



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI  
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Technology foresight in the EV - electric vehicle  
industry: a post-mortem study of the predictions***

**SINTESI**

---

RELATORI

Prof. Ing. Andrea Bonaccorsi  
*Dipartimento di Ingegneria  
dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio,  
e delle Costruzioni*

Prof.sa Paola Belingheri  
*Dipartimento di Ingegneria  
dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio,  
e delle Costruzioni*

IL CANDIDATO

Pierluigi Nencini  
p.nencini@studenti.unipi.it

Sessione di Laurea Magistrale del 17/02/2021

# **Technology foresight in the EV – electric vehicle industry: a postmortem study of the predictions**

Pierluigi Nencini

---

## **Sommario**

L'obiettivo centrale di questa tesi è fare luce sulle previsioni effettuate nel passato riguardanti il futuro livello di sviluppo tecnologico del processo di elettrificazione del settore automobilistico, cercando di stabilire in retrospettiva se esse fossero affette o meno da "hype" (esagerazione). Per rispondere a questa domanda di ricerca, lo studio propone una metodologia e la sua applicazione, la quale prevede l'utilizzo di tecniche di text mining per la mappatura, la valutazione e il confronto degli studi di previsione dello sviluppo tecnologico (technology foresight).

Questo lavoro di tesi fa parte di un ciclo di tesi di ricerca rivolto allo studio e l'approfondimento dell'elettrificazione del settore automobilistico.

## **Abstract**

The central objective of this thesis is to shed light on the forecasts made in the past regarding the level of technological development of the electrification process in the automotive sector, trying to establish in retrospect whether or not they were affected by "hype" (exaggeration). To answer this research question, the study proposes a methodology and its application that involves the use of text mining techniques for the mapping, evaluation and comparison of technology foresight studies.

This master thesis is part of a research cycle aimed at studying and deepening the electrification of the automotive sector.

## 1. Stato delle conoscenze di partenza

I crescenti timori legati al cambiamento ambientale e alle emissioni di anidride carbonica dovute al trasporto su strada, hanno ormai da qualche anno guidato l'intero settore automobilistico verso l'elettrificazione, dando luogo ad un processo di sostituzione delle auto con sistemi a combustione interna. Già in passato il settore aveva visto tentativi di conversione verso tecnologie meno inquinanti, ma senza grandi risultati. Nonostante le difficoltà affrontate, il trend delle auto elettriche è oggi testimoniato da una serie di variabili che ne attestano la crescente diffusione, come ad esempio: il crescente numero dei modelli elettrificati lanciati dalle case automobilistiche a partire dai primi anni 2000, le partnership tra aziende storiche del settore e fornitori specializzati in sistemi elettrici e la nascita di aziende automobilistiche dedicate interamente alla produzione di auto elettriche (per approfondimenti su questi dati si rimanda al capitolo 2 della tesi).

In un contesto di innovazione e sostituzione tecnologica, come quello ormai in corso da diversi anni, diventa per le aziende (e per le organizzazioni più in generale) molto importante disporre di informazioni sul possibile sviluppo futuro delle tecnologie, in modo da poter prendere decisioni oggi che avranno impatto nel futuro. Tuttavia, prevedere gli sviluppi e gli impatti futuri di una certa tecnologia, è un'attività complessa e non priva di incertezza che in gestione dell'innovazione prende il nome di "*technology foresight*". Questa tipologia di studi, si pone come obiettivo centrale proprio quello di rispondere alla domanda "quale evoluzione è lecito aspettarsi nel futuro per una specifica tecnologia?<sup>1</sup>", differenziandosi così dai più comuni studi di valutazione dello stato dell'arte di una certa tecnologia, nei quali le aspettative per il futuro sono perlopiù indicazioni non frutto di uno strutturato processo previsionale. Le attività di *technology foresight* vengono infatti condotte seguendo metodologie più o meno complesse e i metodi di previsione tecnologica sono numerosi. Come è mostrato in figura 1, essi possono basarsi su quattro fonti di conoscenza (*creatività, interazione, evidenza e esperienza*) e avere un approccio di tipo qualitativo, quantitativo o semi-quantitativo. Gli studi di previsione tecnologica, contengono, oltre ad uno studio sulla tecnologia oggetto delle previsioni, le metriche per valutare le evoluzioni delle prestazioni della stessa, i valori delle previsioni effettuate e un orizzonte temporale futuro ben specifico.

