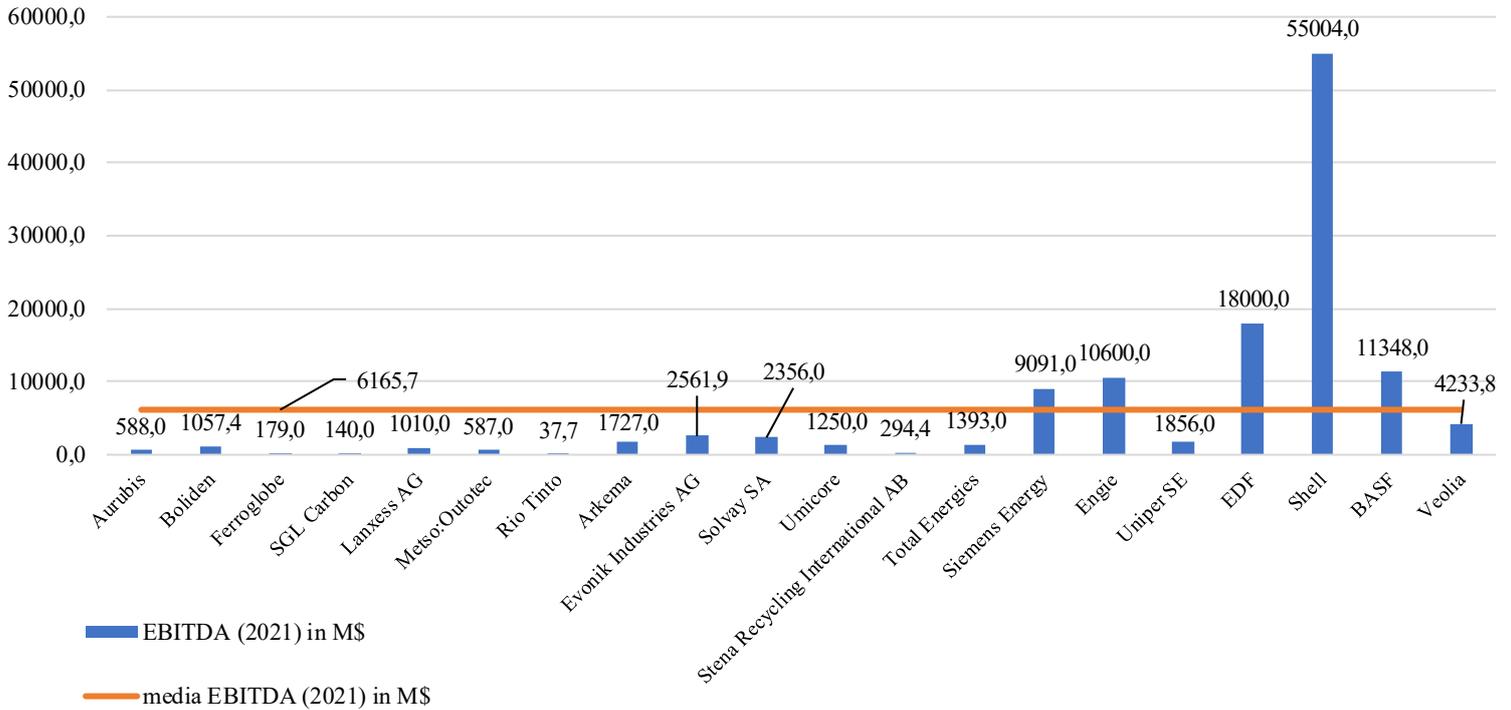


Grafico 6.23: EBITDA (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato superiore a 500 M\$)

investimenti in R&D (2021) in M\$

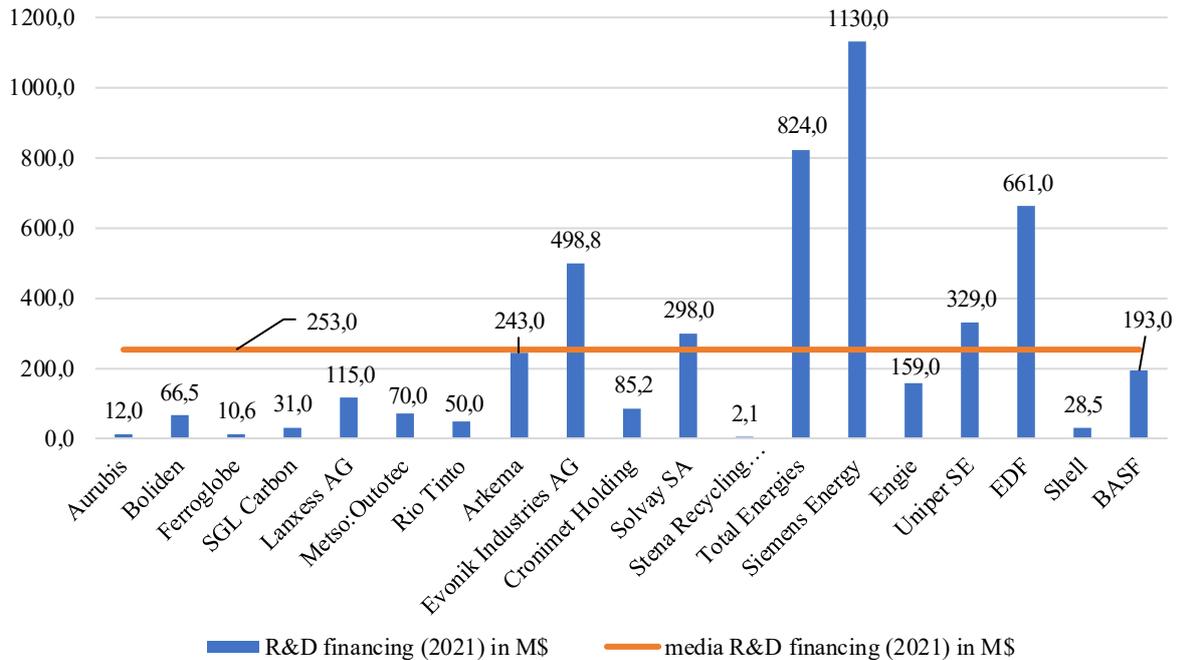


Grafico 6.24: R&D (2021) aziende attive nel mercato delle batterie (fatturato superiore a 500 M\$)

Similmente rispetto a quanto effettuato per il mercato dell'idrogeno verde, anche in questa circostanza la suddivisione del dataset in sottogruppi permette di dedurre alcune caratteristiche delle aziende riconducibili alla dimensione:

- Come già descritto precedentemente, la popolosità dei tre sottogruppi è fortemente sbilanciata a favore delle aziende con fatturato superiore a 500 milioni di dollari, con delle ovvie implicazioni sullo stato della competizione all'interno del mercato (è una forte barriera all'ingresso per le aziende potenzialmente interessate a entrare nel mercato, e quelle che riescono di solito o entrano in segmenti con competizione inferiore, o vengono acquistate dalle grandi multinazionali).
- Similmente rispetto a quanto riscontrato per il mercato dell'idrogeno verde, anche all'interno del mercato delle batterie è spesso difficile reperire le informazioni relative all'EBITDA e agli investimenti effettuati in ricerca e sviluppo; le motivazioni sono sostanzialmente simili rispetto a quanto già descritto in merito, nella sezione precedente.
- Anche all'interno del mercato delle batterie l'EBITDA c'è correlazione tra il fatturato e l'EBITDA delle aziende attive (Allegato 6); tutte le aziende appartenenti al primo sottogruppo riportano un EBITDA negativo (eccezion fatta per la sola Sovema, il cui EBITDA è positivo), mentre tutte le aziende appartenenti al terzo sottogruppo riportano un EBITDA positivo; il quadro è leggermente più complesso per le aziende appartenenti al secondo sottogruppo, dato che una piccola parte di esse riporta un EBITDA negativo. Nonostante nel primo e nel secondo sottogruppo siano presenti degli outliers, si può concludere che, in media, le aziende con fatturato inferiore a 100 milioni di dollari riportano un EBITDA negativo (si tratta di aziende che investono per aumentare la crescita e favorire l'espansione del business, aumentando così i costi operativi), mentre, superata la soglia dei 100 milioni di fatturato annuo, le aziende iniziano ad avere risorse economiche sufficienti per investire in crescita ed espansione del business, senza riportare eccessive conseguenze negative sull'EBITDA.
- Gli investimenti in R&D sono una parte molto delicata dell'analisi, in quanto, se presi per sottogruppo, non sarebbero sufficientemente significativi per mancanza di dati disponibili (il risultato porterebbe a conclusioni poco significative, dato che gli investimenti in R&D per le aziende nel primo sottogruppo sarebbero maggiori rispetto

al fatturato annuo, mentre per il secondo sottogruppo non si avrebbero sufficienti dati per rendere significativa la media). Una potenziale soluzione sarebbe accorpate tra loro i primi due sottogruppi, calcolandone il fatturato e gli investimenti in ricerca e sviluppo medi, in aggregato: si ottiene un fatturato medio di circa 161 milioni di dollari e un investimento in R&D medio di circa 30 milioni di dollari. Anche per il mercato delle batterie, quindi, le aziende più grandi investono maggiori risorse in assoluto (253 milioni di euro contro 30 milioni di euro, in media), ma meno in percentuale rispetto al fatturato (0,6% contro 18,4%, in media).

Analizzando congiuntamente i parametri economici e il posizionamento delle aziende all'interno della catena del valore, si registra un totale di 15 aziende su 34 complessive (44%) operative in più di un singolo segmento.

Segmentando il dato relativo alle aziende attive in più segmenti in funzione della dimensione, si giunge ai seguenti risultati:

- 3 aziende su 15 totali (20%) appartengono al primo sottogruppo; di conseguenza, il 43% delle aziende il cui fatturato è inferiore a 100 milioni di dollari è attiva in più di un segmento.
- 2 aziende su 15 totali (13%) appartengono al secondo sottogruppo; di conseguenza, il 33% delle aziende il cui fatturato è compreso tra 100 e 500 milioni di dollari è attiva in più di un segmento.
- 10 aziende su 15 totali (67%) appartengono al terzo sottogruppo; di conseguenza, il 48% delle aziende il cui fatturato è superiore a 500 milioni di dollari è attiva in più di un segmento.

Anche in questo caso, le aziende più grandi sono quelle che maggiormente tendono a integrarsi all'interno della catena del valore, attivandosi in diversi segmenti, grazie alle maggiori fonti finanziarie delle quali necessitano, spesso attingui tra loro (o per interdipendenza reciproca, come per la produzione delle celle elementari e l'assemblaggio delle batterie, o per competenze e conoscenze necessarie simili, come per la raffinazione dei materiali e la realizzazione dei materiali attivi) e ad alto valore aggiunto.

Ad esempio, se si considerano le aziende 10 aziende attive in più segmenti appartenenti al terzo sottogruppo, il 60% di esse si occupa della produzione di celle elementari e dell'assemblaggio delle batterie, e il 20% si occupa della raffinazione dei materiali e della realizzazione dei materiali attivi.

Lo stesso ragionamento deve essere applicato, con le dovute proporzioni, alle aziende appartenenti al primo e al secondo sottogruppo: infatti, delle rispettivamente 3 e 2 aziende attive in più segmenti, tutte quante si occupano sia di produrre le celle elementari e che di assemblare le batterie.

Infine, è d'obbligo fare una riflessione sulla poca propensione delle aziende appartenenti al secondo sottogruppo nell'integrarsi verticalmente: la motivazione principale è dettata dal core business delle aziende che ne fanno parte; infatti, la maggior parte di esse opera principalmente in altri mercati, che vanno dall'estrazione mineraria all'industria chimica, e solo marginalmente nel mercato delle batterie, perciò non hanno l'incentivo necessario per espandersi ulteriormente in quest'ultimo, attivandosi in altri segmenti.

Un altro aspetto molto importante per l'analisi è la collocazione geografica delle aziende attive nel mercato europeo delle batterie [Tabella 6.14], [Grafico 6.25]: analizzare la distribuzione geografica è fondamentale per comprendere meglio in quali paesi è più facile entrare nel mercato, nonché i principali elementi facilitatori, come norme specifiche, agevolazioni o investimenti governativi.

distribuzione geografica in aggregato	
<i>Germania</i>	29%
<i>Francia</i>	24%
<i>UK</i>	12%
<i>Penisola Scandinava</i>	15%
<i>Italia</i>	9%
<i>Belgio</i>	6%
<i>Austria</i>	3%
<i>Bulgaria</i>	3%

Tabella 6.14: distribuzione geografica in aggregato delle aziende attive nel mercato delle batterie

distribuzione geografica in aggregato

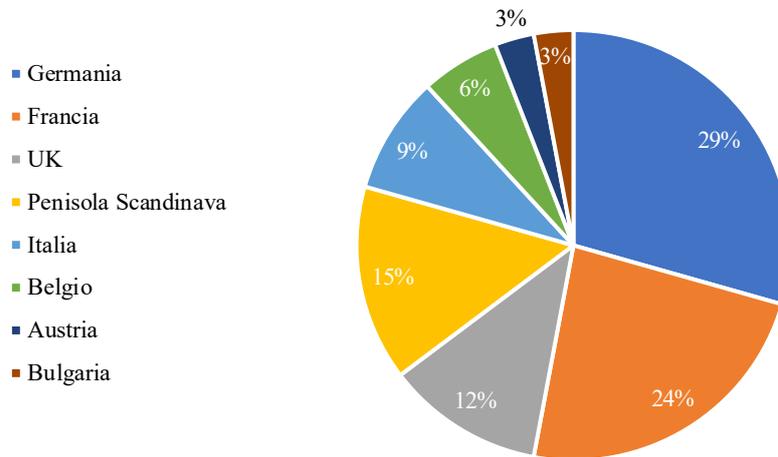


Grafico 6.25: distribuzione geografica in aggregato delle aziende attive nel mercato delle batterie

Similmente rispetto all'analisi relativa all'idrogeno verde, anche in questa circostanza si è deciso, per semplicità d'analisi, di aggregare sotto l'etichetta "Penisola Scandinava" tutte le aziendelocate in Norvegia, Svezia e Finlandia.

Dalla rappresentazione grafica si evince che la Germania sia la nazione che possiede al suo interno il maggior numero di aziende attive nel mercato delle batterie (29%, 10 su 34 totali), seguita a stretto giro dalla Francia (24%, 8 su 34 totali); presentano delle percentuali inferiori, ma non irrilevanti, la Penisola Scandinava (15%, 5 su 34 totali) e il Regno Unito (12%, 4 su 34 totali).

Francia e Germania ^(6.70) presentano delle percentuali molto simili tra loro, questo fenomeno è spiegabile da una similitudine di fondo, sia nelle condizioni al contorno (presenza di grandi multinazionali del settore automobilistico ed energetico che hanno forti interessi nello sviluppo di soluzioni di mobilità alternativa) che nelle iniziative governative (legislazioni specifiche, sovvenzioni all'acquisto per i consumatori finali e grandi investimenti nella ricerca); la combinazione di questi fattori ha facilitato notevolmente l'ingresso e la presenza di aziende attive nel mercato delle batterie nelle due nazioni.

La Penisola Scandinava e il Regno Unito sono rispettivamente terza e quarto per presenza di aziende nel loro territorio; anche se le motivazioni sono differenti: la Penisola Scandinava è

uno dei paesi al mondo con le maggiori competenze tecniche nell'ambito delle tecnologie green, e questa competenza (che viene fortemente incoraggiata dai governi, che stimolano alla collaborazione costante e continua tra le imprese del territorio e i più importanti centri di ricerca) si riflette nei numeri che quest'area europea fa registrare; il Regno Unito, invece, fa leva sul forte impianto industriale a sua disposizione, benché le politiche governative (in termini di regolamentazioni e agevolazioni) siano più limitate rispetto ad altre aree europee.

Nelle altre zone europee la presenza di aziende che operano nel mercato delle batterie è molto meno marcata, spesso a causa di scarsa chiarezza nelle direzioni governative, perciò l'iniziativa è demandata alle singole aziende.

Tuttavia, per avere un quadro più esaustivo, si può inserire un ulteriore parametro di segmentazione, ovvero l'analisi geografica in funzione della dimensione delle aziende, utilizzando la suddivisione delle aziende nei tre principali sottogruppi già descritti in precedenza [Tabella 6.15], [Grafico 6.26], [Tabella 6.16], [Grafico 6.27], [Tabella 6.17], [Grafico 6.28].

distribuzione geografica aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

<i>Germania</i>	0%
<i>Francia</i>	57%
<i>UK</i>	14%
<i>Penisola Scandinava</i>	0%
<i>Italia</i>	14%
<i>Belgio</i>	0%
<i>Austria</i>	14%
<i>Bulgaria</i>	0%

Tabella 6.15: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato inferiore a 100 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato inferiore a 100 M\$

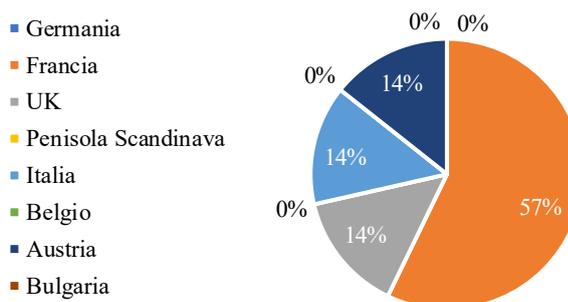


Grafico 6.26: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato inferiore a 100 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato compreso tra 100 M\$ e 500M\$

<i>Germania</i>	17%
<i>Francia</i>	0%
<i>UK</i>	0%
<i>Penisola Scandinava</i>	33%
<i>Italia</i>	33%
<i>Belgio</i>	0%
<i>Austria</i>	0%
<i>Bulgaria</i>	17%

Tabella 6.16: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato compreso tra 100 M\$ e 500M\$

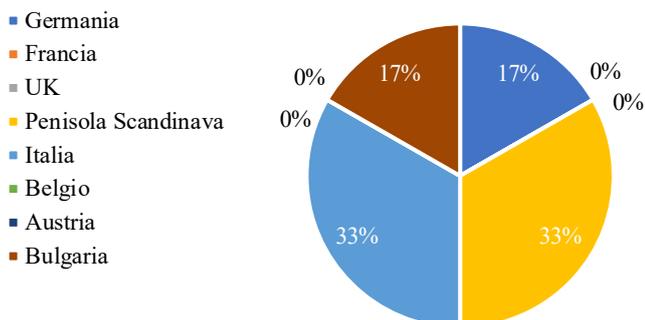


Grafico 6.27: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato compreso tra 100 M\$ e 500 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato superiore a 500M\$

<i>Germania</i>	43%
<i>Francia</i>	19%
<i>UK</i>	14%
<i>Penisola Scandinava</i>	14%
<i>Italia</i>	0%
<i>Belgio</i>	10%
<i>Austria</i>	0%
<i>Bulgaria</i>	0%

Tabella 6.17: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato superiore a 500 M\$

distribuzione geografica aziende con fatturato superiore a 500M\$

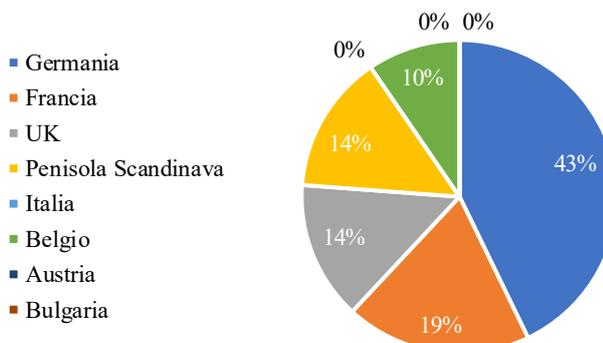


Grafico 6.28: distribuzione geografica delle aziende attive nel mercato delle batterie con fatturato superiore a 500 M\$

Analizzando i risultati di questa seconda segmentazione, si nota come in Germania il panorama competitivo nel mercato delle batterie sia fortemente sbilanciato a favore delle aziende appartenenti al terzo sottogruppo: infatti, possiede ben 9 aziende su 21 totali (43%) con fatturato superiore a 500 milioni di dollari; questi numeri, negli altri sottogruppi, si riducono

drasticamente, infatti la Germania conta solo un'azienda su 6 con fatturato compreso tra 100 e 500 milioni di dollari (17%) e nessuna azienda con fatturato inferiore a 100 milioni di dollari. Si ripete lo stesso schema riscontrato nell'analisi delle aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde: l'ecosistema industriale tedesco è, infatti, fortemente incentrato su grandi aziende multinazionali, che sono agevolate all'ingresso nel mercato grazie alle numerose iniziative (descritte nei capitoli precedenti) che il governo tedesco ha avviato per supportare il mercato delle batterie.

