



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e
lo sviluppo economico sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Life Cycle Assessment di sistemi per le auto elettriche

M. Cellura, S. Longo, A. Orioli, D. Panno



LIFE CYCLE ASSESSMENT DI SISTEMI PER LE AUTO ELETTRICHE

M. Cellura, S. Longo, A. Orioli, D. Panno (Dipartimento dell'Energia, Università di Palermo)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto

Responsabile del Progetto: Giuseppe Barbieri, ENEA

Indice

Sommario	4
1. Analisi comparativa delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione esaminata con quelle di altre batterie	5
1.1 Prestazioni energetico - ambientali di batterie al Li-ione: sintesi del caso studio	5
1.2 Prestazioni energetico - ambientali di batterie al Li-ione: dati riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria.....	11
1.3 Analisi comparativa delle prestazioni energetico-ambientali di batterie al Li-ione.....	14
1.3 Analisi comparativa delle prestazioni energetico-ambientali di batterie al Li-ione.....	14
1.3.1 Selezione dei casi studio	14
1.3.2 Considerazioni generali sull'analisi comparativa	17
1.4 Analisi comparativa.....	18
1.4.1 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali delle batterie esaminate nelle Schede N.1 e N.2	18
1.4.2 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali della batteria esaminata nella Scheda N.7.....	19
1.4.3 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali della batteria esaminata nella Scheda N.9.....	19
1.4.4 Sintesi dei risultati.....	20
1.5 Conclusioni	23
2. Analisi di sensibilità dei risultati della LCA	24
2.1 Introduzione.....	24
2.2 L'analisi di sensibilità applicata al caso studio delle batterie	25
2.3 Sintesi del caso studio	31
2.4 I risultati dell'analisi di sensibilità	32
2.5 Sintesi dei risultati: confronto tra i diversi scenari	33
2.6 Sintesi dei risultati: confronto tra le diverse tipologie di batterie.....	43
2.7 Conclusioni	47
3. Definizione di criteri di eco-design da applicare nella progettazione e realizzazione delle batterie Li-ione	48
3.1 Introduzione.....	48
3.2 LCA delle batterie Li-ione: elementi di criticità.....	49
3.3 Conclusioni	57
Appendice	58
Bibliografia	97

Sommario

Il documento descrive le attività svolte dal Dipartimento dell'Energia dell'Università degli Studi di Palermo nell'ambito del progetto "Life Cycle Assessment di sistemi per le auto elettriche".

In dettaglio, nella prima parte del documento vengono presentati i risultati della Sub-attività A "Comparazione delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione esaminata con quelle di altre batterie", che riguarda la comparazione delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione, stimate tramite l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment durante il primo anno di attività, con quelle di altre batterie agli ioni di litio, i cui dati sono stati reperiti dall'analisi dello stato dell'arte internazionale effettuata nel primo anno di attività.

Nella seconda parte sono riportati i risultati della Sub-attività B "Analisi di sensibilità dei risultati della LCA", che riguarda una dettagliata analisi di sensibilità sui risultati della LCA svolta nel primo anno di attività. In particolare tale analisi ha permesso di valutare in che modo, cambiando le ipotesi iniziali riguardanti i dati sulla fase d'uso, i risultati subiscono delle variazioni, e di ottenere informazioni attendibili e rappresentative sull'eco-profilo della batteria Li-ione in esame.

L'ultima parte del documento riporta i risultati della Sub-attività C "Definizione di criteri di eco-design da applicare nella progettazione e realizzazione delle batterie Li-ione".

Un'attenta analisi dei risultati ottenuti nell'annualità precedente ha consentito di individuare i materiali e i componenti della batteria responsabili dei maggiori impatti energetico – ambientali. Sulla base di un'analisi degli studi di letteratura riguardanti le batterie agli ioni di litio sono stati definiti degli indirizzi di progettazione eco-compatibile, individuando dei materiali alternativi da impiegare per la produzione della batteria, caratterizzati da minori impatti energetico – ambientali rispetto a quelli attualmente impiegati.

1. Analisi comparativa delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione esaminata con quelle di altre batterie

1.1 Prestazioni energetico - ambientali di batterie al Li-ione: sintesi del caso studio

Lo studio LCA effettuato dal Dipartimento dell'Energia nel primo anno di attività [Cellura et al., 2011] ha permesso di stimare le prestazioni energetico - ambientali di batterie di avviamento costituite da tre differenti tipologie di celle basate sulla tecnologia ferro-fosforo.

In dettaglio, sono state esaminate tre differenti Unità Funzionali (UF), i cui confini del sistema sono riportati in Figura 1:

- UF₁: N.1 batteria con celle al LiFePO₄ del tipo HP-PW-30AH;
- UF₂: N.1 batteria con celle al LiFePO₄ del tipo HP-PW-60AH;
- UF₃: N.1 batteria con celle al LiFePO₄ del tipo HP-PW-100AH.

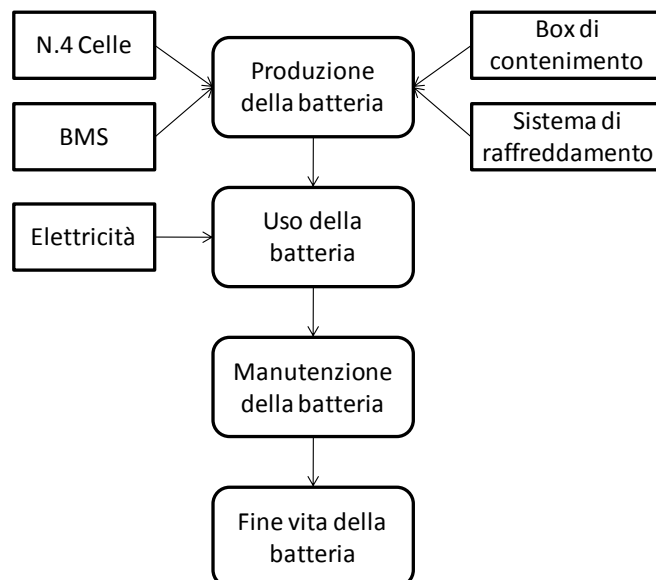


Figura 1: Confini del sistema esaminato

Ogni batteria analizzata è costituita dai seguenti componenti principali:

- N.4 celle del tipo HP-PW;
- Box di contenimento della batteria, in acciaio inox;
- Sistema di raffreddamento della batteria, in acciaio inox;
- Battery Management System, costituito da una scheda elettronica, un lettore di corrente e dai cavetti per le connessioni alle singole celle.

Le caratteristiche tecniche delle celle che costituiscono le batterie in esame sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Caratteristiche tecniche delle celle

Tipo di cella		HP-PW-30AH	HP-PW-60AH	HP-PW-100AH
Caratteristiche	U.M.	Valore	Valore	Valore
Capacità nominale	Ah	30	60	100
Voltaggio	V	3,2	3,2	3,2
Peso	kg	1,15	2,04	3,4
Dimensioni (includere le parti terminali)	mm	103*58*168	114*61*203	163*51*278
Scarica (23 °C)				
Massima corrente continua	A	90	180	300
Corrente di picco (60 sec.)	A	150	300	500
Voltaggio di corto circuito	V	2,5	2,5	2,5
Carica				
Modalità di carica		CC/CV (3,65 V)	CC/CV (3,65 V)	CC/CV (3,65 V)
Massima corrente continua	A	30	60	100
Voltaggio di corto circuito	V	3,85	3,85	3,85

I risultati dell'analisi di inventario, presentati in quattro categorie di impatto (consumo di materie prime, emissioni in aria, emissioni in acqua, emissioni al suolo), sono riportati in dettaglio in [Cellura et al., 2011].

I dati di inventario sono stati sintetizzati in specifici indici di prestazione energetico – ambientale riportati di seguito (Tabelle 2 – 7):

- Consumo di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile;
- Effetto serra potenziale (Global Warming Potential – GWP);
- Distruzione dello strato di ozono (Ozone Depletion Potential – ODP);
- Formazione di ossidanti fotochimici (Photochemical Ozone Creation Potential);
- Acidificazione potenziale (Acidification Potential – AP);
- Eutrofizzazione potenziale (Eutrophication Potential – EP).

In Tabella 8 e Tabella 9 si riportano, inoltre, gli impatti energetico-ambientali riferiti alla fase di produzione di una singola cella.

Tabella 2: Consumo di energia primaria fase di produzione delle UF_s

Batteria con celle da 30 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Celle	283,52	18,36
BMS	236,97	15,10
Box batteria	273,77	44,96
Sistema raffreddamento	169,79	27,88
Totale	964,06	106,30
Batteria con celle da 60 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Celle	502,89	32,58
BMS	473,94	30,19
Box batteria	319,97	52,55
Sistema raffreddamento	198,55	32,61
Totale	1495,35	147,92
Batteria con celle da 100 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Celle	838,09	54,29

BMS	789,89	50,32
Box batteria	420,14	68,99
Sistema raffreddamento	260,61	42,80
Totale	2308,74	216,40

Tabella 3: Impatti ambientali fase di produzione delle UF_s

Batteria con celle da 30 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	53,70	2,4E-03	4,8E-02	0,53	0,62
BMS	15,61	2,1E-06	1,0E-02	0,07	0,23
Box batteria	18,76	1,2E-06	1,3E-02	0,09	0,04
Sistema raffreddamento	11,64	7,7E-07	8,2E-03	0,05	0,02
Totale	99,71	2,4E-03	8,0E-02	0,74	0,91
Batteria con celle da 60 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	95,26	4,3E-03	8,6E-02	0,94	1,10
BMS	31,22	4,2E-06	2,1E-02	0,14	0,45
Box batteria	21,93	1,4E-06	1,5E-02	0,10	0,04
Sistema raffreddamento	13,61	9,0E-07	9,5E-03	0,06	0,03
Totale	162,01	4,3E-03	1,3E-01	1,25	1,62
Batteria con celle da 100 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	158,76	7,1E-03	1,4E-01	1,57	1,83
BMS	52,04	6,9E-06	3,5E-02	0,24	0,76
Box batteria	28,79	1,9E-06	2,0E-02	0,13	0,06
Sistema raffreddamento	17,86	1,2E-06	1,3E-02	0,08	0,04
Totale	257,44	7,2E-03	2,1E-01	2,02	2,68

Tabella 4: Consumo di energia primaria fase d'uso delle UF_s

	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Batteria con celle da 30 Ah	1328,82	120,75
Batteria con celle da 60 Ah	2683,99	243,90
Batteria con celle da 100 Ah	4546,43	413,15

Tabella 5: Impatti ambientali fase d'uso delle UF_s

	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Batteria con celle da 30 Ah	66,03	3,3E-06	2,0E-02	0,26	0,20
Batteria con celle da 60 Ah	133,36	6,7E-06	4,1E-02	0,52	0,40
Batteria con celle da 100 Ah	225,91	1,1E-05	6,9E-02	0,89	0,68

Tabella 6: Consumo di energia primaria fase di fine vita delle UF_s

	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
--	------------------------------	--------------------------

Batteria con celle da 30 Ah	51,93	3,27
Batteria con celle da 60 Ah	92,12	5,80
Batteria con celle da 100 Ah	153,54	9,66

Tabella 7: Impatti ambientali fase di fine vita delle UF_s

	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Batteria con celle da 30 Ah	1,07	5,6E-08	6,8E-04	0,01	2,0E-03
Batteria con celle da 60 Ah	1,90	1,0E-07	1,2E-03	0,02	3,0E-03
Batteria con celle da 100 Ah	3,16	1,7E-07	2,0E-03	0,03	1,0E-02

Tabella 8: Consumo di energia primaria fase di produzione cella

Cella 30 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	6,22	0,03
Rame (collettore di corrente el. -)	11,14	2,74
Tetrafluoroetilene (legante)	7,19	0,30
Grafite (materiale attivo el. -)	11,56	0,20
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,22	0,004
Nichel	0,34	0,09
Alluminio	0,52	0,11
Gomma	0,11	0,002
Additivi carboniosi	1,95	0,003
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	28,78	1,07
Materiale acrilico	0,23	0,004
Polietilene	1,35	0,02
Polipropilene	1,29	0,01
Totale	70,88	4,59

Cella 60 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	11,04	0,05
Rame (collettore di corrente el. -)	19,75	4,86
Tetrafluoroetilene (legante)	12,75	0,53
Grafite (materiale attivo el. -)	20,50	0,36
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,40	0,01
Nichel	0,60	0,16
Alluminio	0,92	0,19
Gomma	0,18	0,004
Additivi carboniosi	3,45	0,01
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	51,05	1,91
Materiale acrilico	0,40	0,01
Polietilene	2,39	0,04
Polipropilene	2,28	0,01
Totale	125,72	8,14

Cella 100 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	18,40	0,08

Rame (collettore di corrente el. -)	32,92	8,10
Tetrafluoroetilene (legante)	21,25	0,89
Grafite (materiale attivo el. -)	34,16	0,60
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,66	0,01
Nichel	1,00	0,27
Alluminio	1,53	0,32
Gomma	0,30	0,01
Additivi carboniosi	5,74	0,01
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	85,09	3,18
Materiale acrilico	0,67	0,01
Polietilene	3,99	0,07
Polipropilene	3,81	0,02
Totale	209,52	13,57

Tabella 9: Impatti ambientali fase di produzione cella

Cella 30 Ah	GWP	ODP	POCP	AP	EP
	(kg CO _{2eq})	(kg CFC-11 _{eq})	(kg C ₂ H _{4eq})	(kg SO _{2eq})	(kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,11	4,7E-08	1,8E-04	6,9E-04	1,3E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	0,72	6,4E-08	6,9E-03	1,1E-01	1,3E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	10,17	6,0E-04	3,4E-04	3,7E-03	7,8E-04
Grafite (materiale attivo el. -)	0,26	1,2E-07	2,8E-03	1,4E-03	1,4E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,01	3,4E-10	8,9E-06	2,1E-05	1,0E-05
Nichel	0,02	2,1E-09	1,8E-04	3,3E-03	3,1E-04
Alluminio	0,04	2,4E-09	2,3E-05	1,6E-04	6,6E-05
Gomma	0,00	7,0E-10	5,3E-06	1,1E-05	4,4E-06
Additivi carboniosi	0,05	2,5E-08	2,9E-05	1,3E-04	1,8E-05
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	1,95	2,4E-07	1,4E-03	1,6E-02	2,6E-02
Materiale acrilico	0,01	8,1E-10	9,6E-06	2,7E-05	1,2E-05
Polietilene	0,04	1,1E-11	9,0E-05	1,2E-04	1,1E-05
Polipropilene	0,03	8,6E-12	6,9E-05	9,4E-05	1,2E-05
Totale	13,42	6,0E-04	1,2E-02	1,3E-01	1,5E-01

Cella 60 Ah	GWP	ODP	POCP	AP	EP
	(kg CO _{2eq})	(kg CFC-11 _{eq})	(kg C ₂ H _{4eq})	(kg SO _{2eq})	(kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,20	8,4E-08	3,2E-04	1,2E-03	2,3E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	1,28	1,1E-07	1,2E-02	1,9E-01	2,2E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	18,04	1,1E-03	6,0E-04	6,5E-03	1,4E-03
Grafite (materiale attivo el. -)	0,46	2,1E-07	5,0E-03	2,5E-03	2,5E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,01	5,9E-10	1,6E-05	3,8E-05	1,8E-05
Nichel	0,04	3,7E-09	3,2E-04	5,9E-03	5,5E-04
Alluminio	0,07	4,3E-09	4,2E-05	2,8E-04	1,2E-04
Gomma	0,01	1,2E-09	8,8E-06	1,9E-05	7,4E-06
Additivi carboniosi	0,09	4,4E-08	5,1E-05	2,2E-04	3,1E-05
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	3,46	4,3E-07	2,5E-03	2,9E-02	4,6E-02
Materiale acrilico	0,01	1,4E-09	1,7E-05	4,8E-05	2,2E-05
Polietilene	0,06	2,0E-11	1,6E-04	2,1E-04	2,0E-05
Polipropilene	0,06	1,5E-11	1,2E-04	1,7E-04	2,1E-05
Totale	23,81	1,1E-03	2,1E-02	2,3E-01	2,7E-01

Cella 100 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,34	1,4E-07	5,3E-04	2,0E-03	3,8E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	2,13	1,9E-07	2,0E-02	3,2E-01	3,7E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	30,07	1,8E-03	1,0E-03	1,1E-02	2,3E-03
Grafite (materiale attivo el. -)	0,77	3,5E-07	8,3E-03	4,2E-03	4,2E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,02	9,9E-10	2,6E-05	6,3E-05	3,1E-05
Nichel	0,07	6,2E-09	5,3E-04	9,7E-03	9,2E-04
Alluminio	0,11	7,1E-09	6,9E-05	4,6E-04	2,0E-04
Gomma	0,01	2,0E-09	1,5E-05	3,2E-05	1,3E-05
Additivi carboniosi	0,15	7,4E-08	8,4E-05	3,7E-04	5,2E-05
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	5,77	7,2E-07	4,2E-03	4,8E-02	7,7E-02
Materiale acrilico	0,02	2,4E-09	2,8E-05	8,0E-05	3,6E-05
Polietilene	0,11	3,3E-11	2,7E-04	3,5E-04	3,3E-05
Polipropilene	0,10	2,5E-11	2,0E-04	2,8E-04	3,4E-05
Totale	39,69	1,8E-03	3,6E-02	3,9E-01	4,6E-01

1.2 Prestazioni energetico - ambientali di batterie al Li-ione: dati riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria

I dati sulla fase d'uso delle batterie, impiegati nello studio dell'annualità precedente, sono stati stimati basandosi su dati di letteratura [Zackrisson et al., 2010] e su alcune ipotesi relative all'impiego della batteria stessa e del veicolo su cui essa viene installata [Cellura et al., 2011].

Questa scelta è stata indotta da una non sufficiente disponibilità di dati primari sperimentali sulla fase d'uso della batteria, ed in particolare sull'energia consumata dalla batteria e su quella fornita dalla stessa.

Inoltre, proprio a causa della carenza dei suddetti dati sperimentali, l'unica unità funzionale a cui è stato possibile riferire gli impatti energetico – ambientali è stata l'intera batteria, considerato che non erano disponibili informazioni esaustive per determinare gli impatti specifici riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria.

Nel secondo anno di attività sono state effettuate dall'ENEA delle prove sperimentali sull'uso della batteria ed in particolare sul ciclo di carica-scarica della stessa. Un'analisi dettagliata dei dati sperimentali è riportata nel Capitolo 3 del presente report.

Sulla base di tali dati è stata esaminata la fase d'uso della batteria, ed in particolare sono stati stimati:

- un valore medio dell'energia erogata dalla batteria in fase di scarica;
- un valore medio dell'energia consumata e/o dissipata dalla batteria in fase di scarica.

L'ENEA ha inoltre fornito dei dati riguardanti il consumo del Battery Management System (BMS) presente nella batteria.

Tutti i nuovi dati a disposizione sono stati riferiti al ciclo di vita della batteria, ipotizzando una vita utile della stessa di 12.000 ore (6.000 ore in fase di carica e 6.000 ore in fase di scarica).

Nota l'energia erogata dalla batteria durante tutta la sua vita utile, è stato possibile riferire gli impatti energetico – ambientali dovuti alle fasi di produzione (stimata nell'annualità precedente), uso (stimato nella presente annualità utilizzando i dati sperimentali) e fine vita (stimata nell'annualità precedente) ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria.

Si è inoltre ipotizzato che l'energia immagazzinata dalla batteria in fase di carica sia prodotta utilizzando il mix energetico italiano di produzione dell'elettricità.

Gli impatti energetico – ambientali di 1 kWh di energia erogata dalla batteria sono riportati nelle Tabelle 10-13. Per un maggiore dettaglio sul calcolo di tali impatti si rimanda al Capitolo 3.

Tabella 10: Impatti energetici per le differenti tipologie di batterie, riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalle batterie: fase di produzione

Batteria con celle da 30 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	1,58	0,10	1,69
BMS	1,32	0,08	1,41
Box batteria	1,53	0,25	1,78
Sistema raffreddamento	0,95	0,16	1,11
Totale	5,39	0,59	5,98
Batteria con celle da 60 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	1,44	0,09	1,54

BMS	1,36	0,09	1,45
Box batteria	0,92	0,15	1,07
Sistema raffreddamento	0,57	0,09	0,66
Totale	4,29	0,42	4,72
Batteria con celle da 100 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	1,37	0,09	1,45
BMS	1,29	0,08	1,37
Box batteria	0,68	0,11	0,80
Sistema raffreddamento	0,42	0,07	0,49
Totale	3,76	0,35	4,12

Tabella 11: Impatti ambientali per le differenti tipologie di batterie, riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalle batterie: fase di produzione

Batteria con celle da 30 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	0,30	1,34E-05	2,68E-04	2,96E-03	3,47E-03
BMS	0,09	1,17E-08	5,59E-05	3,91E-04	1,29E-03
Box batteria	0,10	6,71E-09	7,27E-05	5,03E-04	2,24E-04
Sistema raffreddamento	0,07	4,30E-09	4,58E-05	2,80E-04	1,12E-04
Totale	0,56	1,34E-05	4,43E-04	4,14E-03	5,09E-03
Batteria con celle da 60 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	0,27	1,23E-05	2,47E-04	2,70E-03	3,16E-03
BMS	0,09	1,21E-08	6,03E-05	4,02E-04	1,29E-03
Box batteria	0,06	4,02E-09	4,31E-05	2,87E-04	1,15E-04
Sistema raffreddamento	0,04	2,58E-09	2,73E-05	1,72E-04	8,61E-05
Totale	0,47	1,24E-05	3,78E-04	3,56E-03	4,65E-03
Batteria con celle da 100 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	0,26	1,16E-05	2,28E-04	2,56E-03	2,98E-03
BMS	0,08	1,12E-08	5,70E-05	3,91E-04	1,24E-03
Box batteria	0,05	3,10E-09	3,26E-05	2,12E-04	9,78E-05
Sistema raffreddamento	0,03	1,96E-09	2,12E-05	1,30E-04	6,52E-05
Totale	0,42	1,16E-05	3,39E-04	3,29E-03	4,38E-03

Tabella 12: Impatti energetico - ambientali per le differenti tipologie di batterie, riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalle batterie: fase d'uso

	30 Ah	60 Ah	100 Ah
Energia non rinnovabile (MJ)	1,64	2,88	2,35
Energia rinnovabile (MJ)	0,13	0,23	0,18
Energia totale (MJ)	1,77	3,10	2,54
GWP (kg CO _{2eq})	1,18E-01	2,07E-01	1,69E-01
ODP (kg CFC-11 _{eq})	1,39E-08	2,43E-08	1,99E-08

POCP (kg C ₂ H _{4eq})	5,51E-05	9,67E-05	7,89E-05
AP (kg SO _{2eq})	4,87E-04	8,55E-04	6,98E-04
EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})	1,22E-04	2,14E-04	1,75E-04

Tabella 13: Impatti energetico - ambientali per le differenti tipologie di batterie, riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalle batterie: fase di fine vita

	30 Ah	60 Ah	100 Ah
Energia non rinnovabile (MJ)	2,90E-01	2,64E-01	2,50E-01
Energia rinnovabile (MJ)	1,83E-02	1,67E-02	1,57E-02
Energia totale (MJ)	3,09E-01	2,81E-01	2,66E-01
GWP (kg CO _{2eq})	5,98E-03	5,45E-03	5,15E-03
ODP (kg CFC-11 _{eq})	3,13E-10	2,87E-10	2,77E-10
POCP (kg C ₂ H _{4eq})	3,80E-06	3,45E-06	3,26E-06
AP (kg SO _{2eq})	5,59E-05	5,74E-05	4,89E-05
EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})	1,12E-05	8,61E-06	1,63E-05

1.3 Analisi comparativa delle prestazioni energetico-ambientali di batterie al Li-ione

1.3.1 Selezione dei casi studio

Nel primo anno di attività, il Dipartimento dell'Energia ha condotto una dettagliata analisi dello stato dell'arte sulla LCA applicata alle batterie Li-ione [Majeau-Bettez et al., 2011].

Gli studi esaminati sono stati sintetizzati in N.10 schede, in ciascuna delle quali sono presenti, qualora disponibili, informazioni relative a:

- Tipologia di prodotto;
- Autori e riferimenti bibliografici;
- Caratteristiche del prodotto;
- Metadati (unità funzionale, confini del sistema, regole di cut-off, regole di allocazione, qualità dei dati);
- Analisi di inventario;
- Impatti energetici ed ambientali.

Una sintesi delle schede, in cui si indicano le informazioni relative al tipo di batteria, all'unità funzionale, ai confini del sistema ed agli indicatori di impatto energetico - ambientale stimati, è riportata in Tabella 14.

Tabella 14: Sintesi delle schede sullo stato dell'arte

Scheda	Tipo di batteria	Unità funzionale	Confini del sistema	Indicatori di impatto
N.1 [Majeau-Bettez et al., 2011]	Litio-ferro-fosforo (LFP)	50 MJ di energia accumulata nella batteria e trasferita all'apparato propulsore del veicolo.	- Produzione dei sub-componenti; - Assemblaggio della batteria; - Uso (carica-scarica della batteria).	- Effetto serra potenziale; - Esaurimento di combustibili fossili; - Ecotossicità ed eutrofizzazione in acqua dolce, marina e terrestre; - Tossicità umana; - Esaurimento di metalli; - Distruzione dello strato di ozono; - Formazione di particolato.
N. 2 [Majeau-Bettez et al., 2011]	Litio-nickel-cobalto-manganese (NCM)	50 MJ di energia accumulata nella batteria e trasferita all'apparato propulsore del veicolo.	- Produzione dei sub-componenti; - Assemblaggio della batteria; - Uso (carica-scarica della batteria).	- Effetto serra potenziale; - Esaurimento di combustibili fossili; - Ecotossicità ed eutrofizzazione in acqua dolce, marina e terrestre; - Tossicità umana; - Esaurimento di metalli;

				<ul style="list-style-type: none"> - Distruzione dello strato di ozono; - Formazione di particolato.
N.3 [Notter et al., 2010]	Ioni di litio LiMnO ₄	1 kg di batteria	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione dei sub-componenti; - Fine vita. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoindicatore (EI 99 H/A); - Domanda di energia primaria non rinnovabile; - Effetto serra potenziale; - Esaurimento delle risorse abiotiche.
N.4 [Van den Bossche et al., 2006; Matheys et al., 2004, 2007, 2008]	Ioni di litio	Batteria che consente al veicolo di percorrere 60 km con un depth-of-discharge dell'80%	<ul style="list-style-type: none"> - Estrazione delle materie prime; - Produzione di materiali e componenti; - Uso della batteria nel veicolo; - Riciclo delle batterie di scarto; - Smaltimento finale o incenerimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ecoindicatore (EI 99 H/A)
N.5 [Ishihara et al., 2006]	Ioni di litio	1 kWh di capacità energetica della batteria	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione; - Raccolta a fine vita; - Riciclo delle batterie e smaltimento dei rifiuti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo di energia primaria; - Emissioni di CO₂.
N.6 [Siret et al., 2009]	Ioni di litio	1 cella MP Saft	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione del LiCoO₂; - Produzione dell'elettrodo positivo; - Assemblaggio della cella; - Riciclo della batteria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo di energia primaria; - Emissioni di CO₂.
N.7 [Samaras et al., 2008]	Ioni di litio	1 kWh di capacità della batteria.	<ul style="list-style-type: none"> - Produzione della batteria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo di energia primaria; - Effetto serra potenziale.
N.8 [Schexnayder	Ioni di litio	1 batteria	<ul style="list-style-type: none"> - Estrazione delle materie prime; - Produzione e 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso di risorse non rinnovabili; - Uso di risorse

et al., 2001]			<p>assemblaggio dei componenti della batteria;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uso della batteria. 	<p>rinnovabili;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo di energia; - Effetto serra potenziale; - Distruzione dell'ozono stratosferico; - Acidificazione; - Formazione di smog; - Particolato; - Eutrofizzazione; - Qualità dell'acqua – BOD; - Qualità dell'acqua – TSS; - Uso del suolo in discarica per rifiuti solidi; - Uso del suolo in discarica per rifiuti pericolosi.
<p>N.9 [Zackrisson et al., 2010]</p>	<p>Ioni di litio LiFePO₄</p>	<p>1 batteria con 10 kWh di energia accumulata, che effettua 3.000 cicli di carica con un depth-of-dicharge dell'80% e che consente ad un veicolo di percorrere almeno 200000 km durante la vita utile del veicolo stesso</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estrazione delle materie prime; - Produzione e assemblaggio dei componenti della batteria; - Uso nel veicolo; - Raccolta della batteria a fine vita; - Processi di riciclo di quei componenti che vengono riutilizzati nella batteria stessa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Effetto serra potenziale
<p>N.10 [Messagie et al., 2010; Boureima et al., 2009]</p>	<p>Ioni di litio</p>	<p>Distanza percorsa dal veicolo pari a 230.500 km, corrispondente ad una vita utile del veicolo di 13,7 anni.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estrazione delle materie prime; - Produzione e assemblaggio dei componenti del veicolo; - Trasporto del veicolo dall'azienda produttrice all'utente finale; - Uso; 	<ul style="list-style-type: none"> - Acidificazione dell'aria; - Eutrofizzazione; - Salute umana; - Effetto serra potenziale.

			- Fine vita.	
--	--	--	--------------	--

Al fine di effettuare una comparazione tra i risultati del caso studio e quelli riportati nelle schede, tutti i dati relativi alle prestazioni energetico – ambientali sono stati elaborati in modo da riferirli ad una stessa UF: 1 kWh di energia erogata dalla batteria.

L'analisi dettagliata degli studi di letteratura riportati nelle 10 schede ha permesso di selezionare quelli che, sulla base dell'unità funzionale scelta, dei confini del sistema e degli indicatori di impatto energetico-ambientale stimati, potevano essere comparati con il caso studio della batteria al Li-ione. In dettaglio, sono state selezionate le schede N.1-2-7-9. Non è stato possibile effettuare una comparazione con gli studi riportati nelle schede N.3-4-5-6-8-10 per i seguenti motivi:

- Scheda N.3: non è possibile riferire i risultati ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria;
- Scheda N.4: gli impatti vengono presentati tramite l'indice "eco-indicatore", non presente tra gli indici di impatto selezionati per il caso studio.
- Scheda N.5: non è possibile riferire i risultati ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria;
- Scheda N.6: non vengono fornite informazioni dettagliate sulle caratteristiche tecniche della cella. Non è quindi possibile effettuare una comparazione con le celle impiegate nelle batterie al Li-ione esaminate nel caso studio.
- Scheda N.8: non è possibile riferire i risultati ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria;
- Scheda N. 10: i valori sono riportati graficamente e sono riferiti ad un intero veicolo. Non è quindi possibile estrapolare i valori numerici relativi alla batteria, di cui non si hanno inoltre informazioni dettagliate sulle caratteristiche tecniche.

1.3.2 Considerazioni generali sull'analisi comparativa

Il processo di comparazione tra la LCA della batteria al Li-ione esaminata nel caso studio e quelle rilevate dall'analisi dello stato dell'arte è risultato difficoltoso a causa della carenza di dati ed informazioni dettagliate sul campo di applicazione e sulle scelte ed assunzioni fatte per eseguire gli studi riportati in letteratura. Più in dettaglio, si sono riscontrati:

- Scarsa trasparenza nell'indicazione delle ipotesi iniziali e delle modalità di raccolta dei dati di campo.
- Carenza di informazioni dettagliate sui confini del sistema, sulle regole di cut-off e di allocazione e sulle scelte ed assunzioni fatte per eseguire gli studi, con particolare riferimento alle ipotesi fatte per l'analisi della fase d'uso delle batterie.
- Scarso dettaglio nella descrizione delle batterie e delle loro caratteristiche tecniche.
- Scarsa presenza dei riferimenti bibliografici relativi ai dati secondari impiegati.
- Presentazione dei risultati in modo aggregato o normalizzato secondo criteri differenti (ad esempio utilizzando gli eco-indicatori). Ciò comporta una perdita di informazioni utili oltre che una notevole difficoltà o, talvolta, impossibilità ad effettuare un confronto tra studi diversi.
- Sostanziale assenza di metadati ovvero informazioni aggiuntive sulla qualità dei dati.
- Uso di differenti indicatori di impatto scelti per descrivere le prestazioni energetico – ambientali delle batterie e, per uno stesso indicatore, uso di differenti unità di misura non comparabili.

1.4 Analisi comparativa

1.4.1 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali delle batterie esaminate nelle Schede N.1 e N.2

Majeau-Bettez et al. (2011) hanno stimato gli impatti energetico – ambientali connessi ad una batteria al litio-ferro-fosfato (LFP) (Scheda N.1) e ad una batteria al litio-nickel-cobalto-manganese (NCM) (Scheda N.2), selezionando come unità funzionale 50 MJ di energia accumulata dalla batteria e trasferita all'apparato propulsore del veicolo alimentato dalla stessa. I confini del sistema esaminato sono: produzione dei sub-componenti della batteria e l'uso (carica-scarica) della batteria. Le celle impiegate nella batteria LFP hanno un voltaggio di 3,4 V e una capacità nominale di 32,3 Ah/kg, mentre quelle impiegate nella batteria NCM hanno un voltaggio di 3,7 V e una capacità nominale di 37,9 Ah/kg.

Gli autori hanno riportato gli impatti relativi alla batteria considerando 13 indicatori di impatto. Di questi, solo 4 sono stati selezionati per effettuare una comparazione con le batterie B30AH, B60AH e B100AH: effetto serra potenziale (GWP), esaurimento di combustibili fossili (FDP)¹, distruzione dello strato di ozono stratosferico (ODP), acidificazione terrestre (AP).

Gli altri indicatori sono stati esclusi per due diversi motivi: 1) differente unità di misura dell'indicatore (in particolare l'indicatore relativo all'eutrofizzazione è espresso dagli autori in kgP_{eq} mentre per le B30AH, B60AH e B100AH è espresso in kg PO₄³⁻_{eq}); 2) indicatore non stimato per le B30AH, B60AH e B100AH.

I 4 indicatori selezionati per le batterie LFP (scheda N.1) e NCM (scheda N.2), riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria, sono riportati in Tabella 15 e sono relativi alla sola fase di produzione delle batterie. Si è scelto di comparare gli impatti energetico – ambientali della sola fase di produzione delle batterie LFP e NCM con quelli delle batterie B30AH, B60AH e B100AH, poiché non vengono fornite informazioni dettagliate sulla fase d'uso e non è, quindi, possibile valutare eventuali assunzioni su tale fase.

Tabella 15: Impatti energetico - ambientali fase di produzione

	GWP (kg CO _{2eq} /kg)	FDP (MJ/kg)	ODP (kg CFC-11 _{eq} /kg)	AP (kg SO _{2eq} /kg)
LFP	0,05	0,45	5,33E-07	2,45E-04
NCM	0,08	0,73	7,92E-07	6,55E-04

Con riferimento alla fase di produzione delle batterie LFP, si osserva che la produzione dell'elettrodo positivo causa circa il 35 % del GWP e circa il 10% dell'FDP e dell'AP. Il BMS è invece responsabile di circa il 15% dell'impatto sul GWP, del 20% dell'impatto sull'FDP, del 10% dell'impatto sull'AP. La produzione della batteria e di tutti i suoi componenti incide per circa il 28% su GWP, per circa il 42% sull'FDP e per circa il 28% sull'AP. L'elettrodo negativo determina circa l'8% del GWP e circa l'1% dell'FDP e dell'AP. I substrati degli elettrodi sono responsabili di circa il 2-3% del GWP e dell'FDP e di circa il 40% dell'AP. Il box batteria ha un'incidenza di circa il 2% sul GWP e sull'AP; esso determina inoltre circa il 9% dell'FDP. Altri componenti presenti nella batteria hanno un'incidenza complessiva sugli impatti variabile dall'8% al 15%.

L'impatto sull'ODP è imputabile prevalentemente alla produzione dell'elettrodo positivo (circa l'80%) e dell'elettrodo negativo (circa il 20%), mentre risulta trascurabile l'incidenza di tutti gli altri componenti su tale impatto.

Risultati analoghi si osservano per le batterie NCM, ad eccezione dell'impatto sull'AP, causato per circa il 10% dalla produzione produzione della batteria e di tutti i suoi componenti, per circa il 48% dall'elettrodo positivo, per circa il 2% dall'elettrodo negativo e dal box batteria, per circa il 22% dai

¹ Il valore numerico dell'indicatore è stato trasformato da kg petrolio_{eq} a MJ, considerando che 1TEP = 41,868 GJ.

substrati degli elettrodi e per circa il 13% dal BMS. Altri componenti presenti nella batteria hanno un'incidenza complessiva sull'impatto pari a circa il 5%.

Tali indicatori sono stati innanzitutto confrontati con i corrispondenti indicatori relativi alla fase di produzione della batteria B30AH, considerato che le celle di questa batteria hanno un voltaggio ed una capacità nominale simili a quelli delle batterie LFP e NCM. Tuttavia, si sottolinea che le batterie LFP e NCM hanno una composizione in massa differente da quella della B30AH.

I risultati della comparazione mostrano che tutti gli impatti della B30AH risultano superiori rispetto a quelli stimati da Majeau-Bettez et al., sia per quanto riguarda le batterie LFP che le NCM. In dettaglio per gli indicatori GWP, FDP e AP si rilevano differenze di un ordine di grandezza; per l'ODP si hanno differenze di due ordini di grandezza.

Nonostante le differenze in termini di capacità nominale delle celle, anche gli indicatori di impatto della B60AH e della B100AH sono stati confrontati con quelli delle batterie LFP e NCM. Anche in questo caso si è rilevato che gli impatti relativi al GWP, FDP e AP per le prime due tipologie di batterie (B60AH e B100AH) sono superiori di un ordine di grandezza rispetto alle ultime (LFP e NCM), mentre l'ODP risulta superiore di due ordini di grandezza.

Tale differenza potrebbe essere dovuta alla diversa tipologia e/o quantità di materiali impiegati per la produzione dei vari tipi di batterie esaminate, ma nello studio di Majeau Bettez et al. non vengono fornite informazioni sulle quantità di materiali impiegati.

[1.4.2 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali della batteria esaminata nella Scheda N.7](#)

Saramas et al. (2008) hanno stimato gli impatti relativi al consumo di energia primaria ed all'effetto serra potenziale connessi alla produzione di una batteria agli ioni di litio del peso di 16 kg e avente un'energia specifica di 0,1 kWh/kg, con un depth-of-discharge dell'80%. L'unità funzionale selezionata dagli autori è 1 kWh di capacità della batteria. La fase del ciclo di vita esaminata è quella di produzione.

Al fine di riferire gli indicatori di impatto ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria, riportati in Tabella 16, si è considerato che per 1 kWh di capacità energetica della batteria, si ha un'erogazione di energia pari a 0,8 kWh.

Tali indicatori risultano superiori a quelli relativi alla produzione delle batterie B30AH, B60AH e B100Ah. Tale differenza è sicuramente imputabile all'elevata quantità di energia erogata dalle batterie B30AH, B60AH e B100Ah, che riduce notevolmente gli impatti specifici.

Tabella 16: Impatti energetico - ambientali fase di produzione

CED (MJ)	GWP (kg CO _{2eq})
2125	171,4

[1.4.3 Comparazione con gli impatti energetico – ambientali della batteria esaminata nella Scheda N.9](#)

Zackrisson et al. (2010) hanno esaminato due tipologie di batterie che si differenziano per il solvente utilizzato, che può essere acqua o N-methyl-2-pyrrolidone (NMP). La batteria esaminata pesa 107,2 kg, ha una densità di energia pari a 93 Wh/kg, un voltaggio di 370 V e un'efficienza energetica interna del 90%. L'unità funzionale scelta è 1 batteria con 10 kWh di energia accumulata, che effettua 3000 cicli di carica con un depth-of-dicharge dell'80% che consente al veicolo di percorrere almeno 200000 km durante la sua vita utile. I confini del sistema esaminato sono: estrazione delle materie prime, produzione e assemblaggio dei componenti della batteria, uso nel veicolo, raccolta della batteria a fine vita, processo di riciclo dei componenti della batteria che possono essere riutilizzati. L'unico indicatore riportato quantitativamente nello studio è l'effetto serra potenziale, riportato in Tabella 17 e riferito alla fase di produzione di 1 kWh di energia erogata dalla batteria. L'indicatore è stato

riferito a tale unità funzionale considerando che la batteria accumula 10 kWh di energia ed ha un depth-of-dicharge dell'80%.

Tabella 17: Impatti energetico – ambientali relativi alla fase di produzione della batteria

	Effetto serra potenziale (kg CO _{2eq})
Batteria con acqua	225
Batteria con NMP	312

Gli impatti connessi al ciclo di vita della batteria sono pari a circa 4400 kg CO_{2eq} per le batterie con NMP e circa 3400 kg CO_{2eq} per le batterie con acqua

Nella batteria con acqua come solvente, la fase di produzione è responsabile di circa il 47% dell'impatto, mentre nella batteria con NMP come solvente tale incidenza è pari al 59%.

Tale differenza di impatto è imputabile all'uso di fluoruro di polivinilidene come legante nella batteria NMP.

Un'analisi dettagliata della fase di produzione ha evidenziato che il maggior contributo all'effetto serra potenziale relativo alla fase di produzione della batteria è imputabile al consumo di energia durante la realizzazione della batteria (circa il 50%), ai componenti elettronici (circa il 30%) ed al catodo, in particolare alla polvere di LiFePO₄ (circa il 10%).

Un confronto dei valori riportati in Tabella 17 con quelli relativi all'effetto serra potenziale imputabile alla fase di produzione delle B30Ah, B60Ah e B100Ah evidenzia che queste ultime hanno un impatto inferiore di tre ordini di grandezza se comparate con i valori relativi alle batterie con acqua e con NMP.

La differenza tra i risultati riportati da Zackrisson et al. e quelli relativi alle batterie B30AH, B60AH e B100AH è imputabile al fatto che l'analisi LCA di queste ultime non computa il consumo di energia in fase di produzione delle batterie (a causa della mancanza di informazioni dettagliate in proposito), all'impiego di diverse tipologie di materiali per la produzione delle batterie ed all'elevata quantità di energia erogata dalle batterie B30AH, B60AH e B100AH, che riduce notevolmente gli impatti specifici.

1.4.4 Sintesi dei risultati

L'analisi di comparazione effettuata tra le batterie B30Ah, B60Ah e B100 Ah e le batterie esaminate negli studi di letteratura ha evidenziato che i risultati riferiti alle B30Ah, B60Ah e B100 Ah differiscono di diversi ordini di grandezza da quelli riferiti ai vari casi studio. Tali differenze possono essere imputabili sia alle diverse assunzioni fatte negli studi, sia alle differenti prestazioni energetiche della batteria.

L'analisi di comparazione ha inoltre permesso di evidenziare, per ciascuno studio di letteratura, quali sono i componenti della batteria e gli input energetici responsabili dei maggiori impatti, riportati sinteticamente in Tabella 18 per ciascuna scheda esaminata (ad eccezione della N.7 per la quale non si hanno informazioni dettagliate).

Tabella 18: Sintesi dei risultati. Dettaglio degli impatti delle batterie esaminate nello stato dell'arte

Scheda	Tipologia di batteria	Confini del sistema	Indicatori	Componenti
1	Litio-ferro-fosforo	Fase di produzione	GWP	Elettrodo positivo: 35%

	(LFP)	della batteria		<p>BMS: 15%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 28%</p> <p>Elettrodo negativo: 8%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 2-3%</p> <p>Box batteria: 2%</p> <p>Altro: 9-10%</p>
			FDP	<p>Elettrodo positivo: 10%</p> <p>BMS: 20%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 42%</p> <p>Elettrodo negativo: 1%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 2-3%</p> <p>Box batteria: 9%</p> <p>Altro: 15-16%</p>
			ODP	<p>Elettrodo positivo: 80%</p> <p>Elettrodo negativo: 20%</p>
			AP	<p>Elettrodo positivo: 10%</p> <p>BMS: 10%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 28%</p> <p>Elettrodo negativo: 1%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 40%</p> <p>Box batteria: 2%</p> <p>Altro: 9%</p>
2	Litio-nickel-cobalto-manganese (NCM)	Fase di produzione della batteria	GWP	<p>Elettrodo positivo: 35%</p> <p>BMS: 15%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 28%</p> <p>Elettrodo negativo: 8%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 2-3%</p> <p>Box batteria: 2%</p> <p>Altro: 9-10%</p>
			FDP	<p>Elettrodo positivo: 10%</p> <p>BMS: 20%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 42%</p> <p>Elettrodo negativo: 1%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 2-3%</p> <p>Box batteria: 9%</p> <p>Altro: 15-16%</p>
			ODP	<p>Elettrodo positivo (80%)</p> <p>Elettrodo negativo (20%)</p>
			AP	<p>Elettrodo positivo: 48%</p> <p>BMS: 13%</p> <p>Produzione batteria e componenti: 10%</p> <p>Elettrodo negativo: 2%</p> <p>Substrati degli elettrodi: 22%</p>

				Box batteria: 2% Altro: 3%
9	Ioni di litio LiFePO4	Fase di produzione	GWP	Consumo di energia per la produzione: 50% Componenti elettronici: 30% Polvere di LiFePO4: 10% Altro: 10%

1.5 Conclusioni

Nel presente paragrafo sono stati presentati i risultati della Sub-attività A “Comparazione delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione esaminata con quelle di altre batterie”.