---

<sup>1</sup> Nell'ambito di questa tesi la tecnologia di riferimento è l'auto elettrica, intesa come un sistema tecnologico composto da diverse componenti interagenti fra di loro.

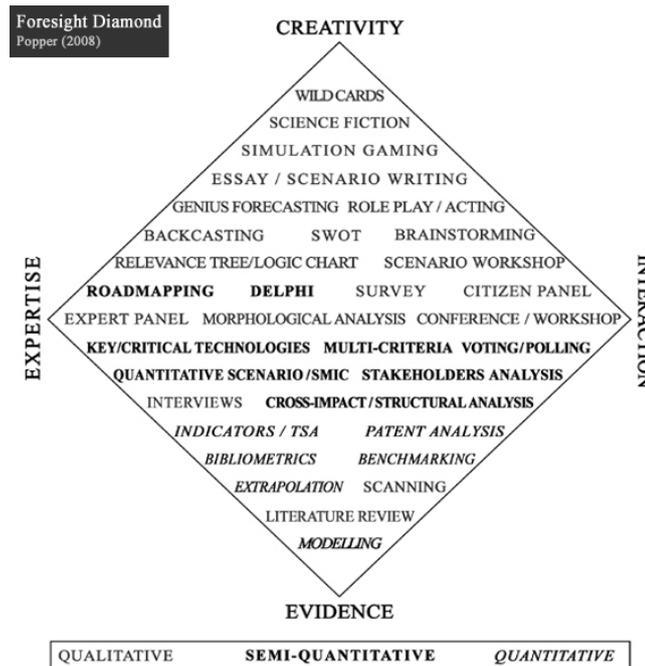


Figura 1 – “The foresight diamond, Popper et al. 2008” – Metodologie per condurre technology foresight

Tuttavia, le tecniche di foresight non sempre riescono a prevenire gli errori di previsione. L’attività di *technology foresight* è per definizione affetta da incertezza e spesso le previsioni da essa fornite possono rivelarsi fuorvianti. Le motivazioni principali, non mutuamente esclusive tra di loro, per cui tali previsioni si rivelano errate sono: la mancanza di dati storici per la costruzione di modelli statistici affidabili, l’effetto della soggettività delle figure professionali coinvolte nell’effettuazione delle previsioni, nonché l’eventuale necessità da parte del settore di richiamare attenzione verso la tecnologia stessa cercando di promettere progressi tecnologici in grado di attirare risorse e notorietà.

La letteratura si è interessata al legame esistente fra le aspettative di sviluppo e il reale sviluppo tecnologico nel tempo. Uno dei modelli teorici più rappresentativi di questa relazione è sicuramente il cosiddetto “*hype cycle*”, ovvero ciclo dell’esagerazione. Questo modello afferma che quando una nuova tecnologia si presenta sul mercato, passa attraverso diverse livelli di aspettative al passare del tempo. Inizialmente essa impiega poco tempo per generare molte aspettative (“*peak of inflated expectations*”), le quali in altrettanto poco tempo sono ampiamente disattese dal reale sviluppo tecnologico, generando così un periodo di scarse aspettative verso la tecnologia (“*trough of disillusionment*”). Le aspettative ridimensionate riprendono a crescere grazie allo sviluppo di prodotti di seconda e terza

generazione (*"slope of enlightenment"*), assestandosi ad un certo livello, che corrisponderà all'effettiva applicabilità della tecnologia al mercato di massa (*"plateau of productivity"*).