È molto interessante anche l'analisi degli ecosistemi competitivi relativi alla Francia e al Regno Unito, che presentano una struttura simile:

- In Francia si registrano 8 aziende totali, 4 delle quali appartengono al terzo sottogruppo (rappresentando il 19% del totale), mentre le restanti 4 appartengono tutte al primo sottogruppo (rappresentando il 57% del totale).
- Nel Regno Unito si registrano 4 aziende totali, 3 delle quali appartengono al terzo sottogruppo (rappresentando il 14% del totale), la restante appartiene al primo sottogruppo (rappresentando il 14% del totale).

Questi dati sono riconducibili, ancora una volta, al tessuto economico dei due paesi in questione: prevalenza di grandi imprese multinazionali rispetto alle PMI, soprattutto nei settori strategici (energia, automotive, aerospazio, industria chimica), ma presenza comunque non trascurabile di imprese con dimensioni più piccole.

La Penisola Scandinava conta, diversamente a quanto riscontrato nell'analisi del mercato dell'idrogeno verde, una numerosità più elevata di aziende con fatturato superiore a 500 milioni di dollari (3 su 21 totali, il 14%) e di aziende con fatturato compreso tra 100 e 500 milioni di dollari (2 su 6 totali, il 33%), mentre non conta nessuna azienda con fatturato inferiore a 100 milioni di dollari.

Le motivazioni sono da ricercarsi nella maggiore maturità della tecnologia e dalle tempistiche con cui le aziende hanno iniziato a entrare nel mercato: la Penisola Scandinava è stato uno dei paesi europei che ha riconosciuto le potenzialità delle batterie, perciò anche aziende più modeste hanno iniziato a entrare nel mercato, a sviluppare conoscenze e a ingrandirsi, raggiungendo nel tempo dimensioni considerevoli.

L'Italia, invece, non conta nessuna azienda con fatturato superiore a 500 milioni di dollari, ma ne registra ben 2 su 6 totali (il 33%) nel secondo sottogruppo e 1 su 7 totali (il 14%) nel primo sottogruppo.

Come già descritto precedentemente, la scarsa presenza di aziende italiane è legata principalmente alle iniziative delle singole aziende, e il tessuto economico italiano (fortemente incentrato sulla piccola e media impresa) spiega molto bene i dati raccolti.

Una menzione spetta alla Bulgaria, che conta una sola impresa, la Monbat, attiva nel mercato delle batterie, appartenente al secondo sottogruppo; è importante menzionarla perché si tratta di una delle poche imprese al mondo che tenta di gestire in modo integrato sia la produzione delle celle elementari, che la realizzazione delle batterie, che il riciclo delle stesse, una volta giunte a fine vita.

Infine, è d'obbligo anche analizzare la competizione internazionale, le principali aziende non europee che operano nel mercato delle batterie:

- Tesla ^(6.71), un'azienda statunitense che opera nel settore automobilistico, producendo veicoli elettrici ad alte prestazioni; attiva anche nel mercato delle batterie con la produzione di batterie al litio per veicoli e soluzioni di stoccaggio dell'energia (fatturato 2021: 52,8 B\$; EBITDA 2021: 11,5 B\$).
- LG Chem ^(6.72), un'azienda sudcoreana specializzata nella produzione di batterie al litio per veicoli elettrici e sistemi di stoccaggio dell'energia; il suo core business è incentrato sulla fornitura di soluzioni energetiche avanzate (fatturato 2021: 33 B\$; EBITDA 2021: 6 B\$).
- BYD ^(6.73), azienda cinese con un core business che comprende la produzione di veicoli elettrici, autobus, treni e soluzioni di energia pulita; attiva anche nel mercato delle batterie, fornendo batterie al litio per veicoli e altre applicazioni (fatturato 2021: 30,1 B\$; EBITDA 2021: 2,57 B\$).
- CATL (Contemporary Amperex Technology Co. Limited) ^(6.74), un'azienda cinese leader nella produzione di batterie al litio per veicoli elettrici e sistemi di stoccaggio dell'energia (fatturato 2021: 18,1 B\$; EBITDA 2021: 3,7 B\$).
- SK Innovation ^(6.75), azienda sudcoreana che opera nel settore dell'energia e della chimica; è coinvolta nel mercato delle batterie, producendo batterie al litio per veicoli elettrici e altre applicazioni (fatturato 2021: 36,3 B\$; EBITDA 2021: 2,5 B\$).

- Solid Power ^(6.76), un'azienda statunitense che sviluppa e produce batterie a stato solido per applicazioni automobilistiche ed energetiche (fatturato 2021: 2,7 M\$; EBITDA 2021: - 24,2 M\$).
- QuantumScape ^(6.77), azienda statunitense focalizzata sullo sviluppo di batterie a stato solido ad alta densità energetica per veicoli elettrici (fatturato 2021: ND; EBITDA 2021: -152 M\$).
- Toyota ^(6.78), un'azienda automobilistica giapponese con un core business che comprende la produzione di una vasta gamma di veicoli, inclusi modelli ibridi ed elettrici; attiva anche nel mercato delle batterie, fornendo batterie per veicoli elettrici (fatturato 2021: 262 B\$; EBITDA 2021: 33,6 B\$).
- Jiangxi Ganfeng Lithium ^(6.79), un'azienda cinese leader nella produzione di sali di litio e materiali correlati per le industrie delle batterie elettriche (fatturato 2021: 1,5 B\$; EBITDA 2021: 519 M\$).
- General Electric ^(6.35), un'azienda statunitense conglomerata attiva in diversi settori, tra cui l'elettrificazione, l'energia, l'aviazione, la salute e il trasporto; è coinvolta nel mercato delle batterie con la produzione di batterie al litio e altre soluzioni di stoccaggio dell'energia (fatturato 2021: 74 B\$; EBITDA 2021: 7,7 B\$).
- Mitsubishi Motors ^(6.36), azienda automobilistica giapponese che produce una vasta gamma di veicoli, inclusi modelli elettrici e ibridi; è coinvolta nel mercato delle batterie fornendo batterie per i suoi veicoli (fatturato 2021: 29,5 B\$; EBITDA 2021: 3,1 B\$).

Anche nel mercato internazionale si evince una netta prevalenza di aziende multinazionali, che hanno tendenzialmente fatturato superiore al miliardo di dollari, EBITDA positivi e interessi a operare nei segmenti a valore aggiunto maggiore (produzione delle celle elementari e produzione delle batterie); la presenza di aziende con fatturato nell'ordine delle centinaia di milioni è molto limitata, ma si riscontra una presenza notevole di startup o aziende ad elevato contenuto tecnologico presenti sul mercato (i cui dati relativi al fatturato e all'EBITDA non sono disponibili).

6.3) Analisi comparativa

Nelle precedenti sezioni si è cercato di analizzare singolarmente il panorama competitivo europeo relativo all'idrogeno verde e alle batterie; a valle di queste due analisi è necessario riportare e spiegare le differenze e le somiglianze che sono riscontrabili.

Iniziando con il posizionamento delle aziende, nei due mercati c'è una sostanziale differenza nelle fasi della catena del valore in cui l'attrattività maggiore è concentrata:

- nel mercato dell'idrogeno verde, la maggior parte delle aziende si posiziona a monte della catena del valore (produzione, stoccaggio e trasporto), principalmente a causa della ancora relativamente bassa maturità tecnologica, perciò questo posizionamento garantisce dei vantaggi strategici (in termini di controllo sull'intera filiera) con l'espansione del mercato; tutti gli altri segmenti sono, in proporzione, molto meno esplorati dalle imprese.
- Al contrario, nel mercato delle batterie le aziende si concentrano tutte nei segmenti a valle della catena del valore (produzione delle celle elementari e assemblaggio delle batterie), nei quali si verifica l'effettiva trasformazione da materia prima a prodotto finito e nei quali, di conseguenza, si concentra la maggior parte del valore aggiunto; diversamente rispetto a quanto riscontrato per l'idrogeno verde, tuttavia, i restanti segmenti della catena del valore risultano comunque attrattivi (si registra una percentuale quasi costante di aziende attive negli altri segmenti della catena del valore).

Una caratteristica comune tra i due mercati, in relazione al posizionamento delle imprese, è l'integrazione verticale: le aziende che si integrano verticalmente sono in genere le aziende più grandi (benché siano presenti delle eccezioni tra le aziende più piccole dei due dataset); le scelte di integrazione solitamente sono legate all'interdipendenza e alle potenziali economie di scopo tra i diversi segmenti (si pensi alla correlazione operativa tra produzione, stoccaggio e trasporto dell'idrogeno verde, tra la produzione di celle elementari e l'assemblaggio delle batterie, tra la raffinazione dei materiali e la realizzazione dei materiali attivi per le batterie).

È, inoltre, importante sottolineare la differenza dimensionale tra le aziende presenti nei due mercati:

- Nel mercato europeo dell'idrogeno verde sono attive o grandissime multinazionali o aziende relativamente piccole (in proporzione, a livello di numerosità effettiva di aziende

attive nel mercato molto simile), questo perché un mercato emergente come quest'ultimo è attrattivo per imprese emergenti che vogliono essere first mover e ottenere vantaggio competitivo grazie all'esplosione del mercato, o di multinazionali consolidate che hanno fondi e risorse necessarie per poter investire ed entrare in mercati emergenti, con la finalità ultima di diversificare il proprio core business (questo specialmente se le multinazionali in questione sono principalmente attive nel mercato dell'energia tradizionale).

- Il mercato europeo delle batterie, invece, consta anche di aziende che si posizionano a metà tra l'essere aziende emergenti e principalmente focalizzate sulla crescita (quindi con fatturato in rapida crescita ed EBITDA negativi) e grandi multinazionali; la motivazione è dettata dalla maggiore maturità del mercato stesso, passato, nel corso degli anni, da una situazione simile a quella che si riscontra oggi nel mercato dell'idrogeno verde, alla situazione attuale (mercato più maturo, con una forte concentrazione di grandi aziende che lo controllano, e un numero inferiore di aziende con dimensioni intermedie e piccole, che puntano alla crescita e all'espansione, e che spesso diventano l'obiettivo di acquisizioni da parte delle aziende più grandi).

Analizzando i dati economico finanziari non si riscontrano differenze nei due mercati; infatti la correlazione tra EBITDA e dimensione aziendale è presente (e statisticamente significativa) in entrambi i mercati, e anche gli investimenti in R&D effettuati dalle aziende sono, in percentuale rispetto al fatturato, molto simili tra loro (le grandi aziende investono in media nei due mercati, rispettivamente lo 0,7% e lo 0,6% del fatturato; le aziende più piccole investono in media nei due mercati, rispettivamente il 21,4% e il 18,4% del fatturato).

Anche la collocazione geografica delle aziende attive nei due mercati è fortemente simile: paesi come la Germania, la Francia, la Penisola Scandinava e il Regno Unito sono i maggiormente attrattivi per le imprese, questo dimostra che l'attenzione in merito alle soluzioni energetiche ecosostenibili è trasversale, indipendentemente dalla tecnologia, ed è un forte incentivo per le imprese all'ingresso in questi mercati; infatti, un totale di otto aziende europee (per la maggior parte, sette su otto, grandi multinazionali), tutte locate tra Germania, Francia e Regno Unito, ha optato per iniziare a operare in entrambi i mercati.

Infine, facendo un rapido passaggio relativo alla competizione internazionale, si osservano poche aziende non europee interessate a entrare nel mercato dell'idrogeno verde (principalmente si tratta di aziende locate in Nord America, USA e Canada, o di aziende giapponesi)

Al contrario, le aziende europee attive nel mercato delle batterie devono fronteggiare una competizione internazionale estremamente folta e distribuita in molte aree del mondo (nello specifico Cina, Corea del Sud, USA e Giappone), ed è questa, forse, la più grande difficoltà che le aziende europee (e di conseguenza l'Europa nel suo complesso) sono costrette a fronteggiare per affermarsi in un mercato sì in rapida evoluzione, ma che beneficia molto (come tutti i mercati in cui la tecnologia e l'innovazione sono fattori dominanti) dei vantaggi acquisiti nel tempo.

6.4) BIBLIOGRAFIA

- 6.1 R. S. Pindyck and D. L. Rubinfeld, "Microeconomics," Pearson Education, 2017.
- 6.2 Sito web: Resato. Disponibile su: <https://www.resato.com/en/home>.
- 6.3 Rapporto annuale: SFC Energy. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://www.sfc.com/wp-content/uploads/sites/4/SFC_GB_2021_E_13.4_final.pdf.
- 6.4 Stati finanziari consolidati al 31 dicembre 2021: Gaussin. Disponibile su: https://assets-global.website-files.com/603ce43d5074b84572323408/6331d6b9c9af93aef8a7bac8_GAUSSIN-Consolidated%20financial%20statements%20at%2031%20December%202021.pdf.
- 6.5 Rapporto annuale: Green Hydrogen Systems. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://s27.q4cdn.com/814921560/files/doc_financials/2021/ar/Green-Hydrogen-Systems-Annual-report-2021-v1.pdf.
- 6.6 Rapporto annuale: ITM Power. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://itm-power-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/ITM_Power_Annual_Report_2021_c6ed6e1b63.pdf.
- 6.7 Comunicato stampa: McPhy Energy. (2022). 2021 Annual Results. Disponibile su: <https://mcphy.com/en/press-releases/2021-annual-results/?cn-reloaded=1>.
- 6.8 Sito web: Sunfire. Disponibile su: <https://www.sunfire.de/en/news>.

- 6.9 Stati finanziari consolidati 2021: Enapter. Disponibile su: <https://enapterag.de/wp-content/uploads/2022/04/2021-Consolidated-FS-Enapter-Group.pdf>.
- 6.10 Integrated Report 2021: HydrogenPro. Disponibile su: <https://hydrogen-pro.com/wp-content/uploads/2022/04/HydrogenPro-Integrated-Report-2021.pdf>.
- 6.11 Annual Report 2021: Powercell Sweden AB. Disponibile su: <https://powercellgroup.com/reports/annual-report-2021-2/>.
- 6.12 Annual report 2021: GREENSTAT. Disponibile su: https://api.greenstat.no/uploads/Greenstat_ASA_Annual_report_2021_98750fd81e.pdf?updated_at=2022-09-20T13:51:38.738Z.
- 6.13 Annual Report 2021: Total Energies. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NYSE_TOT_2021.pdf.
- 6.14 ASA 2021 Annual Report: Nel Hydrogen. Disponibile su: <https://nelhydrogen.com/wp-content/uploads/2022/03/Nel-ASA-2021-Annual-Report-1.pdf>.
- 6.15 Annual Report 2021: Octopus Hydrogen. Disponibile su: https://octoenergy-production-media.s3.amazonaws.com/documents/Octopus_Energy_Group_Limited_AR_2021_Final.pdf.
- 6.16 Report FY2022: Siemens Energy. Disponibile su: https://www.siemens.com/applications/b09c49eb-3a14-73b3-9f71-e30e3c2dfdbd/assets/pdfs/en/Siemens_Report_FY2022.pdf?ste_sid=1469dcd863a9e40cb8c2157600132c.
- 6.17 Annual Report 2021: Severn Trent. Disponibile su: <https://www.severntrent.com/content/dam/stw-plc/shareholder-resources/ara-annual-report-2021.pdf>.
- 6.18 2021 Annual Report: Air Liquide. Disponibile su: <https://www.airliquide.com/sites/airliquide.com/files/2022-03/2021-annual-report.pdf>.
- 6.19 Financial Report 2021: Evonik. Disponibile su: https://corporate.evonik.com/media/public/misc/ir/bpk-2022/Financial_Report.pdf.

- 6.20 Annual Report to Shareholders 2021: Linde Engineering. Disponibile su: <https://investors.linde.com/-/media/linde/investors/documents/full-year-financial-reports/2021-annual-report-to-shareholders.pdf?la=en>.
- 6.21 Management report and annual consolidated financial statements 2021: Engie. Disponibile su: https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2022-02/ENGIE_2021%20Management%20report%20and%20annual%20consolidated%20financial%20statements.pdf.
- 6.22 Annual Report 2021: Uniper SE. Disponibile su: <https://www.uniper.energy/sites/default/files/2022-03/DE000UNSE018-JA-2021-PN-EQ-E-00.pdf>.
- 6.23 Corporate Responsibility Report 2021: MAN Energy Solutions. Disponibile su: https://www.man-es.com/docs/default-source/sustainability/man-es_corporate_responsibility_report_en_2021_rz.pdf?sfvrsn=5eaa04c9_6.
- 6.24 Sito web: EDF. Disponibile su: <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/investors-shareholders>.
- 6.25 Annual Report 2021: Shell. Disponibile su: https://reports.shell.com/annual-report/2021/_assets/downloads/shell-annual-report-2021.pdf.
- 6.26 Integrated Annual Report 2021: Enel. Disponibile su: https://www.enel.com/content/dam/enel-com/documenti/investitori/informazioni-finanziarie/2021/annuali/en/integrated-annual-report_2021.pdf.
- 6.27 Annual Report 2021: Eni. Disponibile su: <https://www.eni.com/assets/documents/eng/reports/2021/Annual-Report-2021.pdf>.
- 6.28 GSM22 Financial Statements and Auditor's Report Consolidated 2021: Iberdrola. Disponibile su: https://www.iberdrola.com/documents/20125/1606413/gsm22_FinancialStatements_AuditorsReport_Consolidated2021.pdf.
- 6.29 thyssenkrupp Annual Report 2020/2021: thyssenkrupp. Disponibile su: https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/_binary/UCPthyssenkruppAG/9fee6ee8-a921-445a-b5b7-6be9c29d8446/thyssenkrupp-GB-en-2020-2021-Web.pdf.
- 6.30 Gasunie Annual Report 2021: Gasunie. Disponibile su: <https://www.gasuniereport2021.nl/en>.