L'attività svolta ha riguardato la comparazione delle prestazioni energetico – ambientali della batteria Li-ione, stimate durante il primo anno di attività, con quelle di altre batterie Li-ione, i cui dati sono stati reperiti da studi di letteratura esaminati nel primo anno di attività.

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, il processo di comparazione è risultato difficoltoso a causa della carenza di dati ed informazioni dettagliate sul campo di applicazione e sulle scelte ed assunzioni fatte per eseguire gli studi riportati in letteratura. In dettaglio dall'analisi dei dati di letteratura si sono riscontrati: scarsa trasparenza nell'indicazione delle ipotesi iniziali e delle modalità di raccolta dei dati di campo; carenza di informazioni dettagliate sui confini del sistema, sulle regole di cut-off e di allocazione e sulle scelte ed assunzioni fatte per eseguire gli studi, con particolare riferimento alle ipotesi fatte per l'analisi della fase d'uso delle batterie; scarso dettaglio nella descrizione delle batterie e delle loro caratteristiche tecniche; scarsa presenza dei riferimenti bibliografici relativi ai dati secondari impiegati; presentazione dei risultati in modo aggregato o normalizzato secondo criteri differenti (ad esempio utilizzando gli eco-indicatori); sostanziale assenza di metadati ovvero informazioni aggiuntive sulla qualità dei dati; uso di differenti indicatori di impatto scelti per descrivere le prestazioni energetico – ambientali delle batterie e, per uno stesso indicatore, talvolta uso di differenti unità di misura non comparabili.

2. Analisi di sensibilità dei risultati della LCA

2.1 Introduzione

L'analisi di sensibilità valuta l'influenza di un parametro (variabile indipendente) sulle gerarchie finali ottenute.

Nella LCA essa è definita come una procedura sistematica per valutare gli effetti dei dati e delle metodologie prescelte sui risultati di uno studio [UNI EN ISO 14040, 2006]. Tale analisi permette di determinare l'influenza sui risultati finali di una LCA indotta da differenti assunzioni, metodi e dati utilizzati e consiste in una comparazione dei differenti risultati ottenuti [UNI EN ISO 14044, 2006].

Negli studi di LCA le variabili indipendenti sono rappresentate dai dati di input, dai confini del sistema, dalle regole di allocazione, dai modelli impiegati. Le variabili dipendenti sono, invece, i risultati finali dello studio.

Considerato che la valutazione degli impatti energetico – ambientali di un prodotto o servizio dipende dalle scelte effettuate ed in particolare dall'accuratezza della raccolta e catalogazione dei dati inerenti l'intero ciclo di vita del sistema in esame, è sempre opportuno effettuare un'analisi di sensibilità al fine di ottenere risultati affidabili.

Questa considerazione vale, in particolare, quando per i dati utilizzati sono disponibili gli intervalli di variazione od anche valori medi significativi a scala nazionale e/o regionale. L'analisi di sensibilità consente di stimare la variazione indotta nell'ecoprofilo dalla modifica dei dati di partenza e ciò anche al fine di individuare quali variazioni nei parametri di input siano in grado di ottimizzare le prestazioni energetico-ambientali del prodotto. Essa rappresenta pertanto un importante strumento analitico a supporto della progettazione eco-orientata.

2.2 L'analisi di sensibilità applicata al caso studio delle batterie

I risultati dell'analisi LCA condotti nell'annualità precedente, riportati sinteticamente nel paragrafo 1.1 e riferiti ad un'intera batteria, hanno evidenziato che la fase d'uso delle batterie è responsabile dei maggiori consumi energetici durante l'intero ciclo di vita (dal 56% al 63% del totale).

Inoltre, tale fase ha un impatto rilevante sulla maggior parte degli impatti ambientali connessi al ciclo di vita della batteria. Essa infatti ha un'incidenza percentuale sul GWP variabile dal 39,6% al 46,4%, sul POCP variabile dal 19,9% al 24,6%, sull'AP variabile dal 25,7% al 30,3%, sull'EP variabile dal 18,0% al 20,2%.

Come già detto nel capitolo 1, i dati sulla fase d'uso delle batterie, impiegati nello studio dell'annualità precedente, sono stati stimati basandosi su dati di letteratura [Zackrisson et al., 2010] e su alcune ipotesi relative all'impiego della batteria stessa e del veicolo su cui essa è installata [Cellura et al., 2011]. Questa scelta è stata indotta da una non sufficiente disponibilità di dati primari sperimentali sulla fase d'uso della batteria, ed in particolare sull'energia consumata dalla batteria e su quella fornita dalla stessa.

Inoltre, proprio a causa della carenza dei suddetti dati sperimentali, l'unica unità funzionale a cui è stato possibile riferire gli impatti è stata l'intera batteria, considerato che non erano disponibili informazioni esaustive tali da determinare gli impatti specifici riferiti all'unità di kWh di energia prodotta.

Nel secondo anno di attività sono state svolte delle prove sperimentali sui cicli di carica-scarica delle batterie ed è quindi stato possibile riesaminare la fase d'uso delle stesse.

Al fine di valutare gli impatti energetico – ambientali connessi all'uso della batteria è necessario stimare i consumi energetici durante la fase d'uso della stessa. Tali consumi sono relativi a:

- Energia impiegata dalla batteria per il proprio funzionamento ed energia dissipata dalla batteria durante la fase di scarica (la somma di queste due aliquote di energia verrà indicata nel prosieguo del capitolo con il termine di "energia dissipata");
- Consumo del Battery Management System (BMS).

Per quel che riguarda l'energia dissipata dalla batteria, essa è stata stimata impiegando i dati sperimentali forniti dall'ENEA che ha svolto delle prove in condizioni di temperatura ambiente sulla fase d'uso della batteria. In dettaglio, per ogni tipologia di batteria (30 Ah, 60 Ah e 100 Ah) sono stati misurati i seguenti parametri, riferiti ad un singolo ciclo di carica-scarica:

- Energia immagazzinata dalla batteria in fase di carica;
- Energia fornita dalla batteria in fase di scarica.

Dalla differenza tra energia immagazzinata ed energia fornita è stato possibile stimare l'energia dissipata dalla batteria durante un ciclo di carica-scarica.

Considerata la disponibilità di dati sperimentali sulla fase d'uso e l'incidenza rilevante di tale fase sulla maggior parte degli impatti energetico - ambientali, l'analisi di sensibilità è stata dunque focalizzata su di essa e gli impatti energetico – ambientali sono stati riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria, ipotizzando una vita utile della batteria pari a 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica (dati dichiarati dal produttore), ciascuno della durata di 3 ore. Si è quindi considerata una vita utile della batteria di 12.000 ore (6.000 ore in fase di carica e 6.000 ore in fase di scarica).

Inoltre, considerato che i benefici energetico – ambientali connessi all'uso delle batterie agli ioni di litio nell'autotrazione dipende dalle modalità di produzione dell'energia elettrica, la stima degli impatti è stata effettuata ipotizzando i seguenti scenari di produzione [Prè, 2012]:

- Scenario 1: l'energia impiegata dalla batteria è prodotta impiegando il mix energetico italiano, in cui circa il 15,1% è ottenuto da carbone, circa il 16,1% da petrolio, circa il 45,7%

da gas naturale, circa l'1,9% da gas industriale, circa il 19,9% da idroelettrico, circa lo 0,7% da eolico e circa lo 0,6% da cogenerazione di biomassa e biogas. La produzione di elettricità da fotovoltaico ha un'incidenza percentuale trascurabile, circa lo 0,001%.

- Scenario 2: l'energia impiegata dalla batteria è prodotta impiegando il mix energetico europeo, in cui circa il 2,5% viene prodotta in Belgio, circa il 2,3% in Repubblica Ceca, circa il 17,4% in Germania, circa l'8,1% in Spagna, circa il 16,5% in Francia, circa l'11,3% in Inghilterra, circa l'8,7% in Italia, circa il 2,9% in Olanda, circa il 3,3% in Norvegia, circa il 4,3% in Polonia, circa il 4,5% in Svezia. Il rimanente 18,2% viene prodotto in altri paesi europei, ciascuno dei quali contribuisce al totale per meno del 2%.
- Scenario 3: l'energia impiegata dalla batteria è prodotta attraverso l'impiego di diverse tipologie di pannelli fotovoltaici in Italia. In dettaglio circa il 38,7% dei pannelli è di tipo Si-monocristallino, circa il 52,7% Si-multi cristallino, circa il 2,7% ribbon-Si, circa l'1,3% CdTe, circa lo 0,2% CIS e circa il 4,4% a-Si.
- Scenario 4: l'energia impiegata dalla batteria è prodotta attraverso l'impiego di turbine eoliche in Europa. In dettaglio il 98% dell'energia è prodotta con impianti da 800 kW onshore e il 2% con impianti da 2 MW offshore.

L'eco-profilo di 1 kWh di elettricità per ciascuno dei suddetti scenari, riportato in Tabella 19, è stato tratto da [Prè, 2012].

Tabella 19: Impatti energetico – ambientali di 1 kWh di elettricità

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Energia non rinnovabile (MJ)	9,92	11,26	1,09	0,17
Energia rinnovabile (MJ)	0,78	1,02	4,03	3,88
Energia totale (MJ)	10,71	12,29	5,11	4,05
GWP (kg CO _{2eq})	7,14E-01	5,60E-01	6,78E-02	1,13E-02
ODP (kg CFC-11 _{eq})	8,39E-08	2,85E-08	2,15E-08	5,30E-10
POCP (kg C ₂ H _{4eq})	3,33E-04	1,73E-04	9,33E-05	9,15E-06
AP (kg SO _{2eq})	2,94E-03	2,22E-03	2,86E-04	4,52E-05
EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})	7,38E-04	1,71E-03	2,10E-04	2,74E-05

Si osserva come, nel caso in cui l'energia elettrica venga prodotta con fonti energetiche rinnovabili, si ha una riduzione del GWP di un ordine di grandezza.

Dall'analisi di sensibilità effettuata è stato possibile stimare i range di variazione entro cui si collocano gli indicatori di impatto energetico - ambientale.

I dati primari impiegati, forniti dall'ENEA per le batterie del tipo 30 Ah, 60 Ah e 100 Ah, espressi in Wh e riferiti ad un ciclo di carica-scarica, sono riportati nelle Tabelle A.1-A.2-A.3 in appendice. Nell'ultima colonna di ogni Tabella si riportano i valori di energia consumata/dissipata dalle batterie, calcolata (come indicato precedentemente) sottraendo all'energia assorbita dalla batteria in fase di carica quella fornita dalla stessa in fase di scarica. I dati sono riportati graficamente nelle Figure A.1-A.2-A.3.

Considerando una vita utile di ciascuna batteria di 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica sono stati calcolati i valori di energia immagazzinata, energia fornita ed energia consumata/dissipata dalla batteria durante l'intero ciclo di vita. Tali dati, espressi in kWh e relativi rispettivamente alle batterie del tipo 30 Ah, 60 Ah e 100 Ah, sono riportati nelle Tabelle A.4-A.5-A.6 riportate in appendice e nelle Figure 2-3-4.

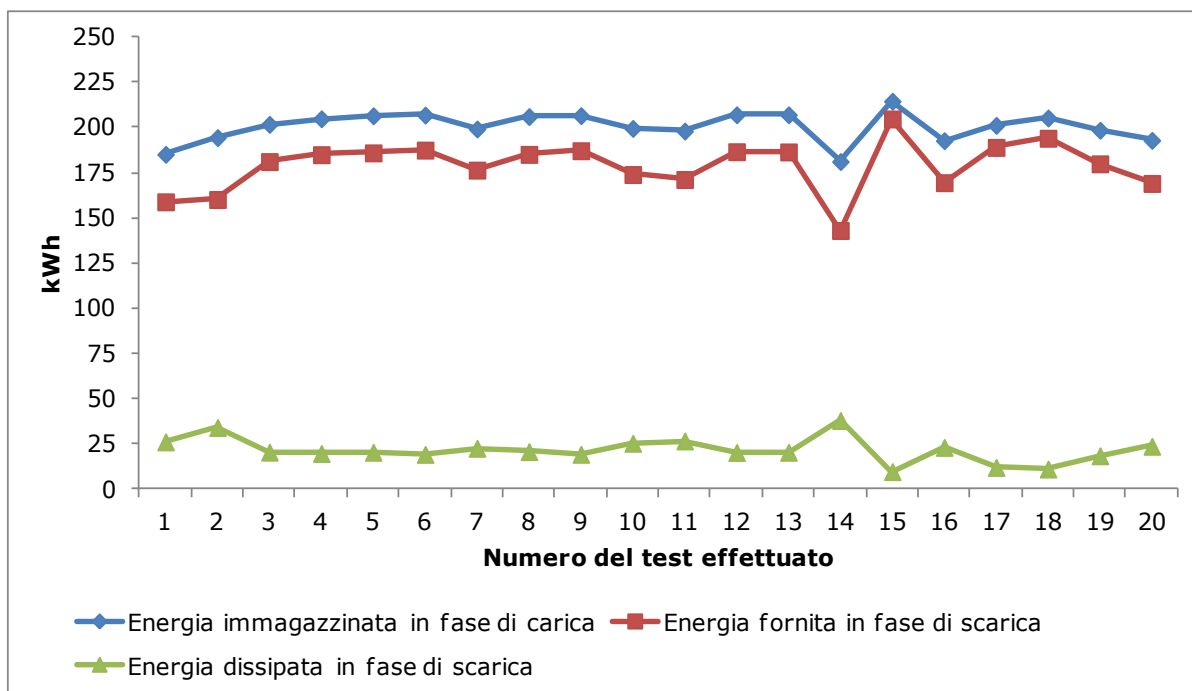


Figura 2: Batteria 30 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

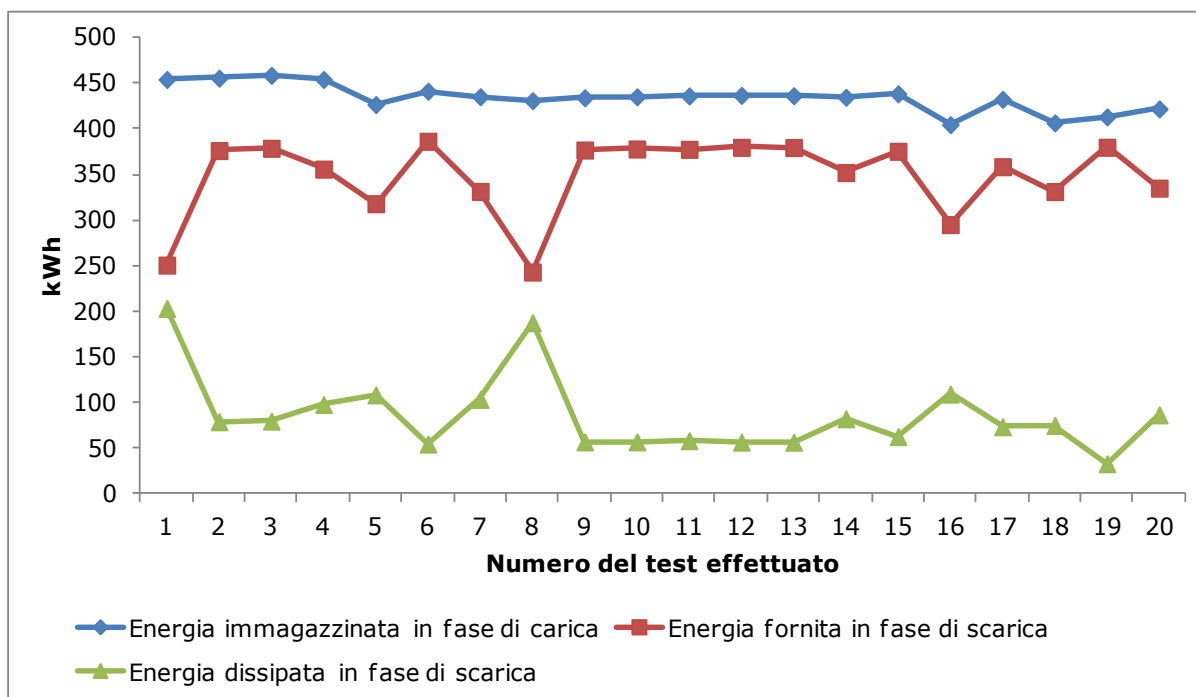


Figura 3: Batteria 60 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

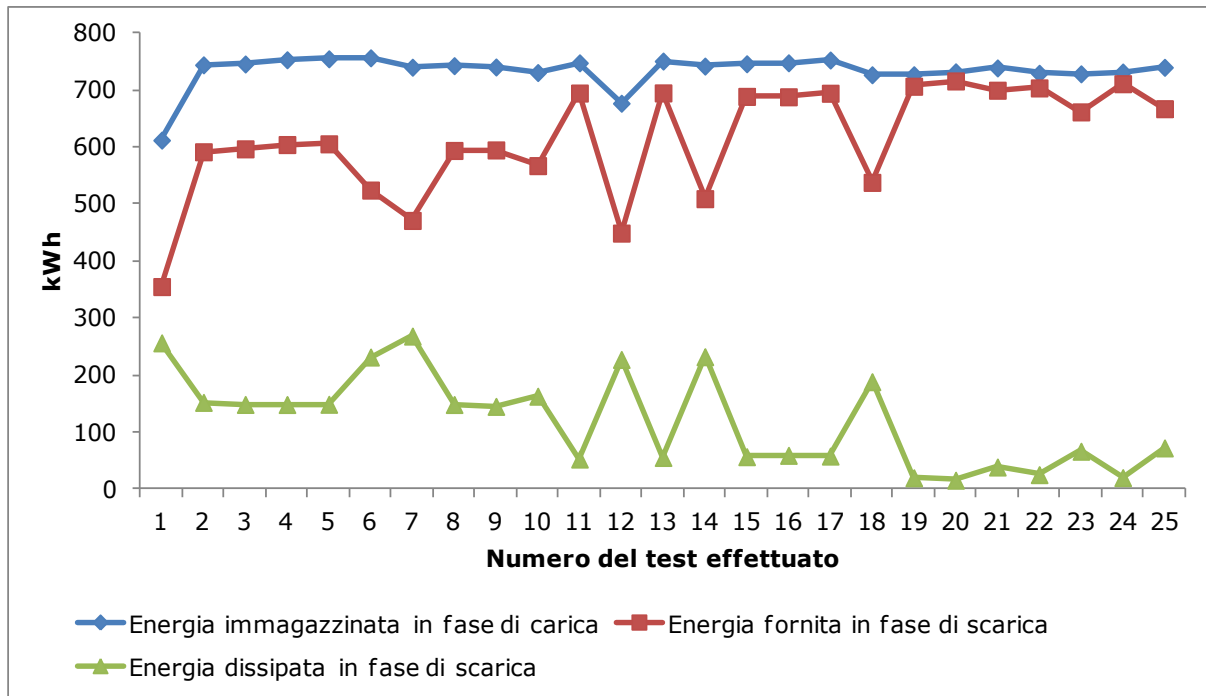


Figura 4: Batteria 100 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Con riferimento al consumo del BMS, sono stati utilizzati i dati forniti dall'ENEA, che indicano un consumo di energia del BMS in fase di esercizio pari a 25 mA.

Nel calcolo si è ipotizzato di trascurare la fase di stand-by del BMS, le cui ore dipendono dalle scelte dell'operatore che utilizza la batteria e i cui consumi sono pari a 350 µA.

Considerando la vita utile della batteria pari a 12.000 ore e ipotizzando di installare il BMS su una batteria di 24V, il consumo dello stesso è stato calcolato nel seguente modo:

$$12.000 \text{ ore} * 25 \text{ mA} * 24 \text{ V} = 7.200 \text{ Wh} = 7,2 \text{ kWh.}$$

Pertanto, sommando l'energia dissipata dalla batteria durante l'uso e il consumo del BMS, si ricavano i consumi totali della batteria durante l'intero ciclo di vita, riportati nelle Tabelle A.7-A.8-A.9 in appendice e nelle Figure 5-6-7 rispettivamente per le batterie del tipo 30 Ah, 60 Ah e 100Ah.

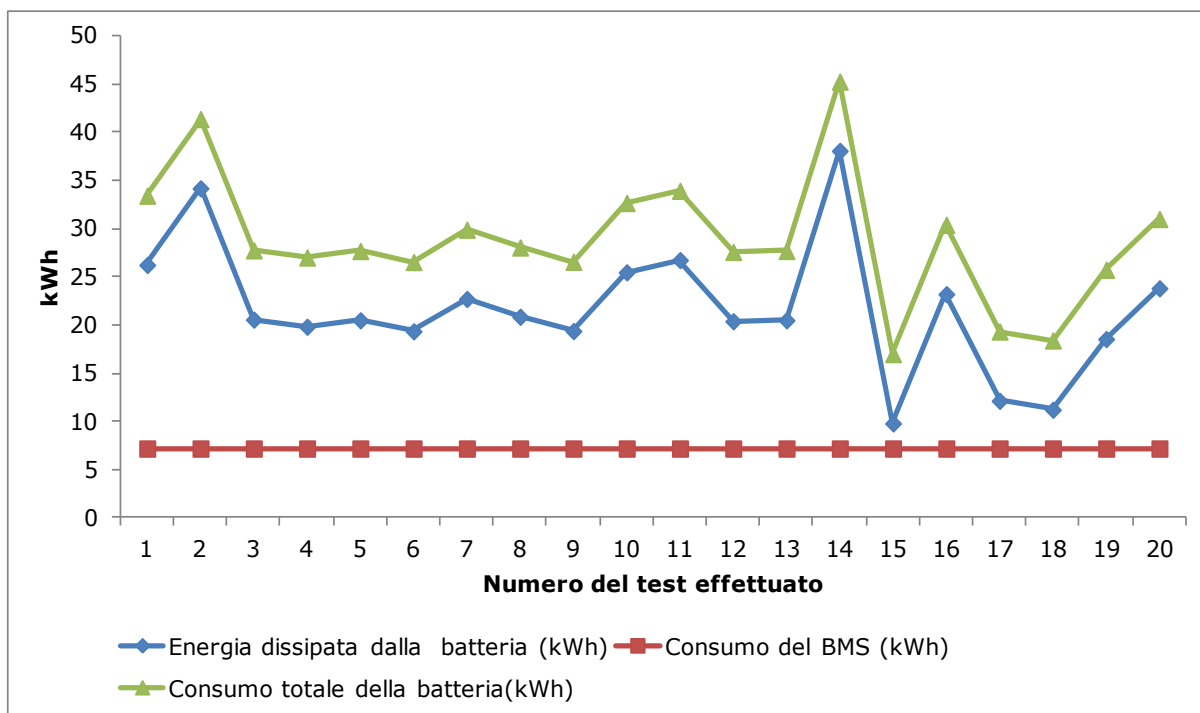


Figura 5: Batteria 30 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

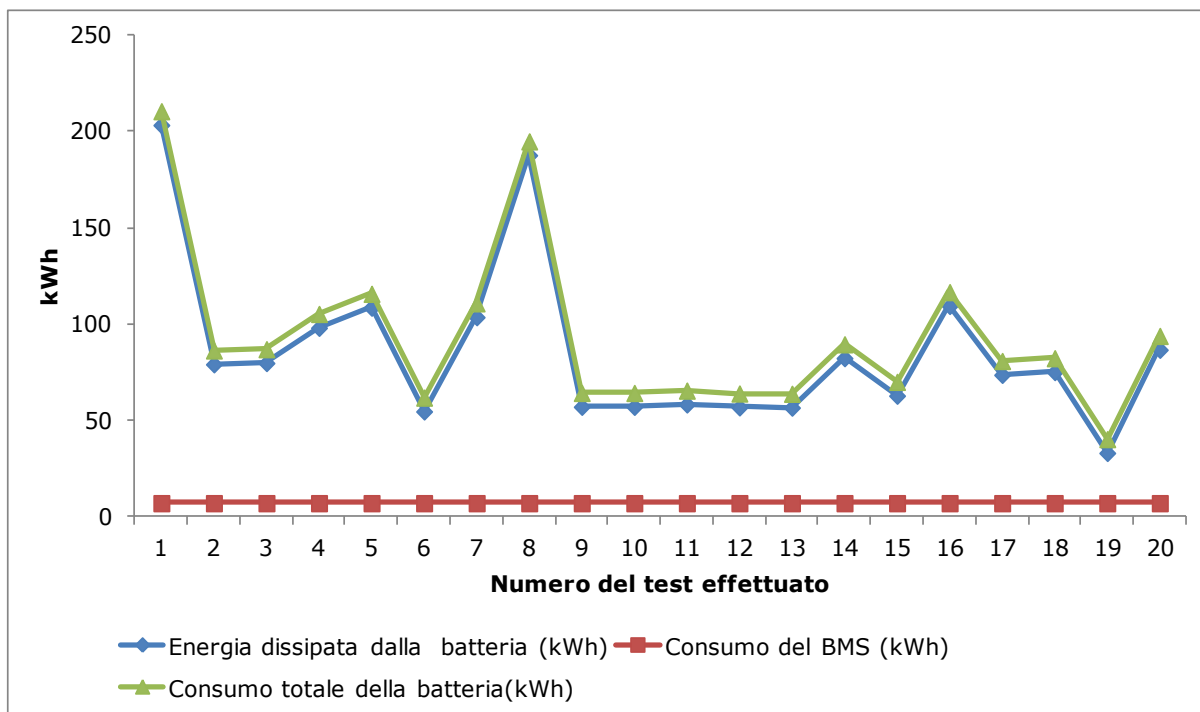


Figura 6: Batteria 60 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

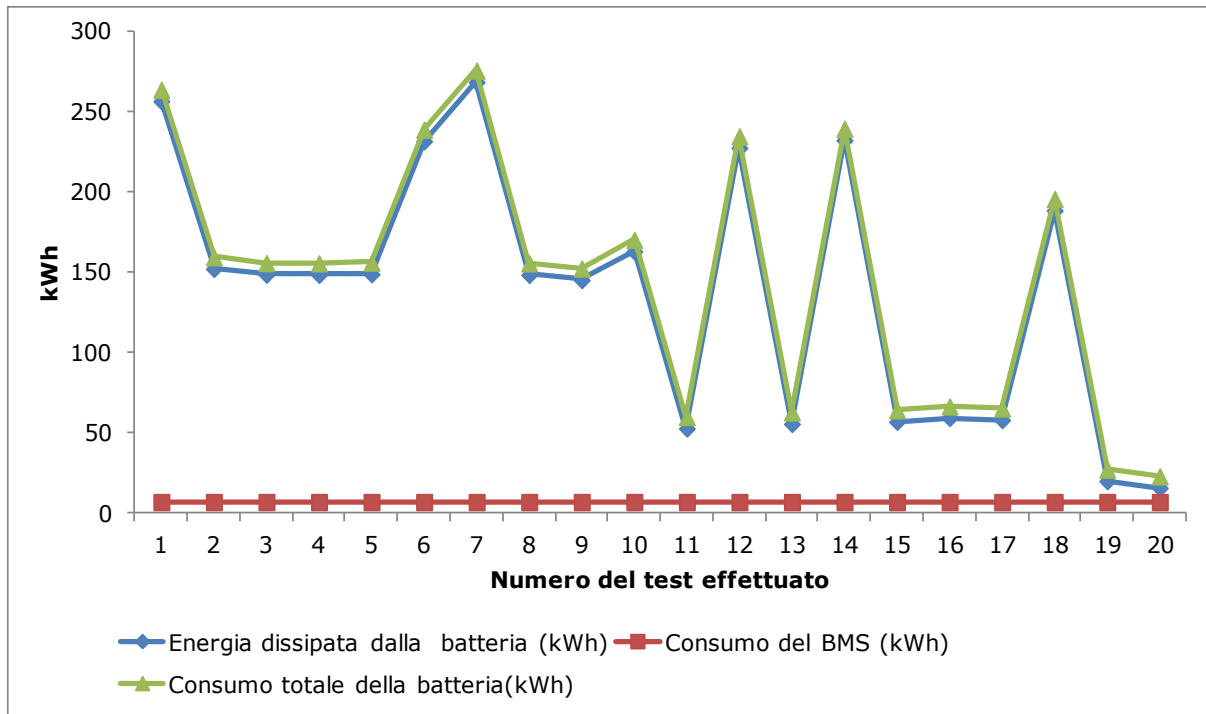


Figura 7: Batteria 100 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

2.3 Sintesi del caso studio

L'analisi di sensibilità è stata effettuata considerando le seguenti fasi del ciclo di vita della batteria:

- Fase di produzione della batteria, esaminata nella precedente annualità;
- Fase d'uso della batteria, stimata a partire da dati sperimentali forniti dall'ENEA (vedi paragrafo 2.2) e riguardante solo il consumo della batteria durante la fase di scarica;
- Fase di fine vita della batteria, esaminata nella precedente annualità.

In dettaglio, si è fatto riferimento agli impatti energetico – ambientali riferiti ad un'intera batteria e riportati in:

- Tabelle 2-3 per la fase di produzione;
- Tabelle 6-7 per la fase di fine vita.

Gli impatti energetico – ambientali della fase d'uso sono stati stimati, per i quattro scenari di produzione dell'elettricità descritti nel paragrafo 2.2, moltiplicando il consumo della batteria in fase d'uso (calcolato sommando l'energia dissipata dalla batteria e quella impiegata dal BMS) riportato nelle Tabelle A.7-A.8-A.9 in appendice con gli impatti specifici causati dal consumo di 1 kWh di elettricità, i cui valori sono riportati in Tabella 19.

2.4 I risultati dell'analisi di sensibilità

Gli impatti energetico – ambientali delle batterie, stimati effettuando l'analisi di sensibilità, sono riportati in appendice, per i quattro scenari descritti nel paragrafo 2.2, nelle Tabelle A.10-A.21 per le batterie del tipo 30 Ah, nelle Tabelle A.22-A.33 per le batterie del tipo 60 Ah e nelle Tabelle A.34-A.45 per le batterie del tipo 100 Ah.

I risultati vengono espressi considerando come unità funzionale 1 kWh di elettricità fornita dalla batteria. Tali risultati sono quindi ottenuti rapportando gli impatti di ciclo di vita dell'intera batteria (descritti nel paragrafo precedente) all'energia fornita dalla batteria durante la fase di scarica, i cui valori sono riportati nelle Tabelle A.4-A.5-A.6.

La scelta di tale unità funzionale consente di comparare le tre tipologie di batterie esaminate.

Un'importante risultato che emerge dall'analisi è che la fase di produzione è, per la maggior parte delle prove in fase d'uso effettuate, quella caratterizzata dai maggiori impatti energetico – ambientali, mentre risulta sempre trascurabile l'impatto imputabile alla fase di fine vita.

L'utilizzo dei nuovi dati sperimentali ha quindi modificato i risultati ottenuti nel primo anno di attività, in cui la fase d'uso era risultata quella caratterizzata dai maggiori impatti energetico – ambientali.

Si sottolinea che l'installazione della batteria su un veicolo influenza i consumi dello stesso, che aumentano all'aumentare del peso della batteria. Tuttavia, in questa analisi non è stata considerata l'installazione della batteria su un veicolo e quindi non si è tenuto conto degli impatti causati dall'uso di combustibile per il trasporto della batteria stessa.

Tale scelta è stata determinata dal fatto che ad oggi non è noto il tipo di veicolo e le relative caratteristiche su cui verrà installata la batteria.

In dettaglio si evidenzia che:

- con riferimento al consumo di energia primaria totale per i quattro scenari esaminati, la fase di produzione ha un'incidenza variabile dal 74% al 98% per le batterie del tipo 30 Ah, dal 38% all'86% per le batterie del tipo 60 Ah e dal 43% al 90% per le batterie del tipo 100 Ah. Solo in pochissimi casi, in funzione del tipo di prova sperimentale effettuata, la fase d'uso risulta quella caratterizzata dai maggiori impatti energetici.
- la fase di produzione della batteria 30 Ah è responsabile dall'80% al 99% dell'impatto sul GWP, di circa il 99% dell'ODP, dall'85% al 99% del POCP, dal 94% al 98% dell'AP e dal 94% al 99% dell'EP;
- esaminando i dati relativi alla batteria 60 Ah, si osserva che la fase di produzione ha un'incidenza variabile dal 52% al 98% sul GWP, di circa il 99% sull'ODP, dal 64% al 99% sul POCP, dal 66% al 98% sull'AP e dall'81% al 99% sull'EP;
- con riferimento alla batteria 100 Ah la fase di produzione è responsabile dal 57% al 98% dell'impatto sul GWP, di circa il 99% dell'impatto sull'ODP, dal 70% al 99% dell'impatto sul POCP, dal 71% al 98% dell'impatto sull'AP e dall'85% al 99% dell'impatto sull'EP.

Si sottolinea che la presenza di intervalli di variazione così elevati è dovuta ai diversi valori di energia immagazzinata e di energia erogata dalla batteria durante i cicli di carica-scarica, ottenuti dalle varie prove sperimentali.

2.5 Sintesi dei risultati: confronto tra i diversi scenari

Come sottolineato nei paragrafi precedenti, i vantaggi energetico – ambientali connessi all’impiego di batterie agli ioni di litio nell’autotrazione è influenzata dalle modalità di produzione dell’energia elettrica impiegata per caricare la batteria durante la sua fase d’uso.

Al fine di valutare le differenze indotte sull’eco-profilo della batteria dall’energia elettrica impiegata, sono quindi stati esaminati quattro scenari di produzione dell’energia elettrica, descritti precedentemente.

Nel prosieguo del paragrafo si riporta, per ciascuna tipologia di impatto esaminata e per ciascuna tipologia di batteria, un confronto tra i valori ottenuti considerando i differenti scenari. In dettaglio, nelle Tabelle A.46 – A.48 si riportano i risultati relativi alla batteria del tipo 30 Ah, nelle Tabelle A.49 – A.51 quelli relativi alla batteria del tipo 60 Ah e nelle Tabelle A.52 – A.54 i valori relativi alla batteria del tipo 100 Ah.

Inoltre, per facilità di lettura, i dati vengono riportati graficamente nelle Figure 8 – 13 (batterie del tipo 30 Ah), nelle Figure 14 – 19 (batterie del tipo 60 Ah) e nelle Figure 20 – 25 (batterie del tipo 100 Ah).

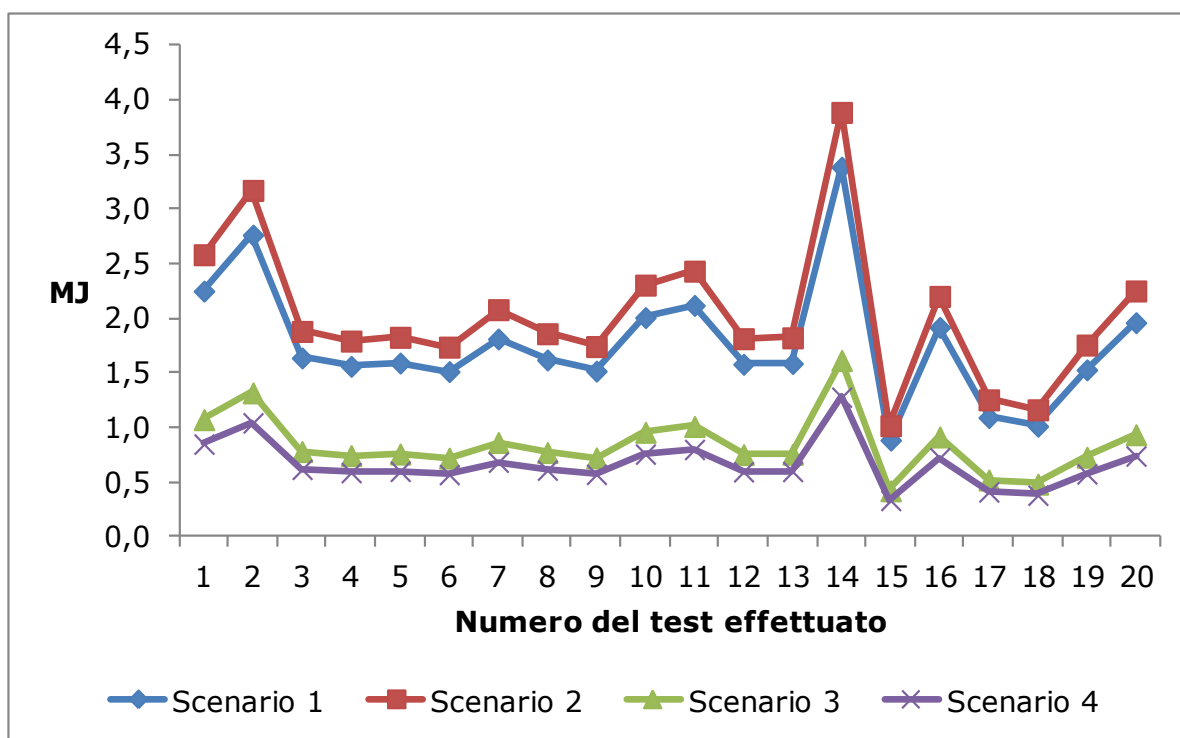


Figura 8: Confronto dell’impatto “consumo di energia primaria totale” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

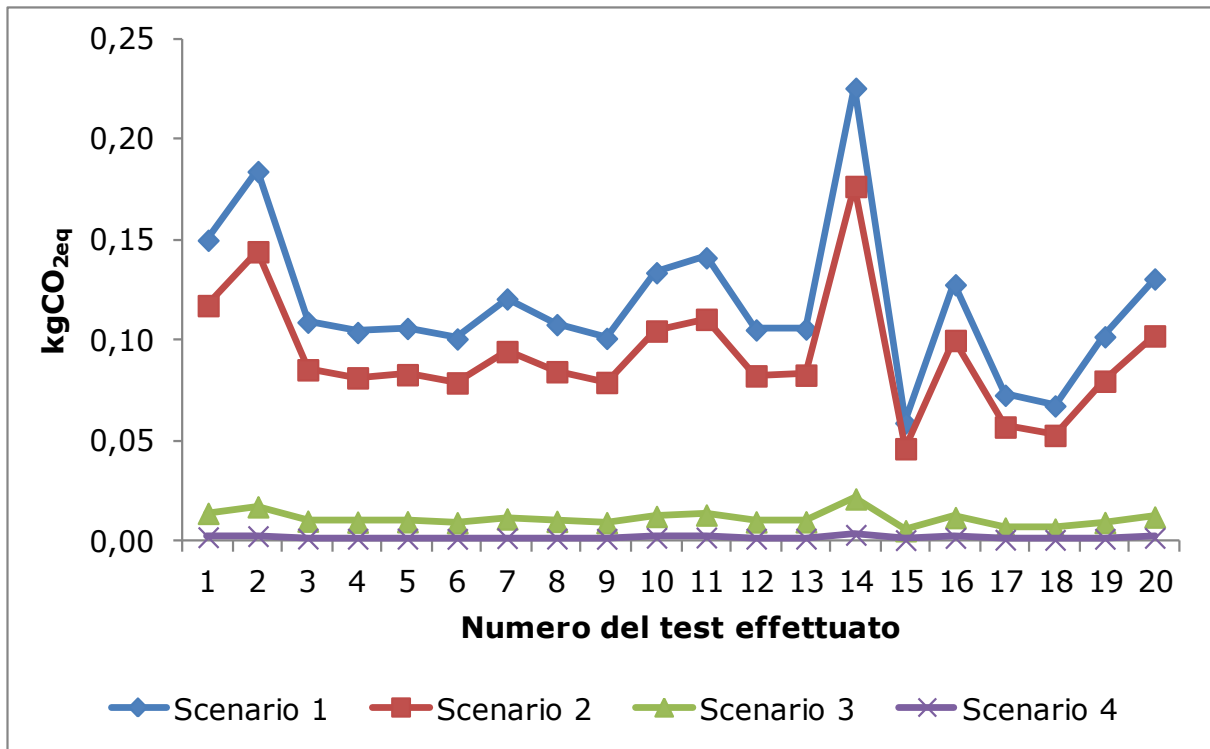


Figura 9: Confronto dell’impatto “GWP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

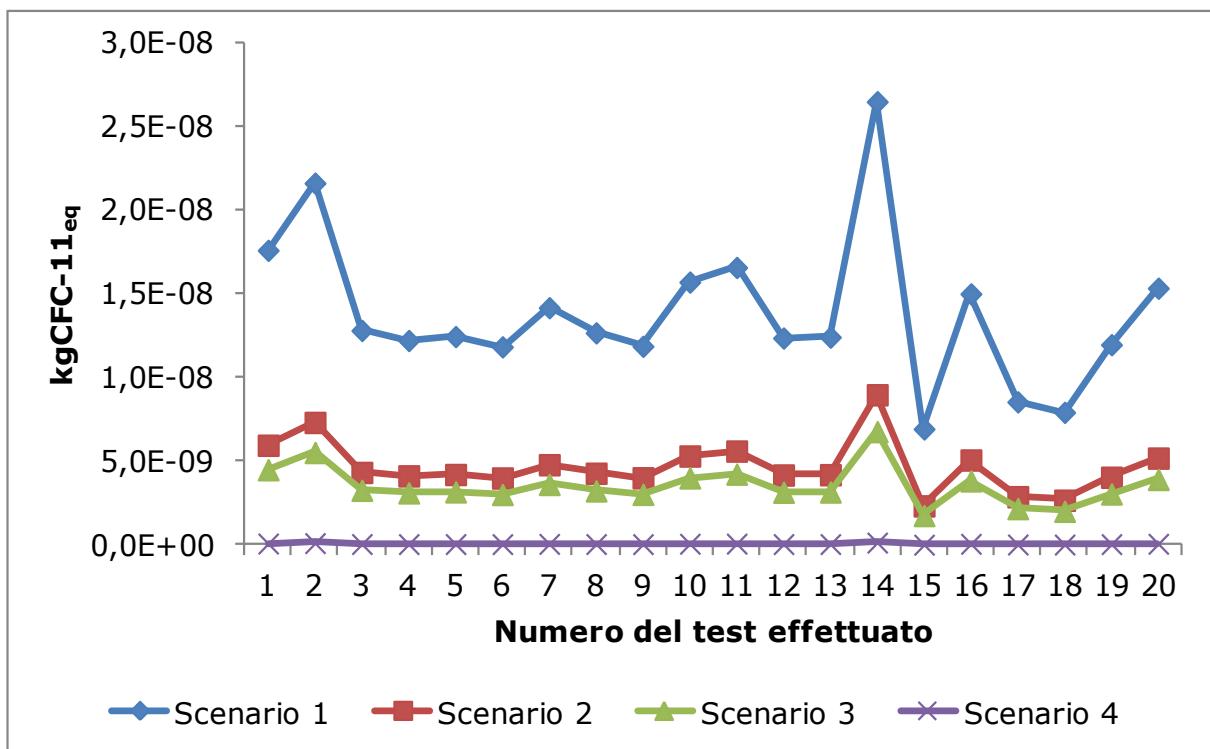


Figura 10: Confronto dell’impatto “ODP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

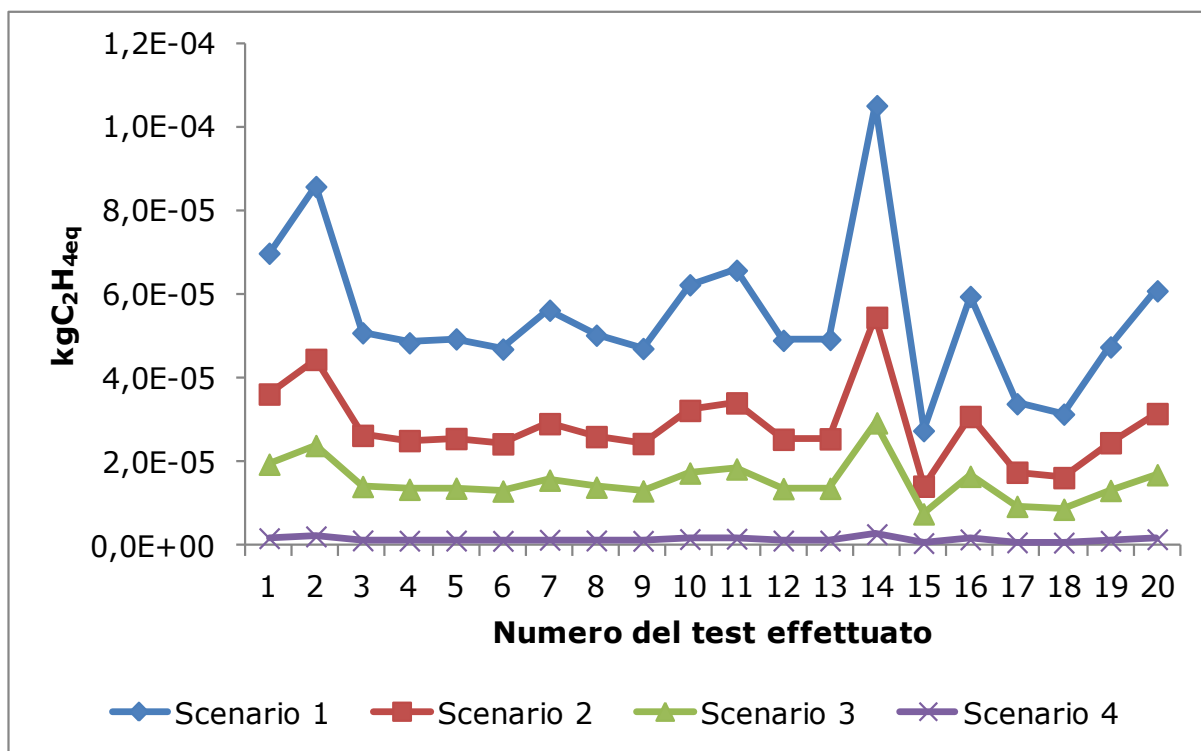


Figura 11: Confronto dell'impatto "POCP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d'uso