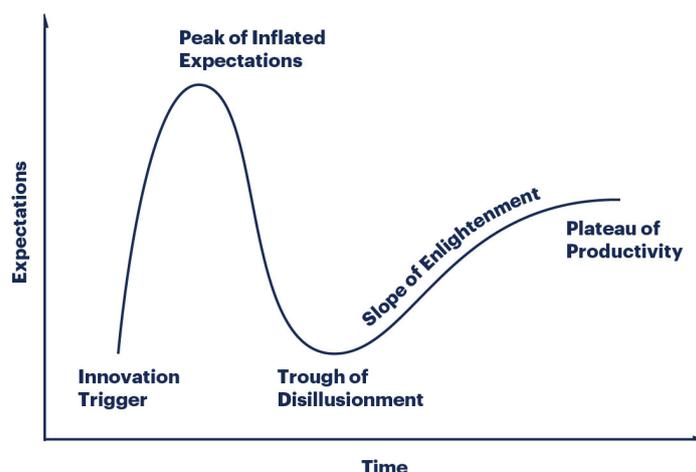


Figura 2 – le fasi del ciclo di *hype* di Gartner, Gartner 1995

## 2. Introduzione e definizione del problema affrontato

Nei due decenni passati il settore automobilistico si è scontrato con la necessità di effettuare previsioni tecnologiche riguardanti processo di elettrificazione del settore stesso, al fine di poter valutare in maniera più corretta le direzioni strategiche da intraprendere.

Il principale lavoro e contributo di questa tesi consiste nel proporre una metodologia analitica che prevede l'utilizzo di tecniche di text mining per il ritrovamento e la mappatura degli studi di technology foresight, la loro selezione e il successivo confronto, "post-mortem", tra le previsioni da essi effettuate e la reale situazione ottenuta. Più nello specifico, la metodologia oggetto di questo lavoro di tesi è stata pensata e applicata per rispondere a 3 domande chiave, di seguito riportate:

- come è possibile mappare gli studi riguardanti le previsioni di evoluzione tecnologica riguardanti la mobilità elettrica?
- è possibile, attraverso una comparazione numerica dei valori previsionali ritrovati con lo stato attuale della tecnologia, poter dire se le previsioni si sono rivelate accurate o meno?
- è possibile parlare di esagerazione (*"hype"*) contenuta all'interno delle previsioni per il 2020?

Rispondere a tali domande è importante per l'area di ricerca di gestione dell'innovazione per nel processo di elettrificazione del settore automobilistico, cercando di fare luce sulle complesse dinamiche che notoriamente lo caratterizzano.

### 3. Spiegazione del lavoro svolto

Questa parte della ricerca, probabilmente il vero valore aggiunto del lavoro di tesi, propone una metodologia per il ritrovamento e la mappatura degli studi di previsione tecnologica. Questa metodologia, che sfrutta l'applicazione delle tecniche di text mining, è stata pensata per ottenere una visione più oggettiva possibile dell'argomento, mitigando, dove possibile, i rischi derivanti dal condurre l'attività in maniera soggettiva.

#### 3.1. Definizione della metodologia

La struttura della metodologia pensata per questo studio di ricerca prevede la realizzazione di tre attività sequenziali la cui descrizione è riportata in figura 3.

- La prima attività consiste nella creazione di un dataset sul quale poter applicare le tecniche di text mining. Per farlo è stato utilizzato il database di documenti scientifici Scopus.
- la seconda attività, riguardante la programmazione e l'esecuzione vera e propria delle operazioni di text mining, è stata condotta con RStudio, un software open source per analisi statistiche.
- Con la terza attività, i risultati derivanti dal text mining sono stati utilizzati per ricercare approfonditamente i valori delle previsioni attraverso Google Scholar.

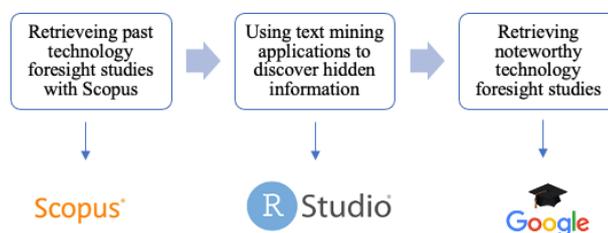


Figura 3 – Metodologia seguita per l'attività di mappatura e relativi software utilizzati durante le varie fasi

#### 3.2 Applicazione della metodologia

##### 3.2.1. Costruzione del dataset

Attraverso la strutturazione di una query generica su Scopus è stato possibile ricavare circa 2000 documenti scientifici i quali sono stati salvati in un file Excel facilmente esportabile nella workspace di RStudio. Il periodo di riferimento all'interno del quale sono stati ricercati gli studi previsionali è il ventennio 1995-2015.