- 6.31 OFFER, Gregory James, et al. Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy policy*, 2010, 38.1: 24-29.
- 6.32 Emanuele Taibi et al; Green Hydrogen cost reduction; IRENA; 2020; URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf?rev=4ce868aa69b54674a789f990e85a3f00
- 6.33 WIELICZKO, Marika; STETSON, Ned. Hydrogen technologies for energy storage: A perspective. *MRS Energy & Sustainability*, 2020, 7: E41.
- 6.34 CAVUSGIL, S. Tamer; GHOURI, Pervez N.; AKCAL, Ayse A. *Doing business in emerging markets*. Sage, 2012.
- 6.35 General Electric Annual Report 2021. Disponibile su: https://www.ge.com/sites/default/files/GE_AR2021_AnnualReport.pdf.
- 6.36 Mitsubishi Motors Annual Report 2022. Disponibile su: https://www.mitsubishi-motors.com/content/dam/com/ir_en/pdf/anual/2022/annual2022.pdf?20221004.
- 6.37 Cummins Fourth Quarter and Full Year 2021 Earnings Release. Disponibile su: https://s29.q4cdn.com/600973483/files/doc_financials/2021/ar/4Q21-10K.pdf.
- 6.38 Regnskaber CVR API - Financial Report for Ballard Power Systems. Disponibile su: <https://regnskaber.cvrapi.dk/69940803/amNsb3VkczoVZAzLzhkLzAxLzhkLzAwL2M1ZTItNDgzOS05NDFILTE2OGU4ZjZhMWI4Mg.pdf>.
- 6.39 Cummins Reports Fourth Quarter and Full Year 2021 Earnings. Disponibile su: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_9906cf80f4cf23cb5bd0881c20474f62/cummins/news/2022-02-03_Cummins_Reports_Fourth_Quarter_and_Full_Year_2021__546.pdf.
- 6.40 Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Sustainability Report 2021. Disponibile su: https://global.kawasaki.com/en/corp/sustainability/report/2021/pdf/21_houkokusyo.pdf.

- 6.41 Miba Annual Report 2020/2021: Miba AG. (2020-2021). Miba Annual Report 2020/2021;URL:https://www.miba.com/fileadmin/user_upload/Finanzpublikationen/Report_2020-2021/Miba-Jahresbericht-2020_21-EN-WEB.pdf
- 6.42 Research Report on the Global Market of Power Battery in 2021: BIPT - Beijing Institute of Petrochemical Technology. (2021). Research Report on the Global Market of Power Battery in 2021. Disponibile su: <https://www.bipt.edu.cn/pub/pdepe/docs/20210906114449128489.pdf>
- 6.43 Forsee Power Financial Year Report 2021: Forsee Power. (2021). Forsee Power Financial Year Report 2021. Disponibile su: https://www.forseepower-finance.com/images/PR_Forsee_Power_FYR_2021_VDEF_Eng.pdf
- 6.44 Sovema Group SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (2018). Sovema Group SPA. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/2018/sovema-group-spa>
- 6.45 Leclanché Consolidated Annual Report 2021: Leclanché. (2021). 2021 Consolidated Annual Report. Disponibile su: https://www.leclanche.com/wp-content/uploads/2022/07/2021_Consolidated-Annual-Report_Leclanche_vfinal.pdf
- 6.46 Nordic Mining Annual Report 2021: Nordic Mining. (2021). Nordic Mining Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: <https://d2zbxcnktjvvs5.cloudfront.net/1651529304/nordic-mining-annual-report-2021-final-esef.pdf>
- 6.47 Finnish Minerals Group Annual Report 2021: Finnish Minerals Group. (2021). Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: <https://www.mineralsgroup.fi/media/materialbank/annual-reports/annual-report-2021.pdf>
- 6.48 Gränges Year-End Report January-December 2021: Gränges. (2022). Gränges Year-End Report January-December 2021. [Online]. Disponibile su: <https://www.granges.com/globalassets/05.-investerare/04.-rapporter-och-presentationer/2022/01-bokslutskommunike-2021/granges-year-end-report-january-december-2021.pdf>
- 6.49 Italmatch Chemicals SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (n.d.). Italmatch Chemicals SPA. [Online]. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/9398/italmatch-chemicals-spa>

- 6.50 Comau SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (n.d.). Comau SPA. [Online]. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/1444/comau-spa#:~:text=COMAU%20S.P.A.%2C%20Partita%20IVA%3A%2000952120012%2C%20Fatturato%2C%20Dipendenti%2C%20PEC>
- 6.51 Monbat Group: Monbat. (n.d.). Results Center. [Online]. Disponibile su: <https://monbatgroup.com/en/investors/results-center>
- 6.52 Manz AG: Manz AG. (n.d.). Reports. [Online]. Disponibile su: <https://www.manz.com/en/investor-relations/publications/reports/>
- 6.53 Aurubis AG Annual Report 2021: Aurubis AG. (2021). Aurubis AG Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/aurubis-ag_2021.pdf
- 6.54 Boliden Group Annual Report 2021: Boliden Group. (2021). Boliden Group Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/boliden-broup_2021.pdf
- 6.55 Ferroglobe Annual Report 2021: NASDAQ GSM. (2021). Ferroglobe Annual Report2021; https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NASDAQ_GSM_2021.pdf
- 6.56 SGL Carbon Annual Report 2021: SGL Carbon. (2021). SGL Carbon Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/sgl-carbon_2021.pdf
- 6.57 Lanxess AG: Lanxess AG. (n.d.). Reporting. [Online]. Disponibile su: <https://lanxess.com/en/Investors/Reporting>
- 6.58 Metso:Outotec Financial Review 2021: Metso:Outotec. (2021). Metso:Outotec Financial Review 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.mogroup.com/globalassets/investors/reports/2021/metsooutotec_financial_review_2021.pdf
- 6.59 Rio Tinto Annual Report: Rio Tinto. (n.d.). Annual Report. [Online]. Disponibile su: <https://www.riotinto.com/invest/reports/annual-report>

- 6.60 Arkema Press Release Results Q4 2021: Arkema. (n.d.). Arkema Press Release Results Q4 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.arkema.com/files/live/sites/shared_arkema/files/downloads/investorrelations/en/finance/arkema-press-release-results-q4-2021.pdf
- 6.61 CRONIMET. (n.d.). Facts and Figures. Retrieved from <https://www.cronimet.de/en/unternehmen/who-we-are/facts-und-figures/>
- 6.62 Solvay. (2022). Solvay 2021 Annual Integrated Report. Retrieved from <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2022-04/Solvay%202021%20Annual%20Integrated%20Report.pdf>
- 6.63 Umicore. (2021). Umicore Annual Report 2021. Retrieved from <https://annualreport.umicore.com/en/2021>
- 6.64 Stena Metall. (2020-2021). Stena Metall Annual Report 2020-2021. Retrieved from <https://www.stenamettall.com/siteassets/investor-relations/arsredovisning/stenamettall-annual-report-2020-2021.pdf>
- 6.65 BASF. (2021). BASF Report 2021. Retrieved from https://report.basf.com/2021/en/_assets/downloads/entire-basf-ar21.pdf
- 6.66 Veolia. (2021). Annual Results 2021. Retrieved from <https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc4206/files/document/2022/03/PR-annual-results-2021-Veolia.pdf>
- 6.67 Vishal Narain T et al; Global Industrial Batteries Market Grid-level Energy Storage Applications will Create Strong Demand in the Long Term; Frost & Sullivan Market Engineering; 2013
- 6.68 Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan; Global Industrial Battery Market, Forecast to 2023 Growth in Renewable Energy and Distributed Generation to Drive the Global Industrial Battery Market; Frost & Sullivan Market Engineering; 2018
- 6.69 Rajalingam Arikaarampalayam Chinnasamy; Global Lithium-ion (Li-ion) Batteries Market, Forecast to 2025; Frost & Sullivan Market Engineering; 2019
- 6.70 HILDERMEIER, Julia; VILLAREAL, Axel. Shaping an emerging market for electric cars: How politics in France and Germany transform the European automotive industry. European review of industrial economics and policy, 2011, 3.

- 6.71 Tesla. (2021). Tesla Q4 2021 Update. Recuperato da: <https://digitalassets.tesla.com/tesla-contents/image/upload/IR/TSLA-Q4-2021-Update>
- 6.72 LG Chem. (2021). 2021 LG Chem Consolidated Financial Statements. Recuperato da: [https://www.lgchem.com/upload/file/audit-report/2021_LG_Chem_Consolidated_Financial_Statements_en\[0\].pdf](https://www.lgchem.com/upload/file/audit-report/2021_LG_Chem_Consolidated_Financial_Statements_en[0].pdf)
- 6.73 BYD. (s.d.). BYD PDF Viewer. Recuperato da: <https://www.bydglobal.com/sitesresources/common/tools/generic/web/viewer.html?file=%2Fsites%2FSatellite%2FBYD%20PDF%20Viewer%3Fblobcol%3Durldata%26blobheader%3Dapplication%252Fpdf%26blobkey%3Ddid%26blobtable%3DMungoBlobs%26blobwhere%3D1600575229843%26ssbinary%3Dtrue>
- 6.74 CATL (Contemporary Amperex Technology Co. Limited). (2021). CATL Annual Report 2020. Recuperato da: https://www.catl.com/en/uploads/1/file/public/202106/20210610141952_6c9o51xur0.pdf
- 6.75 SK Innovation. (s.d.). SK Innovation. Recuperato da: <https://skinnonews.com/global/archives/9978>
- 6.76 Solid Power. (s.d.). Solid Power Corporate Presentation. Recuperato da: <https://ir.solidpowerbattery.com/static-files/3c333327-f529-4eeb-95a4-29e7d8bce37c>
- 6.77 AESC (Automotive Energy Supply Corporation). (2021). Annual Report 2021. Recuperato da: https://s29.q4cdn.com/884415011/files/doc_financials/2021/q4/e5e62099-e3f8-464c-8f4b-9d901b28b584.pdf
- 6.78 Toyota. (2021). Annual Report 2021. Recuperato da: https://www.toyota-industries.com/investors/items/2021_annual_financial_report_E.pdf
- 6.79 Jiangxi Ganfeng Lithium. (2022). 2021 Annual Results Announcement. Recuperato da: <https://www1.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2022/0426/2022042602622.pdf>

7) ANALISI DELLE PRINCIPALI STARTUP EUROPEE

Per andare ulteriormente ad analizzare a fondo i concetti presentati fino ad ora, possiamo ora fare un confronto tra le due startup europee più importanti, che negli ultimi anni si sono sviluppate in maniera significativa in questi ambiti: la francese Lhyfe, azienda attiva nel mercato dell'idrogeno verde, e la svedese Northvolt, attiva nel mercato delle batterie.

Saranno realizzati due casi di studio, in ciascuno dei quali verrà realizzata una panoramica delle aziende, di come stiano sviluppando i loro rispettivi modelli di business in accordo con le proprie visioni aziendali.

L'analisi farà anche riferimento alle performance economiche delle due aziende e agli investimenti raccolti dalla loro nascita, e si concluderà con le prospettive, in termini di sviluppo tecnologico, che queste due startup possono portare nel mercato (non solo in quello europeo, ma anche in quello mondiale).

Le principali fonti utilizzate per la realizzazione dei due casi di studio sono provenienti dai report effettuati dai principali investitori che recentemente hanno contribuito alla crescita di queste due realtà europee grazie ai loro fondi, oltre ai report annuali pubblicati dalle startup stesse.

7.1) Il caso Lhyfe

Fondata nel 2017 da Matthieu Guesné, Lhyfe è una startup europea dedicato alla transizione energetica, produttore e fornitore di idrogeno verde e rinnovabile ^(7.1).

I suoi siti produttivi mirano a fornire l'accesso all'idrogeno verde e rinnovabile per le applicazioni industriali consentendo ai più svariati settori dell'industria e della mobilità l'opportunità di accelerare il processo di decarbonizzazione e adottare modelli operativi energeticamente più sostenibili.

Lhyfe, come altre aziende che producono idrogeno verde, utilizza elettrolizzatori alimentati da energia rinnovabile (come l'eolico o il fotovoltaico); la vera innovazione consiste nell'approccio integrato e maggiormente efficiente rispetto alle aziende con le quali compete: realizzando impianti produttivi combinati riesce a massimizzare l'efficienza di conversione (da

energia elettrica a idrogeno), rendendo l'intero processo maggiormente modulare e più facilmente scalabile.

Lhyfe, inoltre, si occupa anche della distribuzione dell'idrogeno verde prodotto a diversi settori, inclusi il trasporto, l'industria e i servizi pubblici, offrendo una soluzione sostenibile per sostituire, dove possibile, le fonti energetiche tradizionali.

round di investimento effettuati	tipologia investimento	in data	somma investita (in M\$)	totale (in M\$)
Swen Capital	venture	01/10/2021	50	
Andera Partners	venture	04/02/2022	17	
Mistui & Co	corporate	12/04/2022	10	
				77

Tabella 7.1: round di investimento in Lhyfe

All'interno del panorama dell'innovazione europea in ambito idrogeno verde ^(7.2), Lhyfe è la startup che ha raccolto il maggior numero di fondi negli ultimi anni [Tabella 7.1].

Come si vedrà in seguito, nel caso di studio Northvolt, i fondi raccolti sono decisamente inferiori, principalmente dovuti alla poca maturità del mercato e della tecnologia, ma soprattutto all'elevato rischio tecnologico ^(7.3).

Tuttavia, è da sottolineare che questa limitazione è percepita semplicemente perché la tecnologia è ancora in fase di sviluppo e non si è ancora inserita completamente nel mercato dell'energia sostenibile, rispetto ad altre forme equivalenti.

Tuttavia, è fondamentale analizzare le partnership che Lhyfe ^{(7.4); (7.5)} ha avviato nel corso dei recenti anni, in quanto questa forma di collaborazione rappresenta una componente molto importante, se non fondamentale, per lo sviluppo di una startup, per fare in modo che le tecnologie e le soluzioni innovative vengano recepite dal mercato, possano quindi acquisire notorietà e diventare nel tempo gli standard, permettendo all'azienda di crescere [Tabella 7.2], [Tabella 7.3].

tipologia partnership	entità coinvolta/e	scopo della partnership
industriale	Gaussin	sviluppo di tecnologie per il trasporto marittimo, aereo e logistico
industriale	PLUG	co-produzione di un impianto da 300 MW
industriale	Delfzijl	costruzione di un impianto produttivo in Olanda da 200 MW
industriale	South2Port	sviluppo di sistemi di produzione offshore integrati eolico - idrogeno da 600 MW
industriale	Schaeffler	costruzione di un impianto produttivo in Germania presso l'impianto di Schaeffler da 15 MW
industriale	GreenHyScale Project Consortium	costruzione di un impianto produttivo in Norvegia da 100 MW

Tabella 7.2: principali partnership avviate da Lhyfe

produzione	stoccaggio e trasporto	sviluppo di infrastrutture	applicazioni industriali	mobilità	storage di energia	ricerca
				x		
x	x	x				
x	x	x				
x	x			x		
x						
x	x	x				

Tabella 7.3: segmenti della catena del valore in cui si concentra l'attività delle partnership

Come si evince dalle rappresentazioni tabellari, le partnership sono tutte di stampo industriale, principalmente legate alla costruzione di impianti produttivi o di sistemi energetici integrati, che si configurano come investimenti a orizzonte temporale maggiore; l'unica eccezione è la collaborazione in essere con Gaussin, azienda che produce sistemi di mobilità a idrogeno o a batterie.

Mettendo insieme le informazioni di questa terza tabella con quanto precedentemente descritto, si evince quanto le varie collaborazioni tra Lhyfe e altre aziende interessate a inserirsi nel mercato dell'idrogeno verde, o quantomeno a utilizzarlo come vettore energetico rinnovabile, siano di natura prettamente impiantistica, e si inseriscono nella logica secondo la quale anche investimenti molto sostanziosi per la realizzazione delle strutture possano essere ripagati in tempi più lunghi, permettendo quindi di ammortizzare meglio l'impatto dei costi.

Le partnership sono quasi esclusivamente legate all'esplorazione, in sintesi, delle fasi a monte della catena del valore, nelle quali si concentra il maggior valore aggiunto, nonché la possibilità di ottenere una posizione di controllo sugli altri attori all'interno della filiera in caso di raggiungimento delle economie di scala.

La visione condivisa è molto ambiziosa, volta a cambiare radicalmente l'assetto della produzione e distribuzione energetica, che attraverso l'idrogeno verde può avvenire in modo distribuito e non centralizzato, direttamente in loco e con tecnologie a impatto ambientale molto basso.

Come per le aziende già analizzate nel capitolo precedente, è importante visualizzare anche le performance economico finanziarie (tutte espresse in milioni di dollari) che Lhyfe ^(7.6) ha fatto registrare nell'anno 2021 [Tabella 7.4].

revenues	0,2
EBITDA	-5,4
R&D	16,4

Tabella 7.4: performance economico finanziarie di Lhyfe (anno 2021)

I dati presenti nel bilancio del 2021 mostrano un fatturato totale circa 0,2 milioni di dollari e, come per le aziende analizzate nel capitolo precedente, questo parametro influisce sull'EBITDA, che anche in questa circostanza è negativo.

Le motivazioni sono simili a quanto già osservato precedentemente (le aziende emergenti, che investono molto nella crescita hanno delle conseguenze negative inevitabili sul margine operativo).

Una voce molto importante è la spesa in ricerca e sviluppo, finanziata interamente dal venture round avvenuto nel 2022 (fondi raccolti: 17 milioni di euro), che può essere scomposta in due voci principali:

- Ricerca e sviluppo diretta, nello specifico in studi di fattibilità per il miglioramento della tecnologia, per un totale di 1,9 milioni di dollari.
- Realizzazione di impianti produttivi di nuova generazione dedicati alla produzione, allo stoccaggio e al trasporto dell'idrogeno prodotto in loco, per un totale di 14,5 milioni di dollari.

Nonostante le sfide connesse alla maturità del mercato e alle incertezze tecnologiche che avvolgono il futuro dell'idrogeno verde come vettore energetico ecosostenibile, è importante sottolineare il grande apporto che Lhyfe sta offrendo al mercato: l'innovazione continua e la ricerca di soluzioni produttive sempre più efficienti e modulari.

7.2) Il caso Northvolt

Northvolt ^(7.7) è una startup svedese con sede a Stoccolma, fondata nel 2016, che opera nel mercato delle batterie, più specificamente si inserisce nei seguenti segmenti: produzione delle pile, assemblaggio delle batterie, riciclo e riutilizzo di batterie a fine vita utile.

L'azienda basa la propria attività sulla produzione di batterie agli ioni di litio di ultima generazione, ad elevate prestazioni, utilizzando tecnologia proprietaria e facendo uso di componenti provenienti dal riciclo di batterie usate (fanno registrare un carbon footprint inferiore dell'80% rispetto alla media di settore).

La missione principale di Northvolt è consentire la transizione verso un futuro decarbonizzato, producendo batterie agli ioni di litio sostenibili, senza intaccarne le performance, diventando così un punto di riferimento per la sostenibilità del settore.

L'aspetto maggiormente innovativo di Northvolt è l'approccio unico adottato per la produzione: l'azienda ha integrato tutti gli aspetti relativi alle operazioni all'interno della catena del valore, partendo dalla produzione dei catodi, passando per la produzione delle celle e per l'assemblaggio delle batterie, terminando con il riciclaggio e il riutilizzo delle batterie arrivate a fine vita utile; allo stato attuale fa uso di fornitori esterni solo per l'approvvigionamento dei materiali, attività che verrà anch'essa integrata nei prossimi anni, in quanto ha avviato degli

studi di fattibilità per avviare degli impianti in Europa di estrazione e raffinazione delle materie prime necessarie alla realizzazione delle batterie.

L'azienda, dalla data della sua fondazione, è diventata uno dei punti di riferimento principali all'interno del mercato europeo e mondiale delle batterie, impegnandosi anche con alcuni dei principali produttori automobilistici europei e con altri operatori del settore.