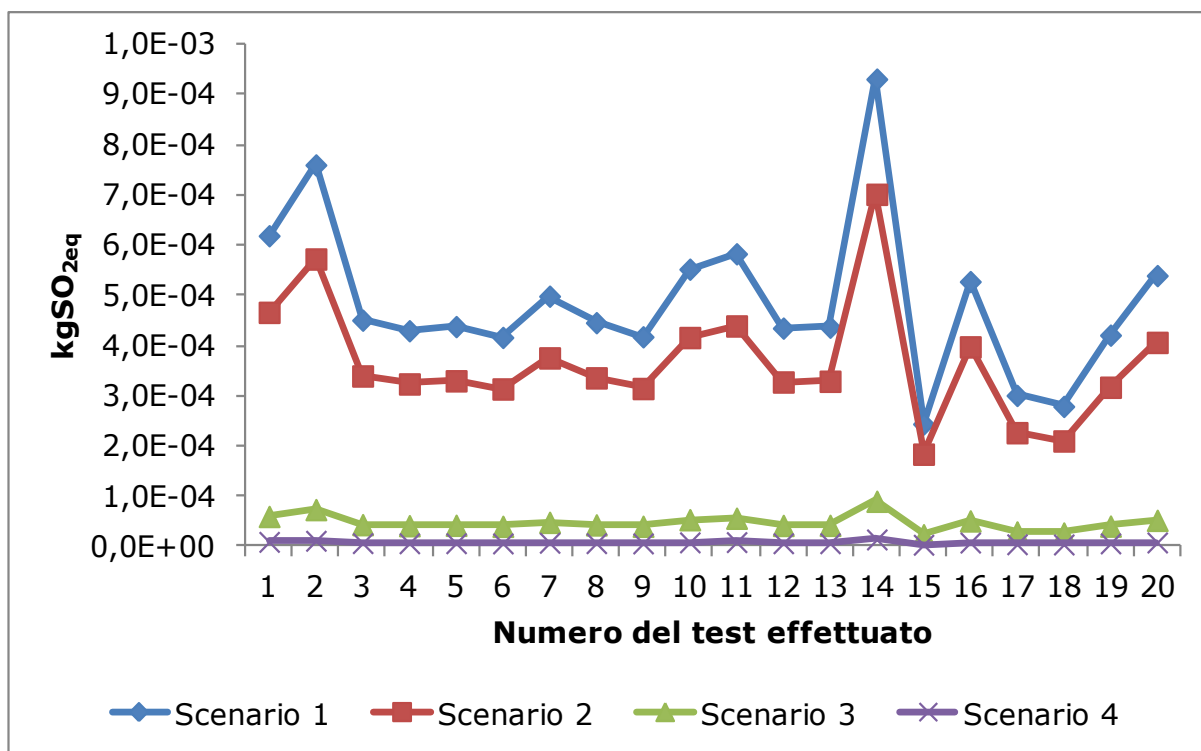


Figura 12: Confronto dell'impatto "AP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d'uso

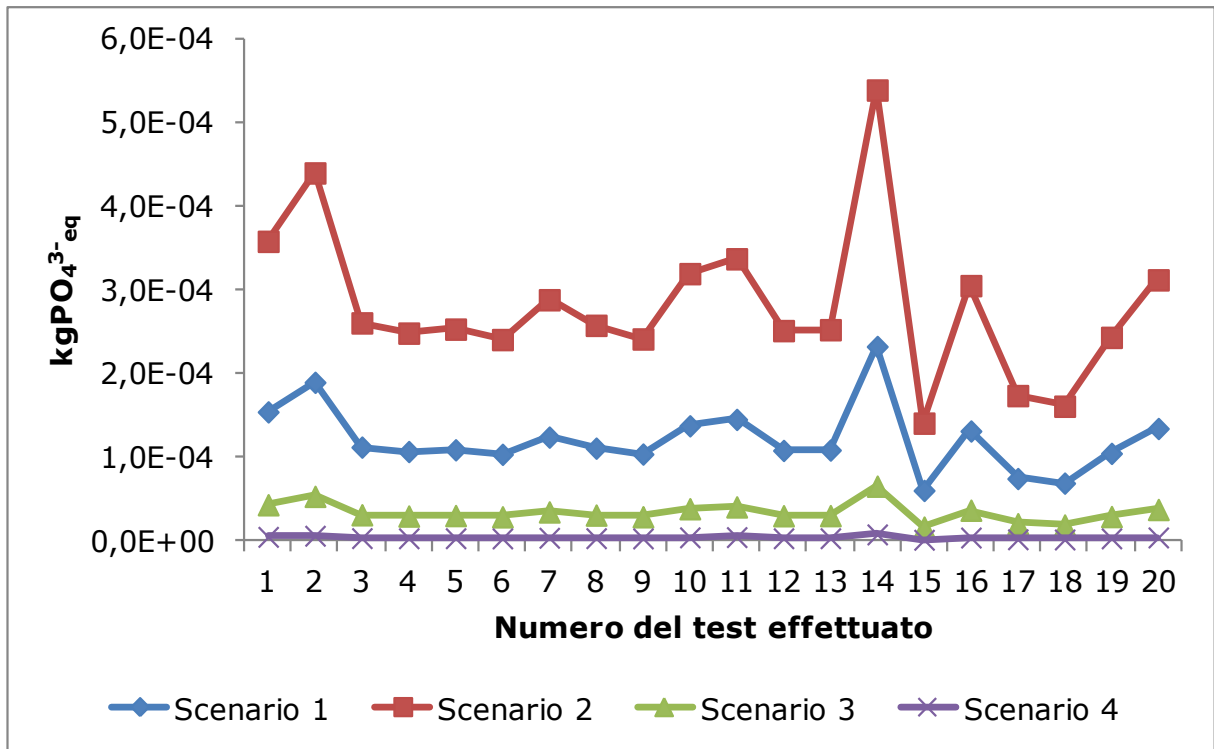


Figura 13: Confronto dell’impatto “EP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

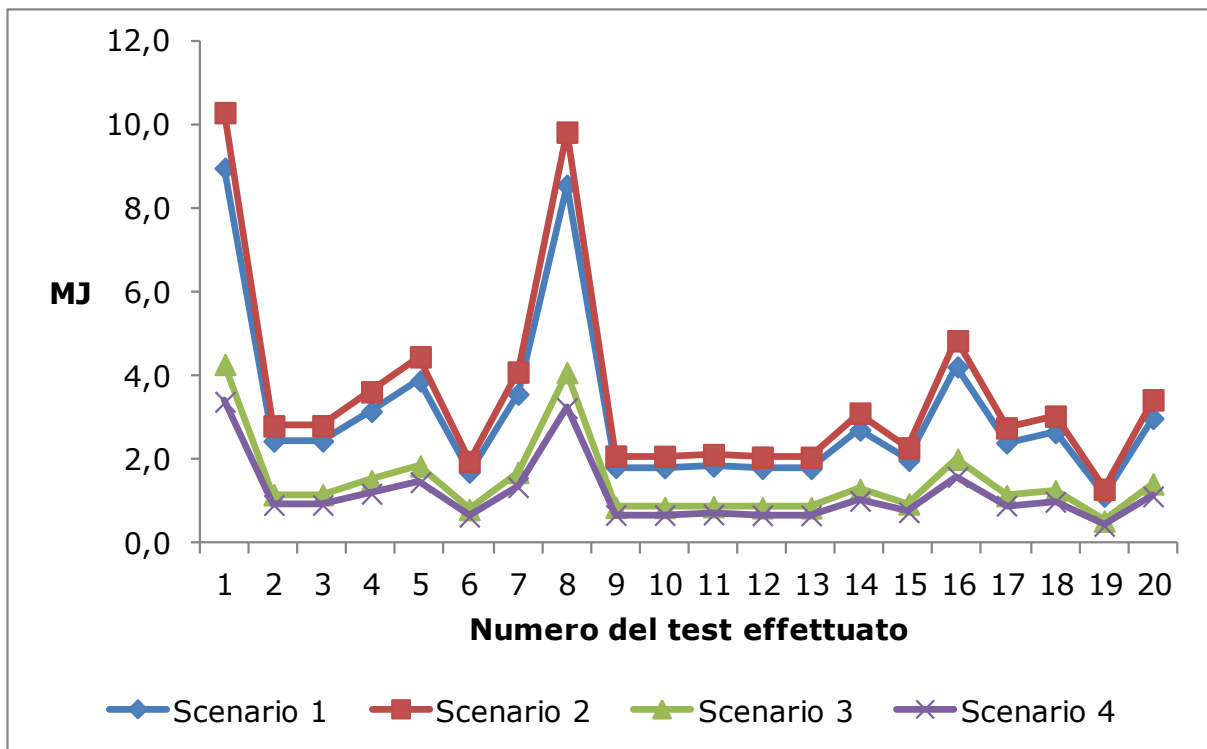


Figura 14: Confronto dell’impatto “consumo di energia primaria totale” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d’uso

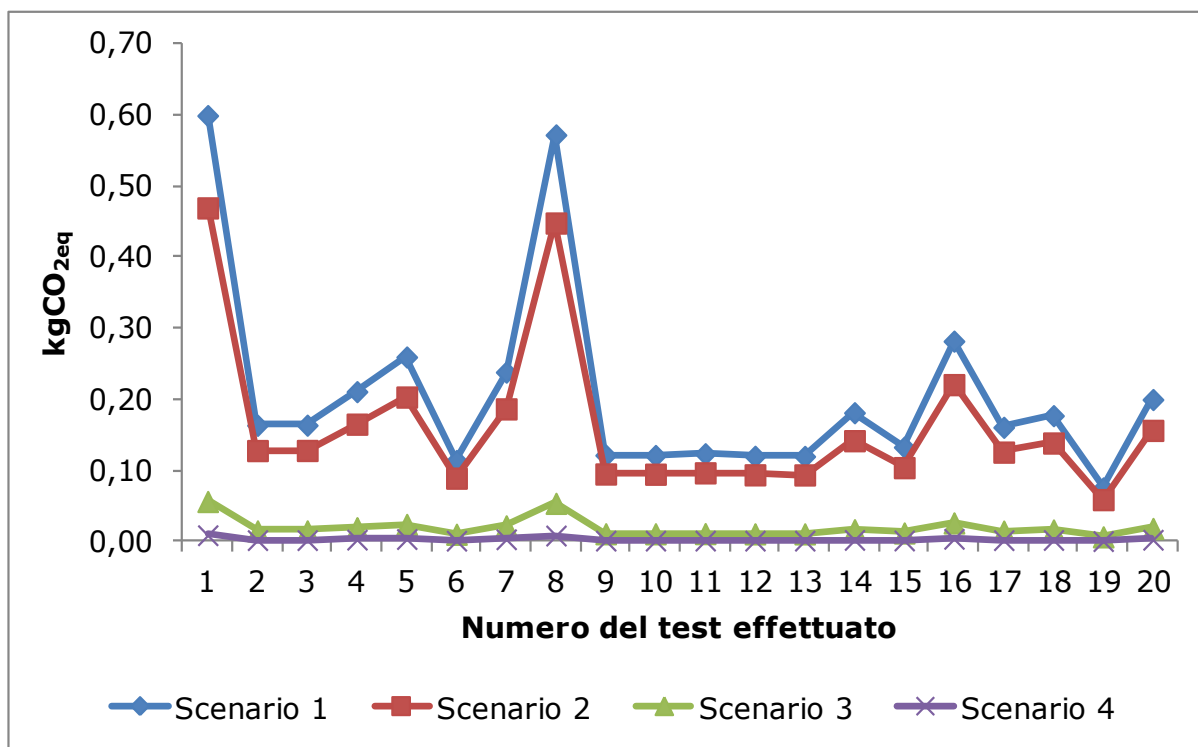


Figura 15: Confronto dell'impatto "GWP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

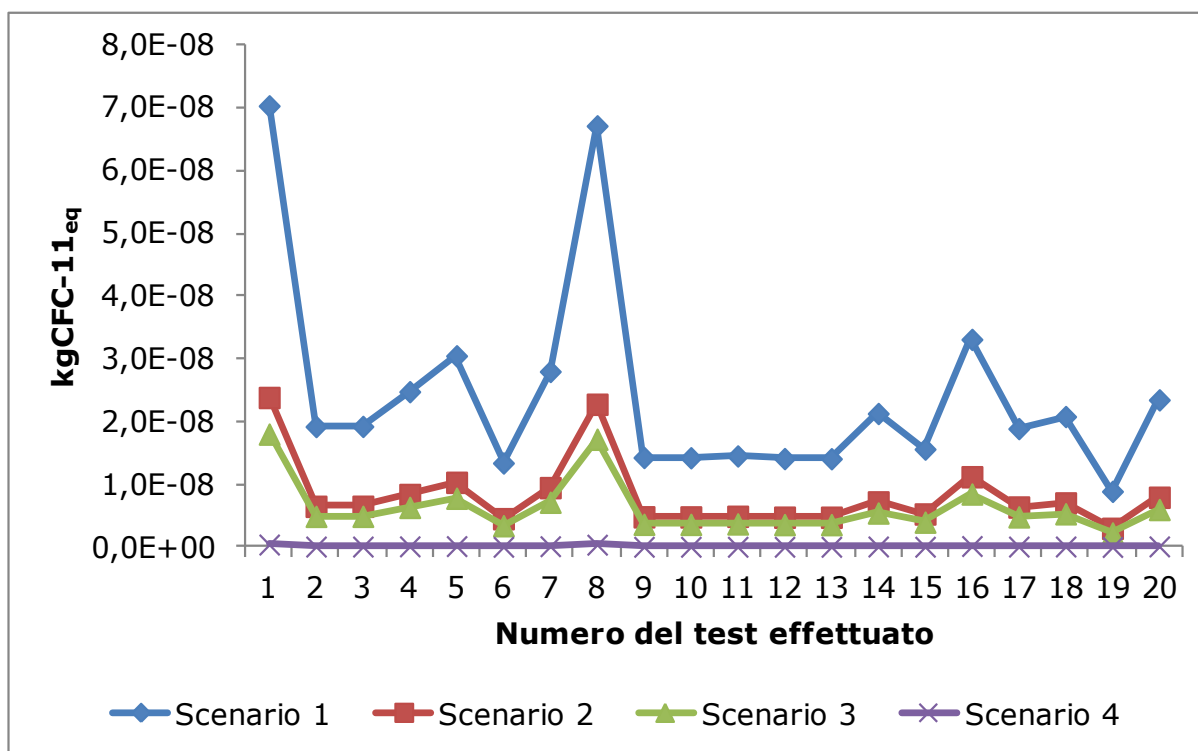


Figura 16: Confronto dell'impatto "ODP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

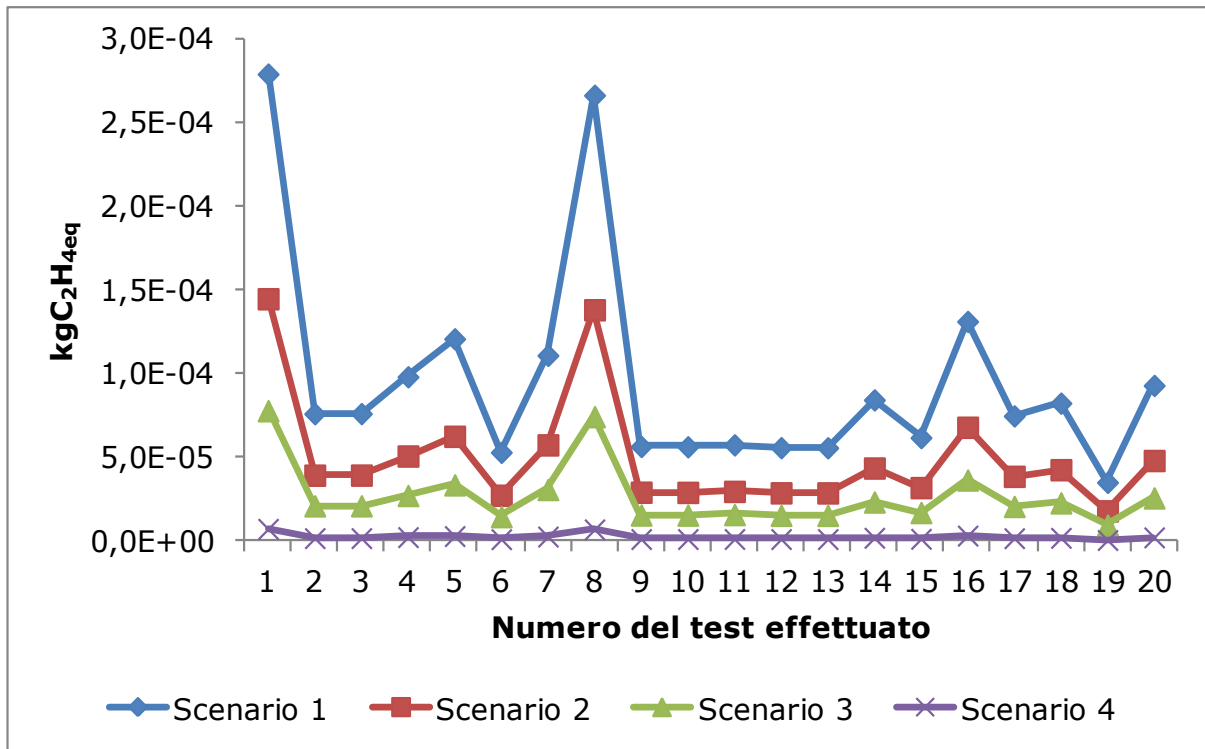


Figura 17: Confronto dell'impacco "POCP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

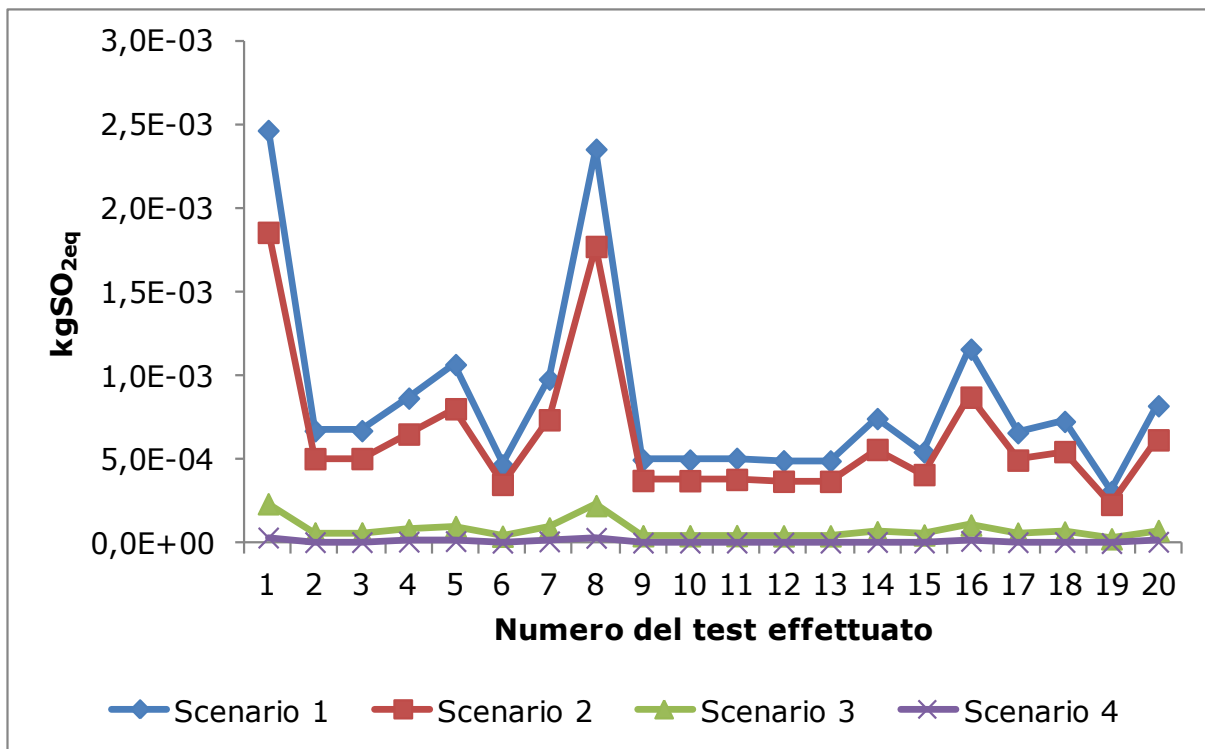


Figura 18: Confronto dell'impacco "AP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

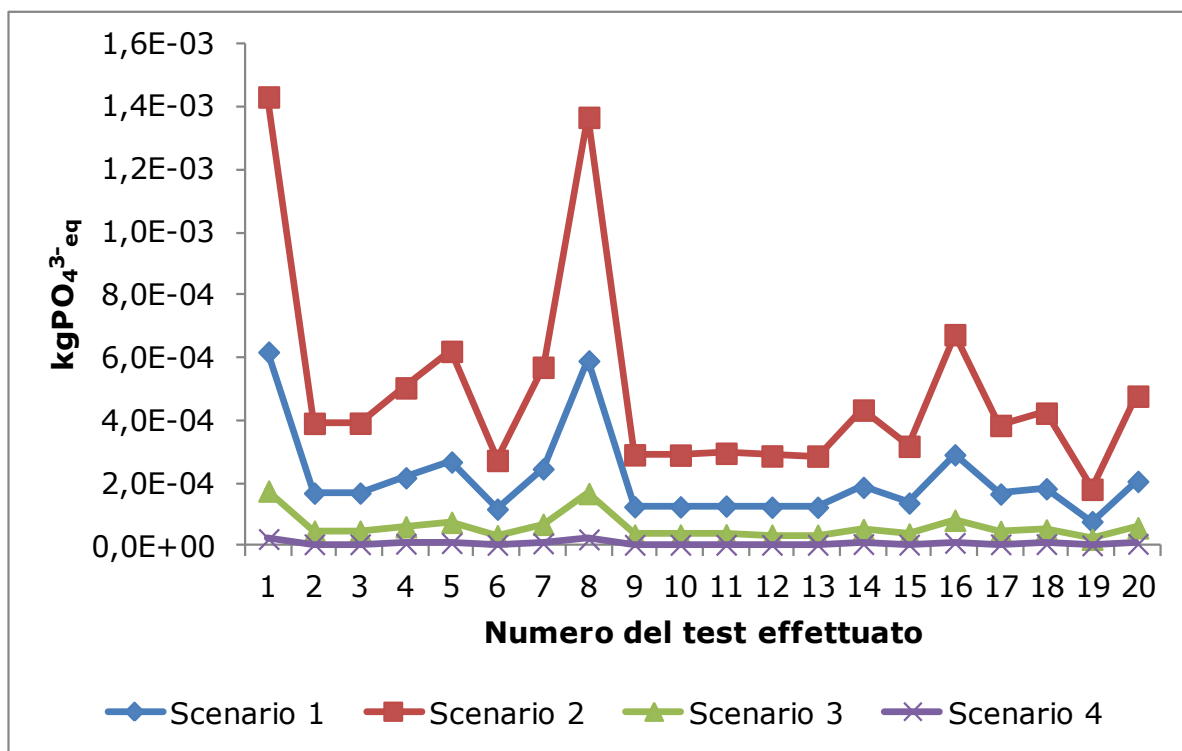


Figura 19: Confronto dell'impatto "EP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

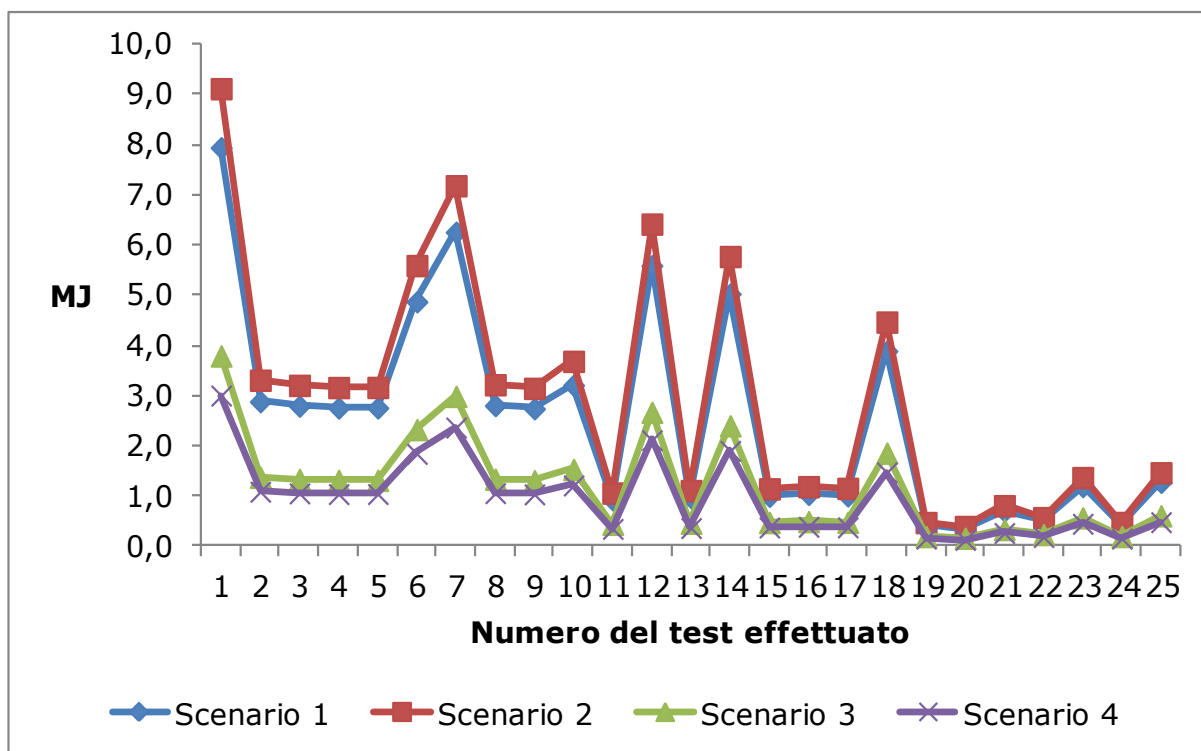


Figura 20: Confronto dell'impatto "consumo di energia primaria totale" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d'uso

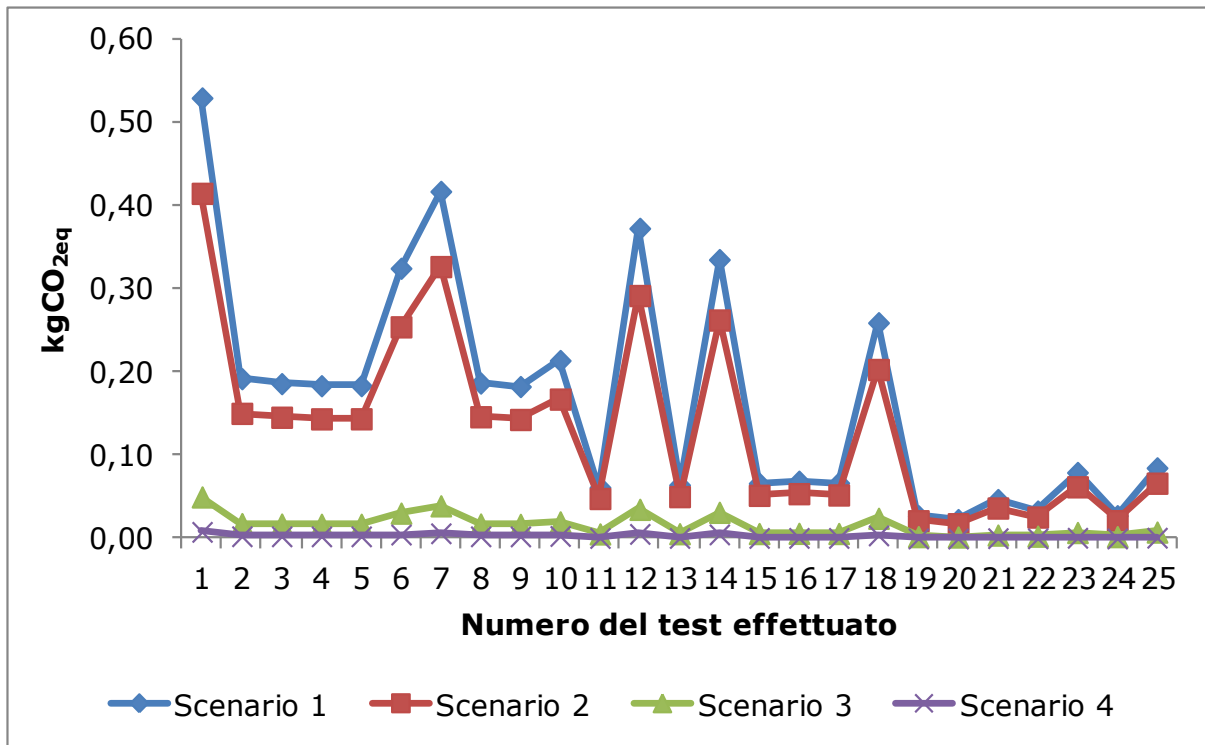


Figura 21: Confronto dell’impatto “GWP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d’uso

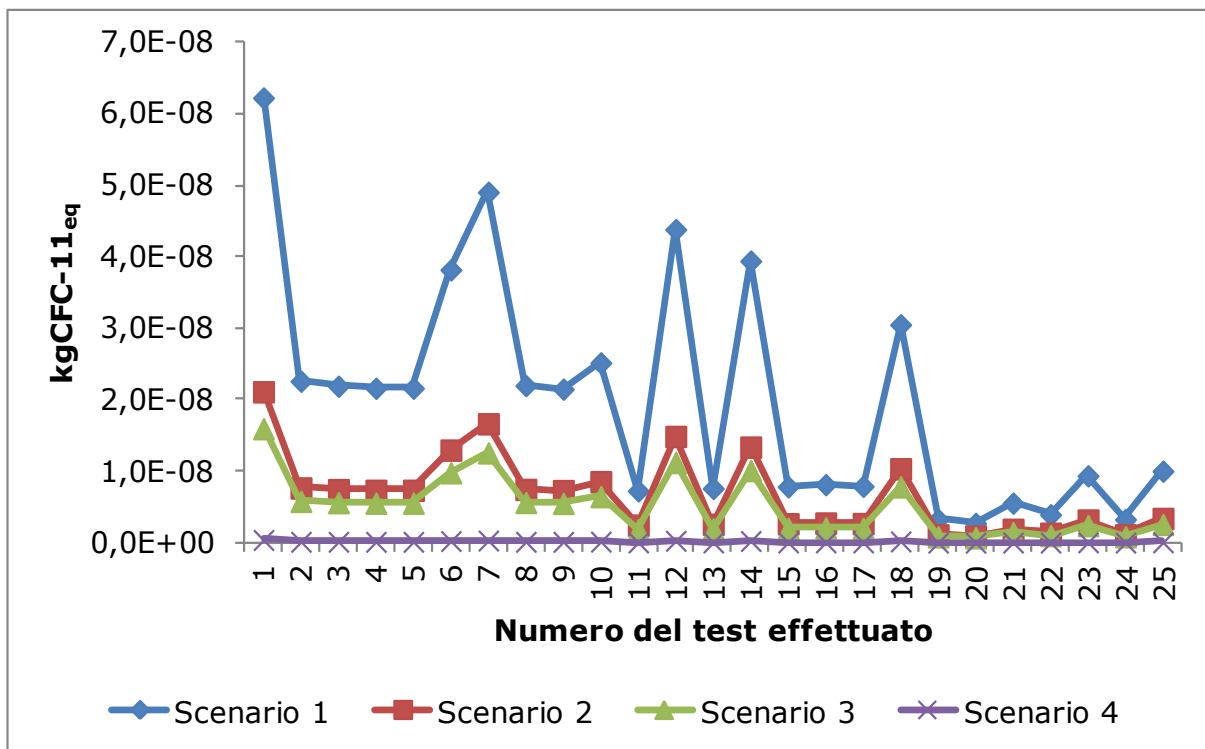


Figura 22: Confronto dell’impatto “ODP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d’uso

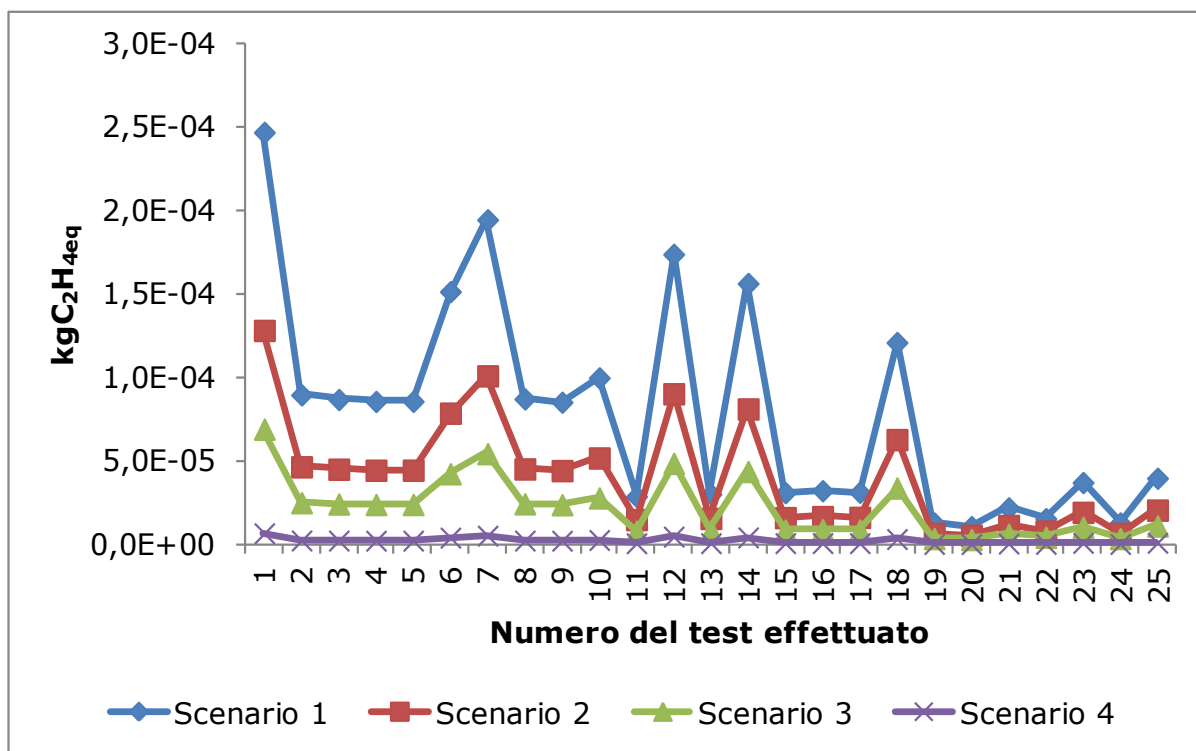


Figura 23: Confronto dell'impatto "POCP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d'uso

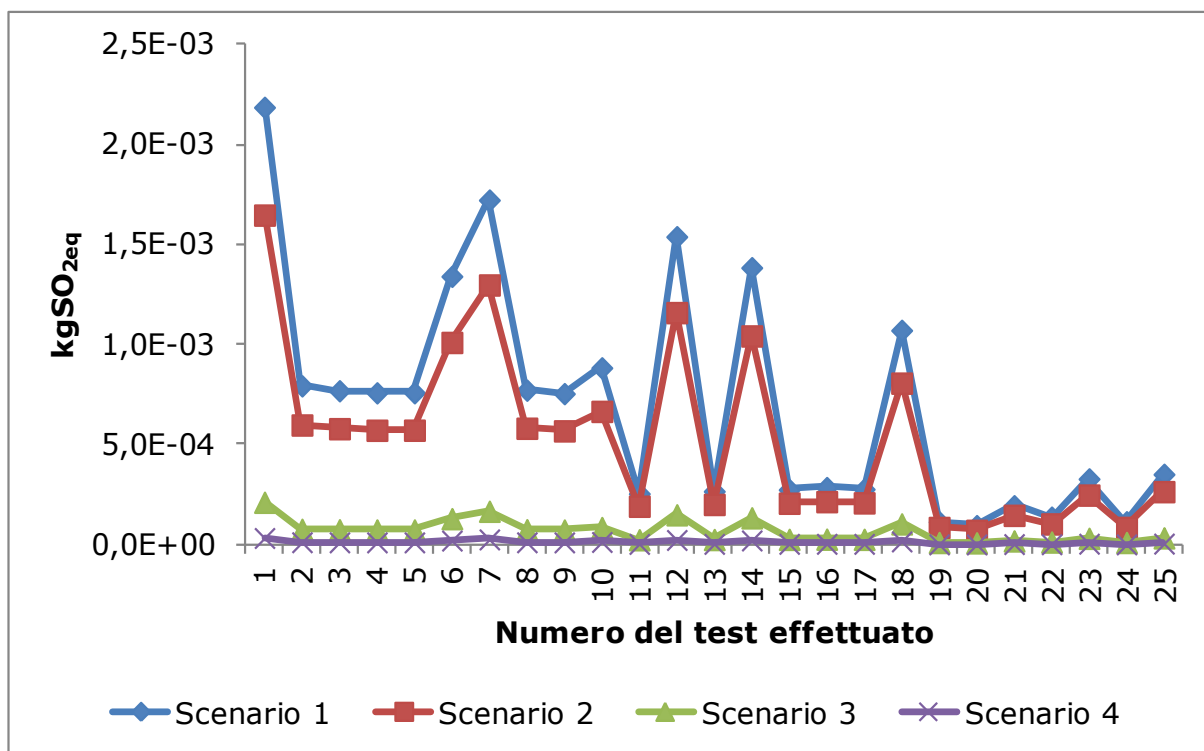


Figura 24: Confronto dell'impatto "AP" riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d'uso

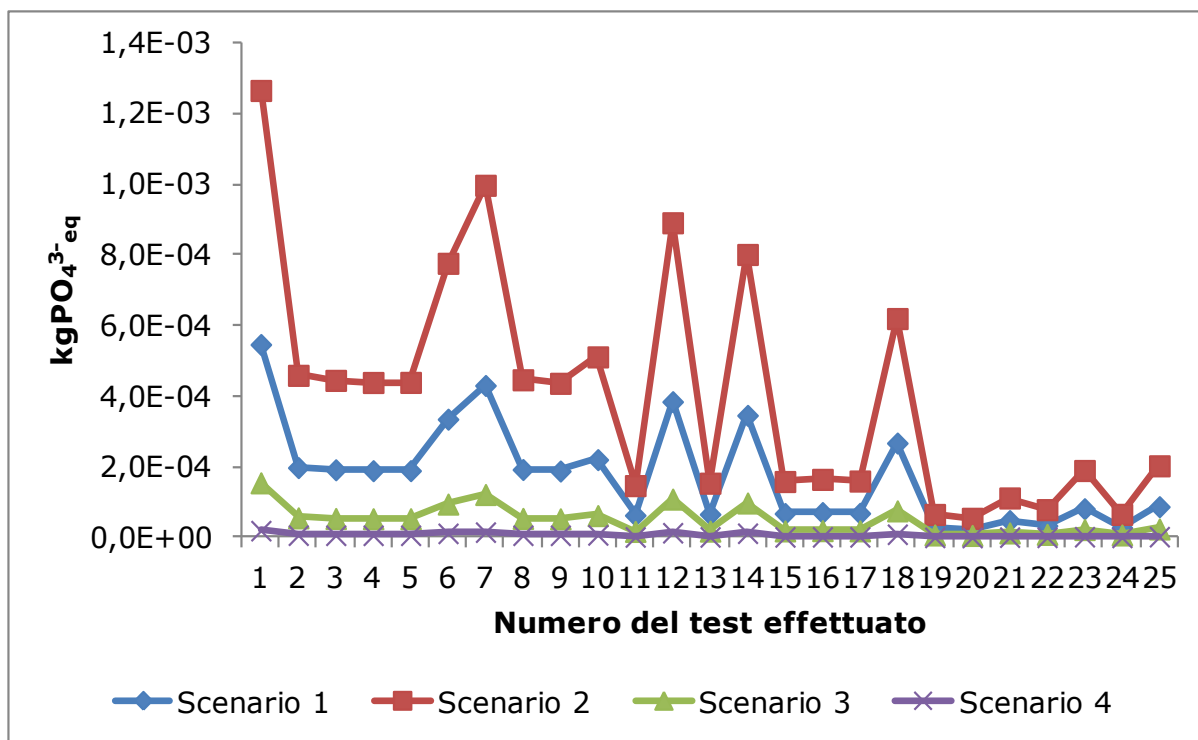


Figura 25: Confronto dell’impatto “EP” riferito ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d’uso

Un’analisi dei risultati del confronto permette di evidenziare, per tutte le tipologie di batterie esaminate, le seguenti osservazioni:

- Con riferimento al consumo di energia primaria totale, lo Scenario 2 (mix energetico europeo) determina il maggiore impatto, superiore di circa il 14% rispetto allo Scenario 1 (mix energetico italiano). I minori impatti sono imputabili allo Scenario 3 (energia da fotovoltaico) e 4 (energia eolica), i cui valori risultano inferiori rispetto alle Scenario 2 rispettivamente del 58% e del 67%.
- Il maggiore impatto relativo all’indicatore GWP è imputabile allo Scenario 1, superiore di circa il 27% rispetto all’impatto indotto dallo Scenario 2. Lo Scenario 3 e 4 hanno un impatto inferiore di circa il 90% e il 98,4% rispetto allo Scenario 1.
- Lo Scenario 1 ha un impatto sull’ODP superiore di un ordine di grandezza rispetto agli Scenari 2 e 3 e di due ordini di grandezza rispetto allo Scenario 4. L’impatto relativo allo Scenario 2 è superiore di circa il 32% rispetto a quello dello Scenario 3.
- Con riferimento all’indicatore POCP, lo Scenario 1 ha un impatto superiore di circa il 92,5% rispetto allo Scenario 2, di circa il 254% rispetto allo Scenario 3 e di circa il 3540% rispetto allo Scenario 4.
- Per l’indicatore AP lo Scenario 1 è caratterizzato dal maggiore impatto, superiore di circa il 32,7% rispetto allo Scenario 2, di un ordine di grandezza rispetto allo Scenario 3 e di due ordini di grandezza rispetto allo Scenario 4.
- Lo Scenario 2 è caratterizzato dal maggiore impatto relativo all’indicatore EP, con un valore di impatto superiore di circa il 131% rispetto allo Scenario 1, di circa il 713% rispetto allo Scenario 3 e di circa il 6123% rispetto allo Scenario 4.

2.6 Sintesi dei risultati: confronto tra le diverse tipologie di batterie

Al fine di valutare quale tipologia di batteria, tra le tre esaminate, sia caratterizzata dai minori impatti energetico – ambientali, è stato effettuato un confronto tra i risultati delle diverse batterie.

Va sottolineato come non sia stato possibile confrontare i risultati riguardanti ogni singolo test sperimentale, poiché non vi era una corrispondenza tra il numero del test effettuato e le condizioni di operatività imposte.

È stato quindi calcolato, per ciascun indicatore, un valore medio, riportato nella Tabella 20 e nelle Figure 26 - 31.

Un'analisi dei risultati evidenzia che gli impatti medi per le tre tipologie di batterie risultano, per ciascun indicatore, tutti dello stesso ordine di grandezza. Tali impatti generalmente diminuiscono all'aumentare della dimensione della batteria. Gli impatti di ciclo di vita riferiti ad 1 kWh di energia erogata dalla batteria sono quindi inferiori per le batterie con maggiori dimensioni, che sono caratterizzate da una maggiore quantità di energia erogata.

Si rilevano tuttavia alcune eccezioni per gli indicatori relativi al consumo di energia primaria, al GWP e all'AP. In dettaglio:

- il consumo di energia primaria per lo Scenario 1 e 2 della batteria 60 Ah risulta superiore rispetto a quelli relativi alle batterie 30 Ah e 100 Ah;
- per lo Scenario 1, considerando le batterie da 30 Ah e da 60 Ah, il valore del GWP risulta crescente al crescere della dimensione delle batterie;
- per lo Scenario 1 l'impatto sull'AP relativo alla batteria 60 Ah risulta superiore a quello delle batterie 30 Ah e 60 Ah.