<i>Number</i>	<i>EID</i>	<i>Abstract</i>	<i>Year</i>
1	2-s2.0-85072449089	In this paper the author questions the likely development trajectory of electric vehicle (EV) manufacture and related advanced transportation systems in southern California. The large base of labor skills, technical expertise, and research and development 7ulverizatio that are found in the region in the aerospace, electronics, and metalworking industries provide a solid foundation for the EV industry. These sectors also provide a legacy of industrial organization that is oriented more towards flexible production than mass production. The technological immaturity of the EV and the uncertain market it faces, combined with the existing industrial atmosphere in southern California, suggest that early production of Evs will be organized flexibly in an industrial district uniting firms and technologies in the production of components for an advanced ground-transportation industry.	1995
...	...	...	...

**Tabella 1 – Estratto del dataset costruito per l'attuazione delle operazioni di text mining.**

### 3.2.2 Programmazione ed esecuzione delle operazioni di text mining

Una volta creato il dataset per la conduzione delle attività di text mining si è passati alla seconda attività del processo, la quale ha richiesto una considerevole attività di programmazione vera e propria. In figura 4 sono riportati a scopo esemplificativo alcuni passaggi del codice scritto per eseguire gli algoritmi di text mining (per approfondimenti su questa attività si rimanda al capitolo 4 della tesi).

```

### counting the most frequent words without noise ###
db_clean_count = db_tidy_clean %>%
  count(word, sort = TRUE)
view(db_clean_count)

db_clean_count %>%
  top_n(20) %>%
  ggplot(aes(x = reorder(word, n), y = n)) +
  geom_col() +
  coord_flip() +
  xlab("words")

### creating a graph of the bi_grams analysis ###
db_bigrams_clean_count = db_bigrams_clean %>%
  filter(!is.na(word1)) %>%
  filter(!is.na(word2)) %>%
  count(word1, word2)
view(db_bigrams_clean_count)
bigram_graph = db_bigrams_clean_count %>%
  graph_from_data_frame()

set.seed(00011)
a = grid::arrow(type = "closed", length = unit(.15, "inches"))

```

**Figura 4 – Estratti dell'attività di programmazione in RStudio per l'attività di text mining**

La scrittura del codice in RStudio ha permesso, nell'ordine di:

- Effettuare una scrematura dei valori (di parole in questo caso), escludendo quei termini che aggiungevano esclusivamente rumore all'analisi (pronomi, articoli, preposizioni,...) o altri termini di uso molto comune all'interno degli studi di ricerca scientifica ("paper", "research", "study", ...).

- Contare le frequenze con cui le singole parole ricorrevano complessivamente negli all'interno del dataset. Contare le frequenze con cui i bigrams<sup>2</sup> ricorrevano complessivamente all'interno del dataset. Una porzione di entrambi i grafici delle frequenze dei termini è riportato in figura 5. I termini più frequenti hanno consentito di avere una prima impressione di alto livello sui concetti più ricorrenti