Con un portafoglio di ordini per un totale di circa 55 miliardi di dollari, con il supporto di oltre 4 miliardi di dollari in round di finanziamento conclusi, Northvolt è riuscita a espandersi in più di 100 paesi al mondo, per un totale di oltre 4000 dipendenti, alla fine del 2022.

Allo stato attuale, Northvolt produce e spedisce in tutto il mondo dalla sua giga-fabbrica costruita nel nord della Svezia (Northvolt Ett).

È molto importante, per capire qual è stato l'impatto di Northvolt sul mercato delle batterie a livello mondiale, analizzarne i vari round di investimento ^{(7.8); (7.9)} effettuati negli ultimi anni [Tabella 7.5].

round di finanziamento effettuati	tipologia investimento	in data	somma investita (in M\$)	totale (in M\$)
Siemens AG	venture	15/05/2018	10,8	
Boundary Holding	seed	28/09/2018	ND	
Vattenfall AB; Vargas Holdings	venture	04/06/2019	11,81	
Wolkswagen Group	corporate	21/06/2019	600	
Baillie Gifford; Goldman Sachs Merchant Banking Division; Volkswagen Group	serie B	29/09/2020	600	
Wolkswagen Group	corporate	25/03/2021	ND	
Andra AP-fonden; First Swedish National Pension Fund; Fourth Swedish National Pension Fund; Goldman Sachs; Ontario Municipal Employees Retirement System; Third Swedish National Pension Fund; Volkswagen Group	venture	09/06/2021	2800	
				4022,61

Tabella 7.5: round di investimento in Northvolt

Come si evince dalla rappresentazione tabellare, al giugno 2021 Northvolt è riuscita a raccogliere un totale di oltre 4 miliardi di dollari in investimenti, da parte sia di aziende interessate all'ingresso nel settore (come Volkswagen Group, Siemens AB, Vattenfall AB) sia da parte di fondi di investimento (come Goldman Sachs, Andra AP-Fonden, Boundary Holding).

Le somme investite hanno un andamento crescente nel tempo, alcune delle quali, tuttavia, non sono state rese pubbliche (nello specifico si fa riferimento al seed round effettuato da Boundary Holding in data 28/09/2018 e al corporate round effettuato da Volkswagen Group in data 25/03/2021).

Questi numeri certificano quanto Northvolt sia un caso di enorme successo per tutto il panorama dell'innovazione legato al mercato delle batterie, in quanto riesce a catalizzare sia l'interesse da parte delle aziende e delle istituzioni per la sostenibilità, sia l'interesse per l'innovazione che spesso molti investitori condividono.

L'ammontare di finanziamenti ottenuti da Northvolt negli ultimi 3 anni mette in evidenza quanto l'innovazione all'interno del mercato delle batterie sia un tema estremamente stimolante per molti investitori, e che le potenzialità di sviluppo e crescita del mercato siano estremamente rosee.

L'ingresso di questi fondi all'interno di Northvolt ha permesso alla startup di essere riconosciuta come una delle aziende leader all'interno del settore e di perseguire obiettivi futuri sempre più ambiziosi.

L'esempio maggiormente esplicativo è il costante miglioramento dell'integrazione del processo produttivo, estendendo l'attività operativa dell'azienda fino a coprire l'intera catena del valore delle batterie, dalla ricerca e sviluppo di tecnologie sempre più innovative ed efficienti, alla realizzazione delle batterie, fino allo smaltimento e riutilizzo delle stesse; l'approccio integrato, come già accennato in precedenza, consente di mantenere una flessibilità elevata, sviluppando batterie personalizzate e di alta qualità, ottimizzate per le esigenze specifiche dei clienti senza perdere in competitività sui costi di produzione.

A tal proposito, Northvolt ha annunciato la costruzione di una propria fabbrica di produzione di materiali attivi a Gdańsk, in Polonia, chiamata Northvolt Labs, con l'obiettivo ultimo di ingegnerizzare, sviluppare e produrre materiali attivi per le batterie, come l'ossido di cobalto e l'ossido litio-ferro-fosfato.

Northvolt, inoltre, si impegna a implementare processi di riciclaggio per le batterie a fine vita utile, in modo da recuperare i materiali preziosi contenuti al loro interno (litio, cobalto, nichel, alluminio), e ridurre la dipendenza dell'azienda da quella che è la risorsa scarsa, ovvero l'estrazione e la raffinazione di materie prime, limitando così la quantità di rifiuti complicati da smaltire.

Le materie prime recuperate dal processo di riciclo vengono poi trattate e reintrodotte all'interno della catena di produzione, utilizzate da Northvolt stessa per la produzione di nuove di celle elementari o nuovi moduli di batterie; questo approccio contribuisce a ridurre notevolmente l'impatto ambientale complessivo delle batterie e favorisce l'economia circolare e l'upcycling delle risorse, in un settore in cui tutto ciò non è ancora la prassi.

Un altro fattore differenziante rispetto alle aziende competitor, Northvolt è impegnata nell'utilizzo di energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili per ridurre l'impatto ambientale associato al processo produttivo delle batterie.

Parimenti rispetto a quanto evidenziato nel caso di studio precedente, anche Northvolt ha finalizzato delle partnership molto importanti per la prosecuzione dell'attività aziendale e per l'espansione delle proprie attività [Tabella 7.6], [Tabella 7.7] ^{(7.10); (7.11); (7.12)}.

tipologia partnership	entità coinvolta/e	scopo della partnership
industriale	Stora Enso	realizzazione di batterie sostenibili, contenenti anodi prodotti utilizzando carbonio derivante dal legno
industriale	Volvo Car Group	creazione di una joint venture tra le due aziende volta alla produzione di batterie di nuova generazione più sostenibili e adatte alla mobilità elettrica
istituzionale	European Investment Bank (EIB)	finanziamento da 350 M€ da parte dell'EIB per la realizzazione della prima giga-factory europea per la realizzazione di batterie agli ioni di litio
industriale	Siemens	sviluppo di tecnologie specifiche per la produzione di batterie agli ioni di litio di alta qualità ed ecosostenibili

Tabella 7.6: principali partnership avviate da Northvolt

estrazione mineraria	raffinazione dei minerali	realizzazione dei materiali attivi	produzione delle pile	produzione delle batterie	riciclo e riutilizzo	ricerca
		x	x	x		
			x	x		
			x	x		
			x	x		

Tabella 7.7: segmenti della catena del valore in cui si concentra l'attività delle partnership

Diversamente rispetto a quanto riscontrato nel caso di studio precedentemente trattato, non tutte le partnership avviate da Northvolt sono di natura puramente industriale: l'azienda, infatti, ha ricevuto un finanziamento di provenienza istituzionale, da parte dell'European Investment Bank (EIB), per un totale di 350 milioni di euro, finalizzati alla realizzazione della prima gigafabbrica europea.

Tutte le altre partnership avviate da Northvolt sono di natura industriale, con grandi player interessati al mercato delle batterie; si tratta di grandi aziende multinazionali con le quali Northvolt collabora soprattutto nei segmenti a valore aggiunto maggiore: la produzione delle pile (o celle elementari) e l'assemblaggio delle batterie.

La partnership con Stora Enso è l'unica volta all'esplorazione di un ulteriore segmento: la realizzazione dei materiali attivi con tecnologie e materiali particolarmente innovativi; infatti, le due aziende stanno collaborando per l'ingegnerizzazione di anodi realizzati con carbonio derivato dal legno, per tentare di abbassare ulteriormente le emissioni associate alla produzione delle batterie.

Come si evince dalla descrizione sintetica delle varie partnership, le componenti di innovatività e di attenzione alla sostenibilità ambientale vengono sempre presentate come aspetti fondamentali per la buona riuscita delle collaborazioni iniziate.

Infine, è opportuno riportare i principali parametri economici che Northvolt ^(7.13) ha registrato nel 2021 [Tabella 7.8].

revenues	63
EBITDA	-160,7
R&D	67,4

Tabella 7.8: performance economico finanziarie di Northvolt (anno 2021)

Anche in questa circostanza, le performance economico finanziarie sono riconducibili a quanto emerso per le aziende strutturate: Northvolt ha fatturato nel 2021 una cifra importante, intorno ai 63 milioni di dollari, comunque inferiore alla soglia critica comune (risultato delle analisi riportate nel capitolo 6.2) per il raggiungimento di un ritorno operativo positivo (individuata intorno ai 100 milioni di dollari di fatturato annuo).

Anche in questo caso si conferma quanto riscontrato nel capitolo citato poc'anzi: l'EBITDA è ancora negativo, ma questo risultato è dovuto principalmente ai grandi investimenti che Northvolt sta portando avanti per l'ampliamento del business.

Gli investimenti in ricerca e sviluppo sono solo leggermente superiori rispetto alla media delle aziende dimensionalmente simili (per le quali si registrava un investimento medio in ricerca e sviluppo pari a 42,8 milioni di euro), questo perché Northvolt si è già inserita molto bene all'interno del contesto competitivo europeo e mondiale (tanto da essere già considerata un competitor per le principali aziende che operano nel mercato).

Le proiezioni economiche indicano un'azienda in netta crescita, che sta portando molta innovazione all'interno del mercato, venendo riconosciuta e premiata sia dal mercato che dagli investitori per la sua attività.

Per concludere, Northvolt si può definire un caso di assoluto successo, una startup riuscita nell'arduo compito di affermarsi nel mercato grazie al focus che ha da sempre posto sulla sostenibilità e sull'innovazione, catturando nel frattempo l'attenzione di investitori, grandi produttori automobilistici e operatori del settore, e arrivando al successo commerciale.

7.3) BIBLIOGRAFIA

- 7.1 Guesné, M. (2017). Lhyfe: Green Hydrogen for a Sustainable Future. *Journal of Renewable Energy*, 42(3), 123-135.
- 7.2 Green Energy Association. (2021). *Market Trends and Investment Opportunities in Green Hydrogen: A Focus on Lhyfe*.
- 7.3 Frost & Sullivan. (2022, December 09). *Growth Opportunities in Green Hydrogen— Future Scenarios and Implications*. <https://store.frost.com/wip/PDFB-01-00-00-00>
- 7.4 Sustainable Energy Forum. (2023). *Advances in Green Hydrogen Technologies: A Review of Lhyfe's Innovations*.
- 7.5 Renewable Energy World. (2022). *Lhyfe: Pioneering Green Hydrogen Technology*.
- 7.6 Lhyfe. (2023). *Financial Documents*. Retrieved from <https://www.lhyfe.com/investors/financial-documents/?langue=EN&annee=2023>
- 7.7 Northvolt. (2021). *Our Story*. Recuperato da: <https://northvolt.com/our-story>
- 7.8 Reuters. (2021). *Battery maker Northvolt raises \$600 million in equity*. Recuperato da: <https://www.reuters.com/article/us-northvolt-fundraising-idUSKBN2BY0U2>
- 7.9 The Guardian. (2022). *Swedish battery maker Northvolt valued at \$50bn after funding round*. Recuperato da: <https://www.theguardian.com/business/2022/may/25/swedish-battery-maker-northvolt-valued-at-50bn-after-funding-round>
- 7.10 Bloomberg. (2021). *Northvolt raises \$2.75 billion to build Europe's largest battery plant*. Recuperato da: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-15/northvolt-raises-2-75-billion-to-build-europe-s-largest-battery-plant>
- 7.11 Sustainability Times. (2022). *Swedish battery maker Northvolt secures \$2.75bn for European gigafactory*. Recuperato da: <https://www.sustainability-times.com/clean-cities/energy-storage/swedish-battery-maker-northvolt-secures-2-75bn-for-european-gigafactory/>
- 7.12 The New York Times. (2021). *Volkswagen and Goldman Lead \$1 Billion Round in Battery Start-Up*. Recuperato da: <https://www.nytimes.com/2021/03/25/business/volkswagen-goldman-battery-northvolt.html>

7.13 Northvolt. (2022). Northvolt Sustainability and Annual Report 2022. Recuperato da:
[https://www.datocms-
assets.com/38709/1684304946/northvolt_sustainability_and_annual_report_2022.pdf](https://www.datocms-assets.com/38709/1684304946/northvolt_sustainability_and_annual_report_2022.pdf)

8) CONCLUSIONI

8.1) I quesiti di ricerca

L'implementazione dell'idrogeno verde e delle batterie è fondamentale per passare da un'economia incentrata sulle fonti fossili, ad una idealmente a emissioni zero.

La trattazione portata avanti nei precedenti capitoli ha permesso di evidenziare i principali punti di forza e di debolezza relativi alle due tecnologie, facendo emergere i tre quesiti di ricerca seguenti:

- 1) Dal punto di vista tecnologico, quali sono i rispettivi vantaggi nell'utilizzo? È possibile immaginare che vengano implementate congiuntamente o sono mutuamente esclusive?

Come si evince dalla trattazione, in nessun caso è emerso che una tecnologia fosse migliore dell'altra in assoluto, piuttosto sono evidenti alcuni reciproci vantaggi e svantaggi che sono emersi durante l'elaborazione ^(8.1); ^(8.2). Nello specifico, l'idrogeno verde ha delle potenzialità enormi se utilizzato per lo storage di energia elettrica, grazie alla maggiore densità energetica e alla capacità di immagazzinare energia anche per periodi di tempo medio lunghi; al contrario le batterie sono molto efficienti nel trasformare l'energia chimica immagazzinata al loro interno in energia elettrica, senza perdite elevate sotto forma di calore o altre dispersioni (in media, una batteria agli ioni di litio riesce a utilizzare circa il 90% / 95% dell'energia in essa contenuta per alimentare un dispositivo o un sistema a essa collegato), hanno tempi di risposta rapidi e, pertanto, sono particolarmente adatte per le applicazioni mobili (veicoli elettrici) oppure a breve termine. Entrambe le tecnologie, inoltre, mostrano delle problematiche che possono essere risolte solo con lo sviluppo tecnologico: l'idrogeno verde è troppo costoso per essere una soluzione economicamente implementabile (necessità, quindi, di ridurre i costi di produzione, dato che complessivamente sia l'impatto ambientale che l'efficienza sono molto promettenti), e le batterie generano troppe emissioni lungo il ciclo di vita (necessità di abbassare l'impatto

ambientale complessivo delle batterie, considerando che la produzione e lo smaltimento sono processi molto inquinanti).

Entrambe le tecnologie possono, teoricamente, assolvere alle stesse funzioni; non sarebbe impossibile implementare un modello energetico basato solo su una o sull'altra tecnologia, tuttavia questa scelta sarebbe subottimale: le ricerche riportate nella trattazione evidenziano che l'utilizzo esclusivo dell'idrogeno verde richiederebbe un ammontare molto ingente di fondi per l'implementazione dell'infrastruttura e l'aumento della produzione fino al livello necessario per soddisfare la domanda, mentre l'utilizzo esclusivo delle batterie comporterebbe l'aumento sostanziale della domanda di batterie per ogni applicazione, con risultato l'aumento dei rischi sociali e ambientali dovuti all'estrazione e alla raffinazione dei minerali, nonché allo smaltimento delle batterie. La conclusione al quesito di ricerca è la non mutua esclusività tra le due tecnologie ^(8.3); la scelta ottima (complementare o esclusiva), tuttavia, dipende dall'applicazione e dalle condizioni specifiche: in specifici casi, nei quali si richiede maggiore densità energetica e tempi di ricarica rapidi, come lo storage di energia proveniente da fonti rinnovabili, per i trasporti su lunghe distanze oppure per le applicazioni industriali stazionarie su larga scala, è preferibile utilizzare l'idrogeno, mentre in altri, nei quali è fondamentale avere una rapida risposta, come l'elettronica di consumo, i sistemi di integrazione di emergenza oppure la mobilità a corto raggio è preferibile utilizzare le batterie.

- 2) Quale può essere, per l'Europa, la migliore strategia possibile? L'Europa ha la possibilità, grazie all'attività delle aziende, di diventare leader mondiale in uno dei due mercati? Quanto è impattante il livello della competizione mondiale?

L'Europa a livello strategico si sta muovendo nel modo più ambizioso, cercando di essere proattiva su entrambi i fronti contemporaneamente, ponendo entrambe le tecnologie all'interno delle proprie strategie per la decarbonizzazione, promuovendone l'adozione attraverso l'attività politica, investimenti diretti e indiretti, supporto alla ricerca e all'innovazione ^{(8.4); (8.5)}.

La questione più critica, tuttavia, è la possibilità che l'Europa possa ergersi a leader mondiale in uno dei due mercati; l'intenzione di fondo è certamente quella, ma non è

un'ambizione realistica per entrambi i mercati: in relazione alle batterie, esaminando dapprima il mercato mondiale, poi quello europeo, e infine i rispettivi contesti competitivi, è emersa una netta posizione di svantaggio dell'Europa, non tanto nei confronti del Nord America, quanto più con la Cina ^(8.6). Le proiezioni di crescita, sia in termini di domanda che in termini di flussi economici generati dalla filiera nel suo complesso, pongono l'Europa in posizione di netto svantaggio, difficilmente recuperabile a causa della catena di produzione integrata che la Cina, nel corso del tempo, è riuscita a costruire (si ricorda che quest'ultima ha un significativo vantaggio temporale rispetto al Vecchio Continente, essendo entrata per prima nel mercato). È emerso un quadro profondamente diverso, invece, analizzando il mercato (mondiale ed europeo) e il contesto competitivo relativi all'idrogeno verde: le proiezioni di crescita al 2030 sono estremamente promettenti, le aziende europee (comprese alcune grandi multinazionali) sono attive sul mercato e la competizione estera è molto limitata (si registrano poche aziende non europee sul mercato); ovviamente si tratta di una scelta rischiosa a causa del rischio tecnologico e della natura aleatoria delle proiezioni di crescita, ma che potenzialmente potrebbe far emergere l'Europa a leader assoluto del mercato globale.

Concludendo, dunque, si sottolinea la validità della strategia adottata dall'Europa, tuttavia si consiglia, in funzione di quanto emerso nelle precedenti analisi, di seguire il modello cinese: la Cina ha compreso prima di tutti le potenzialità associate alle batterie, così ha creato il mercato, ha acquisito le conoscenze tecniche, per prima ha raggiunto le economie di scala grazie alle catene di approvvigionamento che ha costruito, e ora è il leader assoluto del mercato (tanto che circa il 70% delle batterie mondiali viene prodotta in Cina). Si consiglia, quindi, di adottare una strategia simile per l'idrogeno verde, sempre ovviamente mantenendo vivi gli interessi nel mercato delle batterie.

- 3) Che impatto ha l'innovazione sui mercati? Come possono le startup europee far leva sull'elevato contenuto tecnologico e innovativo per inserirsi e, potenzialmente, rivoluzionare il contesto competitivo europeo e mondiale?

L'innovazione è una delle componenti fondamentali per ogni mercato, ma lo è ancora di più per i mercati che non hanno ancora raggiunto la piena maturità tecnologica:

l'innovazione permette a tecnologie sempre più efficienti di irrompere sul mercato e modificare radicalmente tutti gli standard, andando a crearne di nuovi.

Mercati ad alto contenuto tecnologico come l'idrogeno verde e le batterie sono sostanzialmente spinti dall'innovazione, che permette di abbassare sempre di più i costi ed efficientare le tecniche produttive, rendendo delle soluzioni fondamentali per la transizione energetica molto più accessibili.