Tabella 20: Confronto degli impatti energetico – ambientali medi per le differenti tipologie di batterie, riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalle batterie

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Consumo di energia primaria totale (MJ)				
30 Ah	8,101	8,363	7,177	7,001
60 Ah	8,195	8,655	6,572	6,263
100 Ah	7,049	7,424	5,724	5,472
GWP (kg CO _{2eq})				
30 Ah	0,685	0,659	0,578	0,569
60 Ah	0,686	0,641	0,499	0,482
100 Ah	0,607	0,570	0,454	0,440
ODP (kg CFC-11 _{eq})				
30 Ah	1,35E-05	1,35E-05	1,35E-05	1,35E-05
60 Ah	1,26E-05	1,26E-05	1,26E-05	1,26E-05
100 Ah	1,21E-05	1,21E-05	1,21E-05	1,21E-05
POCP (kg C ₂ H _{4eq})				
30 Ah	5,09E-04	4,82E-04	4,69E-04	4,55E-04
60 Ah	4,80E-04	4,34E-04	4,10E-04	3,86E-04
100 Ah	4,35E-04	3,97E-04	3,78E-04	3,58E-04
AP (kg SO _{2eq})				
30 Ah	4,50E-03	4,59E-03	4,27E-03	4,23E-03
60 Ah	4,57E-03	4,35E-03	3,79E-03	3,72E-03
100 Ah	4,14E-03	3,97E-03	3,51E-03	3,45E-03
EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})				
30 Ah	5,25E-03	5,41E-03	5,16E-03	5,13E-03
60 Ah	4,96E-03	5,24E-03	4,80E-03	4,75E-03
100 Ah	4,69E-03	4,92E-03	4,57E-03	4,52E-03

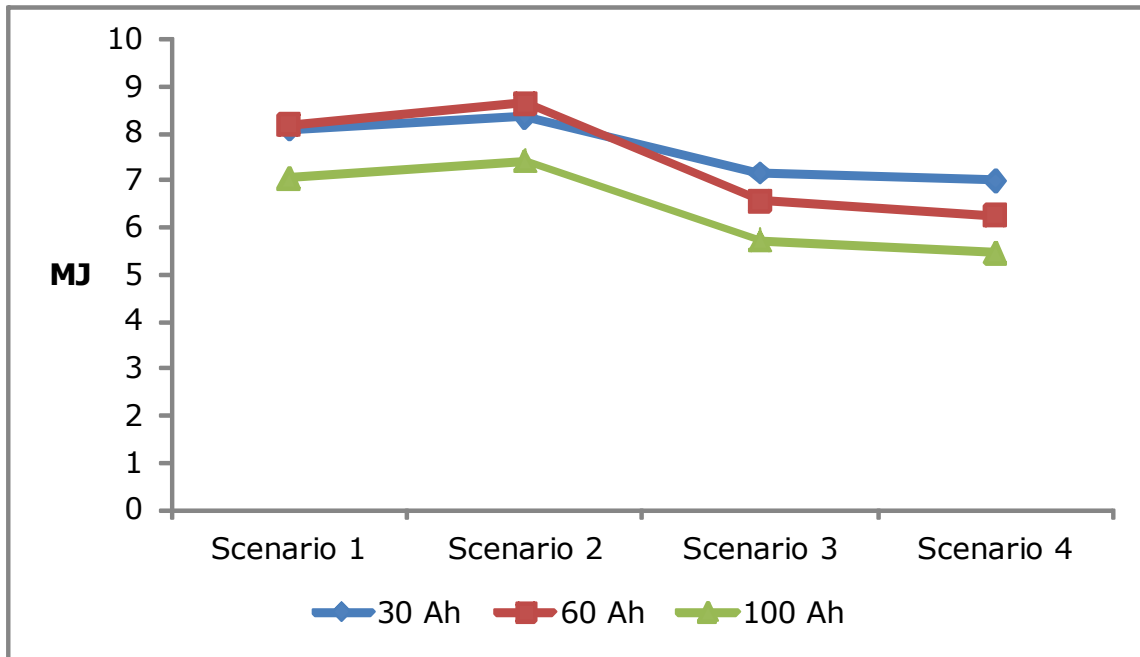


Figura 26: Confronto dell’impatto “consumo di energia primaria totale” per le differenti tipologie di batterie

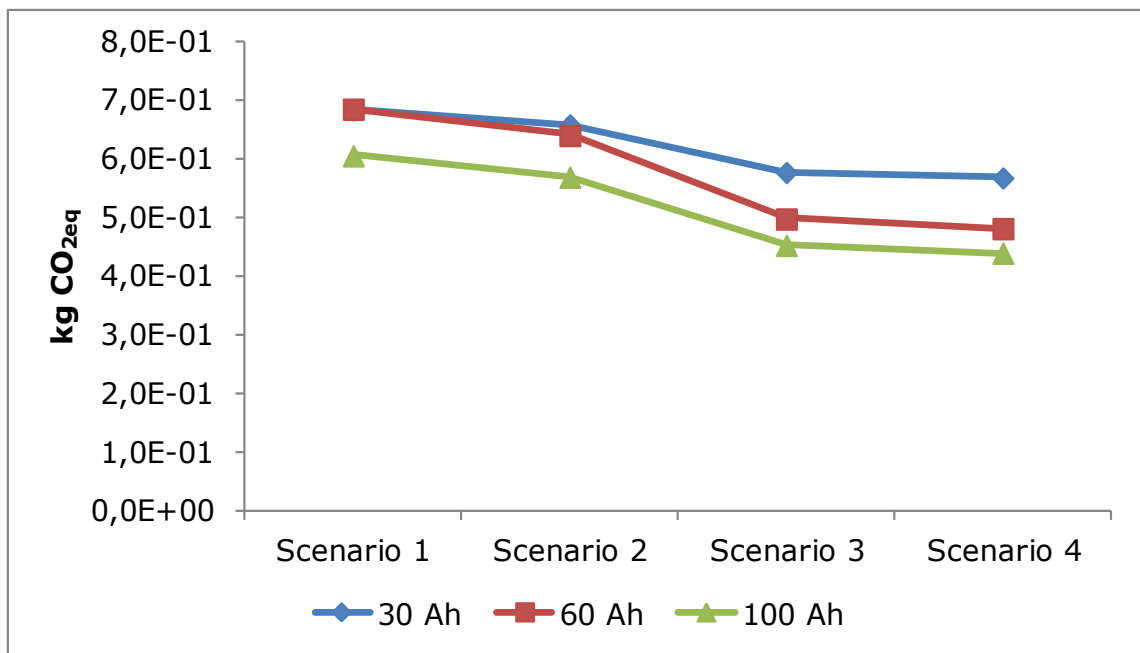


Figura 27: Confronto dell’impatto “GWP” per le differenti tipologie di batterie

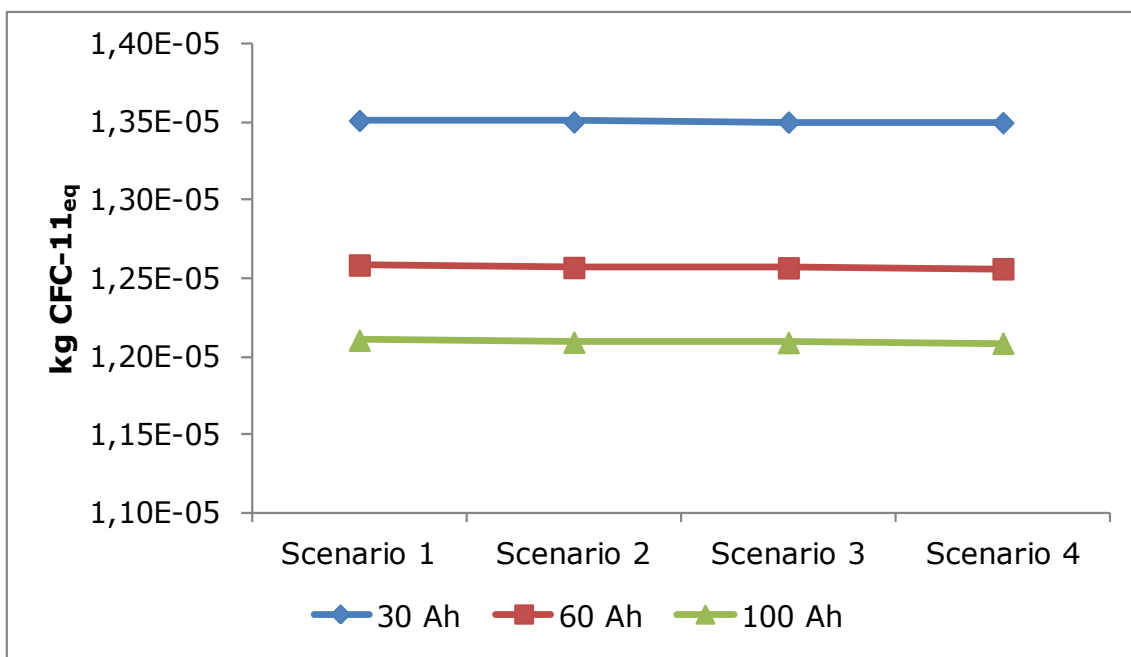


Figura 28: Confronto dell'impatto "ODP" per le differenti tipologie di batterie

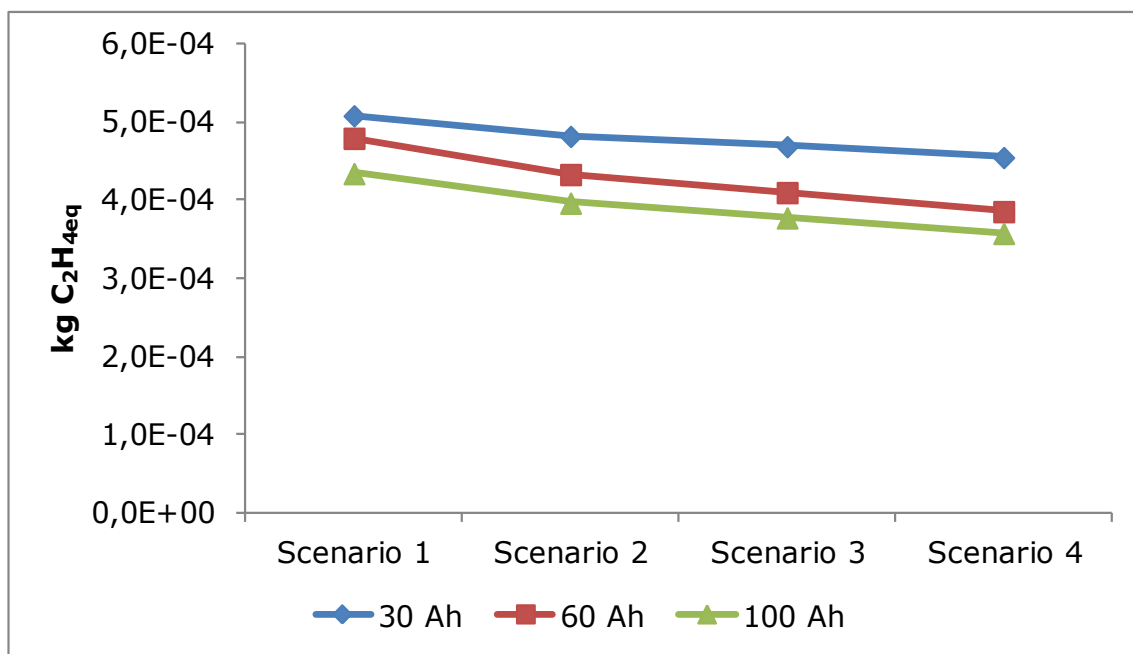


Figura 29: Confronto dell'impatto "POCP" per le differenti tipologie di batterie

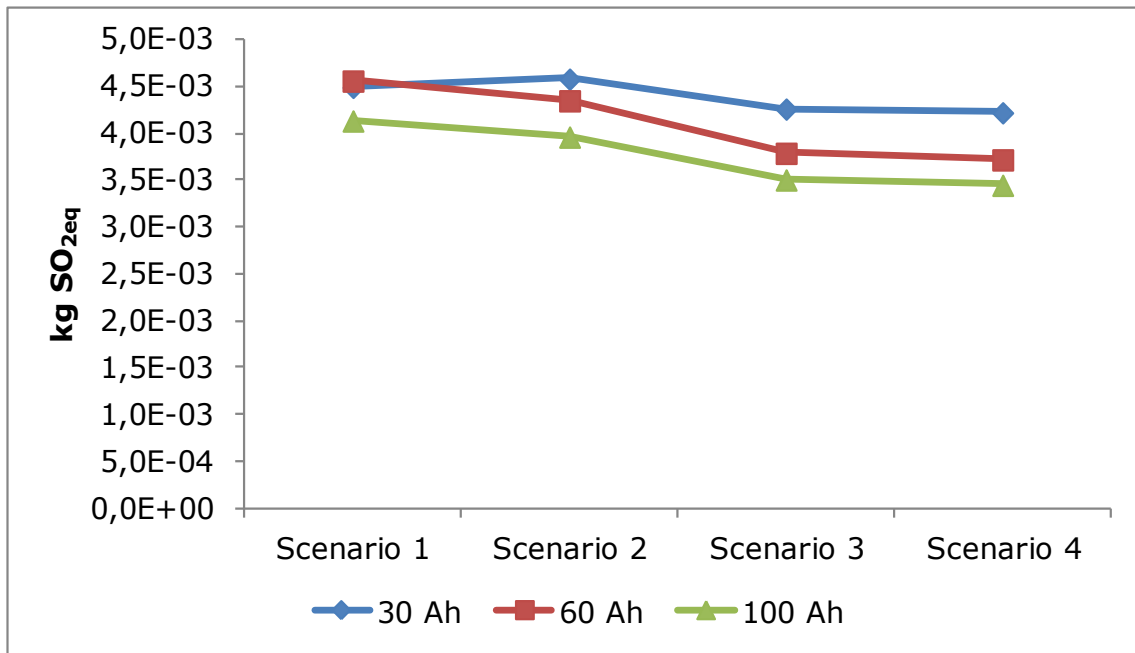


Figura 30: Confronto dell’impatto “AP” per le differenti tipologie di batterie

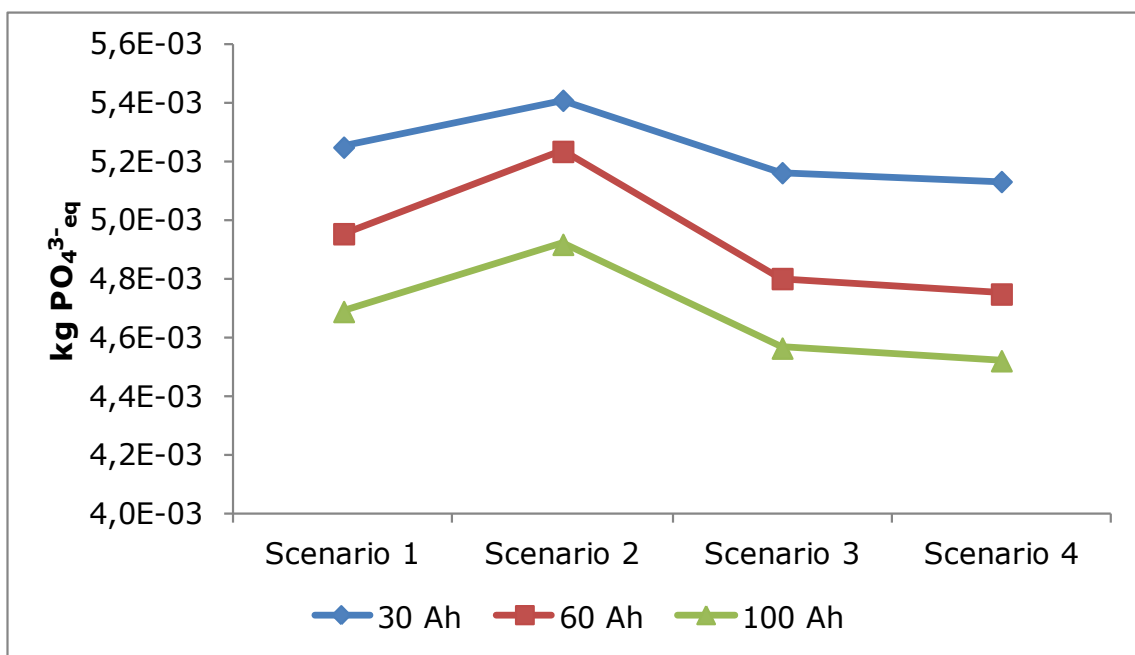


Figura 31: Confronto dell’impatto “EP” per le differenti tipologie di batterie

2.7 Conclusioni

Nel Capitolo 2 sono stati presentati i risultati della Sub-attività B “Analisi di sensibilità dei risultati della LCA”.

L'attività svolta ha riguardato una dettagliata analisi di sensibilità sui risultati della LCA svolta nel primo anno di attività. In particolare, sulla base di dati sperimentali forniti dall'ENEA relativi alla fase d'uso, è stato stimato il consumo di energia della batteria e del BMS durante la vita utile della batteria, ipotizzata pari a 12.000 ore, considerando 6000 cicli di carica e 6000 cicli di scarica della durata di 3 ore ciascuno.

Inoltre, al fine di valutare la variazione dei risultati in funzione delle modalità di produzione dell'energia elettrica, sono stati esaminati quattro scenari di produzione: produzione con mix energetico italiano, produzione con mix energetico europeo, produzione con pannelli fotovoltaici e produzione con turbine eoliche.

I risultati hanno evidenziato che:

- la fase del ciclo di vita della batteria caratterizzata dai maggiori impatti energetico – ambientali è quella di produzione;
- esaminando in dettaglio la fase d'uso e con riferimento ai quattro scenari di produzione dell'energia elettrica, l'impatto minore è indotto con la produzione di energia da turbine eoliche;
- un confronto tra le differenti tipologie di batterie ha evidenziato che, considerando come unità funzionale 1 kWh di energia prodotta dalla batteria, nella maggior parte dei casi gli impatti medi descomponono all'aumentare della dimensione della batteria.

3. Definizione di criteri di eco-design da applicare nella progettazione e realizzazione delle batterie Li-ione

3.1 Introduzione

Tutti i prodotti hanno un impatto sull'ambiente durante tutte le fasi del loro ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime alle fasi di manifattura, imballaggio, trasporto, uso, manutenzione e smaltimento finale o riciclo. Più dell'80% degli impatti ambientali di un prodotto sono determinati nella fase di progettazione, in cui vengono effettuate le scelte sui materiali da impiegare e sulle relative quantità [EC, 2012].

L'eco-design o eco-progettazione è un insieme di criteri di progettazione che hanno lo scopo di minimizzare l'impatto ambientale dell'intero ciclo di vita del prodotto, esaminando i suoi impatti ambientali sin dalla fase di progettazione.

Tuttavia, i criteri di eco-design che possono essere adottati in fase di progettazione non devono ridurre le caratteristiche funzionali di un prodotto, la sua sicurezza o avere impatti negativi sulla salute dei consumatori.

L'analisi degli impatti ambientali di un prodotto durante il suo intero ciclo di vita può essere effettuata, come detto in precedenza, tramite l'applicazione della metodologia LCA, standardizzata dalle norme della serie ISO 14040 [UNI EN ISO 14040, 2006; UNI EN ISO 14044, 2006].

Sulla base dei risultati ottenuti durante una LCA possono essere definiti dei criteri di ecodesign, alcuni dei quali di seguito elencati:

- scelta di materiali e componenti con basso impatto ambientale;
- riduzione della quantità di materiali utilizzati;
- impiego di materiali e sostanze non tossici;
- riduzione dell'uso di materie prime ad alta intensità energetica;
- riduzione dell'uso di materie prime non rinnovabili;
- aumento dell'impiego di materiali riciclati;
- aumento della riciclabilità del prodotto e dei suoi componenti.

Altri criteri di eco-design riguardano:

- riduzione degli impatti ambientali dei processi di produzione;
- ottimizzazione energetico – ambientale della fase di distribuzione;
- riduzione degli impatti ambientali durante la fase d'uso;
- incremento del ciclo vitale dell'unità funzionale;
- gestione eco-orientata del ciclo dei rifiuti.

La possibile applicazione dei suddetti criteri di ecodesign va valutata tenendo conto non solo dei vantaggi energetico – ambientali connessi a tali criteri, ma anche dei costi economici da sostenere per la loro applicazione e della variazione indotta sulle caratteristiche di affidabilità e funzionalità del prodotto.

3.2 LCA delle batterie Li-ione: elementi di criticità

Nell'annualità precedente è stata svolta la LCA delle batterie al Li-ione, che ha permesso di individuare i materiali e i componenti della batteria responsabili dei maggiori impatti energetico – ambientali. Sulla base dei risultati ottenuti e dopo un'attenta analisi degli studi di letteratura sono stati individuati dei possibili indirizzi di progettazione eco-compatibile delle batterie.

Nelle Tabelle 21 e 22 si riportano gli impatti energetico-ambientali delle batterie in esame, riferiti alla fase di produzione di ciascuna batteria.

Con riferimento al consumo di energia primaria (Global Energy Requirement – GER) della batteria da 30 Ah si osserva che circa il 30% dell'impatto è imputabile al box batteria, circa il 23,5% al BMS, circa il 18,5% al sistema di raffreddamento e circa il 28% alle celle. Le celle sono inoltre responsabili dei maggiori impatti ambientali. In dettaglio, esse determinano circa il 54% dell'impatto sul GWP, circa il 99,8% sull'ODP, circa il 60,4% sul POCP, circa il 71,4% sull'AP e circa il 68,3% sull'EP.

Il box batteria, a cui è imputabile il maggiore consumo di energia primaria, incide sul GWP per il 18,8%, sul POCP per il 16,4%, sull'AP per l'11,6% e sull'EP per il 4%.

Il sistema di raffreddamento ha un impatto su tutti gli indicatori esaminati inferiore all'11%, mentre il BMS ha un impatto variabile dal 9,7% (AP) al 25% (EP).

Per tutti i componenti, ad eccezione delle celle, risulta trascurabile l'impatto sull'ODP.

Esaminando i risultati relativi alle batterie da 60 Ah è possibile osservare quanto di seguito riportato:

- le celle sono responsabili del 32,6% dei consumi di energia primaria, il BMS del 30,7%, il box batteria del 22,7% e il sistema di raffreddamento del 14%;
- le celle sono responsabili dei maggiori impatti ambientali: 59% del GWP, 99,8% dell'ODP, 65,3% del POCP, 75,3% dell'AP e 67,7% dell'EP;
- il sistema di raffreddamento ha un'incidenza percentuale sugli impatti inferiore all'8%;
- il box batteria ha un'incidenza sugli impatti variabile dal 2,6% (EP) al 13,5% (GWP);
- l'incidenza del BMS sugli impatti varia dall'11,6% (AP) al 28% (EP);
- tutti i componenti, ad eccezione delle celle, hanno un impatto trascurabile sull'ODP.

Con riferimento alle batterie da 100 Ah, le celle sono responsabili del 35,3% del consumo di energia primaria, il BMS del 33,3%, il box batteria del 19,4% e il sistema di raffreddamento del 12%.

Inoltre, le celle sono responsabili del 61,6% dell'impatto sul GWP, del 99,8% sull'ODP, del 68% sul POCP, del 77,5% sull'AP e del 68,3% sull'EP.

L'incidenza del BMS sugli impatti ambientali varia dall'11,9% (AP) al 28,2% (EP), quella del box batteria dal 2% (EP) all'11% (GWP) e quella del sistema di raffreddamento dall'1,5% (EP) al 6,9% (GWP).

Tutti i componenti, ad eccezione delle celle, hanno un impatto trascurabile sull'ODP.

Tabella 21: Consumo di energia primaria fase di produzione: dati riferiti ad 1 batteria

Batteria con celle da 30 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	283,52	18,36	301,88
BMS	236,97	15,10	252,07
Box batteria	273,77	44,96	318,73
Sistema raffreddamento	169,79	27,88	197,67
Totale	964,06	106,30	1070,36
Batteria con celle da 60 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	502,89	32,58	535,47
BMS	473,94	30,19	504,13

Box batteria	319,97	52,55	372,52
Sistema raffreddamento	198,55	32,61	231,16
Totale	1495,35	147,92	1643,27
Batteria con celle da 100 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Celle	838,09	54,29	892,38
BMS	789,89	50,32	840,21
Box batteria	420,14	68,99	489,13
Sistema raffreddamento	260,61	42,80	303,41
Totale	2308,74	216,40	2525,14

Tabella 22: Impatti ambientali fase di produzione: dati riferiti ad 1 batteria

Batteria con celle da 30 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	53,70	2,4E-03	4,8E-02	0,53	0,62
BMS	15,61	2,1E-06	1,0E-02	0,07	0,23
Box batteria	18,76	1,2E-06	1,3E-02	0,09	0,04
Sistema raffreddamento	11,64	7,7E-07	8,2E-03	0,05	0,02
Totale	99,71	2,4E-03	8,0E-02	0,74	0,91
Batteria con celle da 60 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	95,26	4,3E-03	8,6E-02	0,94	1,10
BMS	31,22	4,2E-06	2,1E-02	0,14	0,45
Box batteria	21,93	1,4E-06	1,5E-02	0,10	0,04
Sistema raffreddamento	13,61	9,0E-07	9,5E-03	0,06	0,03
Totale	162,01	4,3E-03	1,3E-01	1,25	1,62
Batteria con celle da 100 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Celle	158,76	7,1E-03	1,4E-01	1,57	1,83
BMS	52,04	6,9E-06	3,5E-02	0,24	0,76
Box batteria	28,79	1,9E-06	2,0E-02	0,13	0,06
Sistema raffreddamento	17,86	1,2E-06	1,3E-02	0,08	0,04
Totale	257,44	7,2E-03	2,1E-01	2,02	2,68

Considerato che sia il box batteria che il sistema di raffreddamento sono costituiti da acciaio inox, per la riduzione degli impatti energetico – ambientali si potrebbe intervenire riducendo la quantità di materiale utilizzato, oppure utilizzando un materiale diverso o ricorrendo allo stesso materiale ottenuto da processi di riciclo.

La prima soluzione (riduzione della quantità di materiale utilizzato) può essere applicata solo a seguito di prove sperimentali che valutino la resistenza e l'affidabilità della batteria nel caso in cui venga ridotto lo spessore o il volume del box batteria e/o del sistema di raffreddamento.

Per quel che riguarda la seconda soluzione, un'analisi di letteratura ha permesso di rilevare che possibili materiali alternativi per il box batteria possono essere l'alluminio [Schexnayder et al., 2001], l'acciaio non legato [Notter et al., 2010] e il polipropilene [Zackrisson et al., 2010].

Sulla base delle suddette informazioni, sono stati stimati gli impatti energetico – ambientali di alcune tipologie di acciaio e di alluminio e del polipropilene, al fine di valutare se l'utilizzo di uno di questi materiali potesse determinare una riduzione degli impatti energetico – ambientali delle batterie. Le tipologie di materiali alternativi esaminate sono riportate di seguito:

- Scenario base: utilizzo di acciaio inox, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico;
- Scenario A: utilizzo di acciaio inox prodotto con convertitore;
- Scenario B: utilizzo di acciaio bassolegato prodotto con convertitore;
- Scenario C: utilizzo di acciaio non legato prodotto con convertitore;
- Scenario D: utilizzo di acciaio inox prodotto con forno ad arco elettrico;
- Scenario E: utilizzo di acciaio bassolegato e non legato prodotto con forno ad arco elettrico;
- Scenario F: utilizzo di acciaio bassolegato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico;
- Scenario G: acciaio non legato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico;
- Scenario H: alluminio prodotto da materie prime vergini;
- Scenario I: alluminio, mix di produzione da materie prime vergine e da scarti di alluminio;
- Scenario L: lega di alluminio "cast alloy", mix di produzione da materie prime vergine e da scarti di alluminio;
- Scenario M: lega di alluminio "wrought alloy", mix di produzione da materie prime vergine e da scarti di alluminio;
- Scenario N: alluminio riciclato prodotto da scarti non sottoposti ad alcun trattamento;
- Scenario O: alluminio riciclato prodotto da scarti sottoposti a trattamento;
- Scenario P: polipropilene.

In Tabella A.55 in appendice si riportano gli impatti energetico – ambientali di 1 kg di ciascun prodotto e il riferimento dei dati secondari utilizzati per la stima dell'impatto.

Inoltre, tali impatti vengono riportati graficamente nelle Figure A.32 – A.37.

Nelle Tabelle 23-24-25 si riportano, per ciascuna tipologia di batteria in esame, gli impatti energetico – ambientali connessi al box batteria, in riferimento agli scenari descritti in precedenza.

Tabella 23: Batteria 30 Ah - impatti energetico – ambientali del box batteria con l'uso di diverse tipologie di materiali

	GER (MJ)	GWP (kgCO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ 3 ^{-eq})
Scenario base	318,7	18,8	1,24E-06	1,31E-02	8,61E-02	3,69E-02
Scenario A	305,3	18,6	1,07E-06	1,21E-02	8,49E-02	3,68E-02
Scenario B	128,6	8,7	2,72E-07	6,95E-03	3,04E-02	2,03E-02
Scenario C	97,0	6,9	1,51E-07	5,74E-03	2,08E-02	1,48E-02
Scenario D	284,0	16,0	1,15E-06	9,65E-03	7,99E-02	3,15E-02
Scenario E	37,1	1,7	1,81E-07	1,25E-03	7,28E-03	5,08E-03
Scenario F	116,1	7,3	3,74E-07	6,78E-03	2,48E-02	1,67E-02
Scenario G	96,1	6,1	2,97E-07	6,03E-03	1,88E-02	1,32E-02
Scenario H	807,5	49,6	2,97E-06	3,04E-02	2,02E-01	8,36E-02
Scenario I	566,8	34,7	2,16E-06	2,12E-02	1,42E-01	5,99E-02
Scenario L	210,5	12,6	9,78E-07	7,61E-03	5,20E-02	2,49E-02
Scenario M	730,2	44,8	2,70E-06	2,75E-02	1,83E-01	7,61E-02
Scenario N	34,6	1,7	2,54E-07	1,10E-03	9,19E-03	9,07E-03
Scenario O	99,0	5,7	7,99E-07	3,05E-03	2,22E-02	1,19E-02
Scenario P	312,5	8,2	2,07E-09	1,66E-02	2,26E-02	2,80E-03

Tabella 24: Batteria 60 Ah - impatti energetico – ambientali del box batteria con l'uso di diverse tipologie di materiali

	GER (MJ)	GWP (kgCO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Scenario base	372,5	21,9	1,44E-06	1,54E-02	1,01E-01	4,31E-02
Scenario A	356,8	21,7	1,25E-06	1,42E-02	9,92E-02	4,30E-02
Scenario B	150,3	10,1	3,18E-07	8,12E-03	3,55E-02	2,38E-02
Scenario C	113,4	8,0	1,76E-07	6,71E-03	2,44E-02	1,73E-02
Scenario D	331,9	18,7	1,35E-06	1,13E-02	9,34E-02	3,68E-02
Scenario E	43,3	2,0	2,11E-07	1,46E-03	8,51E-03	5,93E-03
Scenario F	135,6	8,5	4,37E-07	7,93E-03	2,89E-02	1,95E-02
Scenario G	112,4	7,1	3,47E-07	7,05E-03	2,19E-02	1,55E-02
Scenario H	943,7	58,0	3,48E-06	3,55E-02	2,36E-01	9,77E-02
Scenario I	662,5	40,5	2,52E-06	2,48E-02	1,66E-01	7,00E-02
Scenario L	246,0	14,7	1,14E-06	8,90E-03	6,08E-02	2,91E-02
Scenario M	853,4	52,4	3,16E-06	3,21E-02	2,14E-01	8,90E-02
Scenario N	40,5	2,0	2,97E-07	1,28E-03	1,07E-02	1,06E-02
Scenario O	115,7	6,7	9,34E-07	3,56E-03	2,60E-02	1,39E-02
Scenario P	365,2	9,5	2,42E-09	1,94E-02	2,64E-02	3,27E-03

Tabella 25: Batteria 100 Ah - impatti energetico – ambientali del box batteria con l'uso di diverse tipologie di materiali

	GER (MJ)	GWP (kgCO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})
Scenario base	489,1	28,8	1,90E-06	2,02E-02	1,32E-01	5,66E-02
Scenario A	468,5	28,5	1,64E-06	1,86E-02	1,30E-01	5,64E-02
Scenario B	197,4	13,3	4,18E-07	1,07E-02	4,66E-02	3,12E-02
Scenario C	148,9	10,5	2,32E-07	8,81E-03	3,20E-02	2,27E-02
Scenario D	435,8	24,6	1,77E-06	1,48E-02	1,23E-01	4,83E-02
Scenario E	56,9	2,7	2,78E-07	1,92E-03	1,12E-02	7,79E-03
Scenario F	178,1	11,2	5,74E-07	1,04E-02	3,80E-02	2,57E-02
Scenario G	147,5	9,4	4,56E-07	9,26E-03	2,88E-02	2,03E-02
Scenario H	1239,1	76,1	4,56E-06	4,67E-02	3,10E-01	1,28E-01
Scenario I	869,9	53,2	3,31E-06	3,26E-02	2,18E-01	9,19E-02
Scenario L	323,0	19,3	1,50E-06	1,17E-02	7,98E-02	3,82E-02
Scenario M	1120,5	68,8	4,14E-06	4,21E-02	2,81E-01	1,17E-01
Scenario N	53,1	2,7	3,90E-07	1,69E-03	1,41E-02	1,39E-02
Scenario O	151,9	8,7	1,23E-06	4,67E-03	3,41E-02	1,82E-02
Scenario P	479,6	12,5	3,17E-09	2,55E-02	3,47E-02	4,29E-03

Un'analisi degli impatti energetico – ambientali dei sopra elencati materiali, da impiegare in alternativa allo Scenario base, ha evidenziato che per ciascuna batteria:

- non vi è un vantaggio energetico – ambientale connesso all'uso di alluminio prodotto da materie prime vergini (Scenario H), alluminio prodotto da un mix di materie prime vergini e da scarti (Scenario I), lega di alluminio "wrought alloy" prodotto da un mix di materie prime vergini e da scarti (Scenario M);

- l'utilizzo di altre tipologie di materiali potrebbe determinare una riduzione degli impatti con il seguente range di variazione:
 - dallo 0,23% (EP) al 13,47% (ODP) per l'utilizzo di acciaio inox prodotto con convertitore (Scenario A);
 - dal 44,81% (AP) al 77,95% (ODP) per l'utilizzo di acciaio bassolegato prodotto con convertitore (Scenario B);
 - dal 56,33% (POCP) all'87,78% (ODP) per l'utilizzo di acciaio non legato prodotto con convertitore (Scenario C);
 - dal 6,73% (ODP) al 26,58% (POCP) per l'utilizzo di acciaio inox prodotto con forno ad arco elettrico (Scenario D);
 - dall'85,35% (ODP) al 91,55% (AP) per l'utilizzo di acciaio bassolegato e non legato prodotto con convertitore (Scenario E);
 - dal 48,42% (POCP) al 71,26% (AP) per l'utilizzo di acciaio bassolegato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico (Scenario F);
 - dal 54,11% (POCP) al 78,21% (AP) per l'utilizzo di acciaio non legato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico (Scenario G);
 - dal 20,88% (ODP) al 42,09% (POCP) per l'utilizzo di lega di alluminio "cast alloy", mix di produzione da materie prime vergini e da scarti di alluminio (Scenario L);
 - dal 75,40% (EP) al 91,65% (POCP) per l'utilizzo di alluminio riciclato prodotto da scarti non sottoposti ad alcun trattamento (Scenario N);
 - dal 35,35% (ODP) al 76,84% (POCP) per l'utilizzo di alluminio riciclato prodotto da scarti sottoposti a trattamento (Scenario O);
 - dall'1,96% (GER) al 99,83% (ODP) per l'utilizzo di polipropilene (Scenario P).

Per quel che riguarda il BMS, a causa della carenza di dati primari sul processo di produzione del BMS, non è quindi possibile definire dei criteri diretti di eco-design.

Tuttavia occorre sottolineare che solitamente il BMS viene prodotto all'esterno delle aziende che realizzano le batterie. In tal caso la riduzione degli impatti connessi all'uso del BMS può essere effettuata attraverso la selezione di prodotti realizzati da ditte che forniscono informazioni ambientali circa i loro prodotti (ad esempio aziende che abbiano ottenuto una dichiarazione ambientale di prodotto per i BMS), aziende con una certificazione ISO 14001 o EMAS sui sistemi di gestione ambientale e/o ISO 50001 sui sistemi di gestione dell'energia.

Con riferimento alle celle, in Tabella 26 e Tabella 27 si riportano gli impatti energetico-ambientali riferiti alla fase di produzione di una singola cella.

Tabella 26: Consumo di energia primaria fase di produzione di 1 cella

Cella 30 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	6,22	0,03	
Rame (collettore di corrente el. -)	11,14	2,74	
Tetrafluoroetilene (legante)	7,19	0,30	
Grafite (materiale attivo el. -)	11,56	0,20	
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,22	0,004	
Nichel	0,34	0,09	
Alluminio	0,52	0,11	
Gomma	0,11	0,002	
Additivi carboniosi	1,95	0,003	
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	28,78	1,07	
Materiale acrilico	0,23	0,004	

Polietilene	1,35	0,02
Polipropilene	1,29	0,01
Totale	70,88	4,59

Cella 60 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia Rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	11,04	0,05	
Rame (collettore di corrente el. -)	19,75	4,86	
Tetrafluoroetilene (legante)	12,75	0,53	
Grafite (materiale attivo el. -)	20,50	0,36	
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,40	0,01	
Nichel	0,60	0,16	
Alluminio	0,92	0,19	
Gomma	0,18	0,004	
Additivi carboniosi	3,45	0,01	
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	51,05	1,91	
Materiale acrilico	0,40	0,01	
Polietilene	2,39	0,04	
Polipropilene	2,28	0,01	
Totale	125,72	8,14	

Cella 100 Ah	Energia non rinnovabile (MJ)	Energia rinnovabile (MJ)	Energia totale (MJ)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	18,40	0,08	
Rame (collettore di corrente el. -)	32,92	8,10	
Tetrafluoroetilene (legante)	21,25	0,89	
Grafite (materiale attivo el. -)	34,16	0,60	
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,66	0,01	
Nichel	1,00	0,27	
Alluminio	1,53	0,32	
Gomma	0,30	0,01	
Additivi carboniosi	5,74	0,01	
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	85,09	3,18	
Materiale acrilico	0,67	0,01	
Polietilene	3,99	0,07	
Polipropilene	3,81	0,02	
Totale	209,52	13,57	

Tabella 27: Impatti ambientali fase di produzione di 1 cella

Cella 30 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC- 11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ eq)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,11	4,7E-08	1,8E-04	6,9E-04	1,3E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	0,72	6,4E-08	6,9E-03	1,1E-01	1,3E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	10,17	6,0E-04	3,4E-04	3,7E-03	7,8E-04
Grafite (materiale attivo el. -)	0,26	1,2E-07	2,8E-03	1,4E-03	1,4E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,01	3,4E-10	8,9E-06	2,1E-05	1,0E-05
Nichel	0,02	2,1E-09	1,8E-04	3,3E-03	3,1E-04
Alluminio	0,04	2,4E-09	2,3E-05	1,6E-04	6,6E-05
Gomma	0,00	7,0E-10	5,3E-06	1,1E-05	4,4E-06
Additivi carboniosi	0,05	2,5E-08	2,9E-05	1,3E-04	1,8E-05

Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	1,95	2,4E-07	1,4E-03	1,6E-02	2,6E-02
Materiale acrilico	0,01	8,1E-10	9,6E-06	2,7E-05	1,2E-05
Polietilene	0,04	1,1E-11	9,0E-05	1,2E-04	1,1E-05
Polipropilene	0,03	8,6E-12	6,9E-05	9,4E-05	1,2E-05
Totale	13,42	6,0E-04	1,2E-02	1,3E-01	1,5E-01

Cella 60 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC- 11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ eq)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,20	8,4E-08	3,2E-04	1,2E-03	2,3E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	1,28	1,1E-07	1,2E-02	1,9E-01	2,2E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	18,04	1,1E-03	6,0E-04	6,5E-03	1,4E-03
Grafite (materiale attivo el. -)	0,46	2,1E-07	5,0E-03	2,5E-03	2,5E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,01	5,9E-10	1,6E-05	3,8E-05	1,8E-05
Nichel	0,04	3,7E-09	3,2E-04	5,9E-03	5,5E-04
Alluminio	0,07	4,3E-09	4,2E-05	2,8E-04	1,2E-04
Gomma	0,01	1,2E-09	8,8E-06	1,9E-05	7,4E-06
Additivi carboniosi	0,09	4,4E-08	5,1E-05	2,2E-04	3,1E-05
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	3,46	4,3E-07	2,5E-03	2,9E-02	4,6E-02
Materiale acrilico	0,01	1,4E-09	1,7E-05	4,8E-05	2,2E-05
Polietilene	0,06	2,0E-11	1,6E-04	2,1E-04	2,0E-05
Polipropilene	0,06	1,5E-11	1,2E-04	1,7E-04	2,1E-05
Totale	23,81	1,1E-03	2,1E-02	2,3E-01	2,7E-01

Cella 100 Ah	GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC- 11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ eq)
Alluminio (collettore di corrente el. +)	0,34	1,4E-07	5,3E-04	2,0E-03	3,8E-04
Rame (collettore di corrente el. -)	2,13	1,9E-07	2,0E-02	3,2E-01	3,7E-01
Tetrafluoroetilene (legante)	30,07	1,8E-03	1,0E-03	1,1E-02	2,3E-03
Grafite (materiale attivo el. -)	0,77	3,5E-07	8,3E-03	4,2E-03	4,2E-03
Carbonato di etilene (Elettrolita)	0,02	9,9E-10	2,6E-05	6,3E-05	3,1E-05
Nichel	0,07	6,2E-09	5,3E-04	9,7E-03	9,2E-04
Alluminio	0,11	7,1E-09	6,9E-05	4,6E-04	2,0E-04
Gomma	0,01	2,0E-09	1,5E-05	3,2E-05	1,3E-05
Additivi carboniosi	0,15	7,4E-08	8,4E-05	3,7E-04	5,2E-05
Litio ferro fosfato (materiale attivo el. +)	5,77	7,2E-07	4,2E-03	4,8E-02	7,7E-02
Materiale acrilico	0,02	2,4E-09	2,8E-05	8,0E-05	3,6E-05
Polietilene	0,11	3,3E-11	2,7E-04	3,5E-04	3,3E-05
Polipropilene	0,10	2,5E-11	2,0E-04	2,8E-04	3,4E-05
Totale	39,69	1,8E-03	3,6E-02	3,9E-01	4,6E-01

Per le tre tipologie esaminate i componenti responsabili dei maggiori consumi di energia primaria sono: il materiale attivo dell'elettrodo positivo, cioè il litio ferro fosfato (39,5%); il collettore di corrente dell'elettrodo negativo, costituito da rame (18,4%); il materiale attivo dell'elettrodo negativo, cioè la grafite (15,6%); il tetrafluoroetilene che funge da legante (9,9%) e il collettore di corrente dell'elettrodo positivo, in alluminio (8,3%).

Esaminando gli impatti ambientali si osserva che:

- il tetrafluoroetilene è responsabile di circa il 75% dell’impatti sul GWP e di circa il 99,9% degli impatti sull’ODP;
- il litio ferro fosfato determina il 14,5% dell’impatto sul GWP, l’11,7% dell’impatto sul POCP, il 12,3% dell’impatto sull’AP e il 17,3% dell’impatto sull’EP;
- il rame determina il 57,5% dell’impatto sul POCP, l’84,6% dell’impatto sull’AP e l’86,7% dell’impatto sull’EP;
- la grafite ha un impatto del 23,3% sul POCP, mentre l’impatto sugli altri indici esaminati è inferiore al 2%.

Complessivamente i materiali caratterizzati dai maggiori impatti energetico – ambientali sono il litio ferro fosfato, il rame, la grafite e il tetrafluoroetilene. I criteri di eco-design delle celle dovrebbero quindi essere indirizzati alla ricerca di materiali alternativi a quelli sopra elencati o alla riduzione delle quantità di tali materiali impiegati all’interno delle celle.

Un’analisi della letteratura scientifica sulle batterie agli ioni di litio ha evidenziato che, per tutti gli studi, il rame è l’unico materiale impiegato come collettore di corrente dell’elettrodo negativo.

Il tetrafluoroetilene può essere sostituito dal polivinilidene fluoruro o dal poliacrilonitrile-metil metacrilato [Majeau-Bettez et al., 2011]. Tuttavia, nei database ambientali e negli studi scientifici di letteratura esaminati non è presente l’eco-profilo di tali componenti. Non è pertanto possibile valutare gli impatti energetico – ambientali di questi due materiali e quindi gli eventuali vantaggi connessi alla loro sostituzione.

Il litio-ferro-fosfato rappresenta il principale componente delle batterie in esame, che sono del tipo LiFePO_4 , e pertanto non è stata valutata la possibilità di sostituzione di questo materiale.

Con riferimento al materiale attivo dell’elettrodo negativo, l’analisi di letteratura ha mostrato che vi sono diversi materiali che possono sostituire l’uso della grafite [Daniel, 2008; Xu et al., 2010].

Tra questi, il materiale che può garantire buone performances della batteria rispetto alla grafite è l’anatasio, una forma minerale del biossido di titanio, mentre altri materiali, quali litio, materiali con lega di litio, silicio, possono ridurre tali prestazioni, presentando problemi in fase d’uso della batteria. Per valutare gli eventuali vantaggi connessi all’uso del biossido di titanio in sostituzione della grafite, in Tabella 28 si riportano gli impatti energetico-ambientali di 1 kg di grafite e di 1 kg di biossido di titanio.