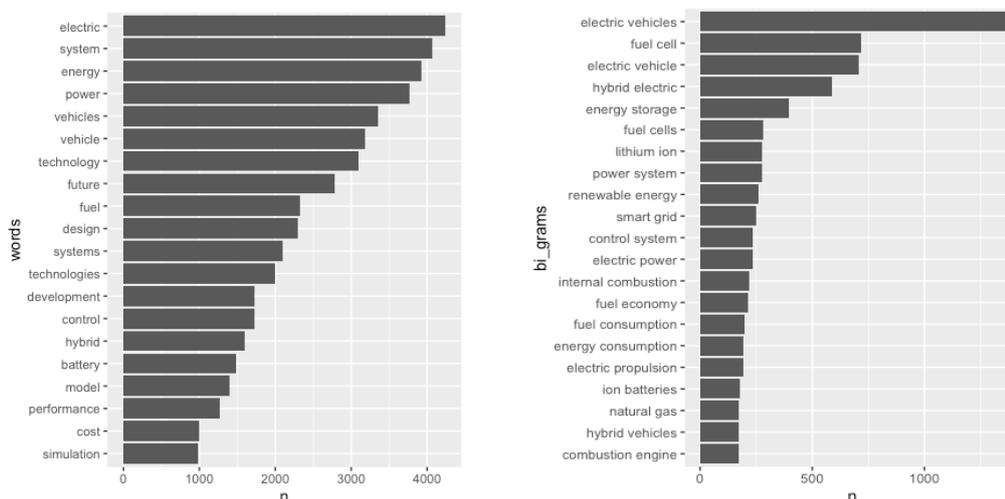


Figura 5 – frequenze delle singole parole (grafico a sinistra) e dei bigrams (grafico a destra) più ricorrenti all'interno del dataset

- Creare un grafo in cui ogni nodo rappresenta una singola parola e ogni arco che connette due nodi indica il bigram corrispondente. Gli archi sono orientati (possiedono una freccia) che indica la direzione del bigram ; inoltre la colorazione degli archi contiene l'informazione sulla frequenza del bigram corrispondente nel dataset. In particolare, una freccia di colorazione più scura indica una frequenza maggiore, una colorazione più chiara una frequenza minore.

Il grafo dei bigrams, rappresentato in figura 6, è stato in seguito interpretato, con l'obiettivo di dividerlo in sottoinsiemi, definiti come "topic cluster" (nel grafo non sono riportati i bigrams la cui frequenza all'interno del dataset è stata considerata trascurabile).

<sup>2</sup> Un "bigram" (pl. bigrams) è una entità testuale composta da due parole susseguenti. Ad esempio, la stringa "battery electric vehicle" contiene due bigrams distinti: "battery electric" e "electric vehicle"

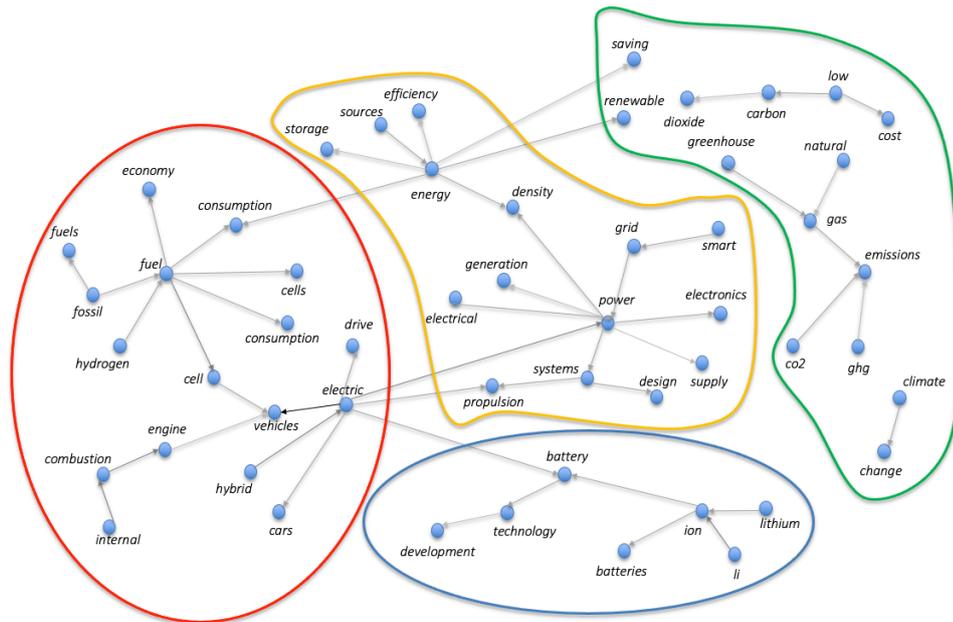


Figura 6 – Grafo dei bigrams e relativa interpretazione della suddivisione in cluster

In particolare, come si può notare dalla figura, sono stati identificati quattro sottoinsiemi sulla base della omogeneità dei concetti in essi contenuti; una breve descrizione di essi è di seguito fornita:

- 1) *Batterie agli ioni di litio*: gli studi all'interno di questo gruppo si focalizzano sulla previsione delle future condizioni delle batterie agli ioni di litio, in modo particolare sul costo di produzione di esse (colore blu nel grafo).
- 2) *Tipologia di configurazione dell'auto*: questo cluster si riferisce, a quegli studi che valutano l'accettazione da parte del mercato delle diverse tipologie di auto alternative<sup>3</sup>. (colore rosso nel grafo).
- 3) *Impatto ambientale*; gli studi appartenenti a questa categoria affrontano i potenziali impatti futuri delle auto elettriche valutandone le prestazioni durante l'utilizzo e talvolta anche facendo stime sull'impatto dei processi produttivi e della dismissione. (colore verde nel grafo).

<sup>3</sup> In ambito di ricerca dell'elettrificazione esistono diverse tipologie di auto alternative, ad esempio: BEV – Battery Electric Vehicle, PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle, FCV – Fuel Cell Vehicle.

4) *Prestazioni e specifiche*; questo gruppo di studi probabilmente il più importante all'interno del grafo, si riferisce agli studi il cui obiettivo è studiare i livelli delle future prestazioni delle auto in termini di specifiche tecniche, come: distanza percorribile, potenza, velocità massima, tempo per completare la ricarica della batteria. (colore giallo nel grafo).

### 3.2.3. Utilizzo delle informazioni ricavate

Una volta che l'attività di text mining aveva prodotto informazioni per la mappatura e la comprensione più profonda del settore delle ricerche sugli sviluppi futuri, le informazioni ricavate sono state utilizzate per impostare delle query mirate sul motore di ricerca Google Scholar, cercando di ottenere una comprensione più profonda del settore delle ricerche sugli sviluppi futuri, arrivando cioè al livello dei valori delle previsioni.

In tabella 2 è fornito uno schema di come le informazioni del text mining si sono rese utili per strutturare delle query mirate. I bigrams dei cluster topic sono stati usati per completare la query. In questo modo è stato possibile ritrovare in breve tempo studi di previsione tecnologica che si riferissero alla categoria di appartenenza del bigram.

<i>Parte iniziale della query</i>		<i>Informazioni ricavate dal text mining</i>	
<i>"Technology foresight ..."</i>	+	<i>esempio</i>	
		<i>... lithium ion batteries"</i>	Cluster 1
		<i>...vehicle ghg emissions"</i>	Cluster 2
		<i>...fuel economy"</i>	Cluster 3
		<i>...alternative vehicles"</i>	Cluster 4

**Tabella 2 – metodo per la composizione delle query mirate su Google Scholar**

In questo modo è stato possibile in un tempo relativamente breve ricavare circa 40 studi di previsione tecnologica, coerentemente al grafo ricavato dalle operazioni di text mining.

Ogniqualevolta uno studio in linea con l'interesse di questa tesi veniva trovato su Scholar, le sue informazioni venivano salvate in una tabella in cui ogni riga rappresentava uno studio e nelle colonne erano riportati: autore, anno di pubblicazione, orizzonte temporale delle previsioni, metodologia usata per la strutturazione delle previsioni, cluster di appartenenza, se facesse uso o meno di metriche quantitative e numero di citazioni scientifiche. Un estratto della tabella in questione è mostrato in tabella 3. Purtroppo non è stato possibile utilizzare

tutte le previsioni ritrovate, a causa degli orizzonti temporali talvolta ancora molto distanti dal presente.

Title	year	Foresight methodology	Outlook year	Number of citations	Topic cluster	Quantitative metrics used (yes/no)
A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects	2015	Literature review	2020	437		no
Present Status and Future Trends in Electric Vehicle Propulsion Technologies	2013	Genius forecasting	not specified	309		no
Battery electric vehicles, hydrogen fuel cells and biofuels. Which will be the winner?	2011	Scenarios	2050	180		yes
...	...	...	...	...	...	...