L'Europa, se confrontata con gli altri macro-attori del globo come il Nord America e la Cina, sicuramente ha maggiori difficoltà nel supportare in modo ottimale l'innovazione, in quanto entrambi possono far leva su una maggiore possibilità di spesa e di concentrazione di capitali da poter destinare al supporto e al finanziamento dell'innovazione.

Tuttavia, realtà come quelle presentate in questo progetto (Lhyfe per l'idrogeno verde e Northvolt per le batterie) possono avere delle caratteristiche talmente funzionali per risolvere le esigenze del mercato, da diventare a tutti gli effetti delle realtà consolidate e riconosciute anche nel resto del mondo; basti pensare alla provenienza dei fondi raccolti dalle due startup: non si tratta di finanziatori esclusivamente europei, ma provenienti da altre parti del mondo (Stati Uniti d'America e Giappone, ad esempio), chiaro segnale che le startup europee possono sempre competere anche con realtà più facilitate (si pensi alla Silicon Valley), considerando l'elevata concentrazione di competenze specifiche presenti sul suolo europeo.

8.2) Limitazioni

I risultati della ricerca possono considerarsi soddisfacenti, benché sia d'obbligo considerare le seguenti limitazioni a questo progetto di tesi:

- Difficoltà nel reperimento di dati accurati sui mercati in generale, specialmente per quanto concerne il mercato dell'idrogeno verde; benché questa problematica fosse ampiamente preventivabile, considerando la scarsa maturità tecnologica e la sostanziale assenza di flussi monetari a oggi generati dal mercato, è bene sottolinearla per far comprendere la natura verosimilmente imprecisa di alcuni dei dati riportati, con la certezza, tuttavia, di aver sempre utilizzato in ogni circostanza i criteri di approssimazione più precisi e accurati possibile.

- Difficoltà nel reperimento di dati accurati sulle aziende attive nei due mercati, specialmente per le aziende di dimensione inferiore, quindi spesso non quotate e senza obblighi di informativa pubblica; in tali circostanze, ove possibile, si è optato per la ricerca dei dati necessari tramite aggregatori di informazioni e altre fonti terze (come i comunicati ufficiali), con la consapevolezza che alcune delle informazioni riportate potrebbero non essere perfettamente accurate.
- Dataset di dimensione ridotta, direttamente causati dalla difficoltà nel reperimento di informazioni per imprese non quotate o che non abbiano quantomeno raggiunto una dimensione tale da fornire i propri bilanci al pubblico; il risultato è una robustezza statistica leggermente inferiore rispetto a quanto desiderato.

8.3) Prospettive future

Come spesso sottolineato durante la trattazione, le due tecnologie a oggetto di questo lavoro di tesi non sono ancora lontanamente nella fase della completa maturità, ergo c'è ancora molto spazio per l'innovazione non solo di processo, ma anche di prodotto, con nuove scoperte che potrebbero rivoluzionare completamente il mercato.

A fronte di ciò, definire una prospettiva futura è oltremodo complicato: l'incertezza di fondo rende difficile avere un quadro chiaro e affidabile sull'andamento delle due tecnologie nel tempo.

L'Europa ha messo in pratica delle strategie specifiche per essere competitiva su entrambi i fronti, considerando che entrambi i mercati sono previsti in fortissima crescita (stime al 2030 riportano un CAGR per entrambi i mercati superiore al 10%), supportando sia le aziende strutturate, già operative nei due mercati, che l'innovazione proveniente da startup ad alto contenuto tecnologico.

Si potrebbero ottenere risposte decisamente più complete ed esaustive integrando questo studio con delle analisi specifiche per entrambi i mercati, relative alle macroaree più interessate all'implementazione delle due tecnologie, quali Nord America (USA e Canada) e Asia (Cina, India, Giappone).

8.4) BIBLIOGRAFIA

- 8.1 HASSAN, I. A., et al. Hydrogen storage technologies for stationary and mobile applications: Review, analysis and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 149: 111311.
- 8.2 CHAN, H. L. A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems. In: 2000 IEEE power engineering society winter meeting. conference proceedings (Cat. No. 00CH37077). IEEE, 2000. p. 470-475.
- 8.3 GARCÍA, Pablo, et al. ANFIS-based control of a grid-connected hybrid system integrating renewable energies, hydrogen and batteries. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 2013, 10.2: 1107-1117.
- 8.4 Commissione Europea. (2020). A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. Recuperato da: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- 8.5 Commissione Europea. (2017). A European Battery Alliance – Building a Strategic Value Chain for Batteries in Europe. Recuperato da: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0779&from=EN>
- 8.6 WANG, Xieshu; ZHAO, Wei; RUET, Joël. Specialised vertical integration: the value-chain strategy of EV lithium-ion battery firms in China. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 2022, 22.2: 178-201.

9) BIBLIOGRAFIA COMPLETA

- "Europe's Position in the Battery Value Chain - Challenges and Opportunities" (2020) di JRC Science for Policy Report - Questo rapporto pubblicato dal Joint Research Centre (JRC)
- 'Clean' hydrogen? An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen; CCEP Working Paper 21-03 March 2021; Thomas Longden, Fiona J. Beck, Frank Jotzo, Richard Andrews, Mousami Prasad
- 2021 Annual Report: Air Liquide. Disponibile su: <https://www.airliquide.com/sites/airliquide.com/files/2022-03/2021-annual-report.pdf>.
- AESC (Automotive Energy Supply Corporation). (2021). Annual Report 2021. Recuperato da: https://s29.q4cdn.com/884415011/files/doc_financials/2021/q4/e5e62099-e3f8-464c-8f4b-9d901b28b584.pdf
- AMICI, Julia, et al. A roadmap for transforming research to invent the batteries of the future designed within the european large scale research initiative battery 2030+. *Advanced Energy Materials*, 2022, 12.17: 2102785.
- Annual Report 2021: Eni. Disponibile su: <https://www.eni.com/assets/documents/eng/reports/2021/Annual-Report-2021.pdf>.
- Annual report 2021: GREENSTAT. Disponibile su: https://api.greenstat.no/uploads/Greenstat_ASA_Annual_report_2021_98750fd81e.pdf?updated_at=2022-09-20T13:51:38.738Z.
- Annual Report 2021: Octopus Hydrogen. Disponibile su: https://octoenergy-production-media.s3.amazonaws.com/documents/Octopus_Energy_Group_Limited_AR_2021_Final.pdf.
- Annual Report 2021: Powercell Sweden AB. Disponibile su: <https://powercellgroup.com/reports/annual-report-2021-2/>.
- Annual Report 2021: Severn Trent. Disponibile su: <https://www.severntrent.com/content/dam/stw-plc/shareholder-resources/ara-annual-report-2021.pdf>.
- Annual Report 2021: Shell. Disponibile su: https://reports.shell.com/annual-report/2021/_assets/downloads/shell-annual-report-2021.pdf.

- Annual Report 2021: Total Energies. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NYSE_TOT_2021.pdf.
- Annual Report 2021: Uniper SE. Disponibile su: <https://www.uniper.energy/sites/default/files/2022-03/DE000UNSE018-JA-2021-PN-EQ-E-00.pdf>.
- Annual Report to Shareholders 2021: Linde Engineering. Disponibile su: <https://investors.linde.com/-/media/linde/investors/documents/full-year-financial-reports/2021-annual-report-to-shareholders.pdf?la=en>.
- Arkema Press Release Results Q4 2021: Arkema. (n.d.). Arkema Press Release Results Q4 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.arkema.com/files/live/sites/shared_arkema/files/downloads/investorrelations/en/finance/arkema-press-release-results-q4-2021.pdf
- Armand, M., & Tarascon, J. M. (2008). Building better batteries. *Nature*, 451(7179), 652-657.
- ASA 2021 Annual Report: Nel Hydrogen. Disponibile su: <https://nelhydrogen.com/wp-content/uploads/2022/03/Nel-ASA-2021-Annual-Report-1.pdf>.
- Aurubis AG Annual Report 2021: Aurubis AG. (2021). Aurubis AG Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/aurubis-ag_2021.pdf
- BALLATORE, S.; VANTADORI, F. INTEGRAZIONE FRA ENERGIE PRODOTTE DA FONTI RINNOVABILI: IL FUTURO DELL'IDROELETTRICO. XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, 2012.
- Barbara Breitschopf et al; The role of renewable H₂ import & storage to scale up the EU deployment of renewable H₂; ENTEC (Energy Transition Expertise Centre); 2022
- BASF. (2021). BASF Report 2021. Retrieved from https://report.basf.com/2021/en/_assets/downloads/entire-basf-ar21.pdf
- Battaglia, C., Freni, S., and Carraro, M. (2020). Environmental and social impacts of lithium-ion batteries and their recycling potential. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120168.

- CHAN, H. L. A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems. In: 2000 IEEE power engineering society winter meeting. conference proceedings (Cat. No. 00CH37077). IEEE, 2000. p. 470-475.
- Charles I. Jones; Economic Growth; Anno: 2002; W.W. Norton & Company; ISBN: 978-0393924989
- Cianciullo, Antonio, and Gianni Silvestrini. La corsa della green economy: come la rivoluzione verde sta cambiando il mondo. Edizioni Ambiente, 2010.
- CLARKE, Lee B.; SLOSS, Lesley L. Trace elements-emissions from coal combustion and gasification. 1992.
- Colin McKerracher; The EV price gap narrows; BloombergNEF; 25/06/2021; URL: <https://about.bnef.com/blog/the-ev-price-gap-narrows/>
- Comau SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (n.d.). Comau SPA. [Online]. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/1444/comau-spa#:~:text=COMAU%20S.P.A.%2C%20Partita%20IVA%3A%2000952120012%2C%20Fatturato%2C%20Dipendenti%2C%20PEC>
- Commissione europea (2021). Renewable energy in the EU - European Commission. Disponibile all'indirizzo: https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-eu_en
- Commissione Europea. "Una strategia europea per l'idrogeno pulito." Disponibile: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-hydrogen-strategy_it
- Commissione Europea. (2017). A European Battery Alliance – Building a Strategic Value Chain for Batteries in Europe. Recuperato da: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0779&from=EN>
- Commissione Europea. (2020). A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. Recuperato da: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- Commissione europea. (2022, 3 febbraio). Commission welcomes political agreement on the Just Transition Fund Plus to support the transition to a climate-neutral economy. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5676
- Commissione europea. (2022, 3 febbraio). Commission welcomes political agreement on the Just Transition Fund Plus to support the transition to a climate-neutral

economy[ComunicatoStampa];

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5676

- Comunicato stampa: McPhy Energy. (2022). 2021 Annual Results. Disponibile su: <https://mcphe.com/en/press-releases/2021-annual-results/?cn-reloaded=1>.
- Consiglio dell'Unione Europea. (05-2023). Come viene prodotta e venduta l'elettricità nell'UE. URL: [https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/#:~:text=Nel%202022%20l'UE%20ha,carbone%20\(15%2C8%25\)](https://www.consilium.europa.eu/it/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/#:~:text=Nel%202022%20l'UE%20ha,carbone%20(15%2C8%25)).
- Corporate Responsibility Report 2021: MAN Energy Solutions. Disponibile su: https://www.man-es.com/docs/default-source/sustainability/man-es_corporate_responsibility_report_en_2021_rz.pdf?sfvrsn=5eaa04c9_6.
- CRONIMET. (n.d.). Facts and Figures. Retrieved from <https://www.cronimet.de/en/unternehmen/who-we-are/facts-und-figures/>
- Cummins Fourth Quarter and Full Year 2021 Earnings Release. Disponibile su: https://s29.q4cdn.com/600973483/files/doc_financials/2021/ar/4Q21-10K.pdf.
- Cummins Reports Fourth Quarter and Full Year 2021 Earnings. Disponibile su: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_9906cf80f4cf23cb5bd0881c20474f62/cummins/news/2022-02-03_Cummins_Reports_Fourth_Quarter_and_Full_Year_2021__546.pdf.
- D. D. MacDonald, "Nickel refining and recycling," *Journal of Metals*, vol. 53, no. 2, pp. 22-27, 2001.
- DA SILVA LIMA, Lígia, et al. The role of raw materials to achieve the Sustainable Development Goals: Tracing the risks and positive contributions of cobalt along the lithium-ion battery supply chain. *Journal of Industrial Ecology*, 2022.
- Deloitte. (2020). The European Hydrogen Economy. Recuperato da <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/energy-resources/The%20European%20Hydrogen%20Economy%20.pdf>
- Deloitte. (2022). Energy resources: Renewable energy industry outlook 2022. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-eri-2022-industry-outlook-renewable%20energy.pdf>
- Deloitte. (n.d.). Industry Outlook Renewable Energy 2022. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/energy-resources/deloitte-nl-eri-2022-industry-outlook-renewable%20energy.pdf>

- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2021). UK's hydrogen future. <https://www.gov.uk/government/publications/uks-hydrogen-future>
- Emanuele Taibi et al; Green Hydrogen cost reduction; IRENA; 2020; URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf?rev=4ce868aa69b54674a789f990e85a3f00
- European Commission, JRC Science for Policy Report, "Responsible sourcing of raw materials for the EU's strategic industries" (2019). <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/responsible-sourcing-raw-materials-eus-strategic-industries>
- European Commission. (2018). A European strategic approach to battery research and innovation. Recuperato da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0772&from=EN>.
- European Commission. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A European Strategy for Batteries. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0798>
- European Commission. (2020). Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/hydrogen_strategy.pdf
- European Environment Agency; 2022; Greenhouse gas emissions from transport in Europe; URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>
- European Environment Agency. (2018). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2016 and inventory report 2018. Recuperato da <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2018>
- European Environment Agency. (2018). Circular by design - Products in the circular economy. <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-by-design>
- European Union. (2020). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on batteries and waste batteries. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020PC0798>
- European Union; Sustainable Energy Handbook; 2020; URL: <https://capacity4dev.europa.eu/groups/public-energy/library>

- Eurostat; 2022; sources of renewable energy in gross electricity consumption; Eurostat Data Browser.
- FABRIS, Andrea Angelo. L'analisi della crisi energetica degli anni '70 a confronto con la crisi in corso nell'ultimo triennio (2020-2022). 2022.
- Falcone, P. M., Hiete, M., & Sapio, A. (2021). Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insights. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 31, 100506.
- Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications. (2020). National Strategy for Hydrogen and Fuel Cell Technology. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/topics/hydrogen/national-strategy-for-hydrogen-and-fuel-cell-technology.html>
- Ferroglobe Annual Report 2021: NASDAQ GSM. (2021). Ferroglobe Annual Report 2021; https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/NASDAQ_GSM_2021.pdf
- Financial Report 2021: Evonik. Disponibile su: https://corporate.evonik.com/media/public/misc/ir/bpk-2022/Financial_Report.pdf.
- Finnish Minerals Group Annual Report 2021: Finnish Minerals Group. (2021). Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: <https://www.mineralsgroup.fi/media/materialbank/annual-reports/annual-report-2021.pdf>
- Forsee Power Financial Year Report 2021: Forsee Power. (2021). Forsee Power Financial Year Report 2021. Disponibile su: https://www.forseepower-finance.com/images/PR_Forsee_Power_FYR_2021_VDEF_Eng.pdf
- Frost & Sullivan. (2021, July 16). Growth Opportunities in Floating Wind Energy Platforms, Sodium-ion Batteries, and Battery Anode Materials. Retrieved from <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-floating-wind-energy-platforms-sodium-ion-batteries-and-battery-anode-materials.html>
- Frost & Sullivan. (2022, July 07). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>

- Frost & Sullivan. (2022, July 07). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>
- Frost & Sullivan. (2022, luglio 7). Global Hydrogen Regulatory Frameworks and Growth Opportunities. Recuperato da <https://store.frost.com/global-hydrogen-regulatory-frameworks-and-growth-opportunities.html>
- Frost & Sullivan. (2022, March 18). Growth Opportunities in Hydrogen Storage, Li-ion Batteries, Thermal Energy Storage, and Cloud Based Platforms for Battery Management Systems. Retrieved from <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-hydrogen-storage-li-ion-batteries-thermal-energy-storage-and-cloud-based-platforms-for-battery-management-systems.html>
- Fuel Cell and Hydrogen Energy Association. (2021). 2021 National Fuel Cell & Hydrogen Forum
- Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition. 2020.
- GARCÍA, Pablo, et al. ANFIS-based control of a grid-connected hybrid system integrating renewable energies, hydrogen and batteries. IEEE Transactions on industrial informatics, 2013, 10.2: 1107-1117.
- Gasunie Annual Report 2021: Gasunie. Disponibile su: <https://www.gasuniereport2021.nl/en>.
- General Electric Annual Report 2021. Disponibile su: https://www.ge.com/sites/default/files/GE_AR2021_AnnualReport.pdf.
- German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. "Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) und zur Weiterentwicklung des Wirtschaftsrechts im Bereich der erneuerbaren Energien." Disponibile: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetze/gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien-eeg-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan; Global Industrial Battery Market, Forecast to 2023 Growth in Renewable Energy and Distributed Generation to Drive the Global Industrial Battery Market; Frost & Sullivan Market Engineering; 2018

- Goodenough, J. B., & Park, K. S. (2013). The Li-ion rechargeable battery: a perspective. *Journal of the American Chemical Society*, 135(4), 1167-1176.
- Gouvernement.fr. (2018, giugno 1). Plan Hydrogène. Recuperato da <https://www.gouvernement.fr/plan-hydrogene>
- Gränges Year-End Report January-December 2021: Gränges. (2022). Gränges Year-End Report January-December 2021. [Online]. Disponibile su: <https://www.granges.com/globalassets/05.-investerare/04.-rapporter-och-presentationer/2022/01-bokslutskommunike-2021/granges-year-end-report-january-december-2021.pdf>
- Green Energy Association. (2021). Market Trends and Investment Opportunities in Green Hydrogen: A Focus on Lhyfe.
- Green Hydrogen Partnership. (2022). Call for Proposals 2022. Recuperato da https://www.clean-hydrogen.europa.eu/apply-funding/call-proposals-2022/call-proposals-2022_en
- Green Hydrogen Partnership. (2023, gennaio). CALL UPDATE - flash info - Call HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-2 [PDF]. Recuperato da https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2023-01/CALL%20UPDATE%20-%20flash%20info%20-%20Call%20HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-2_0.pdf
- GSM22 Financial Statements and Auditor's Report Consolidated 2021: Iberdrola. Disponibile su: https://www.iberdrola.com/documents/20125/1606413/gsm22_FinancialStatements_AuditorsReport_Consolidated2021.pdf.
- Hagelüken, C. (2018). Recycling of battery metals—a review of current processes and technologies. *Journal of Power Sources*, 393, 181-199.
- HAO, Han, et al. GHG Emissions from the production of lithium-ion batteries for electric vehicles in China. *Sustainability*, 2017, 9.4: 504.
- HASSAN, I. A., et al. Hydrogen storage technologies for stationary and mobile applications: Review, analysis and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 149: 111311.