L’analisi dei valori riportati in tabella evidenzia che il biossido di titanio è caratterizzato da maggiori impatti energetico – ambientali rispetto alla grafite, con un range di variazione compreso tra +3,43% (EP) e +201% (GWP). L’unica eccezione si ha per il POCP; per tale indice infatti l’uso di 1 kg di biossido di titanio in sostituzione di 1 kg di grafite determinerebbe una riduzione dell’impatto del 79,76%.

Tabella 28: Impatti energetico – ambientali di 1 kg di grafite e di 1 kg di biossido di titanio

	Grafite	Diossido di titanio
GER (MJ)	68,17	87,80
GWP (kgCO _{2eq})	1,51	4,54
ODP (kg CFC-11 _{eq})	6,85E-07	1,07E-06
POCP (kg C ₂ H _{4eq})	1,64E-02	3,32E-03
AP (kg SO _{2eq})	8,18E-03	3,12E-02
EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})	8,16E-03	8,44E-03

3.3 Conclusioni

Nel Capitolo 3 sono stati presentati i risultati della Sub-attività C “Definizione di criteri di eco-design da applicare nella progettazione e realizzazione delle batterie Li-ione”.

L'attività svolta ha riguardato una dettagliata analisi dei componenti/materiali della batteria e della cella che sono caratterizzati dai maggiori impatti energetico – ambientali.

Sulla base di un'analisi degli studi di letteratura riguardanti le batterie agli ioni di litio sono stati individuati dei materiali da impiegare per la realizzazione della batteria, caratterizzati da minori impatti energetico – ambientali rispetto a quelli attualmente impiegati.

In dettaglio, sono stati individuati dei possibili sostituti dell'acciaio inox nel box batteria, tra cui: acciaio inox prodotto con convertitore; acciaio bassolegato prodotto con convertitore; acciaio non legato prodotto con convertitore; acciaio inox prodotto con forno ad arco elettrico; acciaio bassolegato e non legato prodotto con convertitore; acciaio bassolegato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico; acciaio non legato, mix di produzione con convertitore e con forno ad arco elettrico; lega di alluminio “cast alloy”, mix di produzione da materie prime vergini e da scarti di alluminio; alluminio riciclato prodotto da scarti non sottoposti ad alcun trattamento; alluminio riciclato prodotto da scarti sottoposti a trattamento; polipropilene.

Si sottolinea che il possibile utilizzo dei suddetti materiali va valutato tenendo conto non solo dei vantaggi ambientali connessi alla loro attuazione, ma anche dei costi economici da sostenere e della variazione delle caratteristiche di affidabilità e funzionalità del prodotto.

Con riferimento ai materiali che compongono la cella, in alcuni casi non è stato possibile individuare materiali con minori impatti energetico – ambientali rispetto a quelli attualmente impiegati; in altri casi non è stato possibile stimare gli impatti energetico – ambientali di materiali individuati come alternativi a quelli in uso.

Appendice

Tabella A.1: Batteria 30 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

Numero di test effettuato	Energia immagazzinata in fase di carica (Wh)	Energia fornita in fase di scarica (Wh)	Energia dissipata In fase di scarica (Wh)
1	92,65	79,51	13,13
2	97,27	80,16	17,11
3	100,93	90,64	10,29
4	102,47	92,55	9,92
5	103,31	93,05	10,26
6	103,50	93,82	9,68
7	99,65	88,28	11,37
8	103,08	92,64	10,44
9	103,34	93,64	9,70
10	99,81	87,06	12,75
11	99,08	85,69	13,39
12	103,58	93,37	10,21
13	103,57	93,31	10,26
14	90,65	71,59	19,06
15	107,33	102,42	4,91
16	96,42	84,81	11,62
17	100,65	94,57	6,08
18	102,71	97,09	5,61
19	99,31	90,02	9,29
20	96,52	84,60	11,92

Tabella A.2: Batteria 60 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

Numero di test	Energia immagazzinata	Energia fornita	Energia dissipata
1	227,27	125,50	101,77
2	227,95	188,30	39,65
3	229,52	189,54	39,98
4	227,25	178,13	49,13
5	213,51	159,15	54,36
6	220,80	193,38	27,41
7	217,80	165,91	51,89
8	215,62	121,69	93,93
9	217,20	188,58	28,62
10	217,75	189,14	28,61
11	218,20	188,97	29,23
12	218,54	190,07	28,47
13	218,35	189,95	28,40
14	217,49	176,24	41,25
15	219,39	187,89	31,50
16	202,50	147,70	54,80
17	216,36	179,45	36,91
18	203,44	165,81	37,64
19	206,73	190,10	16,63
20	211,10	167,67	43,42

Tabella A.3: Batteria 100 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

Numero di test effettuato	Energia immagazzinata in fase di carica (Wh)	Energia fornita in fase di scarica (Wh)	Energia dissipata In fase di scarica (Wh)
1	306,25	177,81	128,44
2	372,28	296,04	76,24
3	373,03	298,60	74,43
4	376,73	302,37	74,37
5	377,56	302,99	74,57
6	378,44	262,45	115,99
7	370,20	235,81	134,39
8	371,55	297,19	74,37
9	370,40	297,65	72,74
10	365,53	283,88	81,66
11	374,05	347,53	26,52
12	338,59	224,69	113,90
13	375,60	347,67	27,93
14	371,18	254,89	116,29
15	373,21	344,61	28,60
16	374,06	344,27	29,80
17	376,50	347,36	29,14
18	363,58	269,20	94,38
19	363,62	353,51	10,11
20	366,16	358,16	7,99
21	369,56	350,01	19,55
22	364,90	352,04	12,86
23	364,39	331,01	33,39
24	365,99	355,74	10,25
25	370,12	333,83	36,30

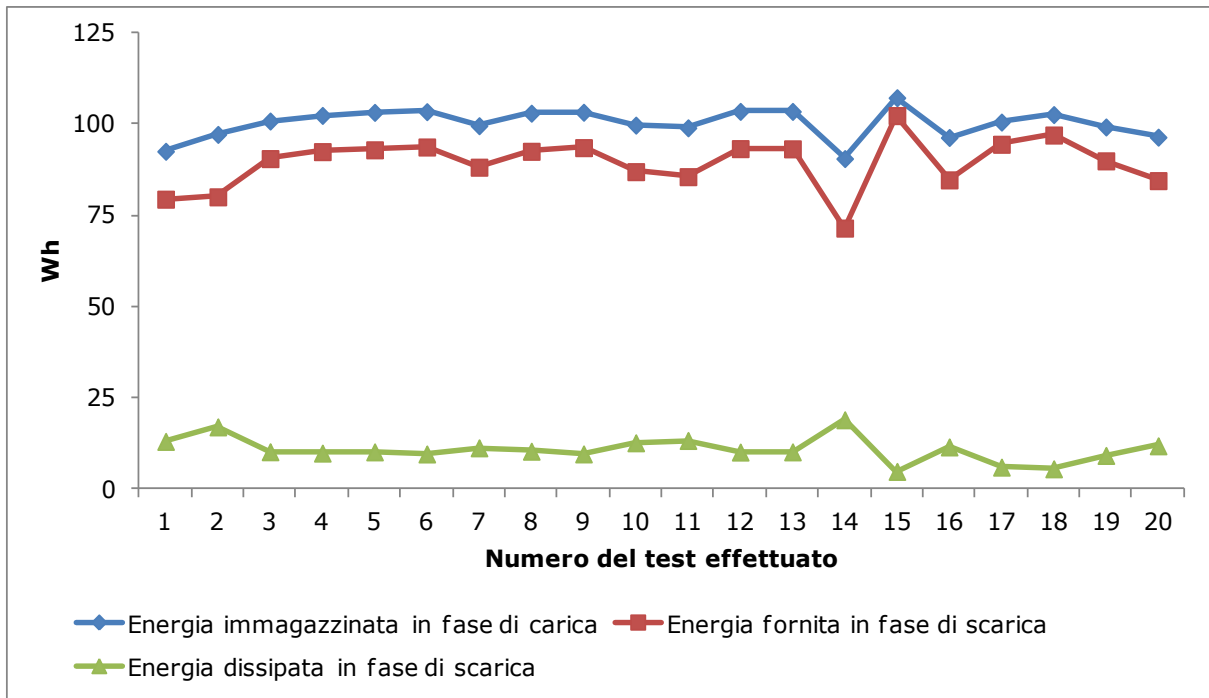


Figura A.1: Batteria 30 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

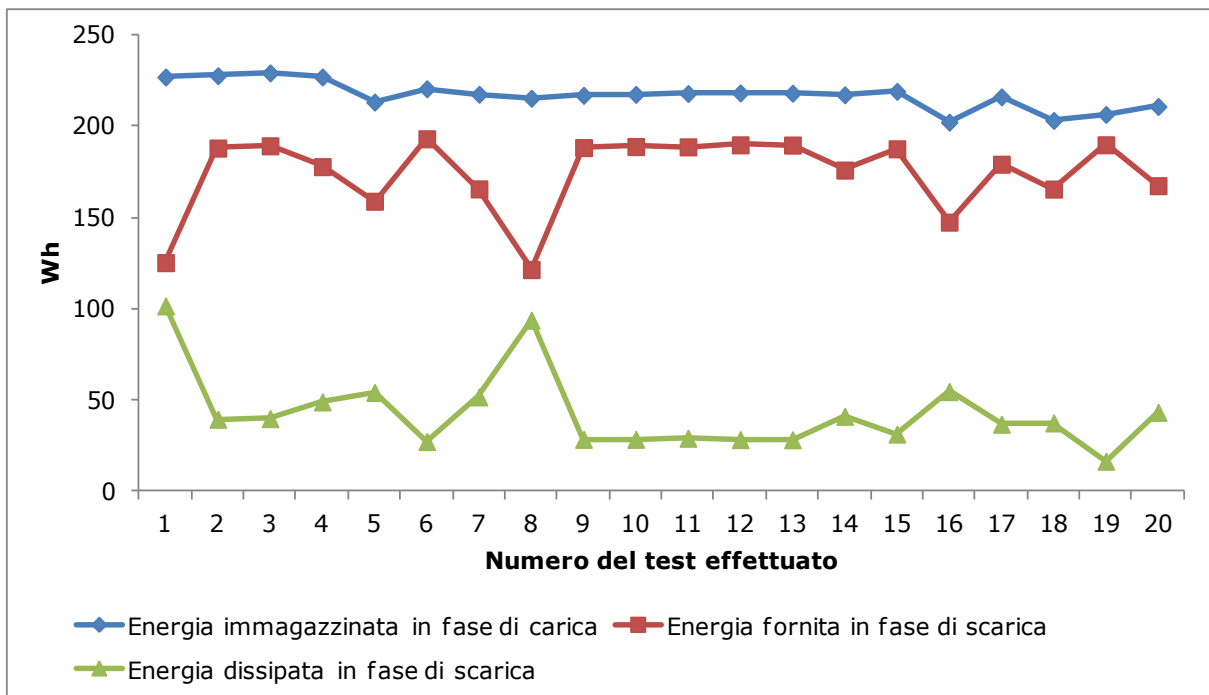


Figura A.2: Batteria 60 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

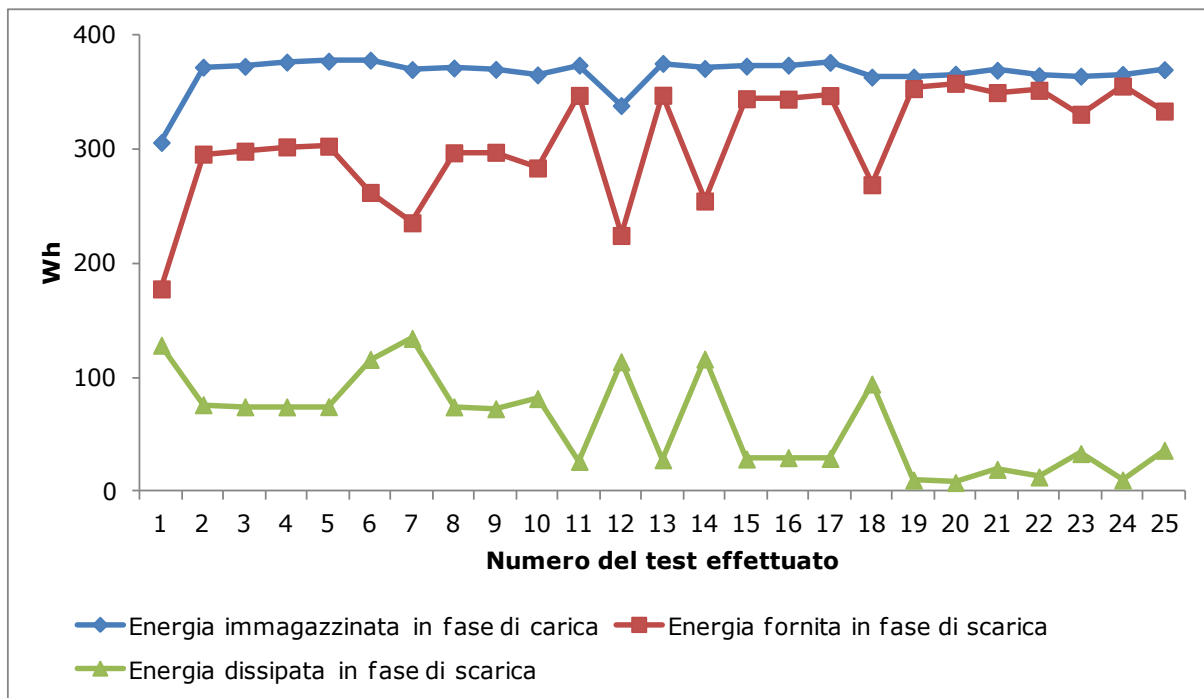


Figura A.3: Batteria 100 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante un ciclo di carica-scarica

Tabella A.4: Batteria 30 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia immagazzinata in fase di carica (kWh)	Energia fornita in fase di scarica (kWh)	Energia dissipata in fase di scarica (kWh)
1	185,29	159,03	26,27
2	194,54	160,32	34,22
3	201,86	181,27	20,59
4	204,95	185,10	19,85
5	206,62	186,10	20,52
6	207,00	187,63	19,37
7	199,30	176,57	22,73
8	206,16	185,28	20,89
9	206,69	187,29	19,40
10	199,62	174,12	25,50
11	198,15	171,38	26,77
12	207,16	186,75	20,42
13	207,14	186,62	20,52
14	181,30	143,18	38,11
15	214,66	204,85	9,81
16	192,85	169,62	23,23
17	201,30	189,14	12,16
18	205,42	194,19	11,23
19	198,61	180,04	18,57
20	193,03	169,19	23,84

Tabella A.5: Batteria 60 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia immagazzinata in fase di carica (kWh)	Energia fornita in fase di scarica (kWh)	Energia dissipata in fase di scarica (kWh)
1	454,53	251,00	203,53
2	455,90	376,60	79,31
3	459,04	379,08	79,96
4	454,50	356,25	98,25
5	427,02	318,30	108,72
6	441,59	386,76	54,83
7	435,60	331,83	103,78
8	431,24	243,37	187,87
9	434,41	377,17	57,24
10	435,50	378,28	57,22
11	436,40	377,93	58,46
12	437,09	380,14	56,94
13	436,70	379,89	56,81
14	434,98	352,48	82,50
15	438,77	375,78	62,99
16	405,00	295,40	109,60
17	432,73	358,90	73,83
18	406,89	331,62	75,27
19	413,46	380,20	33,27
20	422,19	335,35	86,85

Tabella A.6: Batteria 100 Ah: energia immagazzinata, fornita e dissipata durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia immagazzinata in fase di carica (kWh)	Energia fornita in fase di scarica (kWh)	Energia consumata in fase di scarica (kWh)
1	612,50	355,61	256,89
2	744,57	592,08	152,48
3	746,06	597,19	148,87
4	753,47	604,74	148,73
5	755,12	605,98	149,14
6	756,88	524,89	231,99
7	740,40	471,62	268,78
8	743,11	594,38	148,73
9	740,79	595,31	145,49
10	731,07	567,75	163,31
11	748,09	695,06	53,03
12	677,18	449,38	227,80
13	751,19	695,34	55,85
14	742,36	509,78	232,58
15	746,43	689,22	57,21
16	748,13	688,53	59,60
17	753,00	694,72	58,27

18	727,17	538,40	188,77
19	727,23	707,01	20,22
20	732,31	716,33	15,99
21	739,12	700,02	39,10
22	729,80	704,07	25,72
23	728,78	662,01	66,77
24	731,97	711,47	20,50
25	740,24	667,65	72,59

Tabella A.7: Batteria 30 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia dissipata dalla batteria (kWh)	Consumo del BMS (kWh)	Consumo totale della batteria (kWh)
1	26,27	7,2	33,47
2	34,22	7,2	41,42
3	20,59	7,2	27,79
4	19,85	7,2	27,05
5	20,52	7,2	27,72
6	19,37	7,2	26,57
7	22,73	7,2	29,93
8	20,89	7,2	28,09
9	19,40	7,2	26,60
10	25,50	7,2	32,70
11	26,77	7,2	33,97
12	20,42	7,2	27,62
13	20,52	7,2	27,72
14	38,11	7,2	45,31
15	9,81	7,2	17,01
16	23,23	7,2	30,43
17	12,16	7,2	19,36
18	11,23	7,2	18,43
19	18,57	7,2	25,77
20	23,84	7,2	31,04

Tabella A.8: Batteria 60 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia dissipata dalla batteria (kWh)	Consumo del BMS (kWh)	Consumo totale della batteria (kWh)
1	203,53	7,2	210,73
2	79,31	7,2	86,51
3	79,96	7,2	87,16
4	98,25	7,2	105,45
5	108,72	7,2	115,92
6	54,83	7,2	62,03
7	103,78	7,2	110,98

8	187,87	7,2	195,07
9	57,24	7,2	64,44
10	57,22	7,2	64,42
11	58,46	7,2	65,66
12	56,94	7,2	64,14
13	56,81	7,2	64,01
14	82,50	7,2	89,70
15	62,99	7,2	70,19
16	109,60	7,2	116,80
17	73,83	7,2	81,03
18	75,27	7,2	82,47
19	33,27	7,2	40,47
20	86,85	7,2	94,05

Tabella A.9: Batteria 100 Ah: energia totale consumata dalla batteria durante 2000 cicli di carica e 2000 cicli di scarica

Numero di test effettuato	Energia dissipata dalla batteria (kWh)	Consumo del BMS (kWh)	Consumo totale della batteria (kWh)
1	256,89	7,2	264,09
2	152,48	7,2	159,68
3	148,87	7,2	156,07
4	148,73	7,2	155,93
5	149,14	7,2	156,34
6	231,99	7,2	239,19
7	268,78	7,2	275,98
8	148,73	7,2	155,93
9	145,49	7,2	152,69
10	163,31	7,2	170,51
11	53,03	7,2	60,23
12	227,80	7,2	235,00
13	55,85	7,2	63,05
14	232,58	7,2	239,78
15	57,21	7,2	64,41
16	59,60	7,2	66,80
17	58,27	7,2	65,47
18	188,77	7,2	195,97
19	20,22	7,2	27,42
20	15,99	7,2	23,19
21	39,10	7,2	46,30
22	25,72	7,2	32,92
23	66,77	7,2	73,97
24	20,50	7,2	27,70
25	72,59	7,2	79,79

Tabella A.10: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,062	2,088	0,327	8,477	0,668	0,164	0,021	0,853	6,731	2,253	0,347	9,330
6,013	2,564	0,324	8,901	0,663	0,202	0,020	0,885	6,676	2,766	0,344	9,787
5,318	1,521	0,286	7,126	0,586	0,120	0,018	0,724	5,905	1,641	0,305	7,850
5,208	1,450	0,281	6,939	0,574	0,114	0,018	0,706	5,783	1,564	0,298	7,645
5,180	1,478	0,279	6,937	0,571	0,116	0,018	0,705	5,751	1,594	0,297	7,642
5,138	1,405	0,277	6,820	0,567	0,111	0,017	0,695	5,704	1,516	0,294	7,515
5,460	1,682	0,294	7,436	0,602	0,132	0,019	0,753	6,062	1,815	0,313	8,189
5,203	1,504	0,280	6,988	0,574	0,118	0,018	0,710	5,777	1,623	0,298	7,698
5,147	1,409	0,277	6,834	0,568	0,111	0,017	0,696	5,715	1,520	0,295	7,530
5,537	1,864	0,298	7,699	0,610	0,147	0,019	0,776	6,147	2,010	0,317	8,475
5,625	1,967	0,303	7,895	0,620	0,155	0,019	0,794	6,245	2,122	0,322	8,689
5,162	1,468	0,278	6,908	0,569	0,116	0,018	0,702	5,732	1,583	0,296	7,610
5,166	1,474	0,278	6,918	0,570	0,116	0,018	0,703	5,735	1,590	0,296	7,621
6,733	3,141	0,363	10,236	0,742	0,247	0,023	1,013	7,475	3,388	0,386	11,249
4,706	0,824	0,254	5,784	0,519	0,065	0,016	0,600	5,225	0,889	0,269	6,384
5,684	1,780	0,306	7,770	0,627	0,140	0,019	0,786	6,310	1,921	0,325	8,556
5,097	1,016	0,275	6,387	0,562	0,080	0,017	0,659	5,659	1,095	0,292	7,046
4,965	0,942	0,267	6,174	0,547	0,074	0,017	0,638	5,512	1,016	0,284	6,812
5,355	1,420	0,288	7,063	0,590	0,112	0,018	0,720	5,945	1,532	0,307	7,784
5,698	1,821	0,307	7,825	0,628	0,143	0,019	0,791	6,326	1,964	0,326	8,616

Tabella A.11: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,27E-01	1,50E-01	6,73E-03	7,84E-01	1,51E-05	1,76E-08	3,52E-10	1,51E-05	5,03E-04	7,01E-05	4,28E-06	5,77E-04
6,22E-01	1,85E-01	6,67E-03	8,13E-01	1,50E-05	2,17E-08	3,49E-10	1,50E-05	4,99E-04	8,61E-05	4,24E-06	5,89E-04
5,50E-01	1,10E-01	5,90E-03	6,65E-01	1,32E-05	1,29E-08	3,09E-10	1,33E-05	4,41E-04	5,11E-05	3,75E-06	4,96E-04
5,39E-01	1,04E-01	5,78E-03	6,49E-01	1,30E-05	1,23E-08	3,03E-10	1,30E-05	4,32E-04	4,87E-05	3,67E-06	4,85E-04
5,36E-01	1,06E-01	5,75E-03	6,48E-01	1,29E-05	1,25E-08	3,01E-10	1,29E-05	4,30E-04	4,96E-05	3,65E-06	4,83E-04
5,31E-01	1,01E-01	5,70E-03	6,38E-01	1,28E-05	1,19E-08	2,98E-10	1,28E-05	4,26E-04	4,72E-05	3,62E-06	4,77E-04
5,65E-01	1,21E-01	6,06E-03	6,92E-01	1,36E-05	1,42E-08	3,17E-10	1,36E-05	4,53E-04	5,65E-05	3,85E-06	5,13E-04
5,38E-01	1,08E-01	5,78E-03	6,52E-01	1,30E-05	1,27E-08	3,02E-10	1,30E-05	4,32E-04	5,05E-05	3,67E-06	4,86E-04
5,32E-01	1,01E-01	5,71E-03	6,40E-01	1,28E-05	1,19E-08	2,99E-10	1,28E-05	4,27E-04	4,73E-05	3,63E-06	4,78E-04
5,73E-01	1,34E-01	6,15E-03	7,13E-01	1,38E-05	1,57E-08	3,22E-10	1,38E-05	4,59E-04	6,26E-05	3,91E-06	5,26E-04
5,82E-01	1,42E-01	6,24E-03	7,30E-01	1,40E-05	1,66E-08	3,27E-10	1,40E-05	4,67E-04	6,60E-05	3,97E-06	5,37E-04
5,34E-01	1,06E-01	5,73E-03	6,45E-01	1,29E-05	1,24E-08	3,00E-10	1,29E-05	4,28E-04	4,93E-05	3,64E-06	4,81E-04
5,34E-01	1,06E-01	5,73E-03	6,46E-01	1,29E-05	1,25E-08	3,00E-10	1,29E-05	4,29E-04	4,95E-05	3,64E-06	4,82E-04

6,96E-01	2,26E-01	7,47E-03	9,30E-01	1,68E-05	2,65E-08	3,91E-10	1,68E-05	5,59E-04	1,05E-04	4,75E-06	6,69E-04
4,87E-01	5,93E-02	5,22E-03	5,51E-01	1,17E-05	6,96E-09	2,73E-10	1,17E-05	3,91E-04	2,77E-05	3,32E-06	4,22E-04
5,88E-01	1,28E-01	6,31E-03	7,22E-01	1,41E-05	1,50E-08	3,30E-10	1,42E-05	4,72E-04	5,98E-05	4,01E-06	5,35E-04
5,27E-01	7,31E-02	5,66E-03	6,06E-01	1,27E-05	8,58E-09	2,96E-10	1,27E-05	4,23E-04	3,41E-05	3,60E-06	4,61E-04
5,13E-01	6,78E-02	5,51E-03	5,87E-01	1,24E-05	7,96E-09	2,88E-10	1,24E-05	4,12E-04	3,16E-05	3,50E-06	4,47E-04
5,54E-01	1,02E-01	5,94E-03	6,62E-01	1,33E-05	1,20E-08	3,11E-10	1,33E-05	4,44E-04	4,77E-05	3,78E-06	4,96E-04
5,89E-01	1,31E-01	6,32E-03	7,27E-01	1,42E-05	1,54E-08	3,31E-10	1,42E-05	4,73E-04	6,11E-05	4,02E-06	5,38E-04

Tabella A.12: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ^{3-_{eq}})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
4,65E-03	6,20E-04	6,29E-05	1,19E-03	5,72E-03	1,55E-04	1,26E-05	5,89E-03
4,62E-03	7,61E-04	6,24E-05	5,44E-03	5,68E-03	1,91E-04	1,25E-05	5,88E-03
4,08E-03	4,51E-04	5,52E-05	4,59E-03	5,02E-03	1,13E-04	1,10E-05	5,14E-03
4,00E-03	4,30E-04	5,40E-05	4,48E-03	4,92E-03	1,08E-04	1,08E-05	5,03E-03
3,98E-03	4,39E-04	5,37E-05	4,47E-03	4,89E-03	1,10E-04	1,07E-05	5,01E-03
3,94E-03	4,17E-04	5,33E-05	4,41E-03	4,85E-03	1,04E-04	1,07E-05	4,96E-03
4,19E-03	4,99E-04	5,66E-05	4,75E-03	5,15E-03	1,25E-04	1,13E-05	5,29E-03
3,99E-03	4,46E-04	5,40E-05	4,49E-03	4,91E-03	1,12E-04	1,08E-05	5,03E-03
3,95E-03	4,18E-04	5,34E-05	4,42E-03	4,86E-03	1,05E-04	1,07E-05	4,97E-03
4,25E-03	5,53E-04	5,74E-05	4,86E-03	5,23E-03	1,39E-04	1,15E-05	5,38E-03
4,32E-03	5,84E-04	5,83E-05	4,96E-03	5,31E-03	1,46E-04	1,17E-05	5,47E-03
3,96E-03	4,36E-04	5,35E-05	4,45E-03	4,87E-03	1,09E-04	1,07E-05	4,99E-03
3,97E-03	4,37E-04	5,36E-05	4,46E-03	4,88E-03	1,10E-04	1,07E-05	5,00E-03
5,17E-03	9,32E-04	6,98E-05	6,17E-03	6,36E-03	2,33E-04	1,40E-05	6,60E-03
3,61E-03	2,45E-04	4,88E-05	3,91E-03	4,44E-03	6,13E-05	9,76E-06	4,51E-03
4,36E-03	5,28E-04	5,90E-05	4,95E-03	5,37E-03	1,32E-04	1,18E-05	5,51E-03
3,91E-03	3,01E-04	5,29E-05	4,27E-03	4,81E-03	7,55E-05	1,06E-05	4,90E-03
3,81E-03	2,79E-04	5,15E-05	4,14E-03	4,69E-03	7,00E-05	1,03E-05	4,77E-03
4,11E-03	4,22E-04	5,55E-05	4,59E-03	5,05E-03	1,06E-04	1,11E-05	5,17E-03
4,37E-03	5,40E-04	5,91E-05	4,97E-03	5,38E-03	1,35E-04	1,18E-05	5,53E-03

Tabella A.13: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,062	2,371	0,327	8,759	0,668	0,215	0,021	0,904	6,731	2,586	0,347	9,664
6,013	2,911	0,324	9,248	0,663	0,264	0,020	0,948	6,676	3,175	0,344	10,196
5,318	1,727	0,286	7,332	0,586	0,157	0,018	0,761	5,905	1,884	0,305	8,093
5,208	1,646	0,281	7,135	0,574	0,150	0,018	0,742	5,783	1,796	0,298	7,876
5,180	1,678	0,279	7,137	0,571	0,152	0,018	0,741	5,751	1,830	0,297	7,878
5,138	1,595	0,277	7,010	0,567	0,145	0,017	0,729	5,704	1,740	0,294	7,739

5,460	1,910	0,294	7,664	0,602	0,174	0,019	0,794	6,062	2,083	0,313	8,458
5,203	1,708	0,280	7,191	0,574	0,155	0,018	0,747	5,777	1,863	0,298	7,938
5,147	1,600	0,277	7,025	0,568	0,145	0,017	0,730	5,715	1,745	0,295	7,755
5,537	2,116	0,298	7,951	0,610	0,192	0,019	0,822	6,147	2,308	0,317	8,772
5,625	2,233	0,303	8,161	0,620	0,203	0,019	0,842	6,245	2,436	0,322	9,003
5,162	1,666	0,278	7,106	0,569	0,151	0,018	0,738	5,732	1,817	0,296	7,845
5,166	1,673	0,278	7,117	0,570	0,152	0,018	0,739	5,735	1,825	0,296	7,856
6,733	3,565	0,363	10,661	0,742	0,324	0,023	1,089	7,475	3,889	0,386	11,750
4,706	0,935	0,254	5,895	0,519	0,085	0,016	0,620	5,225	1,020	0,269	6,515
5,684	2,021	0,306	8,011	0,627	0,184	0,019	0,830	6,310	2,205	0,325	8,841
5,097	1,153	0,275	6,524	0,562	0,105	0,017	0,684	5,659	1,258	0,292	7,208
4,965	1,069	0,267	6,301	0,547	0,097	0,017	0,661	5,512	1,166	0,284	6,962
5,355	1,612	0,288	7,255	0,590	0,147	0,018	0,755	5,945	1,759	0,307	8,011
5,698	2,067	0,307	8,072	0,628	0,188	0,019	0,835	6,326	2,254	0,326	8,907

Tabella A.14: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,27E-01	1,18E-01	6,73E-03	7,52E-01	1,51E-05	5,99E-09	3,52E-10	1,51E-05	5,03E-04	3,64E-05	4,28E-06	5,44E-04
6,22E-01	1,45E-01	6,67E-03	7,73E-01	1,50E-05	7,35E-09	3,49E-10	1,50E-05	4,99E-04	4,47E-05	4,24E-06	5,48E-04
5,50E-01	8,58E-02	5,90E-03	6,42E-01	1,32E-05	4,36E-09	3,09E-10	1,32E-05	4,41E-04	2,65E-05	3,75E-06	4,72E-04
5,39E-01	8,18E-02	5,78E-03	6,26E-01	1,30E-05	4,16E-09	3,03E-10	1,30E-05	4,32E-04	2,53E-05	3,67E-06	4,61E-04
5,36E-01	8,34E-02	5,75E-03	6,25E-01	1,29E-05	4,24E-09	3,01E-10	1,29E-05	4,30E-04	2,58E-05	3,65E-06	4,59E-04
5,31E-01	7,93E-02	5,70E-03	6,16E-01	1,28E-05	4,03E-09	2,98E-10	1,28E-05	4,26E-04	2,45E-05	3,62E-06	4,54E-04
5,65E-01	9,49E-02	6,06E-03	6,66E-01	1,36E-05	4,82E-09	3,17E-10	1,36E-05	4,53E-04	2,93E-05	3,85E-06	4,86E-04
5,38E-01	8,49E-02	5,78E-03	6,29E-01	1,30E-05	4,31E-09	3,02E-10	1,30E-05	4,32E-04	2,62E-05	3,67E-06	4,62E-04
5,32E-01	7,95E-02	5,71E-03	6,18E-01	1,28E-05	4,04E-09	2,99E-10	1,28E-05	4,27E-04	2,46E-05	3,63E-06	4,55E-04
5,73E-01	1,05E-01	6,15E-03	6,84E-01	1,38E-05	5,34E-09	3,22E-10	1,38E-05	4,59E-04	3,25E-05	3,91E-06	4,96E-04
5,82E-01	1,11E-01	6,24E-03	6,99E-01	1,40E-05	5,64E-09	3,27E-10	1,40E-05	4,67E-04	3,43E-05	3,97E-06	5,05E-04
5,34E-01	8,28E-02	5,73E-03	6,22E-01	1,29E-05	4,21E-09	3,00E-10	1,29E-05	4,28E-04	2,56E-05	3,64E-06	4,58E-04
5,34E-01	8,31E-02	5,73E-03	6,23E-01	1,29E-05	4,23E-09	3,00E-10	1,29E-05	4,29E-04	2,57E-05	3,64E-06	4,58E-04
6,96E-01	1,77E-01	7,47E-03	8,81E-01	1,68E-05	9,01E-09	3,91E-10	1,68E-05	5,59E-04	5,48E-05	4,75E-06	6,18E-04
4,87E-01	4,65E-02	5,22E-03	5,38E-01	1,17E-05	2,36E-09	2,73E-10	1,17E-05	3,91E-04	1,44E-05	3,32E-06	4,08E-04
5,88E-01	1,00E-01	6,31E-03	6,95E-01	1,41E-05	5,11E-09	3,30E-10	1,42E-05	4,72E-04	3,10E-05	4,01E-06	5,07E-04
5,27E-01	5,73E-02	5,66E-03	5,90E-01	1,27E-05	2,91E-09	2,96E-10	1,27E-05	4,23E-04	1,77E-05	3,60E-06	4,44E-04
5,13E-01	5,31E-02	5,51E-03	5,72E-01	1,24E-05	2,70E-09	2,88E-10	1,24E-05	4,12E-04	1,64E-05	3,50E-06	4,32E-04
5,54E-01	8,01E-02	5,94E-03	6,40E-01	1,33E-05	4,07E-09	3,11E-10	1,33E-05	4,44E-04	2,48E-05	3,78E-06	4,73E-04
5,89E-01	1,03E-01	6,32E-03	6,98E-01	1,42E-05	5,22E-09	3,31E-10	1,42E-05	4,73E-04	3,17E-05	4,02E-06	5,09E-04

Tabella A.15: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo							
Produzione	AP (kg SO2eq)			Produzione	EP (kg PO43-eq)		
	Uso	Fine vita	Totale		Uso	Fine vita	Totale
4,65E-03	4,67E-04	6,29E-05	5,18E-03	5,72E-03	3,59E-04	1,26E-05	6,09E-03
4,62E-03	5,73E-04	6,24E-05	5,25E-03	5,68E-03	4,41E-04	1,25E-05	6,13E-03
4,08E-03	3,40E-04	5,52E-05	4,48E-03	5,02E-03	2,62E-04	1,10E-05	5,29E-03
4,00E-03	3,24E-04	5,40E-05	4,38E-03	4,92E-03	2,49E-04	1,08E-05	5,18E-03
3,98E-03	3,30E-04	5,37E-05	4,36E-03	4,89E-03	2,54E-04	1,07E-05	5,15E-03
3,94E-03	3,14E-04	5,33E-05	4,31E-03	4,85E-03	2,42E-04	1,07E-05	5,10E-03
4,19E-03	3,76E-04	5,66E-05	4,62E-03	5,15E-03	2,89E-04	1,13E-05	5,45E-03
3,99E-03	3,36E-04	5,40E-05	4,38E-03	4,91E-03	2,59E-04	1,08E-05	5,18E-03
3,95E-03	3,15E-04	5,34E-05	4,32E-03	4,86E-03	2,42E-04	1,07E-05	5,11E-03
4,25E-03	4,17E-04	5,74E-05	4,72E-03	5,23E-03	3,21E-04	1,15E-05	5,56E-03
4,32E-03	4,40E-04	5,83E-05	4,82E-03	5,31E-03	3,38E-04	1,17E-05	5,66E-03
3,96E-03	3,28E-04	5,35E-05	4,34E-03	4,87E-03	2,52E-04	1,07E-05	5,14E-03
3,97E-03	3,30E-04	5,36E-05	4,35E-03	4,88E-03	2,54E-04	1,07E-05	5,14E-03
5,17E-03	7,02E-04	6,98E-05	5,94E-03	6,36E-03	5,40E-04	1,40E-05	6,91E-03
3,61E-03	1,84E-04	4,88E-05	3,85E-03	4,44E-03	1,42E-04	9,76E-06	4,59E-03
4,36E-03	3,98E-04	5,90E-05	4,82E-03	5,37E-03	3,06E-04	1,18E-05	5,68E-03
3,91E-03	2,27E-04	5,29E-05	4,19E-03	4,81E-03	1,75E-04	1,06E-05	5,00E-03
3,81E-03	2,11E-04	5,15E-05	4,07E-03	4,69E-03	1,62E-04	1,03E-05	4,86E-03
4,11E-03	3,18E-04	5,55E-05	4,48E-03	5,05E-03	2,44E-04	1,11E-05	5,31E-03
4,37E-03	4,07E-04	5,91E-05	4,84E-03	5,38E-03	3,13E-04	1,18E-05	5,70E-03

Tabella A.16: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
Produzione	Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)			Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,062	0,229	0,327	6,618	0,668	0,847	0,021	1,536	6,731	1,076	0,347	8,154
6,013	0,281	0,324	6,619	0,663	1,040	0,020	1,723	6,676	1,321	0,344	8,342
5,318	0,167	0,286	5,772	0,586	0,617	0,018	1,221	5,905	0,784	0,305	6,993
5,208	0,159	0,281	5,648	0,574	0,588	0,018	1,180	5,783	0,747	0,298	6,828
5,180	0,162	0,279	5,621	0,571	0,599	0,018	1,188	5,751	0,762	0,297	6,810
5,138	0,154	0,277	5,569	0,567	0,570	0,017	1,154	5,704	0,724	0,294	6,723
5,460	0,185	0,294	5,939	0,602	0,682	0,019	1,303	6,062	0,867	0,313	7,242
5,203	0,165	0,280	5,649	0,574	0,610	0,018	1,202	5,777	0,775	0,298	6,850
5,147	0,155	0,277	5,579	0,568	0,572	0,017	1,157	5,715	0,726	0,295	6,736
5,537	0,204	0,298	6,039	0,610	0,756	0,019	1,385	6,147	0,960	0,317	7,425
5,625	0,216	0,303	6,144	0,620	0,798	0,019	1,437	6,245	1,014	0,322	7,581
5,162	0,161	0,278	5,601	0,569	0,595	0,018	1,182	5,732	0,756	0,296	6,784
5,166	0,162	0,278	5,606	0,570	0,598	0,018	1,185	5,735	0,760	0,296	6,791
6,733	0,344	0,363	7,440	0,742	1,274	0,023	2,039	7,475	1,618	0,386	9,479
4,706	0,090	0,254	5,050	0,519	0,334	0,016	0,869	5,225	0,425	0,269	5,919

5,684	0,195	0,306	6,185	0,627	0,722	0,019	1,368	6,310	0,917	0,325	7,553
5,097	0,111	0,275	5,483	0,562	0,412	0,017	0,991	5,659	0,523	0,292	6,474
4,965	0,103	0,267	5,335	0,547	0,382	0,017	0,946	5,512	0,485	0,284	6,282
5,355	0,156	0,288	5,799	0,590	0,576	0,018	1,185	5,945	0,732	0,307	6,984
5,698	0,200	0,307	6,205	0,628	0,738	0,019	1,386	6,326	0,938	0,326	7,591

Tabella A.17: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,27E-01	1,43E-02	6,73E-03	6,48E-01	1,51E-05	4,53E-09	3,52E-10	1,51E-05	5,03E-04	1,96E-05	4,28E-06	5,27E-04
6,22E-01	1,75E-02	6,67E-03	6,46E-01	1,50E-05	5,56E-09	3,49E-10	1,50E-05	4,99E-04	2,41E-05	4,24E-06	5,27E-04
5,50E-01	1,04E-02	5,90E-03	5,66E-01	1,32E-05	3,30E-09	3,09E-10	1,32E-05	4,41E-04	1,43E-05	3,75E-06	4,59E-04
5,39E-01	9,91E-03	5,78E-03	5,54E-01	1,30E-05	3,14E-09	3,03E-10	1,30E-05	4,32E-04	1,36E-05	3,67E-06	4,49E-04
5,36E-01	1,01E-02	5,75E-03	5,52E-01	1,29E-05	3,20E-09	3,01E-10	1,29E-05	4,30E-04	1,39E-05	3,65E-06	4,47E-04
5,31E-01	9,60E-03	5,70E-03	5,47E-01	1,28E-05	3,05E-09	2,98E-10	1,28E-05	4,26E-04	1,32E-05	3,62E-06	4,43E-04
5,65E-01	1,15E-02	6,06E-03	5,82E-01	1,36E-05	3,65E-09	3,17E-10	1,36E-05	4,53E-04	1,58E-05	3,85E-06	4,73E-04
5,38E-01	1,03E-02	5,78E-03	5,54E-01	1,30E-05	3,26E-09	3,02E-10	1,30E-05	4,32E-04	1,41E-05	3,67E-06	4,50E-04
5,32E-01	9,63E-03	5,71E-03	5,48E-01	1,28E-05	3,05E-09	2,99E-10	1,28E-05	4,27E-04	1,32E-05	3,63E-06	4,44E-04
5,73E-01	1,27E-02	6,15E-03	5,92E-01	1,38E-05	4,04E-09	3,22E-10	1,38E-05	4,59E-04	1,75E-05	3,91E-06	4,81E-04
5,82E-01	1,34E-02	6,24E-03	6,01E-01	1,40E-05	4,26E-09	3,27E-10	1,40E-05	4,67E-04	1,85E-05	3,97E-06	4,89E-04
5,34E-01	1,00E-02	5,73E-03	5,50E-01	1,29E-05	3,18E-09	3,00E-10	1,29E-05	4,28E-04	1,38E-05	3,64E-06	4,46E-04
5,34E-01	1,01E-02	5,73E-03	5,50E-01	1,29E-05	3,19E-09	3,00E-10	1,29E-05	4,29E-04	1,39E-05	3,64E-06	4,46E-04
6,96E-01	2,15E-02	7,47E-03	7,25E-01	1,68E-05	6,81E-09	3,91E-10	1,68E-05	5,59E-04	2,95E-05	4,75E-06	5,93E-04
4,87E-01	5,63E-03	5,22E-03	4,98E-01	1,17E-05	1,79E-09	2,73E-10	1,17E-05	3,91E-04	7,75E-06	3,32E-06	4,02E-04
5,88E-01	1,22E-02	6,31E-03	6,06E-01	1,41E-05	3,86E-09	3,30E-10	1,42E-05	4,72E-04	1,67E-05	4,01E-06	4,92E-04
5,27E-01	6,94E-03	5,66E-03	5,40E-01	1,27E-05	2,20E-09	2,96E-10	1,27E-05	4,23E-04	9,54E-06	3,60E-06	4,36E-04
5,13E-01	6,44E-03	5,51E-03	5,25E-01	1,24E-05	2,04E-09	2,88E-10	1,24E-05	4,12E-04	8,85E-06	3,50E-06	4,24E-04
5,54E-01	9,71E-03	5,94E-03	5,69E-01	1,33E-05	3,08E-09	3,11E-10	1,33E-05	4,44E-04	1,34E-05	3,78E-06	4,61E-04
5,89E-01	1,24E-02	6,32E-03	6,08E-01	1,42E-05	3,95E-09	3,31E-10	1,42E-05	4,73E-04	1,71E-05	4,02E-06	4,94E-04

Tabella A.18: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
4,65E-03	6,01E-05	6,29E-05	4,78E-03	5,72E-03	4,41E-05	1,26E-05	5,78E-03
4,62E-03	7,38E-05	6,24E-05	4,75E-03	5,68E-03	5,42E-05	1,25E-05	5,74E-03
4,08E-03	4,38E-05	5,52E-05	4,18E-03	5,02E-03	3,22E-05	1,10E-05	5,06E-03
4,00E-03	4,17E-05	5,40E-05	4,09E-03	4,92E-03	3,07E-05	1,08E-05	4,96E-03
3,98E-03	4,26E-05	5,37E-05	4,07E-03	4,89E-03	3,12E-05	1,07E-05	4,93E-03
3,94E-03	4,05E-05	5,33E-05	4,04E-03	4,85E-03	2,97E-05	1,07E-05	4,89E-03
4,19E-03	4,84E-05	5,66E-05	4,30E-03	5,15E-03	3,56E-05	1,13E-05	5,20E-03