**Tabela 3 – Estratto della lista di tutti gli studi di technology foresight ritrovati con la metodologia applicata**

### 3.3. Risultati ottenuti

A questo punto, sulla base delle informazioni riportate nella tabella, sono state selezionate le previsioni, in modo tale che appartenessero tutte a studi con: uguale orizzonte previsionale (cioè il 2020), utilizzo di metriche quantitative per le previsioni (affinché fosse possibile la successiva comparazione tra stato attuale e previsionale) e un numero di citazioni non trascurabile.

Da questi studi sono state estratte le previsioni numeriche fornite per il 2020 e conseguentemente esse sono state confrontate con il corrispondente livello dello stato attuale.

Una sintesi di ciò che emerso dalla comparazione è riportato in tabella 4 (per informazioni più dettagliate si rimanda al capitolo 5 della tesi).

Cluster	Description	Metric	Predicted for 2020	Real 2020	
Batterie	Costo di produzione di una singola batteria	\$/kWh	271	135	BEV – Battery Electric Vehicles
Batterie/Vehicle performance	Peso ("Curb weight")	kg	1220	1832	
Vehicle performance	Distanza percorribile con una singola carica di batteria	km	358	620 – 250 - 200 (fortemente dipendente dal modello di auto considerato)	
Vehicle performance	Tempo necessario per ricaricare la batteria dell'auto	min	85	Fra 30 min e 20h (fortemente dipendente dalla tipologia di strumentazione usata)	

				nell'operazione )	
<i>Market acceptance</i>	Percentuale di auto elettriche vendute in un anno rispetto al totale di auto vendute	Global worldwide market	3%	2%	
		Western Europe	7%	3,5%	
		North America	5%	2%	
<i>Environmental impact</i>	Fuel economy	Km/l	22	23	HEV – Hybrid
<i>Environmental Impact</i>	Greenhouse gas emissions	g/km	221	230	Electric VEHicles

**Tabella 4 -Comparazione tra i dati delle previsioni e reale sviluppo**

Dal confronto tra i dati delle previsioni sono emerse le informazioni necessarie per completare le risposte alle tre domande di ricerca poste all'inizio dello studio, che sono sintetizzate di seguito.

#### **4. Conclusioni**

- Attraverso l'esecuzione della metodologia proposta è stato possibile mappare gli studi previsionali. La mappatura ha consentito di avere una visione ordinata della situazione ad alto livello degli studi di technology foresight riguardanti l'elettrificazione del settore. Esistono quattro cluster principali in base agli argomenti specifici oggetto degli studi previsionali. È stato inoltre interessante come gli algoritmi di text mining non abbiano rilevato l'importanza di bigrams riguardanti in qualche modo le innovazioni da un punto di vista di business model e di integrazione con le tecnologie complementari, argomenti che oggi sono al centro della discussione nel mondo dell'auto elettrica. In altre parole è possibile pensare che in passato la ricerca si sia concentrata sulle tecnologie del veicolo e soltanto in un secondo momento si sia dedicata allo studio delle tecnologie complementari e del loro effetto sui modelli di business.

- La mappatura di alto livello degli studi previsionali ha consentito inoltre di poter prendere delle direzioni di approfondimento specifiche, ricavando i valori numerici delle previsioni numeriche per il 2020 nelle aree identificate. Le comparazioni numeriche sono state in larga parte possibile in tutti quei casi in cui le metriche definite si sono rivelate comparabili con quelle attualmente utilizzate.

-Nelle previsioni ritrovate non sembra esserci una vera e propria *esagerazione / "hype"* diffusa per le aspettative di sviluppo della tecnologia. Alcune previsioni si sono infatti

rivelate addirittura cautelative, come quelle sul costo di produzione delle batterie, tradizionalmente considerato come una delle barriere più importanti da superare per la diffusione delle auto elettriche. D'altro canto è vero che le previsioni di evoluzione per altri aspetti fondamentali per la diffusione della nuova tipologia di auto, come il tempo di ricarica e la distanza percorribile non sono del tutto in linea con i livelli delle aspettative. Pertanto, i dati ritrovati con questa tesi suggeriscono che allo stato attuale le tecnologie più comuni e accessibili sono per certi aspetti ancora distanti dai livelli predetti, anche se sul mercato stanno iniziando a comparire modelli di auto elettriche con configurazioni che rispettano ampiamente le aspettative.