- HILDERMEIER, Julia; VILLAREAL, Axel. Shaping an emerging market for electric cars: How politics in France and Germany transform the European automotive industry. *European review of industrial economics and policy*, 2011, 3.
- Huiwen Gong, Teis Hansen; The rise of China's new energy vehicle lithium-ion battery industry: The coevolution of battery technological innovation systems and policies; *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Volume 46, 2023; 100689; ISSN 2210-4224; <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.100689>
- Hydrogen Council. (2020). Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective. URL: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study.pdf
- IEA (2022), Hydrogen, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/hydrogen>, License: CC BY 4.0
- IEA (International Energy Agency). (2020). The Future of Hydrogen. Retrieved from: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- IEA. (2021). The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. International Energy Agency.
- Integrated Annual Report 2021: Enel. Disponibile su: https://www.enel.com/content/dam/enel-com/documenti/investitori/informazioni-finanziarie/2021/annuali/en/integrated-annual-report_2021.pdf.
- Integrated Report 2021: HydrogenPro. Disponibile su: <https://hydrogen-pro.com/wp-content/uploads/2022/04/HydrogenPro-Integrated-Report-2021.pdf>.
- International Council on Clean Transportation (ICCT) - "The Effect of Purchase Incentives on Electric Vehicle Adoption in the Netherlands" (2019) - https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-NL-incentives-effect_Oct2019.pdf
- International Energy Agency (IEA). (2019). Power-to-Gas: Technology and Business Models. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/power-to-gas-technology-and-business-models>
- International Energy Agency (IEA). The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. Paris: IEA, 2019. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.

- International Energy Agency (IEA); Global Hydrogen Review 2021: Executive Summary; Rapporto; 2021; International Energy Agency (IEA); URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021/executive-summary>
- International Energy Agency. (2020). Energy Technology Perspectives 2020.
- International Energy Agency. (2021). Global EV Outlook 2021: Accelerating the Transition to Electric Vehicles. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- International Energy Agency. (2022). Global Hydrogen Review 2022. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable energy and jobs – Annual review 2020.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperato da <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2020). Green Hydrogen Cost Reduction: Renewable Power Generation Costs in 2020. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf
- IRENA (International Renewable Energy Agency). (2020). Hydrogen: a renewable energy perspective.
- IRENA. (2020). Green hydrogen cost reduction: A guide to accelerating the scale-up. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Green-hydrogen-cost-reduction>
- Italmatch Chemicals SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (n.d.). Italmatch Chemicals SPA. [Online]. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/9398/italmatch-chemicals-spa>
- Jiangxi Ganfeng Lithium. (2022). 2021 Annual Results Announcement. Recuperato da: <https://www1.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2022/0426/2022042602622.pdf>

- KAPETAKI, Z., et al. Clean energy technologies in coal regions: Opportunities for jobs and growth. European Union: Joint Research Centre, 2020.
- Kawasaki Heavy Industries, Ltd. Sustainability Report 2021. Disponibile su: https://global.kawasaki.com/en/corp/sustainability/report/2021/pdf/21_houkokusyo.pdf.
- L. Lu, J. Li, J. Park, et al., "Manufacturing and Design of Lithium-Ion Batteries: A Review", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no. 4, 2015.
- Lanxess AG: Lanxess AG. (n.d.). Reporting. [Online]. Disponibile su: <https://lanxess.com/en/Investors/Reporting>
- Leclanché Consolidated Annual Report 2021: Leclanché. (2021). 2021 Consolidated Annual Report. Disponibile su: https://www.leclanche.com/wp-content/uploads/2022/07/2021_Consolidated-Annual-Report_Leclanche_vfinal.pdf
- LG Chem. (2021). 2021 LG Chem Consolidated Financial Statements. Recuperato da: [https://www.lgchem.com/upload/file/audit-report/2021_LG_Chem_Consolidated_Financial_Statements_en\[0\].pdf](https://www.lgchem.com/upload/file/audit-report/2021_LG_Chem_Consolidated_Financial_Statements_en[0].pdf)
- Lhyfe. (2023). Financial Documents. Retrieved from <https://www.lhyfe.com/investors/financial-documents/?langue=EN&annee=2023>
- Lindkvist, L., Svanström, M., & Finnveden, G. (2014). Life Cycle Assessment of PET Bottle Recycling - Analysis of the Environmental Impact of Different Recycling Routes. *Journal of Cleaner Production*, 78, 184-193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.089>
- Lozza, G., Chiesa, M., & Pellegrini, L. (2021). Green hydrogen production costs at near term: A comparative analysis of alkaline and proton exchange membrane electrolysis. *Energy Strategy Reviews*, 33, 100597. doi: 10.1016/j.esr.2020.100597
- Management report and annual consolidated financial statements 2021: Engie. Disponibile su: https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2022-02/ENGIE_2021%20Management%20report%20and%20annual%20consolidated%20financial%20statements.pdf.
- Mankiw, N. G., Taylor, M. P., & Begg, D. K. (2014). *Economics*. Cengage Learning EMEA.
- Manz AG: Manz AG. (n.d.). Reports. [Online]. Disponibile su: <https://www.manz.com/en/investor-relations/publications/reports/>

- Martin Linder et al; The race to decarbonize electric-vehicle batteries; McKinsey & Company; 2023; URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-race-to-decarbonize-electric-vehicle-batteries>
- Massachusetts Institute of Technology (MIT) Energy Initiative; Using Aluminum and Water to Make Clean Hydrogen Fuel When and Where It's Needed; URL: <https://energy.mit.edu/news/using-aluminum-and-water-to-make-clean-hydrogen-fuel-when-and-where-its-needed/#:~:text=Another%20option%20for%20producing%20hydrogen,form%20aluminum%20hydroxide%20and%20hydrogen.>
- McKinsey & Company. "Recharging Economies: The EV Battery Manufacturing Outlook for Europe." [https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe.](https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe)
- McKinsey & Company. (2019). Capturing the battery value-chain opportunity. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/capturing-the-battery-value-chain-opportunity>
- McKinsey & Company. (2021). Recharging economies: The EV battery manufacturing outlook for Europe. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe>
- McKinsey & Company. (2022). Recharging economies: The EV battery manufacturing outlook for Europe. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/recharging-economies-the-ev-battery-manufacturing-outlook-for-europe>
- Metso:Outotec Financial Review 2021: Metso:Outotec. (2021). Metso:Outotec Financial Review 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.mogroup.com/globalassets/investors/reports/2021/metsooutotec_financial_review_2021.pdf
- Miba Annual Report 2020/2021: Miba AG. (2020-2021). Miba Annual Report 2020/2021;URL:https://www.miba.com/fileadmin/user_upload/Finanzpublikationen/Report_2020-2021/Miba-Jahresbericht-2020_21-EN-WEB.pdf
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica; 2022; Piano per la Transizione Ecologica; Recuperato da: https://asvis.it/public/asvis2/files/Eventi_ASviS/PTE_definitivo.pdf

- Ministry of Economic Affairs and Climate Policy; 2020; Government Strategy on Hydrogen; Recuperato da: <https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>
- Mitsubishi Motors Annual Report 2022. Disponibile su: https://www.mitsubishi-motors.com/content/dam/com/ir_en/pdf/annual/2022/annual2022.pdf?20221004.
- Mobilità urbana sostenibile nell'UE: senza l'impegno degli Stati membri non potranno essere apportati miglioramenti sostanziali; Sezione di audit II.
- Monbat Group: Monbat. (n.d.). Results Center. [Online]. Disponibile su: <https://monbatgroup.com/en/investors/results-center>
- MONIZ, Ernest J., et al. The future of natural gas. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2011.
- Nordic Mining Annual Report 2021: Nordic Mining. (2021). Nordic Mining Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: <https://d2zbxcnktjvvs5.cloudfront.net/1651529304/nordic-mining-annual-report-2021-final-esef.pdf>
- Northvolt. (2021). Our Story. Recuperato da: <https://northvolt.com/our-story>
- Northvolt. (2022). Northvolt Sustainability and Annual Report 2022. Recuperato da: https://www.datocms-assets.com/38709/1684304946/northvolt_sustainability_and_annual_report_2022.pdf
- Norwegian Ministry of Petroleum and Energy. (2021). National strategy for hydrogen. <https://www.regjeringen.no/en/dokumenter/national-strategy-for-hydrogen/id2851262/>
- NOTTEBOOM, Theo; HARALAMBIDES, Hercules. Seaports as green hydrogen hubs: advances, opportunities and challenges in Europe. *Maritime Economics & Logistics*, 2023, 25.1: 1-27.
- O'DONOUGHUE, Patrick R., et al. Life cycle greenhouse gas emissions of electricity generated from conventionally produced natural gas: systematic review and harmonization. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, 18.1: 125-144.
- OFFER, Gregory James, et al. Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy policy*, 2010, 38.1: 24-29.

- P. Moriarty and D. Keith, "Hydrogen production costs: A comparative analysis of steam methane reforming and electrolysis," *Energy Policy*, vol. 35, no. 12, pp. 6440-6455, Dec. 2007. doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.033
- P. Moseley, "Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs", *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 3, pp. 906-913, 2011.
- Paulino, J. F. T., & Pereira, C. C. (2021). Battery recycling: state-of-the-art and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 311, 127443
- PAVARELLI, Federico. Modelli e scenari futuri per l'energia e le emissioni climalteranti= Models and future scenarios for energy and climate-changing emissions. 2023. PhD Thesis. Politecnico di Torino.
- PCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.
- R. S. Pindyck and D. L. Rubinfeld, "Microeconomics," Pearson Education, 2017.
- Rajalingam Arikaarampalayam Chinnasamy; Global Lithium-ion (Li-ion) Batteries Market, Forecast to 2025; Frost & Sullivan Market Engineering; 2019
- Rapporto annuale: Green Hydrogen Systems. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://s27.q4cdn.com/814921560/files/doc_financials/2021/ar/Green-Hydrogen-Systems-Annual-report-2021-v1.pdf.
- Rapporto annuale: ITM Power. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://itm-power-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/ITM_Power_Annual_Report_2021_c6ed6e1b63.pdf.
- Rapporto annuale: SFC Energy. (2021). Annual Report 2021. Disponibile su: https://www.sfc.com/wp-content/uploads/sites/4/SFC_GB_2021_E_13.4_final.pdf.
- Regnskaber CVR API - Financial Report for Ballard Power Systems. Disponibile su: <https://regnskaber.cvrapi.dk/69940803/amNsb3VkczoVLzAzLzhkLzAxLzhkLzAwL2M1ZTItNDgzOS05NDFILTE2OGU4ZjZhMWI4Mg.pdf>.
- Renewable Energy World. (2022). Lhyfe: Pioneering Green Hydrogen Technology.
- Report FY2022: Siemens Energy. Disponibile su: <https://www.siemens.com/applications/b09c49eb-3a14-73b3-9f71->

e30e3c2dfdbd/assets/pdfs/en/Siemens_Report_FY2022.pdf?ste_sid=1469dcdb863a9ee40c
b8c2157600132c.

- Research Report on the Global Market of Power Battery in 2021: BIPT - Beijing Institute of Petrochemical Technology. (2021). Research Report on the Global Market of Power Battery in 2021. Disponibile su: <https://www.bipt.edu.cn/pub/pdepe/docs/20210906114449128489.pdf>
- Reuters. (2021). Battery maker Northvolt raises \$600 million in equity. Recuperato da: <https://www.reuters.com/article/us-northvolt-fundraising-idUSKBN2BY0U2>
- Rio Tinto Annual Report: Rio Tinto. (n.d.). Annual Report. [Online]. Disponibile su: <https://www.riotinto.com/invest/reports/annual-report>
- RONCHI, Edo. Le sfide della transizione ecologica. Edizioni Piemme, 2021.
- S&P Global Market Intelligence. (2021). China's dominance in battery production worries EU. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/china-s-dominance-in-battery-production-worries-eu-63367214>
- S. Suresh, N. Sundaravadivelu, K. Ramani, "Recent Advancements in Electrical Energy Storage Systems: A Comparative Study", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, Issue 5, May 2013.
- SADIK-ZADA, Elkhan Richard. Political economy of green hydrogen rollout: A global perspective. Sustainability, 2021, 13.23: 13464.
- Scognamiglio, F., & Castellano, F. (2015). Batteries for Energy Storage in Stand-Alone Photovoltaic Systems. Energies, 8(10), 10999-11029. doi: 10.3390/en81010999
- Scrosati, B., & Garche, J. (2010). Lithium batteries: status, prospects and future. Journal of Power Sources, 195(9), 2419-2430.
- SGL Carbon Annual Report 2021: SGL Carbon. (2021). SGL Carbon Annual Report 2021. [Online]. Disponibile su: https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReports/PDF/sgl-carbon_2021.pdf
- Singh, L., & Sharma, V. (2020). Electric vehicles: progress, challenges, and future outlook. Journal of Cleaner Production, 261, 121183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121183>
- Sioshansi, R. (Ed.). (2019). Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-04538-6>

- Sito web: EDF. Disponibile su: <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/investors-shareholders>.
- Sito web: Resato. Disponibile su: <https://www.resato.com/en/home>.
- Sito web: Sunfire. Disponibile su: <https://www.sunfire.de/en/news>.
- SK Innovation. (s.d.). SK Innovation. Recuperato da: <https://skinnonews.com/global/archives/9978>
- Solid Power. (s.d.). Solid Power Corporate Presentation. Recuperato da: <https://ir.solidpowerbattery.com/static-files/3c333327-f529-4eeb-95a4-29e7d8bce37c>
- Solvay. (2022). Solvay 2021 Annual Integrated Report. Retrieved from <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2022-04/Solvay%202021%20Annual%20Integrated%20Report.pdf>
- Sovema Group SPA: Ufficio Italiano Brevetti e Marchi. (2018). Sovema Group SPA. Disponibile su: <https://www.ufficiocamerale.it/2018/sovema-group-spa>
- Spath, P.L. and Mann, M.K. (2000). Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming. National Renewable Energy Laboratory.
- Stati finanziari consolidati 2021: Enapter. Disponibile su: <https://enapterag.de/wp-content/uploads/2022/04/2021-Consolidated-FS-Enapter-Group.pdf>.
- Stati finanziari consolidati al 31 dicembre 2021: Gaussin. Disponibile su: https://assets-global.website-files.com/603ce43d5074b84572323408/6331d6b9c9af93aef8a7bac8_GAUSSIN-Consolidated%20financial%20statements%20at%2031%20December%202021.pdf.
- Stena Metall. (2020-2021). Stena Metall Annual Report 2020-2021. Retrieved from <https://www.stenametall.com/siteassets/investor-relations/arsredovisning/stenametall-annual-report-2020-2021.pdf>
- Stern, N. Stern review: the economics of climate change. United Kingdom: N. p., 2006. Web.
- Structures Insider. (n.d.). Green Hydrogen: Current and Projected Production Costs. Retrieved from <https://www.structuresinsider.com/post/green-hydrogen-current-and-projected-production-costs>

- SULEMAN, Fahad; DINCER, Ibrahim; AGELIN-CHAAB, Martin. Comparative impact assessment study of various hydrogen production methods in terms of emissions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41.19: 8364-8375.
- Sustainability Times. (2022). Swedish battery maker Northvolt secures \$2.75bn for European gigafactory. Recuperato da: <https://www.sustainability-times.com/clean-cities/energy-storage/swedish-battery-maker-northvolt-secures-2-75bn-for-european-gigafactory/>
- Sustainable and Smart Mobility Strategy - European Commission. (2020, December 9). European Commission. Recuperato da: https://ec.europa.eu/transport/themes/sustainable/news/2020-12-09-sustainable-and-smart-mobility-strategy_en
- Sustainable Energy Forum. (2023). Advances in Green Hydrogen Technologies: A Review of Lhyfe's Innovations.
- Tesla. (2021). Tesla Q4 2021 Update. Recuperato da: <https://digitalassets.tesla.com/tesla-contents/image/upload/IR/TSLA-Q4-2021-Update>
- The Guardian. (2020). China leads world in electric vehicle sales. <https://www.theguardian.com/business/2020/apr/28/china-leads-world-in-electric-vehicle-sales>
- The Guardian. (2022). Swedish battery maker Northvolt valued at \$50bn after funding round. Recuperato da: <https://www.theguardian.com/business/2022/may/25/swedish-battery-maker-northvolt-valued-at-50bn-after-funding-round>
- The New York Times. (2021). Volkswagen and Goldman Lead \$1 Billion Round in Battery Start-Up. Recuperato da: <https://www.nytimes.com/2021/03/25/business/volkswagen-goldman-battery-northvolt.html>
- thyssenkrupp Annual Report 2020/2021: thyssenkrupp. Disponibile su: https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/_binary/UCPthyssenkruppAG/9fee6ee8-a921-445a-b5b7-6be9c29d8446/thyssenkrupp-GB-en-2020-2021-Web.pdf.
- Till Weidner, Victor Tulus, Gonzalo Guillén-Gosálbez; Environmental sustainability assessment of large-scale hydrogen production using prospective life cycle analysis; *International Journal of Hydrogen Energy*; Volume 48, Issue 22; 2023; Pages 8310-8327; ISSN 0360-3199; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.044>.

- Toyota. (2021). Annual Report 2021. Recuperato da: https://www.toyota-industries.com/investors/items/2021_annual_financial_report_E.pdf
- U.S. Department of Energy - "Grid Energy Storage" - <https://www.energy.gov/eere/electricity/grid-energy-storage>
- U.S. Department of Energy. (2021). Hydrogen Production: Electrolysis. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- U.S. Energy Information Administration (2021). Renewable energy explained - U.S. Energy Information Administration (EIA). Disponibile all'indirizzo: <https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Sulfur Dioxide (SO₂) Pollution. Recuperato da <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- Umicore. (2021). Umicore Annual Report 2021. Retrieved from <https://annualreport.umicore.com/en/2021>
- United Nations Conference on Trade and Development (2020). Commodities at a Glance: Special issue on strategic battery and energy materials. UNCTAD.
- United Nations Environment Programme. (2019). The Emissions Gap Report 2019. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR19ESEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2002). The Kyoto Protocol. Recuperato da <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol>
- Veolia. (2021). Annual Results 2021. Retrieved from <https://www.veolia.com/sites/g/files/dvc4206/files/document/2022/03/PR-annual-results-2021-Veolia.pdf>
- Veronika Henze; Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh; BloombergNEF; 2022; URL: <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>
- Vishal Narain T et al; Global Industrial Batteries Market Grid-level Energy Storage Applications will Create Strong Demand in the Long Term; Frost & Sullivan Market Engineering; 2013

- WANG, Xieshu; ZHAO, Wei; RUET, Joël. Specialised vertical integration: the value-chain strategy of EV lithium-ion battery firms in China. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 2022, 22.2: 178-201.
- WAPPLER, Mona, et al. Building the green hydrogen market—Current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2022.
- WIELICZKO, Marika; STETSON, Ned. Hydrogen technologies for energy storage: A perspective. *MRS Energy & Sustainability*, 2020, 7: E41.
- Winter, M., & Brodd, R. J. (2004). What are batteries, fuel cells, and supercapacitors? *Chemical Reviews*, 104(10), 4245-4270.
- WOOD III, David L.; LI, Jianlin; DANIEL, Claus. Prospects for reducing the processing cost of lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 2015, 275: 234-242.
- World Economic Forum. (2020). A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential of the Battery Value Chain. https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf
- World Economic Forum. (n.d.). A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030; retrieved from: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf
- World Energy Council. (2020). Hydrogen: Scaling up. Retrieved from https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2020/02/Hydrogen_Scaling_Up_World_Energy_Council_report_2020.pdf
- Wu, M., Gong, Z., Xia, Y., & Wang, G. (2021). Carbon footprint of battery energy storage systems for electric vehicles. *Energy & Environmental Science*, 14(6), 3983-3993. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2021/ee/d1ee00691f>
- WU, X. D., et al. Embodied energy analysis for coal-based power generation system—highlighting the role of indirect energy cost. *Applied energy*, 2016, 184: 936-950.
- Yang, Z., Zhang, J., Kintner-Meyer, M. C. W., Lu, X., & Choi, D. (2011). Electrochemical energy storage for green grid. *Chemical Reviews*, 111(5), 3577-3613. <https://doi.org/10.1021/cr100290v>

- Yilmaz, E. (2019). The battery industry: Supply chain and manufacturing process overview. *Procedia Manufacturing*, 38, 164-1169. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.037>
- Yoshino, A., Brodd, R.J. & Kozawa, A. The Birth of the Lithium-Ion Battery. *Angew. Chem. Int. Ed.* 51, 5791–5799 (2012). <https://doi.org/10.1002/anie.201201429>
- Z. Li, H. Dai, L. Zheng, J. Wang, "Energy Storage System: A Critical Review", *Applied Energy*, Vol. 137, pp. 511-536, 2015. Guesné, M. (2017). Lhyfe: Green Hydrogen for a Sustainable Future. *Journal of Renewable Energy*, 42(3), 123-135.