3,99E-03	4,33E-05	5,40E-05	4,09E-03	4,91E-03	3,18E-05	1,08E-05	4,95E-03
3,95E-03	4,06E-05	5,34E-05	4,05E-03	4,86E-03	2,98E-05	1,07E-05	4,90E-03
4,25E-03	5,37E-05	5,74E-05	4,36E-03	5,23E-03	3,94E-05	1,15E-05	5,28E-03
4,32E-03	5,66E-05	5,83E-05	4,43E-03	5,31E-03	4,16E-05	1,17E-05	5,36E-03
3,96E-03	4,23E-05	5,35E-05	4,06E-03	4,87E-03	3,10E-05	1,07E-05	4,91E-03
3,97E-03	4,24E-05	5,36E-05	4,06E-03	4,88E-03	3,12E-05	1,07E-05	4,92E-03
5,17E-03	9,04E-05	6,98E-05	5,33E-03	6,36E-03	6,64E-05	1,40E-05	6,44E-03
3,61E-03	2,37E-05	4,88E-05	3,68E-03	4,44E-03	1,74E-05	9,76E-06	4,47E-03
4,36E-03	5,13E-05	5,90E-05	4,47E-03	5,37E-03	3,76E-05	1,18E-05	5,41E-03
3,91E-03	2,92E-05	5,29E-05	3,99E-03	4,81E-03	2,15E-05	1,06E-05	4,84E-03
3,81E-03	2,71E-05	5,15E-05	3,89E-03	4,69E-03	1,99E-05	1,03E-05	4,72E-03
4,11E-03	4,09E-05	5,55E-05	4,21E-03	5,05E-03	3,00E-05	1,11E-05	5,10E-03
4,37E-03	5,24E-05	5,91E-05	4,49E-03	5,38E-03	3,85E-05	1,18E-05	5,43E-03

Tabella A.19: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,062	0,036	0,327	6,424	0,668	0,817	0,021	1,506	6,731	0,852	0,347	7,930
6,013	0,044	0,324	6,381	0,663	1,003	0,020	1,686	6,676	1,047	0,344	8,067
5,318	0,026	0,286	5,631	0,586	0,595	0,018	1,199	5,905	0,621	0,305	6,830
5,208	0,025	0,281	5,514	0,574	0,567	0,018	1,159	5,783	0,592	0,298	6,673
5,180	0,025	0,279	5,485	0,571	0,578	0,018	1,167	5,751	0,603	0,297	6,651
5,138	0,024	0,277	5,439	0,567	0,550	0,017	1,134	5,704	0,574	0,294	6,572
5,460	0,029	0,294	5,783	0,602	0,658	0,019	1,278	6,062	0,687	0,313	7,061
5,203	0,026	0,280	5,509	0,574	0,588	0,018	1,180	5,777	0,614	0,298	6,689
5,147	0,024	0,277	5,449	0,568	0,551	0,017	1,136	5,715	0,575	0,295	6,585
5,537	0,032	0,298	5,867	0,610	0,729	0,019	1,358	6,147	0,761	0,317	7,225
5,625	0,034	0,303	5,962	0,620	0,769	0,019	1,409	6,245	0,803	0,322	7,370
5,162	0,025	0,278	5,466	0,569	0,574	0,018	1,161	5,732	0,599	0,296	6,626
5,166	0,025	0,278	5,469	0,570	0,576	0,018	1,164	5,735	0,602	0,296	6,633
6,733	0,054	0,363	7,149	0,742	1,228	0,023	1,994	7,475	1,282	0,386	9,143
4,706	0,014	0,254	4,974	0,519	0,322	0,016	0,857	5,225	0,336	0,269	5,831
5,684	0,030	0,306	6,020	0,627	0,696	0,019	1,342	6,310	0,727	0,325	7,363
5,097	0,017	0,275	5,389	0,562	0,397	0,017	0,976	5,659	0,415	0,292	6,365
4,965	0,016	0,267	5,248	0,547	0,368	0,017	0,933	5,512	0,384	0,284	6,181
5,355	0,024	0,288	5,667	0,590	0,556	0,018	1,164	5,945	0,580	0,307	6,831
5,698	0,031	0,307	6,036	0,628	0,712	0,019	1,360	6,326	0,743	0,326	7,396

Tabella A.20: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale

6,27E-01	2,37E-03	6,73E-03	6,36E-01	1,51E-05	1,12E-10	3,52E-10	1,51E-05	5,03E-04	1,93E-06	4,28E-06	5,09E-04
6,22E-01	2,91E-03	6,67E-03	6,32E-01	1,50E-05	1,37E-10	3,49E-10	1,50E-05	4,99E-04	2,36E-06	4,24E-06	5,06E-04
5,50E-01	1,73E-03	5,90E-03	5,58E-01	1,32E-05	8,12E-11	3,09E-10	1,32E-05	4,41E-04	1,40E-06	3,75E-06	4,46E-04
5,39E-01	1,65E-03	5,78E-03	5,46E-01	1,30E-05	7,74E-11	3,03E-10	1,30E-05	4,32E-04	1,34E-06	3,67E-06	4,37E-04
5,36E-01	1,68E-03	5,75E-03	5,43E-01	1,29E-05	7,89E-11	3,01E-10	1,29E-05	4,30E-04	1,36E-06	3,65E-06	4,35E-04
5,31E-01	1,60E-03	5,70E-03	5,39E-01	1,28E-05	7,50E-11	2,98E-10	1,28E-05	4,26E-04	1,30E-06	3,62E-06	4,31E-04
5,65E-01	1,91E-03	6,06E-03	5,73E-01	1,36E-05	8,98E-11	3,17E-10	1,36E-05	4,53E-04	1,55E-06	3,85E-06	4,58E-04
5,38E-01	1,71E-03	5,78E-03	5,46E-01	1,30E-05	8,03E-11	3,02E-10	1,30E-05	4,32E-04	1,39E-06	3,67E-06	4,37E-04
5,32E-01	1,60E-03	5,71E-03	5,40E-01	1,28E-05	7,53E-11	2,99E-10	1,28E-05	4,27E-04	1,30E-06	3,63E-06	4,32E-04
5,73E-01	2,12E-03	6,15E-03	5,81E-01	1,38E-05	9,95E-11	3,22E-10	1,38E-05	4,59E-04	1,72E-06	3,91E-06	4,65E-04
5,82E-01	2,23E-03	6,24E-03	5,90E-01	1,40E-05	1,05E-10	3,27E-10	1,40E-05	4,67E-04	1,81E-06	3,97E-06	4,73E-04
5,34E-01	1,67E-03	5,73E-03	5,41E-01	1,29E-05	7,84E-11	3,00E-10	1,29E-05	4,28E-04	1,35E-06	3,64E-06	4,33E-04
5,34E-01	1,67E-03	5,73E-03	5,42E-01	1,29E-05	7,87E-11	3,00E-10	1,29E-05	4,29E-04	1,36E-06	3,64E-06	4,34E-04
6,96E-01	3,57E-03	7,47E-03	7,07E-01	1,68E-05	1,68E-10	3,91E-10	1,68E-05	5,59E-04	2,90E-06	4,75E-06	5,66E-04
4,87E-01	9,36E-04	5,22E-03	4,93E-01	1,17E-05	4,40E-11	2,73E-10	1,17E-05	3,91E-04	7,60E-07	3,32E-06	3,95E-04
5,88E-01	2,02E-03	6,31E-03	5,96E-01	1,41E-05	9,51E-11	3,30E-10	1,41E-05	4,72E-04	1,64E-06	4,01E-06	4,77E-04
5,27E-01	1,15E-03	5,66E-03	5,34E-01	1,27E-05	5,42E-11	2,96E-10	1,27E-05	4,23E-04	9,36E-07	3,60E-06	4,27E-04
5,13E-01	1,07E-03	5,51E-03	5,20E-01	1,24E-05	5,03E-11	2,88E-10	1,24E-05	4,12E-04	8,68E-07	3,50E-06	4,16E-04
5,54E-01	1,61E-03	5,94E-03	5,61E-01	1,33E-05	7,58E-11	3,11E-10	1,33E-05	4,44E-04	1,31E-06	3,78E-06	4,49E-04
5,89E-01	2,07E-03	6,32E-03	5,98E-01	1,42E-05	9,72E-11	3,31E-10	1,42E-05	4,73E-04	1,68E-06	4,02E-06	4,79E-04

Tabella A.21: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa							
Produzione	AP (kg SO _{2eq})			EP (kg PO ₄ ^{3-_{eq}})			
	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
4,65E-03	9,50E-06	6,29E-05	4,73E-03	5,72E-03	5,77E-06	1,26E-05	5,74E-03
4,62E-03	1,17E-05	6,24E-05	4,69E-03	5,68E-03	7,09E-06	1,25E-05	5,70E-03
4,08E-03	6,92E-06	5,52E-05	4,14E-03	5,02E-03	4,20E-06	1,10E-05	5,04E-03
4,00E-03	6,60E-06	5,40E-05	4,06E-03	4,92E-03	4,01E-06	1,08E-05	4,93E-03
3,98E-03	6,73E-06	5,37E-05	4,04E-03	4,89E-03	4,08E-06	1,07E-05	4,90E-03
3,94E-03	6,40E-06	5,33E-05	4,00E-03	4,85E-03	3,88E-06	1,07E-05	4,86E-03
4,19E-03	7,66E-06	5,66E-05	4,26E-03	5,15E-03	4,65E-06	1,13E-05	5,17E-03
3,99E-03	6,85E-06	5,40E-05	4,05E-03	4,91E-03	4,16E-06	1,08E-05	4,93E-03
3,95E-03	6,41E-06	5,34E-05	4,01E-03	4,86E-03	3,89E-06	1,07E-05	4,87E-03
4,25E-03	8,48E-06	5,74E-05	4,32E-03	5,23E-03	5,15E-06	1,15E-05	5,24E-03
4,32E-03	8,95E-06	5,83E-05	4,39E-03	5,31E-03	5,44E-06	1,17E-05	5,33E-03
3,96E-03	6,68E-06	5,35E-05	4,02E-03	4,87E-03	4,06E-06	1,07E-05	4,89E-03
3,97E-03	6,71E-06	5,36E-05	4,03E-03	4,88E-03	4,07E-06	1,07E-05	4,89E-03
5,17E-03	1,43E-05	6,98E-05	5,25E-03	6,36E-03	8,68E-06	1,40E-05	6,38E-03
3,61E-03	3,75E-06	4,88E-05	3,67E-03	4,44E-03	2,28E-06	9,76E-06	4,45E-03
4,36E-03	8,10E-06	5,90E-05	4,43E-03	5,37E-03	4,92E-06	1,18E-05	5,38E-03
3,91E-03	4,62E-06	5,29E-05	3,97E-03	4,81E-03	2,81E-06	1,06E-05	4,82E-03
3,81E-03	4,29E-06	5,15E-05	3,87E-03	4,69E-03	2,60E-06	1,03E-05	4,70E-03
4,11E-03	6,46E-06	5,55E-05	4,17E-03	5,05E-03	3,93E-06	1,11E-05	5,07E-03

4,37E-03 8,29E-06 5,91E-05 4,44E-03 5,38E-03 5,03E-06 1,18E-05 5,40E-03

Tabella A.22: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
5,958	8,332	0,367	14,656	0,589	0,656	0,023	1,268	6,547	8,988	0,390	15,925
3,971	2,280	0,245	6,495	0,393	0,179	0,015	0,588	4,363	2,459	0,260	7,083
3,945	2,282	0,243	6,469	0,390	0,180	0,015	0,585	4,335	2,461	0,258	7,055
4,197	2,937	0,259	7,393	0,415	0,231	0,016	0,663	4,613	3,169	0,275	8,056
4,698	3,614	0,289	8,601	0,465	0,285	0,018	0,767	5,163	3,898	0,308	9,369
3,866	1,592	0,238	5,696	0,382	0,125	0,015	0,523	4,249	1,717	0,253	6,219
4,506	3,319	0,278	8,103	0,446	0,261	0,017	0,725	4,952	3,580	0,295	8,827
6,144	7,954	0,379	14,477	0,608	0,626	0,024	1,258	6,752	8,580	0,402	15,735
3,965	1,695	0,244	5,904	0,392	0,134	0,015	0,541	4,357	1,829	0,260	6,445
3,953	1,690	0,244	5,887	0,391	0,133	0,015	0,539	4,344	1,823	0,259	6,426
3,957	1,724	0,244	5,925	0,391	0,136	0,015	0,543	4,348	1,860	0,259	6,467
3,934	1,674	0,242	5,850	0,389	0,132	0,015	0,536	4,323	1,806	0,258	6,387
3,936	1,672	0,242	5,851	0,389	0,132	0,015	0,536	4,326	1,804	0,258	6,387
4,242	2,525	0,261	7,029	0,420	0,199	0,016	0,635	4,662	2,724	0,278	7,664
3,979	1,854	0,245	6,078	0,394	0,146	0,015	0,555	4,373	2,000	0,261	6,633
5,062	3,924	0,312	9,298	0,501	0,309	0,020	0,829	5,563	4,233	0,331	10,127
4,167	2,240	0,257	6,664	0,412	0,176	0,016	0,605	4,579	2,417	0,273	7,268
4,509	2,468	0,278	7,255	0,446	0,194	0,017	0,658	4,955	2,662	0,295	7,913
3,933	1,056	0,242	5,232	0,389	0,083	0,015	0,487	4,322	1,139	0,258	5,719
4,459	2,783	0,275	7,517	0,441	0,219	0,017	0,678	4,900	3,002	0,292	8,194

Tabella A.23: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,45E-01	6,00E-01	7,57E-03	1,25E+00	1,71E-05	7,04E-08	3,98E-10	1,72E-05	5,18E-04	2,80E-04	4,78E-06	8,02E-04
4,30E-01	1,64E-01	5,05E-03	5,99E-01	1,14E-05	1,93E-08	2,66E-10	1,14E-05	3,45E-04	7,65E-05	3,19E-06	4,25E-04
4,27E-01	1,64E-01	5,01E-03	5,97E-01	1,13E-05	1,93E-08	2,64E-10	1,14E-05	3,43E-04	7,66E-05	3,17E-06	4,23E-04
4,55E-01	2,11E-01	5,33E-03	6,72E-01	1,21E-05	2,48E-08	2,81E-10	1,21E-05	3,65E-04	9,86E-05	3,37E-06	4,67E-04
5,09E-01	2,60E-01	5,97E-03	7,75E-01	1,35E-05	3,05E-08	3,14E-10	1,35E-05	4,08E-04	1,21E-04	3,77E-06	5,33E-04
4,19E-01	1,15E-01	4,91E-03	5,38E-01	1,11E-05	1,34E-08	2,59E-10	1,11E-05	3,36E-04	5,34E-05	3,10E-06	3,93E-04
4,88E-01	2,39E-01	5,73E-03	7,33E-01	1,30E-05	2,80E-08	3,01E-10	1,30E-05	3,92E-04	1,11E-04	3,62E-06	5,07E-04
6,66E-01	5,73E-01	7,81E-03	1,25E+00	1,77E-05	6,72E-08	4,11E-10	1,77E-05	5,34E-04	2,67E-04	4,93E-06	8,06E-04
4,30E-01	1,22E-01	5,04E-03	5,57E-01	1,14E-05	1,43E-08	2,65E-10	1,14E-05	3,45E-04	5,69E-05	3,18E-06	4,05E-04
4,28E-01	1,22E-01	5,02E-03	5,55E-01	1,14E-05	1,43E-08	2,64E-10	1,14E-05	3,44E-04	5,67E-05	3,17E-06	4,04E-04
4,29E-01	1,24E-01	5,03E-03	5,58E-01	1,14E-05	1,46E-08	2,65E-10	1,14E-05	3,44E-04	5,79E-05	3,18E-06	4,05E-04
4,26E-01	1,21E-01	5,00E-03	5,52E-01	1,13E-05	1,41E-08	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	5,62E-05	3,16E-06	4,01E-04

4,26E-01	1,20E-01	5,00E-03	5,52E-01	1,13E-05	1,41E-08	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	5,61E-05	3,16E-06	4,01E-04
4,60E-01	1,82E-01	5,39E-03	6,47E-01	1,22E-05	2,13E-08	2,84E-10	1,22E-05	3,69E-04	8,48E-05	3,40E-06	4,57E-04
4,31E-01	1,33E-01	5,06E-03	5,70E-01	1,14E-05	1,57E-08	2,66E-10	1,15E-05	3,46E-04	6,22E-05	3,19E-06	4,11E-04
5,48E-01	2,82E-01	6,43E-03	8,37E-01	1,46E-05	3,32E-08	3,39E-10	1,46E-05	4,40E-04	1,32E-04	4,06E-06	5,76E-04
4,51E-01	1,61E-01	5,29E-03	6,18E-01	1,20E-05	1,89E-08	2,79E-10	1,20E-05	3,62E-04	7,52E-05	3,34E-06	4,41E-04
4,89E-01	1,78E-01	5,73E-03	6,72E-01	1,30E-05	2,09E-08	3,02E-10	1,30E-05	3,92E-04	8,28E-05	3,62E-06	4,78E-04
4,26E-01	7,60E-02	5,00E-03	5,07E-01	1,13E-05	8,92E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	3,55E-05	3,16E-06	3,81E-04
4,83E-01	2,00E-01	5,67E-03	6,89E-01	1,28E-05	2,35E-08	2,98E-10	1,28E-05	3,88E-04	9,34E-05	3,58E-06	4,85E-04

Tabella A.24: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano							
Produzione	AP (kg SO _{2eq})			Produzione	EP (kg PO ₄ ^{3-_{eq}})		
	Uso	Fine vita	Totale		Uso	Fine vita	Totale
4,98E-03	2,47E-03	7,97E-05	7,53E-03	6,45E-03	6,19E-04	1,20E-05	7,09E-03
3,32E-03	6,76E-04	5,31E-05	4,05E-03	4,30E-03	1,69E-04	7,97E-06	4,48E-03
3,30E-03	6,77E-04	5,28E-05	4,03E-03	4,27E-03	1,70E-04	7,91E-06	4,45E-03
3,51E-03	8,72E-04	5,61E-05	4,44E-03	4,55E-03	2,18E-04	8,42E-06	4,77E-03
3,93E-03	1,07E-03	6,28E-05	5,06E-03	5,09E-03	2,69E-04	9,43E-06	5,37E-03
3,23E-03	4,72E-04	5,17E-05	3,76E-03	4,19E-03	1,18E-04	7,76E-06	4,31E-03
3,77E-03	9,85E-04	6,03E-05	4,81E-03	4,88E-03	2,47E-04	9,04E-06	5,14E-03
5,14E-03	2,36E-03	8,22E-05	7,58E-03	6,66E-03	5,91E-04	1,23E-05	7,26E-03
3,31E-03	5,03E-04	5,30E-05	3,87E-03	4,30E-03	1,26E-04	7,95E-06	4,43E-03
3,30E-03	5,02E-04	5,29E-05	3,86E-03	4,28E-03	1,26E-04	7,93E-06	4,42E-03
3,31E-03	5,12E-04	5,29E-05	3,87E-03	4,29E-03	1,28E-04	7,94E-06	4,42E-03
3,29E-03	4,97E-04	5,26E-05	3,84E-03	4,26E-03	1,24E-04	7,89E-06	4,39E-03
3,29E-03	4,96E-04	5,26E-05	3,84E-03	4,26E-03	1,24E-04	7,90E-06	4,40E-03
3,55E-03	7,49E-04	5,67E-05	4,35E-03	4,60E-03	1,88E-04	8,51E-06	4,79E-03
3,33E-03	5,50E-04	5,32E-05	3,93E-03	4,31E-03	1,38E-04	7,98E-06	4,46E-03
4,23E-03	1,16E-03	6,77E-05	5,46E-03	5,48E-03	2,92E-04	1,02E-05	5,79E-03
3,48E-03	6,65E-04	5,57E-05	4,20E-03	4,51E-03	1,67E-04	8,36E-06	4,69E-03
3,77E-03	7,32E-04	6,03E-05	4,56E-03	4,89E-03	1,83E-04	9,05E-06	5,08E-03
3,29E-03	3,13E-04	5,26E-05	3,65E-03	4,26E-03	7,85E-05	7,89E-06	4,35E-03
3,73E-03	8,26E-04	5,96E-05	4,61E-03	4,83E-03	2,07E-04	8,95E-06	5,05E-03

Tabella A.25: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo		
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)	Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)	Consumo di energia primaria totale (MJ)

Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
5,958	9,458	0,367	15,782	0,589	0,859	0,023	1,472	6,547	10,317	0,390	17,254
3,971	2,588	0,245	6,803	0,393	0,235	0,015	0,643	4,363	2,823	0,260	7,446
3,945	2,590	0,243	6,778	0,390	0,235	0,015	0,641	4,335	2,826	0,258	7,419
4,197	3,334	0,259	7,791	0,415	0,303	0,016	0,735	4,613	3,638	0,275	8,525
4,698	4,102	0,289	9,090	0,465	0,373	0,018	0,856	5,163	4,475	0,308	9,945
3,866	1,807	0,238	5,911	0,382	0,164	0,015	0,562	4,249	1,971	0,253	6,473
4,506	3,767	0,278	8,551	0,446	0,342	0,017	0,806	4,952	4,110	0,295	9,357
6,144	9,029	0,379	15,552	0,608	0,821	0,024	1,452	6,752	9,850	0,402	17,004
3,965	1,925	0,244	6,134	0,392	0,175	0,015	0,582	4,357	2,100	0,260	6,716
3,953	1,918	0,244	6,115	0,391	0,174	0,015	0,581	4,344	2,093	0,259	6,696
3,957	1,957	0,244	6,158	0,391	0,178	0,015	0,585	4,348	2,135	0,259	6,742
3,934	1,901	0,242	6,077	0,389	0,173	0,015	0,577	4,323	2,074	0,258	6,654
3,936	1,898	0,242	6,077	0,389	0,172	0,015	0,577	4,326	2,071	0,258	6,654
4,242	2,867	0,261	7,370	0,420	0,261	0,016	0,697	4,662	3,127	0,278	8,067
3,979	2,104	0,245	6,329	0,394	0,191	0,015	0,600	4,373	2,295	0,261	6,929
5,062	4,454	0,312	9,828	0,501	0,405	0,020	0,925	5,563	4,859	0,331	10,753
4,167	2,543	0,257	6,967	0,412	0,231	0,016	0,659	4,579	2,774	0,273	7,626
4,509	2,801	0,278	7,589	0,446	0,255	0,017	0,718	4,955	3,056	0,295	8,307
3,933	1,199	0,242	5,374	0,389	0,109	0,015	0,513	4,322	1,308	0,258	5,888
4,459	3,159	0,275	7,893	0,441	0,287	0,017	0,745	4,900	3,446	0,292	8,638

Tabella A.26: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,45E-01	4,70E-01	7,57E-03	1,12E+00	1,71E-05	2,39E-08	3,98E-10	1,72E-05	5,18E-04	1,45E-04	4,78E-06	6,68E-04
4,30E-01	1,29E-01	5,05E-03	5,64E-01	1,14E-05	6,54E-09	2,66E-10	1,14E-05	3,45E-04	3,97E-05	3,19E-06	3,88E-04
4,27E-01	1,29E-01	5,01E-03	5,61E-01	1,13E-05	6,54E-09	2,64E-10	1,14E-05	3,43E-04	3,98E-05	3,17E-06	3,86E-04
4,55E-01	1,66E-01	5,33E-03	6,26E-01	1,21E-05	8,42E-09	2,81E-10	1,21E-05	3,65E-04	5,12E-05	3,37E-06	4,19E-04
5,09E-01	2,04E-01	5,97E-03	7,19E-01	1,35E-05	1,04E-08	3,14E-10	1,35E-05	4,08E-04	6,30E-05	3,77E-06	4,75E-04
4,19E-01	8,98E-02	4,91E-03	5,14E-01	1,11E-05	4,56E-09	2,59E-10	1,11E-05	3,36E-04	2,77E-05	3,10E-06	3,67E-04
4,88E-01	1,87E-01	5,73E-03	6,81E-01	1,30E-05	9,52E-09	3,01E-10	1,30E-05	3,92E-04	5,79E-05	3,62E-06	4,53E-04
6,66E-01	4,49E-01	7,81E-03	1,12E+00	1,77E-05	2,28E-08	4,11E-10	1,77E-05	5,34E-04	1,39E-04	4,93E-06	6,78E-04
4,30E-01	9,56E-02	5,04E-03	5,30E-01	1,14E-05	4,86E-09	2,65E-10	1,14E-05	3,45E-04	2,96E-05	3,18E-06	3,77E-04
4,28E-01	9,53E-02	5,02E-03	5,29E-01	1,14E-05	4,85E-09	2,64E-10	1,14E-05	3,44E-04	2,95E-05	3,17E-06	3,76E-04
4,29E-01	9,73E-02	5,03E-03	5,31E-01	1,14E-05	4,94E-09	2,65E-10	1,14E-05	3,44E-04	3,01E-05	3,18E-06	3,77E-04
4,26E-01	9,45E-02	5,00E-03	5,26E-01	1,13E-05	4,80E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	2,92E-05	3,16E-06	3,74E-04
4,26E-01	9,43E-02	5,00E-03	5,26E-01	1,13E-05	4,80E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	2,92E-05	3,16E-06	3,75E-04
4,60E-01	1,42E-01	5,39E-03	6,07E-01	1,22E-05	7,24E-09	2,84E-10	1,22E-05	3,69E-04	4,40E-05	3,40E-06	4,16E-04
4,31E-01	1,05E-01	5,06E-03	5,41E-01	1,14E-05	5,32E-09	2,66E-10	1,14E-05	3,46E-04	3,23E-05	3,19E-06	3,81E-04
5,48E-01	2,21E-01	6,43E-03	7,76E-01	1,46E-05	1,13E-08	3,39E-10	1,46E-05	4,40E-04	6,84E-05	4,06E-06	5,13E-04
4,51E-01	1,26E-01	5,29E-03	5,83E-01	1,20E-05	6,43E-09	2,79E-10	1,20E-05	3,62E-04	3,91E-05	3,34E-06	4,05E-04
4,89E-01	1,39E-01	5,73E-03	6,33E-01	1,30E-05	7,08E-09	3,02E-10	1,30E-05	3,92E-04	4,30E-05	3,62E-06	4,39E-04
4,26E-01	5,96E-02	5,00E-03	4,91E-01	1,13E-05	3,03E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	1,84E-05	3,16E-06	3,63E-04

4,83E-01 1,57E-01 5,67E-03 6,46E-01 1,28E-05 7,98E-09 2,98E-10 1,28E-05 3,88E-04 4,85E-05 3,58E-06 4,40E-04

Tabella A.27: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
4,98E-03	1,86E-03	7,97E-05	6,92E-03	6,45E-03	1,43E-03	1,20E-05	7,90E-03
3,32E-03	5,10E-04	5,31E-05	3,88E-03	4,30E-03	3,92E-04	7,97E-06	4,70E-03
3,30E-03	5,10E-04	5,28E-05	3,86E-03	4,27E-03	3,92E-04	7,91E-06	4,67E-03
3,51E-03	6,57E-04	5,61E-05	4,22E-03	4,55E-03	5,05E-04	8,42E-06	5,06E-03
3,93E-03	8,08E-04	6,28E-05	4,80E-03	5,09E-03	6,22E-04	9,43E-06	5,72E-03
3,23E-03	3,56E-04	5,17E-05	3,64E-03	4,19E-03	2,74E-04	7,76E-06	4,47E-03
3,77E-03	7,42E-04	6,03E-05	4,57E-03	4,88E-03	5,71E-04	9,04E-06	5,46E-03
5,14E-03	1,78E-03	8,22E-05	7,00E-03	6,66E-03	1,37E-03	1,23E-05	8,04E-03
3,31E-03	3,79E-04	5,30E-05	3,75E-03	4,30E-03	2,92E-04	7,95E-06	4,59E-03
3,30E-03	3,78E-04	5,29E-05	3,74E-03	4,28E-03	2,91E-04	7,93E-06	4,58E-03
3,31E-03	3,86E-04	5,29E-05	3,75E-03	4,29E-03	2,97E-04	7,94E-06	4,59E-03
3,29E-03	3,74E-04	5,26E-05	3,72E-03	4,26E-03	2,88E-04	7,89E-06	4,56E-03
3,29E-03	3,74E-04	5,26E-05	3,72E-03	4,26E-03	2,88E-04	7,90E-06	4,56E-03
3,55E-03	5,65E-04	5,67E-05	4,17E-03	4,60E-03	4,34E-04	8,51E-06	5,04E-03
3,33E-03	4,15E-04	5,32E-05	3,79E-03	4,31E-03	3,19E-04	7,98E-06	4,64E-03
4,23E-03	8,77E-04	6,77E-05	5,18E-03	5,48E-03	6,75E-04	1,02E-05	6,17E-03
3,48E-03	5,01E-04	5,57E-05	4,04E-03	4,51E-03	3,85E-04	8,36E-06	4,91E-03
3,77E-03	5,52E-04	6,03E-05	4,38E-03	4,89E-03	4,24E-04	9,05E-06	5,32E-03
3,29E-03	2,36E-04	5,26E-05	3,58E-03	4,26E-03	1,82E-04	7,89E-06	4,45E-03
3,73E-03	6,22E-04	5,96E-05	4,41E-03	4,83E-03	4,79E-04	8,95E-06	5,32E-03

Tabella A.28: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
5,958	0,914	0,367	7,238	0,589	3,380	0,023	3,992	6,547	4,293	0,390	11,230
3,971	0,250	0,245	4,465	0,393	0,925	0,015	1,333	4,363	1,175	0,260	5,798
3,945	0,250	0,243	4,438	0,390	0,926	0,015	1,331	4,335	1,176	0,258	5,769
4,197	0,322	0,259	4,778	0,415	1,192	0,016	1,623	4,613	1,514	0,275	6,401
4,698	0,396	0,289	5,384	0,465	1,466	0,018	1,949	5,163	1,862	0,308	7,333
3,866	0,175	0,238	4,279	0,382	0,646	0,015	1,043	4,249	0,820	0,253	5,322
4,506	0,364	0,278	5,148	0,446	1,346	0,017	1,810	4,952	1,710	0,295	6,958
6,144	0,872	0,379	7,395	0,608	3,226	0,024	3,858	6,752	4,099	0,402	11,253
3,965	0,186	0,244	4,395	0,392	0,688	0,015	1,095	4,357	0,874	0,260	5,490
3,953	0,185	0,244	4,382	0,391	0,686	0,015	1,092	4,344	0,871	0,259	5,474
3,957	0,189	0,244	4,390	0,391	0,699	0,015	1,106	4,348	0,889	0,259	5,496

3,934	0,184	0,242	4,360	0,389	0,679	0,015	1,084	4,323	0,863	0,258	5,443
3,936	0,183	0,242	4,362	0,389	0,678	0,015	1,083	4,326	0,862	0,258	5,445
4,242	0,277	0,261	4,781	0,420	1,024	0,016	1,461	4,662	1,301	0,278	6,241
3,979	0,203	0,245	4,428	0,394	0,752	0,015	1,161	4,373	0,955	0,261	5,589
5,062	0,430	0,312	5,804	0,501	1,592	0,020	2,112	5,563	2,022	0,331	7,916
4,167	0,246	0,257	4,669	0,412	0,909	0,016	1,337	4,579	1,155	0,273	6,006
4,509	0,271	0,278	5,058	0,446	1,001	0,017	1,465	4,955	1,272	0,295	6,522
3,933	0,116	0,242	4,291	0,389	0,428	0,015	0,833	4,322	0,544	0,258	5,124
4,459	0,305	0,275	5,039	0,441	1,129	0,017	1,587	4,900	1,434	0,292	6,626

Tabella A.29: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,45E-01	5,69E-02	7,57E-03	7,10E-01	1,71E-05	1,81E-08	3,98E-10	1,71E-05	5,18E-04	7,83E-05	4,78E-06	6,01E-04
4,30E-01	1,56E-02	5,05E-03	4,51E-01	1,14E-05	4,94E-09	2,66E-10	1,14E-05	3,45E-04	2,14E-05	3,19E-06	3,70E-04
4,27E-01	1,56E-02	5,01E-03	4,48E-01	1,13E-05	4,94E-09	2,64E-10	1,13E-05	3,43E-04	2,14E-05	3,17E-06	3,68E-04
4,55E-01	2,01E-02	5,33E-03	4,80E-01	1,21E-05	6,37E-09	2,81E-10	1,21E-05	3,65E-04	2,76E-05	3,37E-06	3,96E-04
5,09E-01	2,47E-02	5,97E-03	5,40E-01	1,35E-05	7,83E-09	3,14E-10	1,35E-05	4,08E-04	3,40E-05	3,77E-06	4,46E-04
4,19E-01	1,09E-02	4,91E-03	4,35E-01	1,11E-05	3,45E-09	2,59E-10	1,11E-05	3,36E-04	1,50E-05	3,10E-06	3,54E-04
4,88E-01	2,27E-02	5,73E-03	5,17E-01	1,30E-05	7,19E-09	3,01E-10	1,30E-05	3,92E-04	3,12E-05	3,62E-06	4,27E-04
6,66E-01	5,44E-02	7,81E-03	7,28E-01	1,77E-05	1,72E-08	4,11E-10	1,77E-05	5,34E-04	7,48E-05	4,93E-06	6,14E-04
4,30E-01	1,16E-02	5,04E-03	4,46E-01	1,14E-05	3,67E-09	2,65E-10	1,14E-05	3,45E-04	1,59E-05	3,18E-06	3,64E-04
4,28E-01	1,15E-02	5,02E-03	4,45E-01	1,14E-05	3,66E-09	2,64E-10	1,14E-05	3,44E-04	1,59E-05	3,17E-06	3,63E-04
4,29E-01	1,18E-02	5,03E-03	4,45E-01	1,14E-05	3,74E-09	2,65E-10	1,14E-05	3,44E-04	1,62E-05	3,18E-06	3,63E-04
4,26E-01	1,14E-02	5,00E-03	4,43E-01	1,13E-05	3,63E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	1,57E-05	3,16E-06	3,61E-04
4,26E-01	1,14E-02	5,00E-03	4,43E-01	1,13E-05	3,62E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	1,57E-05	3,16E-06	3,61E-04
4,60E-01	1,73E-02	5,39E-03	4,82E-01	1,22E-05	5,47E-09	2,84E-10	1,22E-05	3,69E-04	2,37E-05	3,40E-06	3,96E-04
4,31E-01	1,27E-02	5,06E-03	4,49E-01	1,14E-05	4,02E-09	2,66E-10	1,14E-05	3,46E-04	1,74E-05	3,19E-06	3,67E-04
5,48E-01	2,68E-02	6,43E-03	5,82E-01	1,46E-05	8,50E-09	3,39E-10	1,46E-05	4,40E-04	3,69E-05	4,06E-06	4,81E-04
4,51E-01	1,53E-02	5,29E-03	4,72E-01	1,20E-05	4,86E-09	2,79E-10	1,20E-05	3,62E-04	2,11E-05	3,34E-06	3,87E-04
4,89E-01	1,69E-02	5,73E-03	5,11E-01	1,30E-05	5,35E-09	3,02E-10	1,30E-05	3,92E-04	2,32E-05	3,62E-06	4,19E-04
4,26E-01	7,22E-03	5,00E-03	4,38E-01	1,13E-05	2,29E-09	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	9,93E-06	3,16E-06	3,55E-04
4,83E-01	1,90E-02	5,67E-03	5,08E-01	1,28E-05	6,03E-09	2,98E-10	1,28E-05	3,88E-04	2,62E-05	3,58E-06	4,17E-04

Tabella A.30: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
4,98E-03	2,40E-04	7,97E-05	5,30E-03	6,45E-03	1,76E-04	1,20E-05	6,64E-03
3,32E-03	6,56E-05	5,31E-05	3,44E-03	4,30E-03	4,82E-05	7,97E-06	4,36E-03
3,30E-03	6,57E-05	5,28E-05	3,42E-03	4,27E-03	4,82E-05	7,91E-06	4,33E-03

3,51E-03	8,46E-05	5,61E-05	3,65E-03	4,55E-03	6,21E-05	8,42E-06	4,62E-03
3,93E-03	1,04E-04	6,28E-05	4,09E-03	5,09E-03	7,64E-05	9,43E-06	5,18E-03
3,23E-03	4,58E-05	5,17E-05	3,33E-03	4,19E-03	3,36E-05	7,76E-06	4,23E-03
3,77E-03	9,56E-05	6,03E-05	3,92E-03	4,88E-03	7,02E-05	9,04E-06	4,96E-03
5,14E-03	2,29E-04	8,22E-05	5,45E-03	6,66E-03	1,68E-04	1,23E-05	6,84E-03
3,31E-03	4,88E-05	5,30E-05	3,42E-03	4,30E-03	3,58E-05	7,95E-06	4,34E-03
3,30E-03	4,87E-05	5,29E-05	3,41E-03	4,28E-03	3,57E-05	7,93E-06	4,33E-03
3,31E-03	4,96E-05	5,29E-05	3,41E-03	4,29E-03	3,64E-05	7,94E-06	4,33E-03
3,29E-03	4,82E-05	5,26E-05	3,39E-03	4,26E-03	3,54E-05	7,89E-06	4,30E-03
3,29E-03	4,81E-05	5,26E-05	3,39E-03	4,26E-03	3,53E-05	7,90E-06	4,31E-03
3,55E-03	7,27E-05	5,67E-05	3,68E-03	4,60E-03	5,34E-05	8,51E-06	4,66E-03
3,33E-03	5,34E-05	5,32E-05	3,43E-03	4,31E-03	3,92E-05	7,98E-06	4,36E-03
4,23E-03	1,13E-04	6,77E-05	4,41E-03	5,48E-03	8,29E-05	1,02E-05	5,58E-03
3,48E-03	6,45E-05	5,57E-05	3,60E-03	4,51E-03	4,74E-05	8,36E-06	4,57E-03
3,77E-03	7,11E-05	6,03E-05	3,90E-03	4,89E-03	5,22E-05	9,05E-06	4,95E-03
3,29E-03	3,04E-05	5,26E-05	3,37E-03	4,26E-03	2,23E-05	7,89E-06	4,29E-03
3,73E-03	8,01E-05	5,96E-05	3,87E-03	4,83E-03	5,88E-05	8,95E-06	4,90E-03

Tabella A.31: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
5,958	0,142	0,367	6,467	0,589	3,258	0,023	3,871	6,547	3,401	0,390	10,338
3,971	0,039	0,245	4,254	0,393	0,892	0,015	1,300	4,363	0,930	0,260	5,554
3,945	0,039	0,243	4,227	0,390	0,892	0,015	1,298	4,335	0,931	0,258	5,525
4,197	0,050	0,259	4,506	0,415	1,149	0,016	1,580	4,613	1,199	0,275	6,087
4,698	0,062	0,289	5,049	0,465	1,413	0,018	1,896	5,163	1,475	0,308	6,945
3,866	0,027	0,238	4,132	0,382	0,622	0,015	1,020	4,249	0,650	0,253	5,152
4,506	0,057	0,278	4,841	0,446	1,298	0,017	1,761	4,952	1,355	0,295	6,602
6,144	0,136	0,379	6,659	0,608	3,111	0,024	3,742	6,752	3,247	0,402	10,401
3,965	0,029	0,244	4,238	0,392	0,663	0,015	1,071	4,357	0,692	0,260	5,309
3,953	0,029	0,244	4,225	0,391	0,661	0,015	1,067	4,344	0,690	0,259	5,293
3,957	0,029	0,244	4,230	0,391	0,674	0,015	1,081	4,348	0,704	0,259	5,311
3,934	0,029	0,242	4,205	0,389	0,655	0,015	1,059	4,323	0,684	0,258	5,264
3,936	0,029	0,242	4,207	0,389	0,654	0,015	1,059	4,326	0,683	0,258	5,266
4,242	0,043	0,261	4,547	0,420	0,988	0,016	1,424	4,662	1,031	0,278	5,971
3,979	0,032	0,245	4,256	0,394	0,725	0,015	1,134	4,373	0,757	0,261	5,390
5,062	0,067	0,312	5,441	0,501	1,535	0,020	2,055	5,563	1,602	0,331	7,496
4,167	0,038	0,257	4,461	0,412	0,876	0,016	1,305	4,579	0,915	0,273	5,766
4,509	0,042	0,278	4,829	0,446	0,965	0,017	1,429	4,955	1,007	0,295	6,258
3,933	0,018	0,242	4,193	0,389	0,413	0,015	0,817	4,322	0,431	0,258	5,011
4,459	0,048	0,275	4,781	0,441	1,088	0,017	1,547	4,900	1,136	0,292	6,328

Tabella A.32: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,45E-01	9,46E-03	7,57E-03	6,62E-01	1,71E-05	4,45E-10	3,98E-10	1,71E-05	5,18E-04	7,68E-06	4,78E-06	5,30E-04
4,30E-01	2,59E-03	5,05E-03	4,38E-01	1,14E-05	1,22E-10	2,66E-10	1,14E-05	3,45E-04	2,10E-06	3,19E-06	3,50E-04
4,27E-01	2,59E-03	5,01E-03	4,35E-01	1,13E-05	1,22E-10	2,64E-10	1,13E-05	3,43E-04	2,10E-06	3,17E-06	3,48E-04
4,55E-01	3,34E-03	5,33E-03	4,63E-01	1,21E-05	1,57E-10	2,81E-10	1,21E-05	3,65E-04	2,71E-06	3,37E-06	3,71E-04
5,09E-01	4,10E-03	5,97E-03	5,19E-01	1,35E-05	1,93E-10	3,14E-10	1,35E-05	4,08E-04	3,33E-06	3,77E-06	4,16E-04
4,19E-01	1,81E-03	4,91E-03	4,26E-01	1,11E-05	8,50E-11	2,59E-10	1,11E-05	3,36E-04	1,47E-06	3,10E-06	3,41E-04
4,88E-01	3,77E-03	5,73E-03	4,98E-01	1,30E-05	1,77E-10	3,01E-10	1,30E-05	3,92E-04	3,06E-06	3,62E-06	3,98E-04
6,66E-01	9,03E-03	7,81E-03	6,83E-01	1,77E-05	4,25E-10	4,11E-10	1,77E-05	5,34E-04	7,33E-06	4,93E-06	5,46E-04
4,30E-01	1,93E-03	5,04E-03	4,37E-01	1,14E-05	9,05E-11	2,65E-10	1,14E-05	3,45E-04	1,56E-06	3,18E-06	3,49E-04
4,28E-01	1,92E-03	5,02E-03	4,35E-01	1,14E-05	9,02E-11	2,64E-10	1,14E-05	3,44E-04	1,56E-06	3,17E-06	3,48E-04
4,29E-01	1,96E-03	5,03E-03	4,36E-01	1,14E-05	9,21E-11	2,65E-10	1,14E-05	3,44E-04	1,59E-06	3,18E-06	3,49E-04
4,26E-01	1,90E-03	5,00E-03	4,33E-01	1,13E-05	8,94E-11	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	1,54E-06	3,16E-06	3,47E-04
4,26E-01	1,90E-03	5,00E-03	4,33E-01	1,13E-05	8,93E-11	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	1,54E-06	3,16E-06	3,47E-04
4,60E-01	2,87E-03	5,39E-03	4,68E-01	1,22E-05	1,35E-10	2,84E-10	1,22E-05	3,69E-04	2,33E-06	3,40E-06	3,75E-04
4,31E-01	2,11E-03	5,06E-03	4,38E-01	1,14E-05	9,90E-11	2,66E-10	1,14E-05	3,46E-04	1,71E-06	3,19E-06	3,51E-04
5,48E-01	4,46E-03	6,43E-03	5,59E-01	1,46E-05	2,10E-10	3,39E-10	1,46E-05	4,40E-04	3,62E-06	4,06E-06	4,48E-04
4,51E-01	2,54E-03	5,29E-03	4,59E-01	1,20E-05	1,20E-10	2,79E-10	1,20E-05	3,62E-04	2,07E-06	3,34E-06	3,68E-04
4,89E-01	2,80E-03	5,73E-03	4,97E-01	1,30E-05	1,32E-10	3,02E-10	1,30E-05	3,92E-04	2,28E-06	3,62E-06	3,98E-04
4,26E-01	1,20E-03	5,00E-03	4,32E-01	1,13E-05	5,64E-11	2,63E-10	1,13E-05	3,42E-04	9,74E-07	3,16E-06	3,46E-04
4,83E-01	3,16E-03	5,67E-03	4,92E-01	1,28E-05	1,49E-10	2,98E-10	1,28E-05	3,88E-04	2,57E-06	3,58E-06	3,94E-04

Tabella A.33: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
4,98E-03	3,79E-05	7,97E-05	5,10E-03	6,45E-03	2,30E-05	1,20E-05	6,49E-03
3,32E-03	1,04E-05	5,31E-05	3,38E-03	4,30E-03	6,30E-06	7,97E-06	4,32E-03
3,30E-03	1,04E-05	5,28E-05	3,36E-03	4,27E-03	6,31E-06	7,91E-06	4,29E-03
3,51E-03	1,34E-05	5,61E-05	3,58E-03	4,55E-03	8,12E-06	8,42E-06	4,56E-03
3,93E-03	1,64E-05	6,28E-05	4,01E-03	5,09E-03	9,99E-06	9,43E-06	5,11E-03
3,23E-03	7,24E-06	5,17E-05	3,29E-03	4,19E-03	4,40E-06	7,76E-06	4,20E-03
3,77E-03	1,51E-05	6,03E-05	3,84E-03	4,88E-03	9,17E-06	9,04E-06	4,90E-03
5,14E-03	3,62E-05	8,22E-05	5,25E-03	6,66E-03	2,20E-05	1,23E-05	6,69E-03
3,31E-03	7,72E-06	5,30E-05	3,37E-03	4,30E-03	4,69E-06	7,95E-06	4,31E-03
3,30E-03	7,69E-06	5,29E-05	3,36E-03	4,28E-03	4,67E-06	7,93E-06	4,30E-03
3,31E-03	7,85E-06	5,29E-05	3,37E-03	4,29E-03	4,76E-06	7,94E-06	4,30E-03
3,29E-03	7,62E-06	5,26E-05	3,35E-03	4,26E-03	4,63E-06	7,89E-06	4,27E-03
3,29E-03	7,61E-06	5,26E-05	3,35E-03	4,26E-03	4,62E-06	7,90E-06	4,28E-03
3,55E-03	1,15E-05	5,67E-05	3,61E-03	4,60E-03	6,98E-06	8,51E-06	4,61E-03
3,33E-03	8,44E-06	5,32E-05	3,39E-03	4,31E-03	5,12E-06	7,98E-06	4,32E-03

4,23E-03	1,79E-05	6,77E-05	4,32E-03	5,48E-03	1,08E-05	1,02E-05	5,51E-03
3,48E-03	1,02E-05	5,57E-05	3,55E-03	4,51E-03	6,19E-06	8,36E-06	4,53E-03
3,77E-03	1,12E-05	6,03E-05	3,84E-03	4,89E-03	6,82E-06	9,05E-06	4,90E-03
3,29E-03	4,81E-06	5,26E-05	3,35E-03	4,26E-03	2,92E-06	7,89E-06	4,27E-03
3,73E-03	1,27E-05	5,96E-05	3,80E-03	4,83E-03	7,69E-06	8,95E-06	4,85E-03

Tabella A.34: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
6,492	7,370	0,432	14,294	0,609	0,580	0,027	1,216	7,101	7,950	0,459	15,510
3,899	2,676	0,259	6,835	0,365	0,211	0,016	0,593	4,265	2,887	0,276	7,428
3,866	2,593	0,257	6,716	0,362	0,204	0,016	0,583	4,228	2,798	0,273	7,299
3,818	2,559	0,254	6,630	0,358	0,201	0,016	0,575	4,176	2,760	0,270	7,206
3,810	2,560	0,253	6,624	0,357	0,202	0,016	0,575	4,167	2,762	0,269	7,198
4,399	4,522	0,293	9,213	0,412	0,356	0,018	0,787	4,811	4,878	0,311	10,000
4,895	5,807	0,326	11,028	0,459	0,457	0,020	0,937	5,354	6,264	0,346	11,965
3,884	2,603	0,258	6,746	0,364	0,205	0,016	0,585	4,248	2,808	0,275	7,331
3,878	2,545	0,258	6,681	0,364	0,200	0,016	0,580	4,242	2,746	0,274	7,262
4,066	2,980	0,270	7,317	0,381	0,235	0,017	0,633	4,448	3,215	0,287	7,950
3,322	0,860	0,221	4,403	0,311	0,068	0,014	0,393	3,633	0,928	0,235	4,795
5,138	5,190	0,342	10,669	0,482	0,409	0,021	0,912	5,619	5,598	0,363	11,581
3,320	0,900	0,221	4,441	0,311	0,071	0,014	0,396	3,632	0,971	0,235	4,837
4,529	4,668	0,301	9,498	0,424	0,368	0,019	0,811	4,953	5,035	0,320	10,309
3,350	0,927	0,223	4,500	0,314	0,073	0,014	0,401	3,664	1,000	0,237	4,901
3,353	0,963	0,223	4,539	0,314	0,076	0,014	0,404	3,667	1,039	0,237	4,943
3,323	0,935	0,221	4,479	0,311	0,074	0,014	0,399	3,635	1,009	0,235	4,879
4,288	3,612	0,285	8,185	0,402	0,284	0,018	0,704	4,690	3,896	0,303	8,890
3,265	0,385	0,217	3,867	0,306	0,030	0,014	0,350	3,572	0,415	0,231	4,218
3,223	0,321	0,214	3,759	0,302	0,025	0,013	0,341	3,525	0,346	0,228	4,099
3,298	0,656	0,219	4,174	0,309	0,052	0,014	0,375	3,607	0,708	0,233	4,548
3,279	0,464	0,218	3,961	0,307	0,037	0,014	0,358	3,586	0,501	0,232	4,319
3,487	1,109	0,232	4,828	0,327	0,087	0,015	0,429	3,814	1,196	0,247	5,257
3,245	0,386	0,216	3,847	0,304	0,030	0,014	0,348	3,549	0,417	0,229	4,195
3,458	1,186	0,230	4,874	0,324	0,093	0,014	0,432	3,782	1,279	0,244	5,306

Tabella A.35: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
7,24E-01	5,31E-01	8,89E-03	1,26E+00	2,02E-05	6,23E-08	4,78E-10	2,03E-05	5,91E-04	2,47E-04	5,62E-06	8,44E-04
4,35E-01	1,93E-01	5,34E-03	6,33E-01	1,22E-05	2,26E-08	2,87E-10	1,22E-05	3,55E-04	8,98E-05	3,38E-06	4,48E-04

4,31E-01	1,87E-01	5,29E-03	6,23E-01	1,21E-05	2,19E-08	2,85E-10	1,21E-05	3,52E-04	8,70E-05	3,35E-06	4,42E-04
4,26E-01	1,84E-01	5,23E-03	6,15E-01	1,19E-05	2,16E-08	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	8,59E-05	3,31E-06	4,36E-04
4,25E-01	1,84E-01	5,21E-03	6,14E-01	1,19E-05	2,16E-08	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	8,59E-05	3,30E-06	4,36E-04
4,90E-01	3,26E-01	6,02E-03	8,22E-01	1,37E-05	3,82E-08	3,24E-10	1,38E-05	4,00E-04	1,52E-04	3,81E-06	5,56E-04
5,46E-01	4,18E-01	6,70E-03	9,71E-01	1,53E-05	4,91E-08	3,60E-10	1,53E-05	4,45E-04	1,95E-04	4,24E-06	6,44E-04
4,33E-01	1,87E-01	5,32E-03	6,26E-01	1,21E-05	2,20E-08	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	8,74E-05	3,36E-06	4,44E-04
4,32E-01	1,83E-01	5,31E-03	6,21E-01	1,21E-05	2,15E-08	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	8,54E-05	3,36E-06	4,42E-04
4,53E-01	2,15E-01	5,57E-03	6,74E-01	1,27E-05	2,52E-08	2,99E-10	1,27E-05	3,70E-04	1,00E-04	3,52E-06	4,73E-04
3,70E-01	6,19E-02	4,55E-03	4,37E-01	1,04E-05	7,27E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	2,89E-05	2,88E-06	3,34E-04
5,73E-01	3,74E-01	7,03E-03	9,54E-01	1,60E-05	4,39E-08	3,78E-10	1,61E-05	4,67E-04	1,74E-04	4,45E-06	6,46E-04
3,70E-01	6,48E-02	4,54E-03	4,40E-01	1,04E-05	7,60E-09	2,44E-10	1,04E-05	3,02E-04	3,02E-05	2,88E-06	3,35E-04
5,05E-01	3,36E-01	6,20E-03	8,47E-01	1,41E-05	3,94E-08	3,33E-10	1,42E-05	4,12E-04	1,57E-04	3,92E-06	5,73E-04
3,74E-01	6,68E-02	4,58E-03	4,45E-01	1,04E-05	7,84E-09	2,47E-10	1,05E-05	3,05E-04	3,11E-05	2,90E-06	3,39E-04
3,74E-01	6,93E-02	4,59E-03	4,48E-01	1,05E-05	8,13E-09	2,47E-10	1,05E-05	3,05E-04	3,23E-05	2,90E-06	3,40E-04
3,71E-01	6,73E-02	4,55E-03	4,42E-01	1,04E-05	7,90E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	3,14E-05	2,88E-06	3,37E-04
4,78E-01	2,60E-01	5,87E-03	7,44E-01	1,34E-05	3,05E-08	3,16E-10	1,34E-05	3,90E-04	1,21E-04	3,71E-06	5,15E-04
3,64E-01	2,77E-02	4,47E-03	3,96E-01	1,02E-05	3,25E-09	2,40E-10	1,02E-05	2,97E-04	1,29E-05	2,83E-06	3,13E-04
3,59E-01	2,31E-02	4,41E-03	3,87E-01	1,01E-05	2,71E-09	2,37E-10	1,01E-05	2,93E-04	1,08E-05	2,79E-06	3,07E-04
3,68E-01	4,73E-02	4,51E-03	4,20E-01	1,03E-05	5,55E-09	2,43E-10	1,03E-05	3,00E-04	2,20E-05	2,86E-06	3,25E-04
3,66E-01	3,34E-02	4,49E-03	4,04E-01	1,02E-05	3,92E-09	2,41E-10	1,02E-05	2,98E-04	1,56E-05	2,84E-06	3,17E-04
3,89E-01	7,98E-02	4,77E-03	4,73E-01	1,09E-05	9,37E-09	2,57E-10	1,09E-05	3,17E-04	3,72E-05	3,02E-06	3,57E-04
3,62E-01	2,78E-02	4,44E-03	3,94E-01	1,01E-05	3,26E-09	2,39E-10	1,01E-05	2,95E-04	1,30E-05	2,81E-06	3,11E-04
3,86E-01	8,54E-02	4,73E-03	4,76E-01	1,08E-05	1,00E-08	2,55E-10	1,08E-05	3,15E-04	3,98E-05	3,00E-06	3,57E-04

Tabella A.36: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 1

Scenario 1: Elettricità - mix energetico italiano							
Produzione	AP (kg SO _{2eq})			EP (kg PO ₄ ^{3-_{eq}})			
	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
5,68E-03	2,19E-03	8,44E-05	7,95E-03	7,54E-03	5,48E-04	2,81E-05	8,11E-03
3,41E-03	7,94E-04	5,07E-05	4,26E-03	4,53E-03	1,99E-04	1,69E-05	4,74E-03
3,38E-03	7,70E-04	5,02E-05	4,20E-03	4,49E-03	1,93E-04	1,67E-05	4,70E-03
3,34E-03	7,59E-04	4,96E-05	4,15E-03	4,43E-03	1,90E-04	1,65E-05	4,64E-03
3,33E-03	7,60E-04	4,95E-05	4,14E-03	4,42E-03	1,90E-04	1,65E-05	4,63E-03
3,85E-03	1,34E-03	5,72E-05	5,25E-03	5,11E-03	3,36E-04	1,91E-05	5,46E-03
4,28E-03	1,72E-03	6,36E-05	6,07E-03	5,68E-03	4,32E-04	2,12E-05	6,14E-03
3,40E-03	7,73E-04	5,05E-05	4,22E-03	4,51E-03	1,94E-04	1,68E-05	4,72E-03
3,39E-03	7,55E-04	5,04E-05	4,20E-03	4,50E-03	1,89E-04	1,68E-05	4,71E-03
3,56E-03	8,84E-04	5,28E-05	4,50E-03	4,72E-03	2,22E-04	1,76E-05	4,96E-03
2,91E-03	2,55E-04	4,32E-05	3,20E-03	3,86E-03	6,39E-05	1,44E-05	3,93E-03
4,50E-03	1,54E-03	6,68E-05	6,10E-03	5,96E-03	3,86E-04	2,23E-05	6,37E-03
2,91E-03	2,67E-04	4,31E-05	3,22E-03	3,85E-03	6,69E-05	1,44E-05	3,94E-03
3,96E-03	1,39E-03	5,88E-05	5,41E-03	5,26E-03	3,47E-04	1,96E-05	5,62E-03
2,93E-03	2,75E-04	4,35E-05	3,25E-03	3,89E-03	6,89E-05	1,45E-05	3,97E-03
2,93E-03	2,86E-04	4,36E-05	3,26E-03	3,89E-03	7,16E-05	1,45E-05	3,98E-03
2,91E-03	2,78E-04	4,32E-05	3,23E-03	3,86E-03	6,95E-05	1,44E-05	3,94E-03

3,75E-03	1,07E-03	5,57E-05	4,88E-03	4,98E-03	2,68E-04	1,86E-05	5,26E-03
2,86E-03	1,14E-04	4,24E-05	3,01E-03	3,79E-03	2,86E-05	1,41E-05	3,83E-03
2,82E-03	9,53E-05	4,19E-05	2,96E-03	3,74E-03	2,39E-05	1,40E-05	3,78E-03
2,89E-03	1,95E-04	4,29E-05	3,12E-03	3,83E-03	4,88E-05	1,43E-05	3,89E-03
2,87E-03	1,38E-04	4,26E-05	3,05E-03	3,81E-03	3,45E-05	1,42E-05	3,86E-03
3,05E-03	3,29E-04	4,53E-05	3,43E-03	4,05E-03	8,24E-05	1,51E-05	4,15E-03
2,84E-03	1,15E-04	4,22E-05	3,00E-03	3,77E-03	2,87E-05	1,41E-05	3,81E-03
3,03E-03	3,52E-04	4,49E-05	3,42E-03	4,01E-03	8,82E-05	1,50E-05	4,12E-03

Tabella A.37: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,492	8,366	0,432	15,290	0,609	0,760	0,027	1,396	7,101	9,126	0,459	16,686
3,899	3,038	0,259	7,197	0,365	0,276	0,016	0,658	4,265	3,314	0,276	7,855
3,866	2,944	0,257	7,067	0,362	0,268	0,016	0,646	4,228	3,211	0,273	7,713
3,818	2,905	0,254	6,976	0,358	0,264	0,016	0,638	4,176	3,169	0,270	7,614
3,810	2,906	0,253	6,970	0,357	0,264	0,016	0,637	4,167	3,170	0,269	7,607
4,399	5,133	0,293	9,824	0,412	0,466	0,018	0,897	4,811	5,600	0,311	10,721
4,895	6,592	0,326	11,813	0,459	0,599	0,020	1,078	5,354	7,191	0,346	12,891
3,884	2,955	0,258	7,098	0,364	0,269	0,016	0,649	4,248	3,224	0,275	7,747
3,878	2,889	0,258	7,025	0,364	0,263	0,016	0,642	4,242	3,152	0,274	7,668
4,066	3,383	0,270	7,720	0,381	0,307	0,017	0,706	4,448	3,691	0,287	8,426
3,322	0,976	0,221	4,519	0,311	0,089	0,014	0,414	3,633	1,065	0,235	4,933
5,138	5,891	0,342	11,370	0,482	0,535	0,021	1,038	5,619	6,426	0,363	12,409
3,320	1,022	0,221	4,563	0,311	0,093	0,014	0,418	3,632	1,114	0,235	4,981
4,529	5,299	0,301	10,129	0,424	0,481	0,019	0,925	4,953	5,780	0,320	11,054
3,350	1,053	0,223	4,625	0,314	0,096	0,014	0,424	3,664	1,148	0,237	5,049
3,353	1,093	0,223	4,669	0,314	0,099	0,014	0,428	3,667	1,192	0,237	5,097
3,323	1,062	0,221	4,606	0,311	0,096	0,014	0,422	3,635	1,158	0,235	5,028
4,288	4,100	0,285	8,674	0,402	0,373	0,018	0,792	4,690	4,473	0,303	9,466
3,265	0,437	0,217	3,919	0,306	0,040	0,014	0,359	3,572	0,477	0,231	4,279
3,223	0,365	0,214	3,802	0,302	0,033	0,013	0,349	3,525	0,398	0,228	4,151
3,298	0,745	0,219	4,263	0,309	0,068	0,014	0,391	3,607	0,813	0,233	4,653
3,279	0,527	0,218	4,024	0,307	0,048	0,014	0,369	3,586	0,575	0,232	4,393
3,487	1,259	0,232	4,978	0,327	0,114	0,015	0,456	3,814	1,373	0,247	5,434
3,245	0,439	0,216	3,899	0,304	0,040	0,014	0,358	3,549	0,478	0,229	4,257
3,458	1,346	0,230	5,034	0,324	0,122	0,014	0,461	3,782	1,469	0,244	5,495

Tabella A.38: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo		
GWP (kg CO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})

Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
7,24E-01	4,16E-01	8,89E-03	1,15E+00	2,02E-05	2,11E-08	4,78E-10	2,03E-05	5,91E-04	1,28E-04	5,62E-06	7,25E-04
4,35E-01	1,51E-01	5,34E-03	5,91E-01	1,22E-05	7,68E-09	2,87E-10	1,22E-05	3,55E-04	4,67E-05	3,38E-06	4,05E-04
4,31E-01	1,46E-01	5,29E-03	5,83E-01	1,21E-05	7,44E-09	2,85E-10	1,21E-05	3,52E-04	4,52E-05	3,35E-06	4,00E-04
4,26E-01	1,44E-01	5,23E-03	5,75E-01	1,19E-05	7,34E-09	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	4,46E-05	3,31E-06	3,95E-04
4,25E-01	1,44E-01	5,21E-03	5,74E-01	1,19E-05	7,34E-09	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	4,46E-05	3,30E-06	3,94E-04
4,90E-01	2,55E-01	6,02E-03	7,52E-01	1,37E-05	1,30E-08	3,24E-10	1,37E-05	4,00E-04	7,88E-05	3,81E-06	4,83E-04
5,46E-01	3,28E-01	6,70E-03	8,80E-01	1,53E-05	1,67E-08	3,60E-10	1,53E-05	4,45E-04	1,01E-04	4,24E-06	5,51E-04
4,33E-01	1,47E-01	5,32E-03	5,85E-01	1,21E-05	7,47E-09	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	4,54E-05	3,36E-06	4,02E-04
4,32E-01	1,44E-01	5,31E-03	5,81E-01	1,21E-05	7,30E-09	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	4,44E-05	3,36E-06	4,00E-04
4,53E-01	1,68E-01	5,57E-03	6,27E-01	1,27E-05	8,55E-09	2,99E-10	1,27E-05	3,70E-04	5,20E-05	3,52E-06	4,25E-04
3,70E-01	4,85E-02	4,55E-03	4,23E-01	1,04E-05	2,47E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	1,50E-05	2,88E-06	3,20E-04
5,73E-01	2,93E-01	7,03E-03	8,73E-01	1,60E-05	1,49E-08	3,78E-10	1,60E-05	4,67E-04	9,05E-05	4,45E-06	5,62E-04
3,70E-01	5,08E-02	4,54E-03	4,26E-01	1,04E-05	2,58E-09	2,44E-10	1,04E-05	3,02E-04	1,57E-05	2,88E-06	3,21E-04
5,05E-01	2,63E-01	6,20E-03	7,74E-01	1,41E-05	1,34E-08	3,33E-10	1,41E-05	4,12E-04	8,14E-05	3,92E-06	4,97E-04
3,74E-01	5,23E-02	4,58E-03	4,30E-01	1,04E-05	2,66E-09	2,47E-10	1,04E-05	3,05E-04	1,62E-05	2,90E-06	3,24E-04
3,74E-01	5,43E-02	4,59E-03	4,33E-01	1,05E-05	2,76E-09	2,47E-10	1,05E-05	3,05E-04	1,68E-05	2,90E-06	3,25E-04
3,71E-01	5,28E-02	4,55E-03	4,28E-01	1,04E-05	2,68E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	1,63E-05	2,88E-06	3,21E-04
4,78E-01	2,04E-01	5,87E-03	6,88E-01	1,34E-05	1,04E-08	3,16E-10	1,34E-05	3,90E-04	6,30E-05	3,71E-06	4,57E-04
3,64E-01	2,17E-02	4,47E-03	3,90E-01	1,02E-05	1,10E-09	2,40E-10	1,02E-05	2,97E-04	6,71E-06	2,83E-06	3,07E-04
3,59E-01	1,81E-02	4,41E-03	3,82E-01	1,01E-05	9,21E-10	2,37E-10	1,01E-05	2,93E-04	5,60E-06	2,79E-06	3,02E-04
3,68E-01	3,70E-02	4,51E-03	4,09E-01	1,03E-05	1,88E-09	2,43E-10	1,03E-05	3,00E-04	1,14E-05	2,86E-06	3,14E-04
3,66E-01	2,62E-02	4,49E-03	3,96E-01	1,02E-05	1,33E-09	2,41E-10	1,02E-05	2,98E-04	8,09E-06	2,84E-06	3,09E-04
3,89E-01	6,25E-02	4,77E-03	4,56E-01	1,09E-05	3,18E-09	2,57E-10	1,09E-05	3,17E-04	1,93E-05	3,02E-06	3,40E-04
3,62E-01	2,18E-02	4,44E-03	3,88E-01	1,01E-05	1,11E-09	2,39E-10	1,01E-05	2,95E-04	6,74E-06	2,81E-06	3,05E-04
3,86E-01	6,69E-02	4,73E-03	4,57E-01	1,08E-05	3,40E-09	2,55E-10	1,08E-05	3,15E-04	2,07E-05	3,00E-06	3,38E-04

Tabella A.39: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 2

Scenario 2: Elettricità - mix energetico europeo							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ^{3-_{eq}})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
5,68E-03	1,65E-03	8,44E-05	7,41E-03	7,54E-03	1,27E-03	2,81E-05	8,83E-03
3,41E-03	5,99E-04	5,07E-05	4,06E-03	4,53E-03	4,60E-04	1,69E-05	5,00E-03
3,38E-03	5,80E-04	5,02E-05	4,01E-03	4,49E-03	4,46E-04	1,67E-05	4,95E-03
3,34E-03	5,72E-04	4,96E-05	3,96E-03	4,43E-03	4,40E-04	1,65E-05	4,89E-03
3,33E-03	5,73E-04	4,95E-05	3,96E-03	4,42E-03	4,40E-04	1,65E-05	4,88E-03
3,85E-03	1,01E-03	5,72E-05	4,92E-03	5,11E-03	7,78E-04	1,91E-05	5,90E-03
4,28E-03	1,30E-03	6,36E-05	5,65E-03	5,68E-03	9,99E-04	2,12E-05	6,70E-03
3,40E-03	5,82E-04	5,05E-05	4,03E-03	4,51E-03	4,48E-04	1,68E-05	4,97E-03

3,39E-03	5,69E-04	5,04E-05	4,01E-03	4,50E-03	4,38E-04	1,68E-05	4,96E-03
3,56E-03	6,66E-04	5,28E-05	4,28E-03	4,72E-03	5,13E-04	1,76E-05	5,25E-03
2,91E-03	1,92E-04	4,32E-05	3,14E-03	3,86E-03	1,48E-04	1,44E-05	4,02E-03
4,50E-03	1,16E-03	6,68E-05	5,72E-03	5,96E-03	8,93E-04	2,23E-05	6,88E-03
2,91E-03	2,01E-04	4,31E-05	3,15E-03	3,85E-03	1,55E-04	1,44E-05	4,02E-03
3,96E-03	1,04E-03	5,88E-05	5,07E-03	5,26E-03	8,03E-04	1,96E-05	6,08E-03
2,93E-03	2,07E-04	4,35E-05	3,18E-03	3,89E-03	1,60E-04	1,45E-05	4,06E-03
2,93E-03	2,15E-04	4,36E-05	3,19E-03	3,89E-03	1,66E-04	1,45E-05	4,07E-03
2,91E-03	2,09E-04	4,32E-05	3,16E-03	3,86E-03	1,61E-04	1,44E-05	4,03E-03
3,75E-03	8,08E-04	5,57E-05	4,62E-03	4,98E-03	6,21E-04	1,86E-05	5,62E-03
2,86E-03	8,61E-05	4,24E-05	2,99E-03	3,79E-03	6,62E-05	1,41E-05	3,87E-03
2,82E-03	7,18E-05	4,19E-05	2,93E-03	3,74E-03	5,52E-05	1,40E-05	3,81E-03
2,89E-03	1,47E-04	4,29E-05	3,08E-03	3,83E-03	1,13E-04	1,43E-05	3,96E-03
2,87E-03	1,04E-04	4,26E-05	3,02E-03	3,81E-03	7,98E-05	1,42E-05	3,90E-03
3,05E-03	2,48E-04	4,53E-05	3,34E-03	4,05E-03	1,91E-04	1,51E-05	4,25E-03
2,84E-03	8,64E-05	4,22E-05	2,97E-03	3,77E-03	6,65E-05	1,41E-05	3,85E-03
3,03E-03	2,65E-04	4,49E-05	3,34E-03	4,01E-03	2,04E-04	1,50E-05	4,23E-03

Tabella A.40: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,492	0,808	0,432	7,732	0,609	2,989	0,027	3,625	7,101	3,798	0,459	11,357
3,899	0,294	0,259	4,452	0,365	1,086	0,016	1,467	4,265	1,379	0,276	5,920
3,866	0,284	0,257	4,408	0,362	1,052	0,016	1,431	4,228	1,336	0,273	5,838
3,818	0,281	0,254	4,352	0,358	1,038	0,016	1,412	4,176	1,319	0,270	5,764
3,810	0,281	0,253	4,344	0,357	1,039	0,016	1,412	4,167	1,319	0,269	5,756
4,399	0,496	0,293	5,187	0,412	1,834	0,018	2,265	4,811	2,330	0,311	7,452
4,895	0,637	0,326	5,858	0,459	2,356	0,020	2,835	5,354	2,993	0,346	8,693
3,884	0,286	0,258	4,428	0,364	1,056	0,016	1,436	4,248	1,342	0,275	5,865
3,878	0,279	0,258	4,415	0,364	1,032	0,016	1,412	4,242	1,312	0,274	5,828
4,066	0,327	0,270	4,664	0,381	1,209	0,017	1,607	4,448	1,536	0,287	6,271
3,322	0,094	0,221	3,637	0,311	0,349	0,014	0,674	3,633	0,443	0,235	4,311
5,138	0,569	0,342	6,049	0,482	2,105	0,021	2,608	5,619	2,674	0,363	8,657
3,320	0,099	0,221	3,640	0,311	0,365	0,014	0,690	3,632	0,464	0,235	4,330
4,529	0,512	0,301	5,342	0,424	1,893	0,019	2,337	4,953	2,405	0,320	7,679
3,350	0,102	0,223	3,674	0,314	0,376	0,014	0,704	3,664	0,478	0,237	4,378
3,353	0,106	0,223	3,682	0,314	0,391	0,014	0,719	3,667	0,496	0,237	4,401
3,323	0,103	0,221	3,647	0,311	0,379	0,014	0,705	3,635	0,482	0,235	4,352
4,288	0,396	0,285	4,970	0,402	1,465	0,018	1,885	4,690	1,861	0,303	6,855
3,265	0,042	0,217	3,525	0,306	0,156	0,014	0,476	3,572	0,198	0,231	4,001
3,223	0,035	0,214	3,473	0,302	0,130	0,013	0,446	3,525	0,166	0,228	3,918
3,298	0,072	0,219	3,589	0,309	0,266	0,014	0,589	3,607	0,338	0,233	4,179

3,279	0,051	0,218	3,548	0,307	0,188	0,014	0,509	3,586	0,239	0,232	4,057
3,487	0,122	0,232	3,841	0,327	0,450	0,015	0,791	3,814	0,571	0,247	4,632
3,245	0,042	0,216	3,503	0,304	0,157	0,014	0,474	3,549	0,199	0,229	3,978
3,458	0,130	0,230	3,818	0,324	0,481	0,014	0,820	3,782	0,611	0,244	4,638

Tabella A.41: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
7,24E-01	5,04E-02	8,89E-03	7,83E-01	2,02E-05	1,60E-08	4,78E-10	2,03E-05	5,91E-04	6,93E-05	5,62E-06	6,65E-04
4,35E-01	1,83E-02	5,34E-03	4,58E-01	1,22E-05	5,80E-09	2,87E-10	1,22E-05	3,55E-04	2,52E-05	3,38E-06	3,83E-04
4,31E-01	1,77E-02	5,29E-03	4,54E-01	1,21E-05	5,62E-09	2,85E-10	1,21E-05	3,52E-04	2,44E-05	3,35E-06	3,79E-04
4,26E-01	1,75E-02	5,23E-03	4,48E-01	1,19E-05	5,55E-09	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	2,40E-05	3,31E-06	3,75E-04
4,25E-01	1,75E-02	5,21E-03	4,48E-01	1,19E-05	5,55E-09	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	2,41E-05	3,30E-06	3,74E-04
4,90E-01	3,09E-02	6,02E-03	5,27E-01	1,37E-05	9,80E-09	3,24E-10	1,37E-05	4,00E-04	4,25E-05	3,81E-06	4,46E-04
5,46E-01	3,97E-02	6,70E-03	5,92E-01	1,53E-05	1,26E-08	3,60E-10	1,53E-05	4,45E-04	5,46E-05	4,24E-06	5,04E-04
4,33E-01	1,78E-02	5,32E-03	4,56E-01	1,21E-05	5,64E-09	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	2,45E-05	3,36E-06	3,81E-04
4,32E-01	1,74E-02	5,31E-03	4,55E-01	1,21E-05	5,52E-09	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	2,39E-05	3,36E-06	3,80E-04
4,53E-01	2,04E-02	5,57E-03	4,79E-01	1,27E-05	6,46E-09	2,99E-10	1,27E-05	3,70E-04	2,80E-05	3,52E-06	4,01E-04
3,70E-01	5,88E-03	4,55E-03	3,81E-01	1,04E-05	1,86E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	8,08E-06	2,88E-06	3,13E-04
5,73E-01	3,55E-02	7,03E-03	6,15E-01	1,60E-05	1,12E-08	3,78E-10	1,60E-05	4,67E-04	4,88E-05	4,45E-06	5,21E-04
3,70E-01	6,15E-03	4,54E-03	3,81E-01	1,04E-05	1,95E-09	2,44E-10	1,04E-05	3,02E-04	8,46E-06	2,88E-06	3,13E-04
5,05E-01	3,19E-02	6,20E-03	5,43E-01	1,41E-05	1,01E-08	3,33E-10	1,41E-05	4,12E-04	4,39E-05	3,92E-06	4,60E-04
3,74E-01	6,34E-03	4,58E-03	3,84E-01	1,04E-05	2,01E-09	2,47E-10	1,04E-05	3,05E-04	8,72E-06	2,90E-06	3,16E-04
3,74E-01	6,58E-03	4,59E-03	3,85E-01	1,05E-05	2,09E-09	2,47E-10	1,05E-05	3,05E-04	9,05E-06	2,90E-06	3,17E-04
3,71E-01	6,39E-03	4,55E-03	3,82E-01	1,04E-05	2,03E-09	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	8,79E-06	2,88E-06	3,14E-04
4,78E-01	2,47E-02	5,87E-03	5,09E-01	1,34E-05	7,83E-09	3,16E-10	1,34E-05	3,90E-04	3,39E-05	3,71E-06	4,28E-04
3,64E-01	2,63E-03	4,47E-03	3,71E-01	1,02E-05	8,34E-10	2,40E-10	1,02E-05	2,97E-04	3,62E-06	2,83E-06	3,03E-04
3,59E-01	2,20E-03	4,41E-03	3,66E-01	1,01E-05	6,96E-10	2,37E-10	1,01E-05	2,93E-04	3,02E-06	2,79E-06	2,99E-04
3,68E-01	4,49E-03	4,51E-03	3,77E-01	1,03E-05	1,42E-09	2,43E-10	1,03E-05	3,00E-04	6,17E-06	2,86E-06	3,09E-04
3,66E-01	3,17E-03	4,49E-03	3,73E-01	1,02E-05	1,01E-09	2,41E-10	1,02E-05	2,98E-04	4,36E-06	2,84E-06	3,05E-04
3,89E-01	7,58E-03	4,77E-03	4,01E-01	1,09E-05	2,40E-09	2,57E-10	1,09E-05	3,17E-04	1,04E-05	3,02E-06	3,31E-04
3,62E-01	2,64E-03	4,44E-03	3,69E-01	1,01E-05	8,37E-10	2,39E-10	1,01E-05	2,95E-04	3,63E-06	2,81E-06	3,02E-04
3,86E-01	8,11E-03	4,73E-03	3,98E-01	1,08E-05	2,57E-09	2,55E-10	1,08E-05	3,15E-04	1,11E-05	3,00E-06	3,29E-04

Tabella A.42: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 3

Scenario 3: Elettricità - pannelli fotovoltaici in Italia							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
5,68E-03	2,12E-04	8,44E-05	5,98E-03	7,54E-03	1,56E-04	2,81E-05	7,72E-03
3,41E-03	7,71E-05	5,07E-05	3,54E-03	4,53E-03	5,66E-05	1,69E-05	4,60E-03
3,38E-03	7,47E-05	5,02E-05	3,51E-03	4,49E-03	5,48E-05	1,67E-05	4,56E-03
3,34E-03	7,37E-05	4,96E-05	3,46E-03	4,43E-03	5,41E-05	1,65E-05	4,50E-03

3,33E-03	7,37E-05	4,95E-05	3,46E-03	4,42E-03	5,41E-05	1,65E-05	4,49E-03
3,85E-03	1,30E-04	5,72E-05	4,04E-03	5,11E-03	9,56E-05	1,91E-05	5,22E-03
4,28E-03	1,67E-04	6,36E-05	4,51E-03	5,68E-03	1,23E-04	2,12E-05	5,83E-03
3,40E-03	7,50E-05	5,05E-05	3,52E-03	4,51E-03	5,50E-05	1,68E-05	4,58E-03
3,39E-03	7,33E-05	5,04E-05	3,52E-03	4,50E-03	5,38E-05	1,68E-05	4,57E-03
3,56E-03	8,58E-05	5,28E-05	3,70E-03	4,72E-03	6,30E-05	1,76E-05	4,80E-03
2,91E-03	2,48E-05	4,32E-05	2,97E-03	3,86E-03	1,82E-05	1,44E-05	3,89E-03
4,50E-03	1,49E-04	6,68E-05	4,71E-03	5,96E-03	1,10E-04	2,23E-05	6,10E-03
2,91E-03	2,59E-05	4,31E-05	2,97E-03	3,85E-03	1,90E-05	1,44E-05	3,89E-03
3,96E-03	1,34E-04	5,88E-05	4,16E-03	5,26E-03	9,87E-05	1,96E-05	5,38E-03
2,93E-03	2,67E-05	4,35E-05	3,00E-03	3,89E-03	1,96E-05	1,45E-05	3,92E-03
2,93E-03	2,77E-05	4,36E-05	3,01E-03	3,89E-03	2,04E-05	1,45E-05	3,93E-03
2,91E-03	2,69E-05	4,32E-05	2,98E-03	3,86E-03	1,98E-05	1,44E-05	3,89E-03
3,75E-03	1,04E-04	5,57E-05	3,91E-03	4,98E-03	7,64E-05	1,86E-05	5,07E-03
2,86E-03	1,11E-05	4,24E-05	2,91E-03	3,79E-03	8,13E-06	1,41E-05	3,81E-03
2,82E-03	9,25E-06	4,19E-05	2,87E-03	3,74E-03	6,79E-06	1,40E-05	3,76E-03
2,89E-03	1,89E-05	4,29E-05	2,95E-03	3,83E-03	1,39E-05	1,43E-05	3,86E-03
2,87E-03	1,34E-05	4,26E-05	2,92E-03	3,81E-03	9,81E-06	1,42E-05	3,83E-03
3,05E-03	3,19E-05	4,53E-05	3,13E-03	4,05E-03	2,34E-05	1,51E-05	4,09E-03
2,84E-03	1,11E-05	4,22E-05	2,89E-03	3,77E-03	8,17E-06	1,41E-05	3,79E-03
3,03E-03	3,41E-05	4,49E-05	3,10E-03	4,01E-03	2,51E-05	1,50E-05	4,05E-03

Tabella A.43: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
Consumo di energia primaria non rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria rinnovabile (MJ)				Consumo di energia primaria totale (MJ)			
Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale	Produzione	Uso	Fine vita	Totale
6,492	0,126	0,432	7,050	0,609	2,882	0,027	3,518	7,101	3,008	0,459	10,568
3,899	0,046	0,259	4,204	0,365	1,047	0,016	1,429	4,265	1,092	0,276	5,633
3,866	0,044	0,257	4,167	0,362	1,014	0,016	1,393	4,228	1,059	0,273	5,560
3,818	0,044	0,254	4,115	0,358	1,001	0,016	1,375	4,176	1,044	0,270	5,490
3,810	0,044	0,253	4,107	0,357	1,001	0,016	1,374	4,167	1,045	0,269	5,481
4,399	0,077	0,293	4,768	0,412	1,769	0,018	2,199	4,811	1,846	0,311	6,968
4,895	0,099	0,326	5,320	0,459	2,271	0,020	2,750	5,354	2,370	0,346	8,071
3,884	0,044	0,258	4,187	0,364	1,018	0,016	1,399	4,248	1,063	0,275	5,586
3,878	0,043	0,258	4,180	0,364	0,995	0,016	1,375	4,242	1,039	0,274	5,555
4,066	0,051	0,270	4,388	0,381	1,166	0,017	1,564	4,448	1,217	0,287	5,952
3,322	0,015	0,221	3,557	0,311	0,336	0,014	0,662	3,633	0,351	0,235	4,219
5,138	0,089	0,342	5,568	0,482	2,030	0,021	2,533	5,619	2,118	0,363	8,101
3,320	0,015	0,221	3,557	0,311	0,352	0,014	0,677	3,632	0,367	0,235	4,234
4,529	0,080	0,301	4,910	0,424	1,825	0,019	2,269	4,953	1,905	0,320	7,179
3,350	0,016	0,223	3,588	0,314	0,363	0,014	0,691	3,664	0,379	0,237	4,279
3,353	0,016	0,223	3,593	0,314	0,377	0,014	0,705	3,667	0,393	0,237	4,297
3,323	0,016	0,221	3,560	0,311	0,366	0,014	0,691	3,635	0,382	0,235	4,251

4,288	0,062	0,285	4,635	0,402	1,413	0,018	1,833	4,690	1,474	0,303	6,468
3,265	0,007	0,217	3,489	0,306	0,151	0,014	0,470	3,572	0,157	0,231	3,959
3,223	0,005	0,214	3,443	0,302	0,126	0,013	0,441	3,525	0,131	0,228	3,884
3,298	0,011	0,219	3,529	0,309	0,257	0,014	0,580	3,607	0,268	0,233	4,108
3,279	0,008	0,218	3,505	0,307	0,181	0,014	0,503	3,586	0,189	0,232	4,008
3,487	0,019	0,232	3,738	0,327	0,434	0,015	0,775	3,814	0,453	0,247	4,513
3,245	0,007	0,216	3,467	0,304	0,151	0,014	0,469	3,549	0,158	0,229	3,936
3,458	0,020	0,230	3,708	0,324	0,464	0,014	0,802	3,782	0,484	0,244	4,511

Tabella A.44: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa											
GWP (kg CO _{2eq})				ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kg C ₂ H _{4eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale
7,24E-01	8,37E-03	8,89E-03	7,41E-01	2,02E-05	3,94E-10	4,78E-10	2,02E-05	5,91E-04	6,79E-06	5,62E-06	6,03E-04
4,35E-01	3,04E-03	5,34E-03	4,43E-01	1,22E-05	1,43E-10	2,87E-10	1,22E-05	3,55E-04	2,47E-06	3,38E-06	3,61E-04
4,31E-01	2,95E-03	5,29E-03	4,39E-01	1,21E-05	1,38E-10	2,85E-10	1,21E-05	3,52E-04	2,39E-06	3,35E-06	3,57E-04
4,26E-01	2,91E-03	5,23E-03	4,34E-01	1,19E-05	1,37E-10	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	2,36E-06	3,31E-06	3,53E-04
4,25E-01	2,91E-03	5,21E-03	4,33E-01	1,19E-05	1,37E-10	2,81E-10	1,19E-05	3,47E-04	2,36E-06	3,30E-06	3,52E-04
4,90E-01	5,14E-03	6,02E-03	5,02E-01	1,37E-05	2,41E-10	3,24E-10	1,37E-05	4,00E-04	4,17E-06	3,81E-06	4,08E-04
5,46E-01	6,60E-03	6,70E-03	5,59E-01	1,53E-05	3,10E-10	3,60E-10	1,53E-05	4,45E-04	5,35E-06	4,24E-06	4,55E-04
4,33E-01	2,96E-03	5,32E-03	4,41E-01	1,21E-05	1,39E-10	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	2,40E-06	3,36E-06	3,59E-04
4,32E-01	2,89E-03	5,31E-03	4,41E-01	1,21E-05	1,36E-10	2,86E-10	1,21E-05	3,53E-04	2,35E-06	3,36E-06	3,58E-04
4,53E-01	3,39E-03	5,57E-03	4,62E-01	1,27E-05	1,59E-10	2,99E-10	1,27E-05	3,70E-04	2,75E-06	3,52E-06	3,76E-04
3,70E-01	9,77E-04	4,55E-03	3,76E-01	1,04E-05	4,59E-11	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	7,93E-07	2,88E-06	3,06E-04
5,73E-01	5,89E-03	7,03E-03	5,86E-01	1,60E-05	2,77E-10	3,78E-10	1,60E-05	4,67E-04	4,78E-06	4,45E-06	4,77E-04
3,70E-01	1,02E-03	4,54E-03	3,76E-01	1,04E-05	4,81E-11	2,44E-10	1,04E-05	3,02E-04	8,30E-07	2,88E-06	3,06E-04
5,05E-01	5,30E-03	6,20E-03	5,16E-01	1,41E-05	2,49E-10	3,33E-10	1,41E-05	4,12E-04	4,30E-06	3,92E-06	4,20E-04
3,74E-01	1,05E-03	4,58E-03	3,79E-01	1,04E-05	4,95E-11	2,47E-10	1,04E-05	3,05E-04	8,55E-07	2,90E-06	3,08E-04
3,74E-01	1,09E-03	4,59E-03	3,80E-01	1,05E-05	5,14E-11	2,47E-10	1,05E-05	3,05E-04	8,88E-07	2,90E-06	3,09E-04
3,71E-01	1,06E-03	4,55E-03	3,76E-01	1,04E-05	4,99E-11	2,45E-10	1,04E-05	3,02E-04	8,62E-07	2,88E-06	3,06E-04
4,78E-01	4,10E-03	5,87E-03	4,88E-01	1,34E-05	1,93E-10	3,16E-10	1,34E-05	3,90E-04	3,33E-06	3,71E-06	3,97E-04
3,64E-01	4,37E-04	4,47E-03	3,69E-01	1,02E-05	2,05E-11	2,40E-10	1,02E-05	2,97E-04	3,55E-07	2,83E-06	3,00E-04
3,59E-01	3,65E-04	4,41E-03	3,64E-01	1,01E-05	1,72E-11	2,37E-10	1,01E-05	2,93E-04	2,96E-07	2,79E-06	2,96E-04
3,68E-01	7,46E-04	4,51E-03	3,73E-01	1,03E-05	3,50E-11	2,43E-10	1,03E-05	3,00E-04	6,05E-07	2,86E-06	3,03E-04
3,66E-01	5,27E-04	4,49E-03	3,71E-01	1,02E-05	2,48E-11	2,41E-10	1,02E-05	2,98E-04	4,28E-07	2,84E-06	3,02E-04
3,89E-01	1,26E-03	4,77E-03	3,95E-01	1,09E-05	5,92E-11	2,57E-10	1,09E-05	3,17E-04	1,02E-06	3,02E-06	3,21E-04
3,62E-01	4,39E-04	4,44E-03	3,67E-01	1,01E-05	2,06E-11	2,39E-10	1,01E-05	2,95E-04	3,56E-07	2,81E-06	2,98E-04
3,86E-01	1,35E-03	4,73E-03	3,92E-01	1,08E-05	6,33E-11	2,55E-10	1,08E-05	3,15E-04	1,09E-06	3,00E-06	3,19E-04

Tabella A.45: Impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Scenario 4

Scenario 4: Elettricità - turbine eoliche in Europa							
AP (kg SO _{2eq})				EP (kg PO ₄ ³⁻ _{eq})			
Produzione	Usò	Fine vita	Totale	Produzione	Usò	Fine vita	Totale