10) ALLEGATI

Allegato 1: aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde, in ordine alfabetico

- Air Liquide: produzione e fornitura di gas industriali, compreso l'idrogeno verde, per diverse applicazioni industriali.
- EDF: produzione, distribuzione e fornitura di energia elettrica e gas; produzione di energia da fonti tradizionali e rinnovabili, compreso l'interesse nello sviluppo di progetti legati all'idrogeno verde e alle batterie.
- Enapter: produzione di elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) per la produzione di idrogeno verde.
- ENEL: produzione, distribuzione e vendita di energia elettrica; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Engie: produzione e distribuzione di energia, servizi energetici e soluzioni sostenibili; fornitura di energia elettrica, gas naturale, servizi di gestione energetica e soluzioni di transizione energetica, che includono anche l'idrogeno verde e le batterie.
- Eni: produzione, raffinazione e commercializzazione di petrolio, gas naturale e energia; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Evonik: produzione di prodotti chimici specializzati e soluzioni materiali, con interessi nell'idrogeno verde (produzione di catalizzatori e tecnologie per la produzione) e nelle batterie.
- Gasunie: sviluppo dell'infrastruttura e delle reti di trasporto per il gas naturale e l'idrogeno, svolgendo un ruolo chiave nello sviluppo di progetti per l'utilizzo e la distribuzione dell'idrogeno verde.
- Gaussin: progettazione e fornitura di veicoli industriali e soluzioni di trasporto per applicazioni come la movimentazione di container, il trasporto pesante e la logistica interna, alimentate sia a idrogeno che a batterie.
- Green Hydrogen Systems: progettazione, produzione e fornitura di elettrolizzatori a membrana a scambio protonico (PEM) per la produzione di idrogeno verde.

- GREENSTAT: produzione e fornitura di idrogeno verde e altre soluzioni energetiche sostenibili, insieme a servizi di consulenza per la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.
- HydrogenPro: produzione e fornitura di sistemi di elettrolizzatori ad alta efficienza per la produzione di idrogeno verde.
- Iberdrola: produzione, distribuzione e commercializzazione di energia elettrica; produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- ITM Power: sviluppo e produzione di elettrolizzatori ad alta pressione per la produzione di idrogeno verde per settori come la mobilità, l'industria e l'energia stazionaria.
- Linde Engineering: ingegneria, progettazione e fornitura di impianti di produzione e infrastrutture correlate, nonché soluzioni per lo stoccaggio e la distribuzione.
- MAN Energy Solutions: sviluppo e fornitura di motori a combustione interna, turbine e soluzioni di generazione di energia, compresi progetti legati all'idrogeno verde e alle batterie per applicazioni marine e industriali.
- McPhy Energy: progettazione e fornitura di soluzioni per lo stoccaggio e la distribuzione di idrogeno verde utilizzato in settori come la mobilità e l'industria.
- Nel Hydrogen: progettazione, produzione e fornitura di sistemi di elettrolisi ad alta efficienza per la produzione di idrogeno pulito.
- Octopus Hydrogen: sviluppo di infrastrutture di produzione e distribuzione di idrogeno verde, insieme a soluzioni integrate per la mobilità a idrogeno e la gestione energetica.
- Powercell Sweden AB: produzione di celle a combustibile a idrogeno per applicazioni di trasporto, generazione di energia stazionaria e altre applicazioni industriali.
- Resato: progettazione, produzione e fornitura di sistemi di alta pressione utilizzati in settori come l'industria petrolifera, i gas industriali e l'industria dell'idrogeno.
- Severn Trent: fornitura di servizi idrici e di gestione dei rifiuti, con interesse nell'utilizzo dell'idrogeno verde per la decarbonizzazione delle operazioni e per la fornitura di energia sostenibile.
- SFC Energy: produzione e fornitura di celle a combustibile a idrogeno e sistemi di gestione energetica per applicazioni residenziali, commerciali e industriali.
- Shell: esplorazione, estrazione, raffinazione, distribuzione e commercializzazione di prodotti petroliferi e del gas e gestione di stazioni di servizio; sviluppo di progetti,

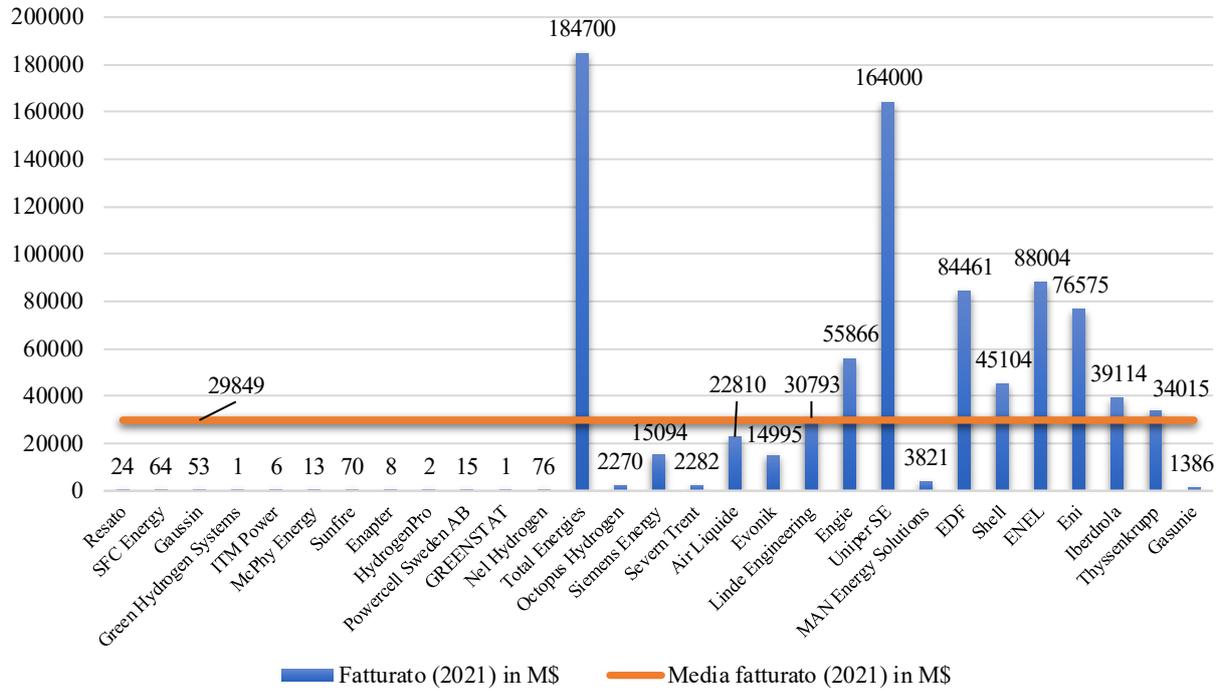
tecnologie e infrastrutture per la produzione, la distribuzione e l'utilizzo dell'idrogeno verde; progetti avviati anche nella realizzazione di infrastrutture di ricarica per la mobilità elettrica, di sistemi di stoccaggio energetico e di gestione dei sistemi di batterie.

- Siemens Energy: fornitura di soluzioni energetiche complete, comprese tecnologie per l'idrogeno verde (elettrolizzatori, sistemi di stoccaggio e applicazioni industriali) e per le batterie.
- Sunfire: produzione di impianti di elettrolisi ad alta temperatura e sistemi di conversione di energia.
- Thyssenkrupp: società attiva nei settori dell'ingegneria industriale e nei materiali; sviluppo di tecnologie per la produzione di idrogeno verde utilizzando l'elettrolisi dell'acqua con energia rinnovabile.
- Total Energies: fornitura di energia, servizi energetici e soluzioni sostenibili, con interessi nell'idrogeno verde (produzione, distribuzione e ricerca) e nelle batterie.
- Uniper SE: generazione, stoccaggio e fornitura di energia; produzione di energia elettrica e termica, con un crescente interesse nell'idrogeno verde e nelle tecnologie delle batterie.

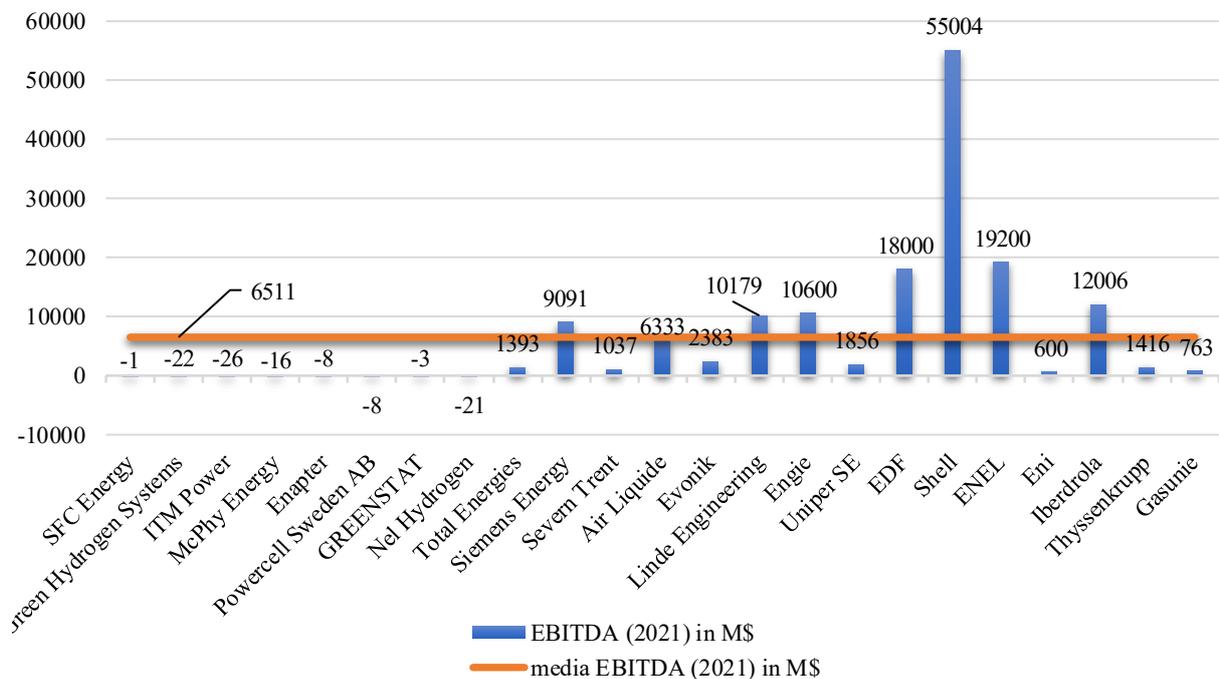
Allegato 2: fatturato, EBITDA e investimenti in R&D di tutte le aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
<i>Resato</i>	Olanda	24	ND	ND
<i>SFC Energy</i>	Germania	64	-1	6
<i>Gaussin</i>	Francia	53	ND	ND
<i>Green Hydrogen Systems</i>	Danimarca	1	-22	10
<i>ITM Power</i>	UK	6	-26	1
<i>McPhy Energy</i>	Francia	13	-16	ND
<i>Sunfire</i>	Germania	70	ND	ND
<i>Enapter</i>	Germania	8	-8	4
<i>HydrogenPro</i>	Norvegia	2	ND	2
<i>Powercell Sweden AB</i>	Svezia	15	-8	ND
<i>GREENSTAT</i>	Norvegia	1	-3	ND
<i>Nel Hydrogen</i>	Norvegia	76	-21	17
<i>Total Energies</i>	Francia	184700	1393	824
<i>Octopus Hydrogen</i>	UK	2270	ND	11
<i>Siemens Energy</i>	Germania	15094	9091	1130
<i>Severn Trent</i>	UK	2282	1037	641
<i>Air Liquide</i>	Francia	22810	6333	304
<i>Evonik</i>	Germania	14995	2383	464
<i>Linde Engineering</i>	Germania	30793	10179	143
<i>Engie</i>	Francia	55866	10600	159
<i>Uniper SE</i>	Germania	164000	1856	329
<i>MAN Energy Solutions</i>	Germania	3821	ND	500
<i>EDF</i>	Germania	84461	18000	661
<i>Shell</i>	Uk	45104	55004	29
<i>ENEL</i>	Italia	88004	19200	130
<i>Eni</i>	Italia	76575	600	250
<i>Iberdrola</i>	Spagna	39114	12006	50
<i>Thyssenkrupp</i>	Germania	34015	1416	600
<i>Gasunie</i>	Olanda	1386,3	763	ND

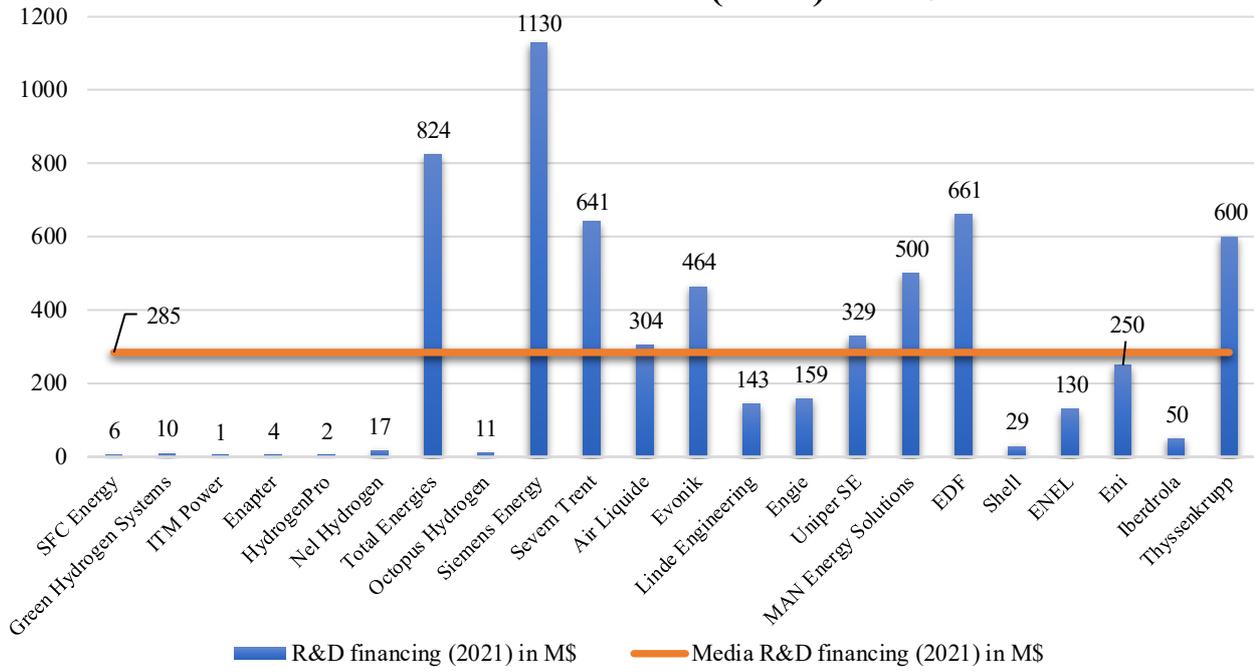
fatturato (2021) in M\$



EBITDA (2021) in M\$



investimenti in R&D (2021) in M\$



Allegato 3: test di correlazione tra fatturato ed EBITDA per le aziende attive nel mercato dell'idrogeno verde

Per avere una validazione statistica sull'eventuale correlazione tra fatturato ed EBITDA (nello specifico, valutare se L'EBITDA negativo fosse correlato al fatturato inferiore a 100 milioni) non è possibile utilizzare il coefficiente di correlazione lineare di Pearson, in quanto non vengono rispettate le condizioni necessarie per l'applicazione di quest'ultimo (due variabili con distribuzione normale, relazione lineare tra le variabili e assenza di outliers).

Per stimare, quindi, la correlazione tra le due variabili è possibile utilizzare il coefficiente di correlazione di Spearman, o il coefficiente di correlazione di Kendall; essendo il campione poco numeroso, l'indice più preciso è il secondo.

Il coefficiente di correlazione di Kendall varia tra -1 e +1, che indicano concordanza forte negativa e positiva, rispettivamente; più il coefficiente si avvicina a 0, più la concordanza sarà debole (se il coefficiente è uguale a 0 non c'è concordanza).

Effettuando tutti i passaggi necessari per il calcolo del coefficiente di correlazione di Kendall, si arriva ad un valore pari a 0,585, che indica una concordanza moderata tra il fatturato e l'EBITDA delle aziende nel campione.

Per il calcolo del coefficiente sono state escluse le aziende per le quali non è stato possibile trovare informazioni relative all'EBITDA.

Ovviamente questa conclusione risulta troppo grossolana: bisogna accoppiare quindi, al test di correlazione, un altro test, che fornisca la probabilità oggettiva dell'ipotesi che i risultati ottenuti siano semplicemente dovuti al caso.

La scelta ricade sul test t di Student, implementato in Excel utilizzando i dati di fatturato ed EBITDA delle aziende costituenti il dataset, ponendo alfa pari al 5%.

Il p-value ottenuto è pari a 1,78%, minore del valore soglia, perciò il test è significativo.

Allegato 4: aziende attive nel mercato delle batterie, in ordine alfabetico

- Arkema: azienda chimica globale che offre una vasta gamma di prodotti chimici e materiali innovativi; è entrata anche nel settore delle batterie, fornendo materiali avanzati, come polimeri e additivi chimici, utilizzati nella produzione di batterie.
- Aurubis: azienda leader nella produzione di rame e altri metalli, compreso il rame utilizzato nelle batterie.
- BASF: azienda chimica globale con una vasta gamma di prodotti chimici e materiali, compresi quelli utilizzati nella produzione di batterie; fornisce materiali attivi come l'ossido di cobalto e l'ossido di nichel utilizzati nelle batterie al litio.
- Boliden: società mineraria che produce metalli e minerali utilizzati nell'industria delle batterie, come il rame e il nichel.
- Comau: azienda leader nella fornitura di soluzioni di automazione industriale; offre tecnologie avanzate per l'assemblaggio e la produzione nel settore delle batterie, contribuendo all'efficienza e alla qualità nella produzione di batterie.
- Cronimet Holding: società attiva nel settore del riciclaggio dei metalli, compresi quelli utilizzati nelle batterie come il litio, il nichel e il cobalto; ha un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie e nella gestione sostenibile dei materiali di scarto.
- EDF: importante società energetica che opera in diversi settori, inclusa la produzione e la distribuzione di energia elettrica; nel campo delle batterie, è coinvolta nello sviluppo di soluzioni di accumulo energetico e sistemi di gestione della domanda per migliorare l'efficienza e la resilienza del sistema energetico.
- Engie: multinazionale specializzata nella fornitura di soluzioni energetiche e servizi di transizione verso una società a basse emissioni di carbonio; impegnata nello sviluppo di soluzioni di stoccaggio energetico basate su batterie per favorire l'integrazione delle energie rinnovabili.
- Evonik Industries: azienda chimica specializzata nella produzione di materiali ad alte prestazioni; nel settore delle batterie, fornisce materiali e tecnologie avanzate per migliorare l'efficienza, la durata e la sicurezza delle batterie al litio.
- Ferroglobe: produttore globale di leghe di silicio e metalli ferrosi, che vengono utilizzati come materiali chiave nella produzione di elettrodi per batterie al litio.

- Finnish Minerals Group: società di proprietà statale che gestisce e promuove la produzione sostenibile di minerali e metalli in Finlandia, tra cui quelli utilizzati nella produzione di batterie.
- Forsee Power: specializzata nello sviluppo e nella produzione di soluzioni di accumulo energetico per varie applicazioni, tra cui la mobilità elettrica; fornisce batterie al litio avanzate e sistemi di gestione energetica per ottimizzare l'efficienza e l'autonomia delle applicazioni elettriche.
- Gaussin: azienda specializzata nello sviluppo e nella produzione di veicoli elettrici a batteria per il trasporto di merci e passeggeri; fornisce soluzioni di mobilità sostenibile che integrano batterie al litio per l'alimentazione dei loro veicoli.
- Gränges: azienda specializzata nella produzione di prodotti in alluminio a uso specializzato per diverse industrie, tra cui l'industria delle batterie; fornisce materiali e soluzioni di alluminio ad alte prestazioni utilizzati nella produzione di batterie.
- Italmatch Chemicals: azienda chimica specializzata nella produzione di additivi chimici per diverse applicazioni industriali; fornisce additivi chimici utilizzati anche nell'industria delle batterie per migliorare le prestazioni e la sicurezza delle batterie.
- Lanxess AG: azienda chimica specializzata nella produzione di materiali e additivi chimici, inclusi quelli utilizzati nell'industria delle batterie
- Leclanché: azienda specializzata nella progettazione, sviluppo e produzione di batterie avanzate per diverse applicazioni, tra cui la mobilità elettrica, l'energia stazionaria e l'industria.
- Manz: azienda che fornisce soluzioni di automazione e produzione per l'industria delle batterie; produzione di macchinari e attrezzature per la realizzazione di celle e moduli di batterie al litio.
- Metso Outotec: azienda che fornisce attrezzature e soluzioni per l'industria mineraria e del riciclaggio, comprese le tecnologie utilizzate nella produzione e nel riciclaggio delle batterie.
- Miba Battery Systems: specializzata nello sviluppo e nella produzione di soluzioni di connessione elettrica per il settore delle batterie, offrendo componenti di alta qualità per la connessione affidabile e sicura delle celle di batteria.

- Monbat: produttore di batterie specializzate, comprese le batterie al piombo-acido e le batterie al litio, per una vasta gamma di applicazioni; fa uso anche di materie prime per la produzione nuove batterie ottenute tramite il riciclaggio di batterie a fine vita.
- Nordic Mining: società mineraria impegnata nell'estrazione di minerali strategici, inclusi quelli utilizzati nell'industria delle batterie come il litio, il cobalto e il nichel.
- Rio Tinto: Rio Tinto è una delle principali società minerarie al mondo, impegnata nell'estrazione di una vasta gamma di materie prime, tra cui il litio e il cobalto utilizzati nelle batterie.
- SGL Carbon: produttore di materiali a base di carbonio utilizzati in diverse industrie, tra cui l'industria delle batterie, nello specifico elettrodi e altri componenti a base di carbonio.
- Shell: una delle più grandi compagnie petrolifere e di gas al mondo, che sta espandendo anche le sue attività nel settore delle energie rinnovabili; nel settore delle batterie, Shell è coinvolta nella produzione e nel commercio di batterie e sistemi di accumulo energetico per applicazioni mobili e stazionarie.
- Siemens Energy: azienda leader nella fornitura di soluzioni energetiche, inclusa la fornitura di sistemi di accumulo energetico e soluzioni per il settore delle batterie.
- Solvay: azienda chimica globale che fornisce una vasta gamma di materiali chimici e soluzioni per diverse industrie; nel settore delle batterie, offrono materiali e additivi specializzati per migliorare le prestazioni e la sicurezza delle batterie al litio.
- Sovema Group SPA: fornisce attrezzature e macchinari per la produzione di batterie al piombo-acido, come macchinari per la formazione delle piastre, l'assemblaggio delle celle e altre fasi del processo di produzione delle batterie al piombo.
- Stena Recycling: azienda leader nel settore del riciclaggio e della gestione dei rifiuti; svolge un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie, recuperando materiali preziosi e contribuendo alla riduzione dell'impatto ambientale.
- SUEZ: azienda leader nel settore dei servizi ambientali e delle risorse, che opera in diversi settori, tra cui la gestione dei rifiuti e il riciclaggio; offre soluzioni sostenibili per il recupero e il riciclaggio di materiali, inclusi quelli utilizzati nel settore delle batterie.
- Total Energies: società energetica multinazionale integrata, che offre una vasta gamma di soluzioni energetiche, tra cui lo sviluppo di batterie e sistemi di accumulo energetico;

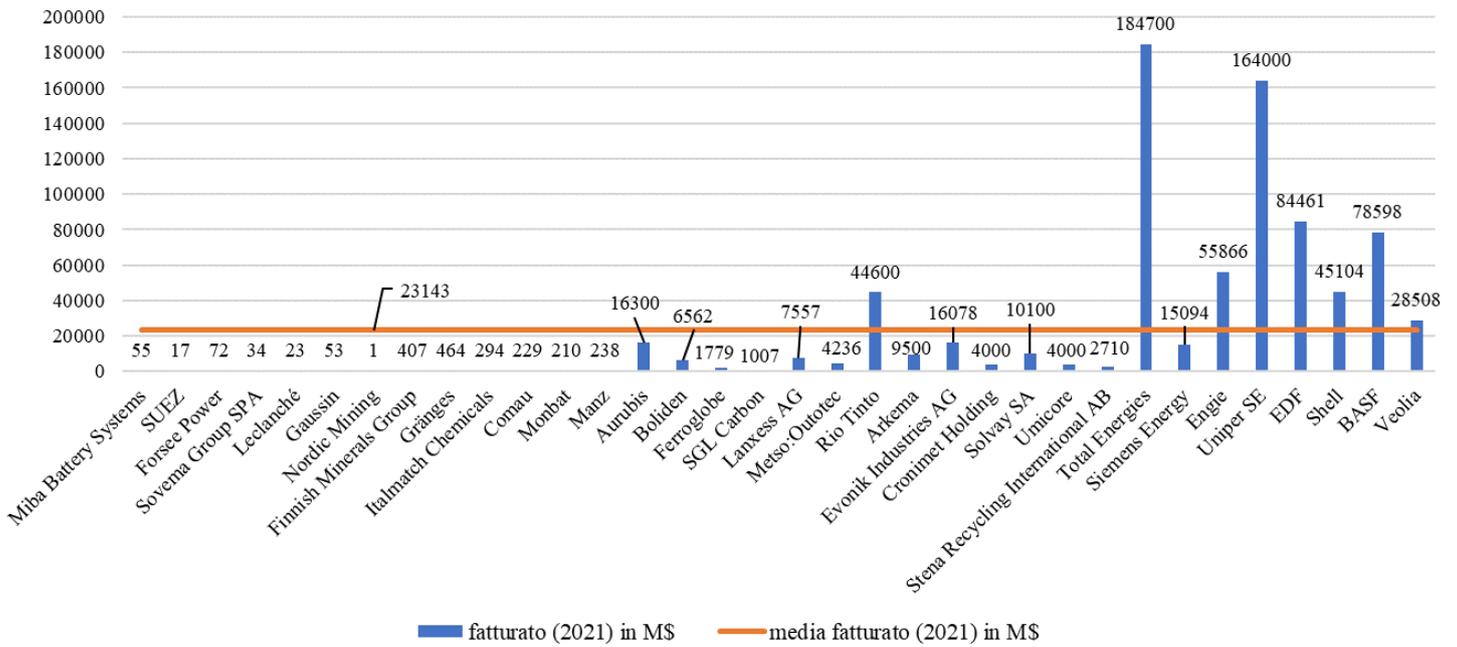
è impegnata nella produzione e nello sviluppo di batterie avanzate per applicazioni diverse.

- Umicore: azienda specializzata nella tecnologia dei materiali, concentrata sulle soluzioni per la mobilità sostenibile e l'energia pulita; nel settore delle batterie, forniscono materiali e sistemi di riciclaggio per batterie al litio, promuovendo una gestione sostenibile dei materiali.
- Uniper SE: società energetica impegnata nella produzione, nel commercio e nella fornitura di energia; nel contesto delle batterie, sono coinvolti nello sviluppo di soluzioni di accumulo energetico basate su batterie per ottimizzare l'uso delle risorse energetiche e la gestione della domanda.
- Veolia: società specializzata nella gestione e nel trattamento dei rifiuti, nonché nella fornitura di servizi ambientali, svolge un ruolo importante nel riciclaggio delle batterie esauste.

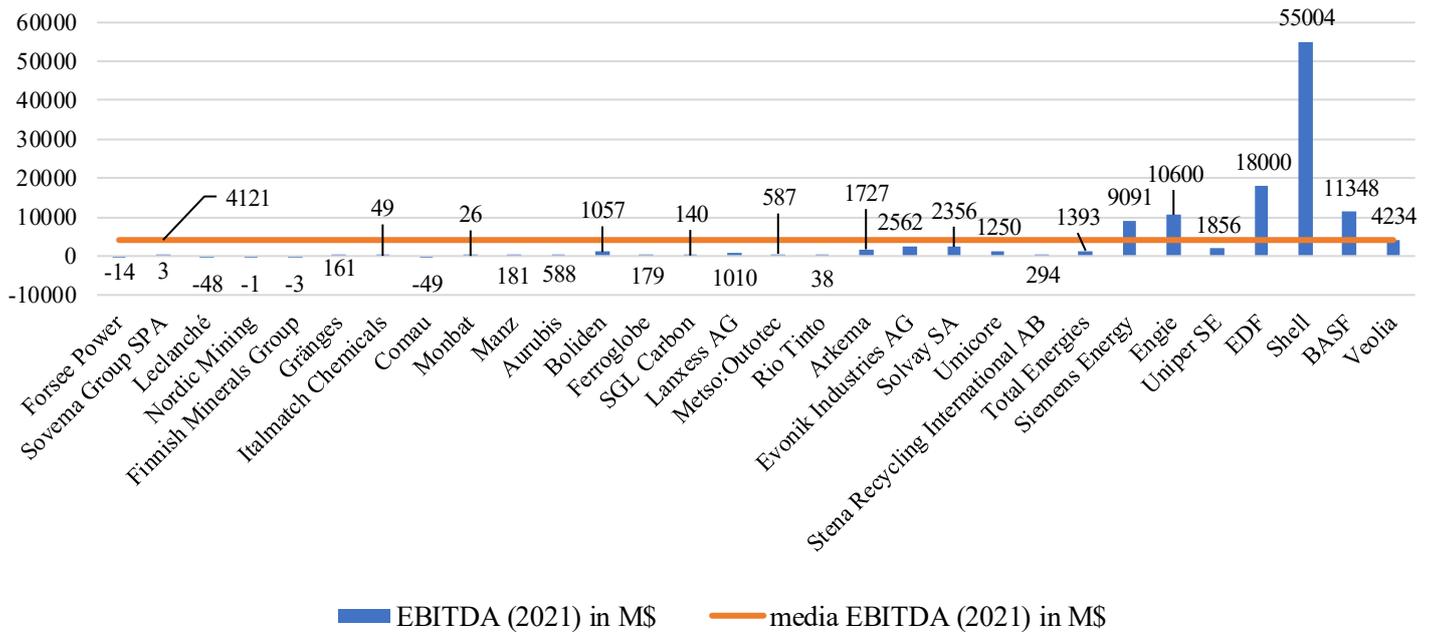
Allegato 5: fatturato, EBITDA e investimenti in R&D di tutte le aziende attive nel mercato delle batterie

azienda	sede	fatturato (2021) in M\$	EBITDA (2021) in M\$	R&D financing (2021) in M\$
<i>Miba Battery Systems</i>	Austria	55,0	ND	ND
<i>SUEZ</i>	Francia	17,2	ND	103,0
<i>Forsee Power</i>	Francia	72,4	-14,4	ND
<i>Sovema Group SPA</i>	Italia	34,3	3,0	ND
<i>Leclanché</i>	Francia	23,4	-47,7	12,6
<i>Gaussin</i>	Francia	52,8	ND	ND
<i>Nordic Mining</i>	Norvegia	1,0	-0,8	12,7
<i>Finnish Minerals Group</i>	Finlandia	406,9	-3,2	ND
<i>Gränges</i>	Svezia	463,8	160,9	ND
<i>Italmatch Chemicals</i>	Italia	294,1	48,7	ND
<i>Comau</i>	Italia	229,2	-49,0	ND
<i>Monbat</i>	Bulgaria	209,8	25,6	4,3
<i>Manz</i>	Germania	237,8	181,3	16,0
<i>Aurubis</i>	Germania	16300,0	588,0	12,0
<i>Boliden</i>	Svezia	6561,9	1057,4	66,5
<i>Ferroglobe</i>	UK	1778,9	179,0	10,6
<i>SGL Carbon</i>	Germania	1007,0	140,0	31,0
<i>Lanxess AG</i>	Germania	7557,0	1010,0	115,0
<i>Metso:Outotec</i>	Finlandia	4236,0	587,0	70,0
<i>Rio Tinto</i>	UK	44600,0	37,7	50,0
<i>Arkema</i>	Francia	9500,0	1727,0	243,0
<i>Evonik Industries AG</i>	Germania	16077,5	2561,9	498,8
<i>Cronimet Holding</i>	Germania	4000,0	ND	85,2
<i>Solvay SA</i>	Belgio	10100,0	2356,0	298,0
<i>Umicore</i>	Belgio	4000,0	1250,0	ND
<i>Stena Recycling</i>	Svezia	2710,0	294,4	2,1
<i>Total Energies</i>	Francia	184700,0	1393,0	824,0
<i>Siemens Energy</i>	Germania	15094,0	9091,0	1130,0
<i>Engie</i>	Francia	55866,0	10600,0	159,0
<i>Uniper SE</i>	Germania	164000,0	1856,0	329,0
<i>EDF</i>	Germania	84461,0	18000,0	661,0
<i>Shell</i>	Uk	45104,0	55004,0	28,5
<i>BASF</i>	Germania	78598,0	11348,0	193,0
<i>Veolia</i>	Francia	28508,1	4233,8	ND

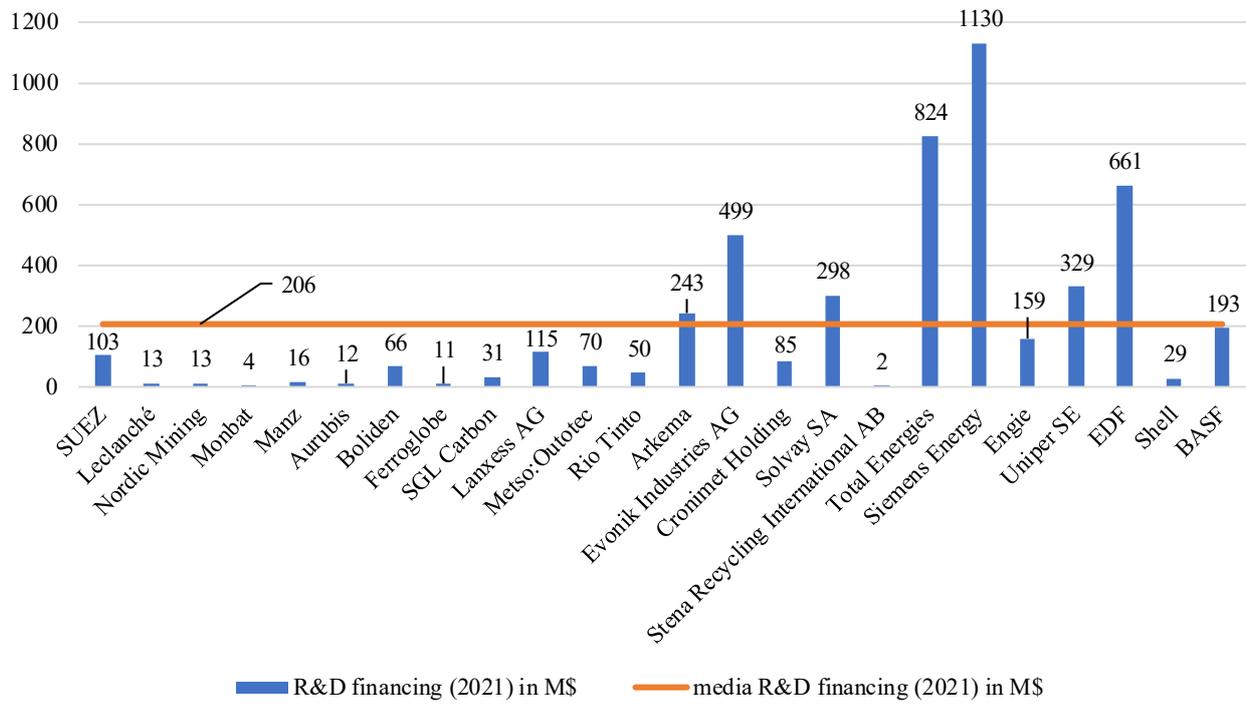
fatturato (2021) in M\$



EBITDA (2021) in M\$



investimenti in R&D (2021) in M\$



Allegato 6: test di correlazione tra fatturato ed EBITDA per le aziende attive nel mercato delle batterie

Per avere una validazione statistica sull'eventuale correlazione tra fatturato ed EBITDA non è possibile utilizzare il coefficiente di correlazione lineare di Pearson, in quanto non vengono rispettate le condizioni necessarie per l'utilizzo di quest'ultimo (due variabili con distribuzione normale, relazione lineare tra le variabili e assenza di outliers).

Per stimare, quindi, la correlazione tra le due variabili è possibile utilizzare il coefficiente di correlazione di Spearman, o il coefficiente di correlazione di Kendall; essendo il campione poco numeroso, l'indice più preciso è il secondo.

Il coefficiente di correlazione di Kendall varia tra -1 e +1, che indicano concordanza forte negativa e positiva, rispettivamente; più il coefficiente si avvicina a 0, più la concordanza sarà debole (se il coefficiente è uguale a 0 non c'è concordanza).

Effettuando tutti i passaggi necessari per il calcolo del coefficiente di correlazione di Kendall, si arriva ad un valore pari a 0,69, indice di concordanza moderata tra il fatturato e l'EBITDA delle aziende nel campione.

Per il calcolo del coefficiente sono state escluse le aziende per le quali non è stato possibile trovare informazioni relative all'EBITDA.

Ovviamente questa conclusione risulta troppo grossolana: bisogna accoppiare quindi, al test di correlazione, un altro test, che fornisca la probabilità oggettiva dell'ipotesi che i risultati ottenuti siano semplicemente dovuti al caso.

La scelta ricade sul test t di Student, implementato in Excel utilizzando i dati di fatturato ed EBITDA delle aziende costituenti il dataset, ponendo alfa pari al 5%.

Il p-value ottenuto è pari a 1,69%, minore del valore soglia, perciò il test è significativo.