5,68E-03	3,35E-05	8,44E-05	5,80E-03	7,54E-03	2,04E-05	2,81E-05	7,58E-03
3,41E-03	1,22E-05	5,07E-05	3,47E-03	4,53E-03	7,40E-06	1,69E-05	4,55E-03
3,38E-03	1,18E-05	5,02E-05	3,44E-03	4,49E-03	7,17E-06	1,67E-05	4,51E-03
3,34E-03	1,16E-05	4,96E-05	3,40E-03	4,43E-03	7,07E-06	1,65E-05	4,46E-03
3,33E-03	1,17E-05	4,95E-05	3,39E-03	4,42E-03	7,08E-06	1,65E-05	4,45E-03
3,85E-03	2,06E-05	5,72E-05	3,93E-03	5,11E-03	1,25E-05	1,91E-05	5,14E-03
4,28E-03	2,64E-05	6,36E-05	4,37E-03	5,68E-03	1,60E-05	2,12E-05	5,72E-03
3,40E-03	1,18E-05	5,05E-05	3,46E-03	4,51E-03	7,19E-06	1,68E-05	4,53E-03
3,39E-03	1,16E-05	5,04E-05	3,46E-03	4,50E-03	7,03E-06	1,68E-05	4,53E-03
3,56E-03	1,36E-05	5,28E-05	3,62E-03	4,72E-03	8,24E-06	1,76E-05	4,75E-03
2,91E-03	3,91E-06	4,32E-05	2,95E-03	3,86E-03	2,38E-06	1,44E-05	3,87E-03
4,50E-03	2,36E-05	6,68E-05	4,59E-03	5,96E-03	1,43E-05	2,23E-05	6,00E-03
2,91E-03	4,10E-06	4,31E-05	2,95E-03	3,85E-03	2,49E-06	1,44E-05	3,87E-03
3,96E-03	2,12E-05	5,88E-05	4,04E-03	5,26E-03	1,29E-05	1,96E-05	5,29E-03
2,93E-03	4,22E-06	4,35E-05	2,98E-03	3,89E-03	2,56E-06	1,45E-05	3,91E-03
2,93E-03	4,38E-06	4,36E-05	2,98E-03	3,89E-03	2,66E-06	1,45E-05	3,91E-03
2,91E-03	4,26E-06	4,32E-05	2,96E-03	3,86E-03	2,58E-06	1,44E-05	3,87E-03
3,75E-03	1,64E-05	5,57E-05	3,82E-03	4,98E-03	9,98E-06	1,86E-05	5,01E-03
2,86E-03	1,75E-06	4,24E-05	2,90E-03	3,79E-03	1,06E-06	1,41E-05	3,81E-03
2,82E-03	1,46E-06	4,19E-05	2,86E-03	3,74E-03	8,88E-07	1,40E-05	3,76E-03
2,89E-03	2,99E-06	4,29E-05	2,93E-03	3,83E-03	1,81E-06	1,43E-05	3,84E-03
2,87E-03	2,11E-06	4,26E-05	2,91E-03	3,81E-03	1,28E-06	1,42E-05	3,82E-03
3,05E-03	5,05E-06	4,53E-05	3,10E-03	4,05E-03	3,06E-06	1,51E-05	4,07E-03
2,84E-03	1,76E-06	4,22E-05	2,88E-03	3,77E-03	1,07E-06	1,41E-05	3,78E-03
3,03E-03	5,40E-06	4,49E-05	3,08E-03	4,01E-03	3,28E-06	1,50E-05	4,03E-03

Tabella A.46: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d'uso

Consumo di energia primaria totale (MJ)				GWP (kgCO _{2eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
2,253	2,586	1,076	0,852	1,50E-01	1,18E-01	1,43E-02	2,37E-03
2,766	3,175	1,321	1,047	1,85E-01	1,45E-01	1,75E-02	2,91E-03
1,641	1,884	0,784	0,621	1,10E-01	8,58E-02	1,04E-02	1,73E-03
1,564	1,796	0,747	0,592	1,04E-01	8,18E-02	9,91E-03	1,65E-03
1,594	1,830	0,762	0,603	1,06E-01	8,34E-02	1,01E-02	1,68E-03
1,516	1,740	0,724	0,574	1,01E-01	7,93E-02	9,60E-03	1,60E-03
1,815	2,083	0,867	0,687	1,21E-01	9,49E-02	1,15E-02	1,91E-03
1,623	1,863	0,775	0,614	1,08E-01	8,49E-02	1,03E-02	1,71E-03
1,520	1,745	0,726	0,575	1,01E-01	7,95E-02	9,63E-03	1,60E-03
2,010	2,308	0,960	0,761	1,34E-01	1,05E-01	1,27E-02	2,12E-03
2,122	2,436	1,014	0,803	1,42E-01	1,11E-01	1,34E-02	2,23E-03

1,583	1,817	0,756	0,599	1,06E-01	8,28E-02	1,00E-02	1,67E-03
1,590	1,825	0,760	0,602	1,06E-01	8,31E-02	1,01E-02	1,67E-03
3,388	3,889	1,618	1,282	2,26E-01	1,77E-01	2,15E-02	3,57E-03
0,889	1,020	0,425	0,336	5,93E-02	4,65E-02	5,63E-03	9,36E-04
1,921	2,205	0,917	0,727	1,28E-01	1,00E-01	1,22E-02	2,02E-03
1,095	1,258	0,523	0,415	7,31E-02	5,73E-02	6,94E-03	1,15E-03
1,016	1,166	0,485	0,384	6,78E-02	5,31E-02	6,44E-03	1,07E-03
1,532	1,759	0,732	0,580	1,02E-01	8,01E-02	9,71E-03	1,61E-03
1,964	2,254	0,938	0,743	1,31E-01	1,03E-01	1,24E-02	2,07E-03

Tabella A.47: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kgC ₂ H _{4eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
1,76E-08	5,99E-09	4,53E-09	1,12E-10	7,01E-05	3,64E-05	1,96E-05	1,93E-06
2,17E-08	7,35E-09	5,56E-09	1,37E-10	8,61E-05	4,47E-05	2,41E-05	2,36E-06
1,29E-08	4,36E-09	3,30E-09	8,12E-11	5,11E-05	2,65E-05	1,43E-05	1,40E-06
1,23E-08	4,16E-09	3,14E-09	7,74E-11	4,87E-05	2,53E-05	1,36E-05	1,34E-06
1,25E-08	4,24E-09	3,20E-09	7,89E-11	4,96E-05	2,58E-05	1,39E-05	1,36E-06
1,19E-08	4,03E-09	3,05E-09	7,50E-11	4,72E-05	2,45E-05	1,32E-05	1,30E-06
1,42E-08	4,82E-09	3,65E-09	8,98E-11	5,65E-05	2,93E-05	1,58E-05	1,55E-06
1,27E-08	4,31E-09	3,26E-09	8,03E-11	5,05E-05	2,62E-05	1,41E-05	1,39E-06
1,19E-08	4,04E-09	3,05E-09	7,53E-11	4,73E-05	2,46E-05	1,32E-05	1,30E-06
1,57E-08	5,34E-09	4,04E-09	9,95E-11	6,26E-05	3,25E-05	1,75E-05	1,72E-06
1,66E-08	5,64E-09	4,26E-09	1,05E-10	6,60E-05	3,43E-05	1,85E-05	1,81E-06
1,24E-08	4,21E-09	3,18E-09	7,84E-11	4,93E-05	2,56E-05	1,38E-05	1,35E-06
1,25E-08	4,23E-09	3,19E-09	7,87E-11	4,95E-05	2,57E-05	1,39E-05	1,36E-06
2,65E-08	9,01E-09	6,81E-09	1,68E-10	1,05E-04	5,48E-05	2,95E-05	2,90E-06
6,96E-09	2,36E-09	1,79E-09	4,40E-11	2,77E-05	1,44E-05	7,75E-06	7,60E-07
1,50E-08	5,11E-09	3,86E-09	9,51E-11	5,98E-05	3,10E-05	1,67E-05	1,64E-06
8,58E-09	2,91E-09	2,20E-09	5,42E-11	3,41E-05	1,77E-05	9,54E-06	9,36E-07
7,96E-09	2,70E-09	2,04E-09	5,03E-11	3,16E-05	1,64E-05	8,85E-06	8,68E-07
1,20E-08	4,07E-09	3,08E-09	7,58E-11	4,77E-05	2,48E-05	1,34E-05	1,31E-06
1,54E-08	5,22E-09	3,95E-09	9,72E-11	6,11E-05	3,17E-05	1,71E-05	1,68E-06

Tabella A.48: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 30 Ah – Fase d’uso

AP (kgSO _{2eq})				EP (kgPO ₄ ³⁻ _{eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
6,20E-04	4,67E-04	6,01E-05	9,50E-06	1,55E-04	3,59E-04	4,41E-05	5,77E-06
7,61E-04	5,73E-04	7,38E-05	1,17E-05	1,91E-04	4,41E-04	5,42E-05	7,09E-06
4,51E-04	3,40E-04	4,38E-05	6,92E-06	1,13E-04	2,62E-04	3,22E-05	4,20E-06
4,30E-04	3,24E-04	4,17E-05	6,60E-06	1,08E-04	2,49E-04	3,07E-05	4,01E-06
4,39E-04	3,30E-04	4,26E-05	6,73E-06	1,10E-04	2,54E-04	3,12E-05	4,08E-06
4,17E-04	3,14E-04	4,05E-05	6,40E-06	1,04E-04	2,42E-04	2,97E-05	3,88E-06
4,99E-04	3,76E-04	4,84E-05	7,66E-06	1,25E-04	2,89E-04	3,56E-05	4,65E-06
4,46E-04	3,36E-04	4,33E-05	6,85E-06	1,12E-04	2,59E-04	3,18E-05	4,16E-06

4,18E-04	3,15E-04	4,06E-05	6,41E-06	1,05E-04	2,42E-04	2,98E-05	3,89E-06
5,53E-04	4,17E-04	5,37E-05	8,48E-06	1,39E-04	3,21E-04	3,94E-05	5,15E-06
5,84E-04	4,40E-04	5,66E-05	8,95E-06	1,46E-04	3,38E-04	4,16E-05	5,44E-06
4,36E-04	3,28E-04	4,23E-05	6,68E-06	1,09E-04	2,52E-04	3,10E-05	4,06E-06
4,37E-04	3,30E-04	4,24E-05	6,71E-06	1,10E-04	2,54E-04	3,12E-05	4,07E-06
9,32E-04	7,02E-04	9,04E-05	1,43E-05	2,33E-04	5,40E-04	6,64E-05	8,68E-06
2,45E-04	1,84E-04	2,37E-05	3,75E-06	6,13E-05	1,42E-04	1,74E-05	2,28E-06
5,28E-04	3,98E-04	5,13E-05	8,10E-06	1,32E-04	3,06E-04	3,76E-05	4,92E-06
3,01E-04	2,27E-04	2,92E-05	4,62E-06	7,55E-05	1,75E-04	2,15E-05	2,81E-06
2,79E-04	2,11E-04	2,71E-05	4,29E-06	7,00E-05	1,62E-04	1,99E-05	2,60E-06
4,22E-04	3,18E-04	4,09E-05	6,46E-06	1,06E-04	2,44E-04	3,00E-05	3,93E-06
5,40E-04	4,07E-04	5,24E-05	8,29E-06	1,35E-04	3,13E-04	3,85E-05	5,03E-06

Tabella A.49: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

Consumo di energia primaria totale (MJ)				GWP (kgCO _{2eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
8,988	10,317	4,293	3,401	6,00E-01	4,70E-01	5,69E-02	9,46E-03
2,459	2,823	1,175	0,930	1,64E-01	1,29E-01	1,56E-02	2,59E-03
2,461	2,826	1,176	0,931	1,64E-01	1,29E-01	1,56E-02	2,59E-03
3,169	3,638	1,514	1,199	2,11E-01	1,66E-01	2,01E-02	3,34E-03
3,898	4,475	1,862	1,475	2,60E-01	2,04E-01	2,47E-02	4,10E-03
1,717	1,971	0,820	0,650	1,15E-01	8,98E-02	1,09E-02	1,81E-03
3,580	4,110	1,710	1,355	2,39E-01	1,87E-01	2,27E-02	3,77E-03
8,580	9,850	4,099	3,247	5,73E-01	4,49E-01	5,44E-02	9,03E-03
1,829	2,100	0,874	0,692	1,22E-01	9,56E-02	1,16E-02	1,93E-03
1,823	2,093	0,871	0,690	1,22E-01	9,53E-02	1,15E-02	1,92E-03
1,860	2,135	0,889	0,704	1,24E-01	9,73E-02	1,18E-02	1,96E-03
1,806	2,074	0,863	0,684	1,21E-01	9,45E-02	1,14E-02	1,90E-03
1,804	2,071	0,862	0,683	1,20E-01	9,43E-02	1,14E-02	1,90E-03
2,724	3,127	1,301	1,031	1,82E-01	1,42E-01	1,73E-02	2,87E-03
2,000	2,295	0,955	0,757	1,33E-01	1,05E-01	1,27E-02	2,11E-03
4,233	4,859	2,022	1,602	2,82E-01	2,21E-01	2,68E-02	4,46E-03
2,417	2,774	1,155	0,915	1,61E-01	1,26E-01	1,53E-02	2,54E-03
2,662	3,056	1,272	1,007	1,78E-01	1,39E-01	1,69E-02	2,80E-03
1,139	1,308	0,544	0,431	7,60E-02	5,96E-02	7,22E-03	1,20E-03
3,002	3,446	1,434	1,136	2,00E-01	1,57E-01	1,90E-02	3,16E-03

Tabella A.50: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d'uso

ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kgC ₂ H _{4eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
7,04E-08	2,39E-08	1,81E-08	4,45E-10	2,80E-04	1,45E-04	7,83E-05	7,68E-06
1,93E-08	6,54E-09	4,94E-09	1,22E-10	7,65E-05	3,97E-05	2,14E-05	2,10E-06

1,93E-08	6,54E-09	4,94E-09	1,22E-10	7,66E-05	3,98E-05	2,14E-05	2,10E-06
2,48E-08	8,42E-09	6,37E-09	1,57E-10	9,86E-05	5,12E-05	2,76E-05	2,71E-06
3,05E-08	1,04E-08	7,83E-09	1,93E-10	1,21E-04	6,30E-05	3,40E-05	3,33E-06
1,34E-08	4,56E-09	3,45E-09	8,50E-11	5,34E-05	2,77E-05	1,50E-05	1,47E-06
2,80E-08	9,52E-09	7,19E-09	1,77E-10	1,11E-04	5,79E-05	3,12E-05	3,06E-06
6,72E-08	2,28E-08	1,72E-08	4,25E-10	2,67E-04	1,39E-04	7,48E-05	7,33E-06
1,43E-08	4,86E-09	3,67E-09	9,05E-11	5,69E-05	2,96E-05	1,59E-05	1,56E-06
1,43E-08	4,85E-09	3,66E-09	9,02E-11	5,67E-05	2,95E-05	1,59E-05	1,56E-06
1,46E-08	4,94E-09	3,74E-09	9,21E-11	5,79E-05	3,01E-05	1,62E-05	1,59E-06
1,41E-08	4,80E-09	3,63E-09	8,94E-11	5,62E-05	2,92E-05	1,57E-05	1,54E-06
1,41E-08	4,80E-09	3,62E-09	8,93E-11	5,61E-05	2,92E-05	1,57E-05	1,54E-06
2,13E-08	7,24E-09	5,47E-09	1,35E-10	8,48E-05	4,40E-05	2,37E-05	2,33E-06
1,57E-08	5,32E-09	4,02E-09	9,90E-11	6,22E-05	3,23E-05	1,74E-05	1,71E-06
3,32E-08	1,13E-08	8,50E-09	2,10E-10	1,32E-04	6,84E-05	3,69E-05	3,62E-06
1,89E-08	6,43E-09	4,86E-09	1,20E-10	7,52E-05	3,91E-05	2,11E-05	2,07E-06
2,09E-08	7,08E-09	5,35E-09	1,32E-10	8,28E-05	4,30E-05	2,32E-05	2,28E-06
8,92E-09	3,03E-09	2,29E-09	5,64E-11	3,55E-05	1,84E-05	9,93E-06	9,74E-07
2,35E-08	7,98E-09	6,03E-09	1,49E-10	9,34E-05	4,85E-05	2,62E-05	2,57E-06

Tabella A.51: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 60 Ah – Fase d’uso

AP (kgSO _{2eq})				EP (kgPO ₄ ^{3-_{eq}})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
2,47E-03	1,86E-03	2,40E-04	3,79E-05	6,19E-04	1,43E-03	1,76E-04	2,30E-05
6,76E-04	5,10E-04	6,56E-05	1,04E-05	1,69E-04	3,92E-04	4,82E-05	6,30E-06
6,77E-04	5,10E-04	6,57E-05	1,04E-05	1,70E-04	3,92E-04	4,82E-05	6,31E-06
8,72E-04	6,57E-04	8,46E-05	1,34E-05	2,18E-04	5,05E-04	6,21E-05	8,12E-06
1,07E-03	8,08E-04	1,04E-04	1,64E-05	2,69E-04	6,22E-04	7,64E-05	9,99E-06
4,72E-04	3,56E-04	4,58E-05	7,24E-06	1,18E-04	2,74E-04	3,36E-05	4,40E-06
9,85E-04	7,42E-04	9,56E-05	1,51E-05	2,47E-04	5,71E-04	7,02E-05	9,17E-06
2,36E-03	1,78E-03	2,29E-04	3,62E-05	5,91E-04	1,37E-03	1,68E-04	2,20E-05
5,03E-04	3,79E-04	4,88E-05	7,72E-06	1,26E-04	2,92E-04	3,58E-05	4,69E-06
5,02E-04	3,78E-04	4,87E-05	7,69E-06	1,26E-04	2,91E-04	3,57E-05	4,67E-06
5,12E-04	3,86E-04	4,96E-05	7,85E-06	1,28E-04	2,97E-04	3,64E-05	4,76E-06
4,97E-04	3,74E-04	4,82E-05	7,62E-06	1,24E-04	2,88E-04	3,54E-05	4,63E-06
4,96E-04	3,74E-04	4,81E-05	7,61E-06	1,24E-04	2,88E-04	3,53E-05	4,62E-06
7,49E-04	5,65E-04	7,27E-05	1,15E-05	1,88E-04	4,34E-04	5,34E-05	6,98E-06
5,50E-04	4,15E-04	5,34E-05	8,44E-06	1,38E-04	3,19E-04	3,92E-05	5,12E-06
1,16E-03	8,77E-04	1,13E-04	1,79E-05	2,92E-04	6,75E-04	8,29E-05	1,08E-05
6,65E-04	5,01E-04	6,45E-05	1,02E-05	1,67E-04	3,85E-04	4,74E-05	6,19E-06
7,32E-04	5,52E-04	7,11E-05	1,12E-05	1,83E-04	4,24E-04	5,22E-05	6,82E-06
3,13E-04	2,36E-04	3,04E-05	4,81E-06	7,85E-05	1,82E-04	2,23E-05	2,92E-06
8,26E-04	6,22E-04	8,01E-05	1,27E-05	2,07E-04	4,79E-04	5,88E-05	7,69E-06

Tabella A.52: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d’uso

Consumo di energia primaria totale (MJ)	GWP (kgCO _{2eq})
---	----------------------------

Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
7,950	9,126	3,798	3,008	5,31E-01	4,16E-01	5,04E-02	8,37E-03
2,887	3,314	1,379	1,092	1,93E-01	1,51E-01	1,83E-02	3,04E-03
2,798	3,211	1,336	1,059	1,87E-01	1,46E-01	1,77E-02	2,95E-03
2,760	3,169	1,319	1,044	1,84E-01	1,44E-01	1,75E-02	2,91E-03
2,762	3,170	1,319	1,045	1,84E-01	1,44E-01	1,75E-02	2,91E-03
4,878	5,600	2,330	1,846	3,26E-01	2,55E-01	3,09E-02	5,14E-03
6,264	7,191	2,993	2,370	4,18E-01	3,28E-01	3,97E-02	6,60E-03
2,808	3,224	1,342	1,063	1,87E-01	1,47E-01	1,78E-02	2,96E-03
2,746	3,152	1,312	1,039	1,83E-01	1,44E-01	1,74E-02	2,89E-03
3,215	3,691	1,536	1,217	2,15E-01	1,68E-01	2,04E-02	3,39E-03
0,928	1,065	0,443	0,351	6,19E-02	4,85E-02	5,88E-03	9,77E-04
5,598	6,426	2,674	2,118	3,74E-01	2,93E-01	3,55E-02	5,89E-03
0,971	1,114	0,464	0,367	6,48E-02	5,08E-02	6,15E-03	1,02E-03
5,035	5,780	2,405	1,905	3,36E-01	2,63E-01	3,19E-02	5,30E-03
1,000	1,148	0,478	0,379	6,68E-02	5,23E-02	6,34E-03	1,05E-03
1,039	1,192	0,496	0,393	6,93E-02	5,43E-02	6,58E-03	1,09E-03
1,009	1,158	0,482	0,382	6,73E-02	5,28E-02	6,39E-03	1,06E-03
3,896	4,473	1,861	1,474	2,60E-01	2,04E-01	2,47E-02	4,10E-03
0,415	0,477	0,198	0,157	2,77E-02	2,17E-02	2,63E-03	4,37E-04
0,346	0,398	0,166	0,131	2,31E-02	1,81E-02	2,20E-03	3,65E-04
0,708	0,813	0,338	0,268	4,73E-02	3,70E-02	4,49E-03	7,46E-04
0,501	0,575	0,239	0,189	3,34E-02	2,62E-02	3,17E-03	5,27E-04
1,196	1,373	0,571	0,453	7,98E-02	6,25E-02	7,58E-03	1,26E-03
0,417	0,478	0,199	0,158	2,78E-02	2,18E-02	2,64E-03	4,39E-04
1,279	1,469	0,611	0,484	8,54E-02	6,69E-02	8,11E-03	1,35E-03

Tabella A.53: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d'uso

ODP (kg CFC-11 _{eq})				POCP (kgC ₂ H _{4eq})			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
6,23E-08	2,11E-08	1,60E-08	3,94E-10	2,47E-04	1,28E-04	6,93E-05	6,79E-06
2,26E-08	7,68E-09	5,80E-09	1,43E-10	8,98E-05	4,67E-05	2,52E-05	2,47E-06
2,19E-08	7,44E-09	5,62E-09	1,38E-10	8,70E-05	4,52E-05	2,44E-05	2,39E-06
2,16E-08	7,34E-09	5,55E-09	1,37E-10	8,59E-05	4,46E-05	2,40E-05	2,36E-06
2,16E-08	7,34E-09	5,55E-09	1,37E-10	8,59E-05	4,46E-05	2,41E-05	2,36E-06
3,82E-08	1,30E-08	9,80E-09	2,41E-10	1,52E-04	7,88E-05	4,25E-05	4,17E-06
4,91E-08	1,67E-08	1,26E-08	3,10E-10	1,95E-04	1,01E-04	5,46E-05	5,35E-06
2,20E-08	7,47E-09	5,64E-09	1,39E-10	8,74E-05	4,54E-05	2,45E-05	2,40E-06
2,15E-08	7,30E-09	5,52E-09	1,36E-10	8,54E-05	4,44E-05	2,39E-05	2,35E-06
2,52E-08	8,55E-09	6,46E-09	1,59E-10	1,00E-04	5,20E-05	2,80E-05	2,75E-06
7,27E-09	2,47E-09	1,86E-09	4,59E-11	2,89E-05	1,50E-05	8,08E-06	7,93E-07
4,39E-08	1,49E-08	1,12E-08	2,77E-10	1,74E-04	9,05E-05	4,88E-05	4,78E-06
7,60E-09	2,58E-09	1,95E-09	4,81E-11	3,02E-05	1,57E-05	8,46E-06	8,30E-07

3,94E-08	1,34E-08	1,01E-08	2,49E-10	1,57E-04	8,14E-05	4,39E-05	4,30E-06
7,84E-09	2,66E-09	2,01E-09	4,95E-11	3,11E-05	1,62E-05	8,72E-06	8,55E-07
8,13E-09	2,76E-09	2,09E-09	5,14E-11	3,23E-05	1,68E-05	9,05E-06	8,88E-07
7,90E-09	2,68E-09	2,03E-09	4,99E-11	3,14E-05	1,63E-05	8,79E-06	8,62E-07
3,05E-08	1,04E-08	7,83E-09	1,93E-10	1,21E-04	6,30E-05	3,39E-05	3,33E-06
3,25E-09	1,10E-09	8,34E-10	2,05E-11	1,29E-05	6,71E-06	3,62E-06	3,55E-07
2,71E-09	9,21E-10	6,96E-10	1,72E-11	1,08E-05	5,60E-06	3,02E-06	2,96E-07
5,55E-09	1,88E-09	1,42E-09	3,50E-11	2,20E-05	1,14E-05	6,17E-06	6,05E-07
3,92E-09	1,33E-09	1,01E-09	2,48E-11	1,56E-05	8,09E-06	4,36E-06	4,28E-07
9,37E-09	3,18E-09	2,40E-09	5,92E-11	3,72E-05	1,93E-05	1,04E-05	1,02E-06
3,26E-09	1,11E-09	8,37E-10	2,06E-11	1,30E-05	6,74E-06	3,63E-06	3,56E-07
1,00E-08	3,40E-09	2,57E-09	6,33E-11	3,98E-05	2,07E-05	1,11E-05	1,09E-06

Tabella A.54: Confronto degli impatti energetico – ambientali riferiti ad 1 kWh di energia fornita dalla batteria 100 Ah – Fase d’uso

AP (kgSO _{2eq})				EP (kgPO ₄ ³⁻ eq)			
Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
2,19E-03	1,65E-03	2,12E-04	3,35E-05	5,48E-04	1,27E-03	1,56E-04	2,04E-05
7,94E-04	5,99E-04	7,71E-05	1,22E-05	1,99E-04	4,60E-04	5,66E-05	7,40E-06
7,70E-04	5,80E-04	7,47E-05	1,18E-05	1,93E-04	4,46E-04	5,48E-05	7,17E-06
7,59E-04	5,72E-04	7,37E-05	1,16E-05	1,90E-04	4,40E-04	5,41E-05	7,07E-06
7,60E-04	5,73E-04	7,37E-05	1,17E-05	1,90E-04	4,40E-04	5,41E-05	7,08E-06
1,34E-03	1,01E-03	1,30E-04	2,06E-05	3,36E-04	7,78E-04	9,56E-05	1,25E-05
1,72E-03	1,30E-03	1,67E-04	2,64E-05	4,32E-04	9,99E-04	1,23E-04	1,60E-05
7,73E-04	5,82E-04	7,50E-05	1,18E-05	1,94E-04	4,48E-04	5,50E-05	7,19E-06
7,55E-04	5,69E-04	7,33E-05	1,16E-05	1,89E-04	4,38E-04	5,38E-05	7,03E-06
8,84E-04	6,66E-04	8,58E-05	1,36E-05	2,22E-04	5,13E-04	6,30E-05	8,24E-06
2,55E-04	1,92E-04	2,48E-05	3,91E-06	6,39E-05	1,48E-04	1,82E-05	2,38E-06
1,54E-03	1,16E-03	1,49E-04	2,36E-05	3,86E-04	8,93E-04	1,10E-04	1,43E-05
2,67E-04	2,01E-04	2,59E-05	4,10E-06	6,69E-05	1,55E-04	1,90E-05	2,49E-06
1,39E-03	1,04E-03	1,34E-04	2,12E-05	3,47E-04	8,03E-04	9,87E-05	1,29E-05
2,75E-04	2,07E-04	2,67E-05	4,22E-06	6,89E-05	1,60E-04	1,96E-05	2,56E-06
2,86E-04	2,15E-04	2,77E-05	4,38E-06	7,16E-05	1,66E-04	2,04E-05	2,66E-06
2,78E-04	2,09E-04	2,69E-05	4,26E-06	6,95E-05	1,61E-04	1,98E-05	2,58E-06
1,07E-03	8,08E-04	1,04E-04	1,64E-05	2,68E-04	6,21E-04	7,64E-05	9,98E-06
1,14E-04	8,61E-05	1,11E-05	1,75E-06	2,86E-05	6,62E-05	8,13E-06	1,06E-06
9,53E-05	7,18E-05	9,25E-06	1,46E-06	2,39E-05	5,52E-05	6,79E-06	8,88E-07
1,95E-04	1,47E-04	1,89E-05	2,99E-06	4,88E-05	1,13E-04	1,39E-05	1,81E-06
1,38E-04	1,04E-04	1,34E-05	2,11E-06	3,45E-05	7,98E-05	9,81E-06	1,28E-06
3,29E-04	2,48E-04	3,19E-05	5,05E-06	8,24E-05	1,91E-04	2,34E-05	3,06E-06
1,15E-04	8,64E-05	1,11E-05	1,76E-06	2,87E-05	6,65E-05	8,17E-06	1,07E-06
3,52E-04	2,65E-04	3,41E-05	5,40E-06	8,82E-05	2,04E-04	2,51E-05	3,28E-06

Tabella A.55: Impatti energetico – ambientali di 1 kg di alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

	GER (MJ)	GWP (kgCO _{2eq})	ODP (kg CFC-11 _{eq})	POCP (kg C ₂ H _{4eq})	AP (kg SO _{2eq})	EP (kg PO ₄ ³⁻ eq)
Scenario base	76,62	4,51	2,97E-07	3,16E-03	2,07E-02	8,86E-03

Scenario A	73,39	4,46	2,57E-07	2,92E-03	2,04E-02	8,84E-03
Scenario B	30,92	2,08	6,55E-08	1,67E-03	7,30E-03	4,89E-03
Scenario C	23,32	1,65	3,63E-08	1,38E-03	5,01E-03	3,56E-03
Scenario D	68,27	3,85	2,77E-07	2,32E-03	1,92E-02	7,57E-03
Scenario E	8,91	0,42	4,35E-08	3,00E-04	1,75E-03	1,22E-03
Scenario F	27,90	1,75	8,99E-08	1,63E-03	5,95E-03	4,02E-03
Scenario G	23,11	1,47	7,14E-08	1,45E-03	4,51E-03	3,18E-03
Scenario H	194,10	11,92	7,15E-07	7,31E-03	4,86E-02	2,01E-02
Scenario I	136,26	8,34	5,19E-07	5,10E-03	3,41E-02	1,44E-02
Scenario L	50,59	3,03	2,35E-07	1,83E-03	1,25E-02	5,98E-03
Scenario M	175,52	10,77	6,49E-07	6,60E-03	4,40E-02	1,83E-02
Scenario N	8,32	0,42	6,11E-08	2,64E-04	2,21E-03	2,18E-03
Scenario O	23,80	1,37	1,92E-07	7,32E-04	5,34E-03	2,85E-03
Scenario P	75,12	1,96	4,97E-10	3,99E-03	5,44E-03	6,72E-04

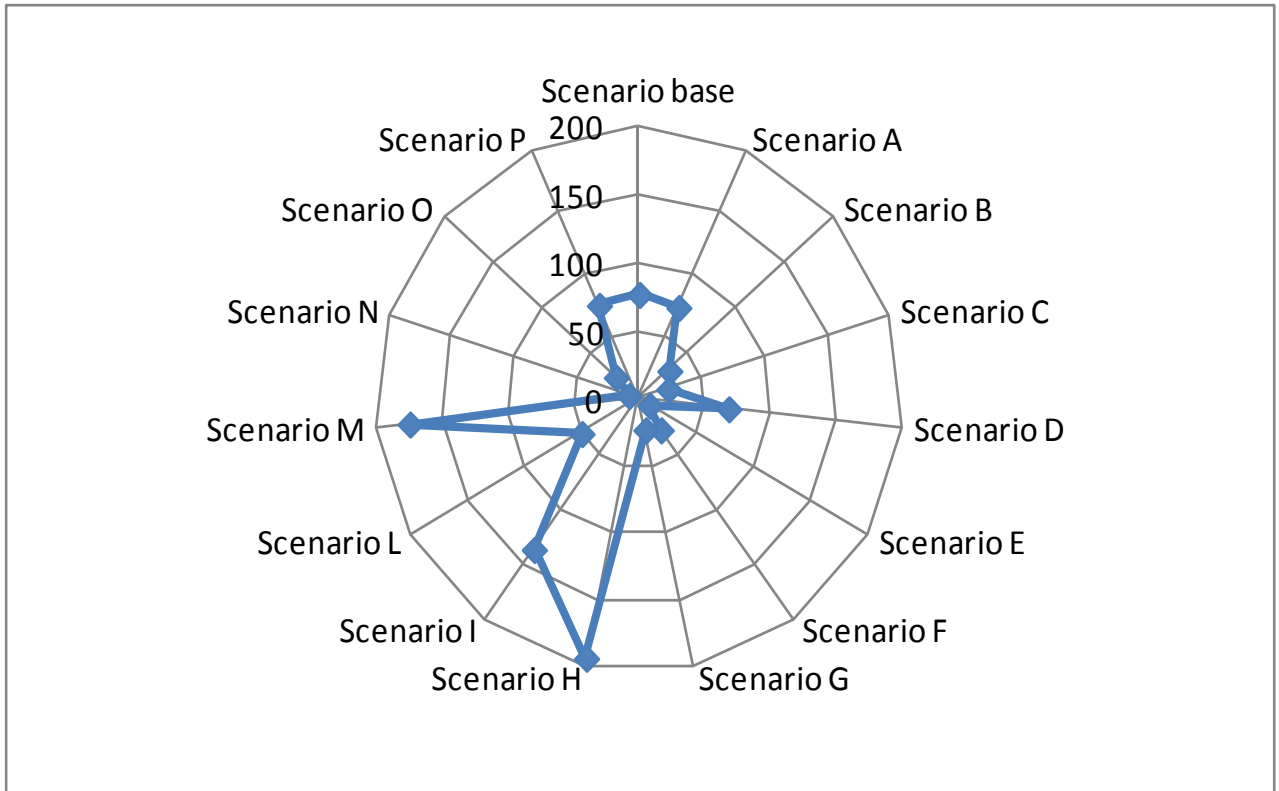


Figura A.32: GER di 1 kg di alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

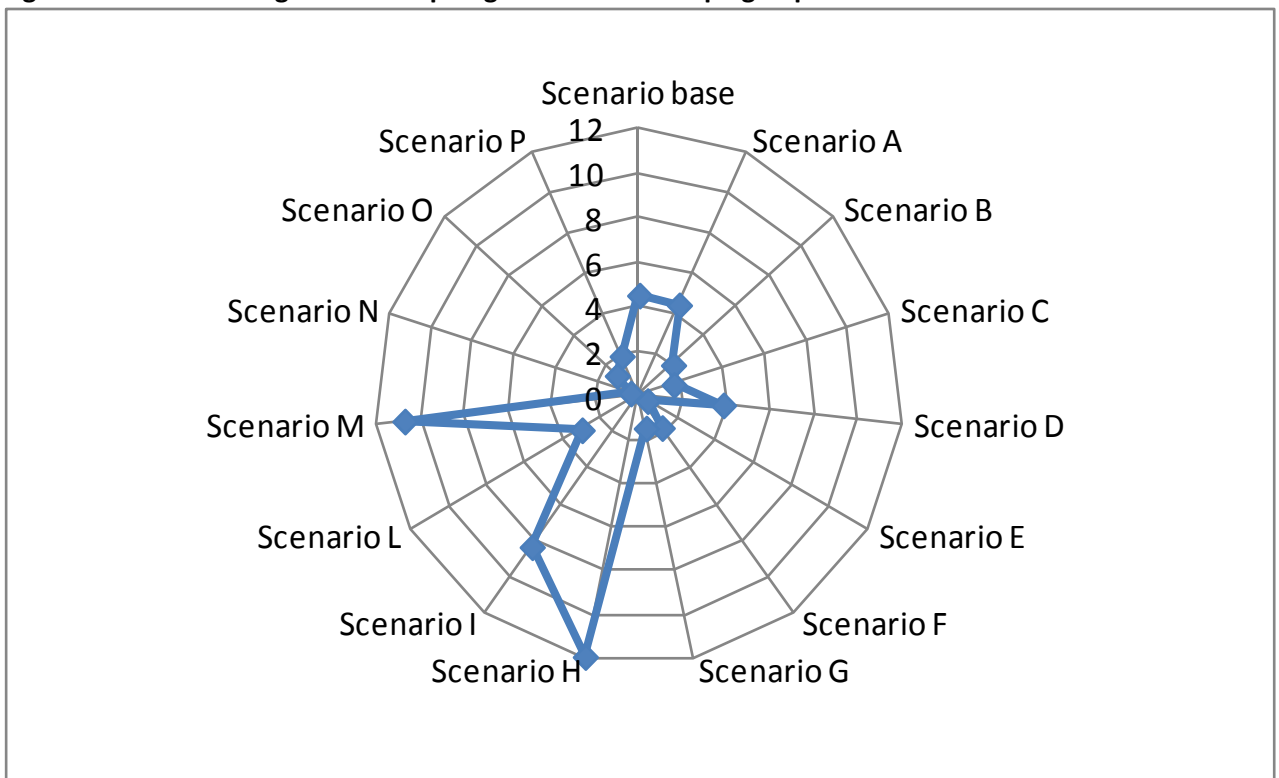


Figura A.33: GWP di 1 kg alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

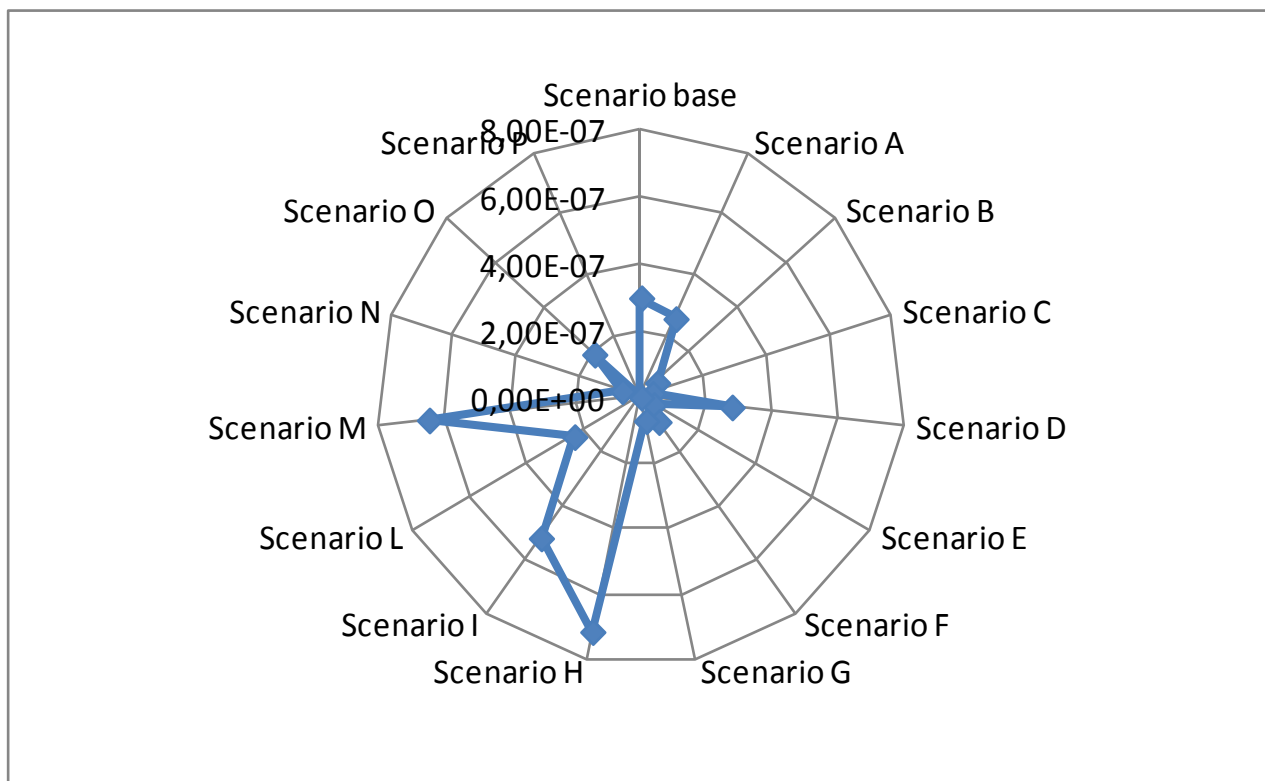


Figura A.34: ODP di 1 kg alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

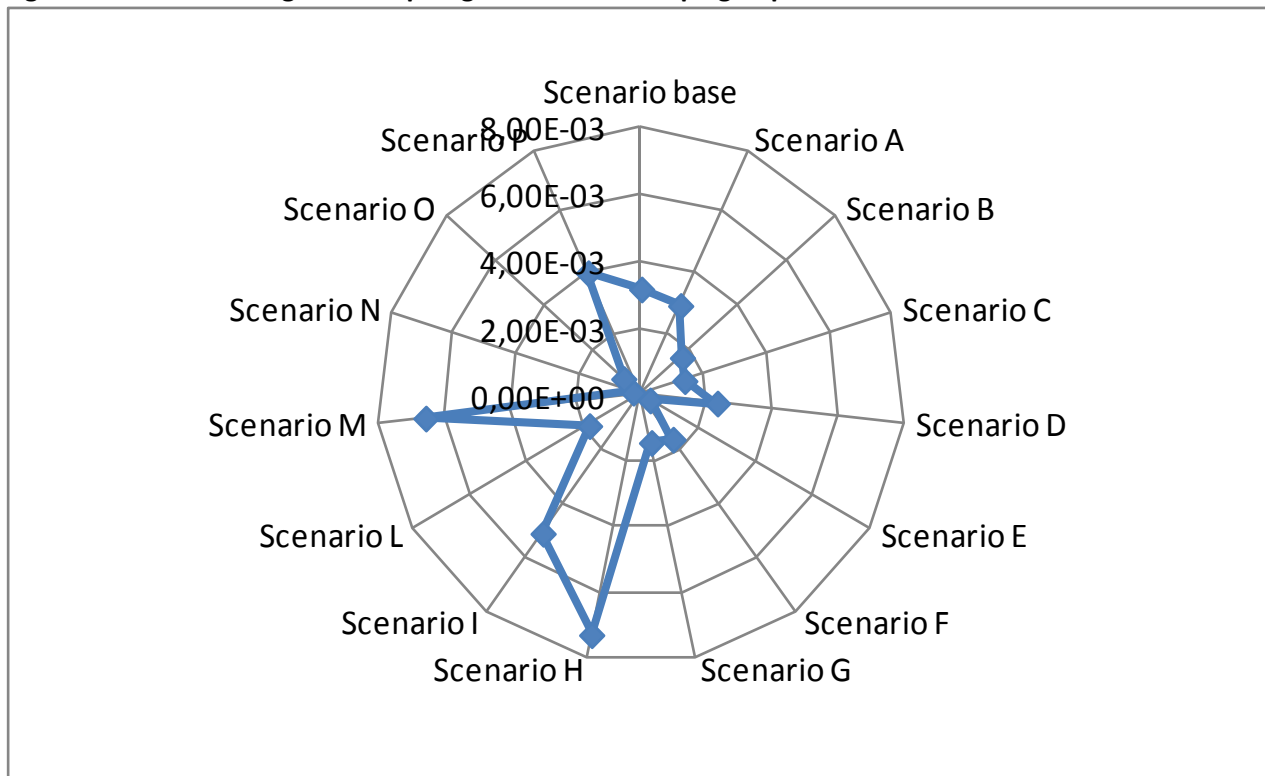


Figura A.35: POCP di 1 kg alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

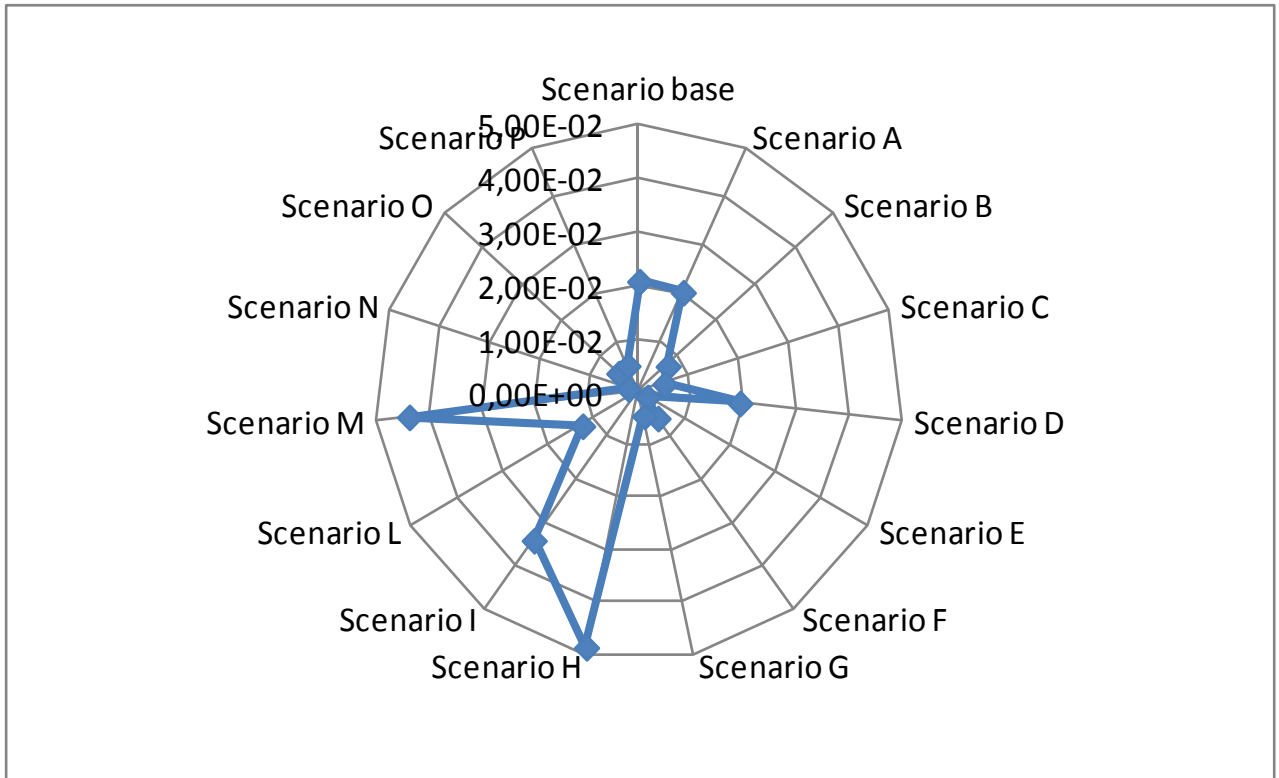


Figura A.36: AP di 1 kg alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

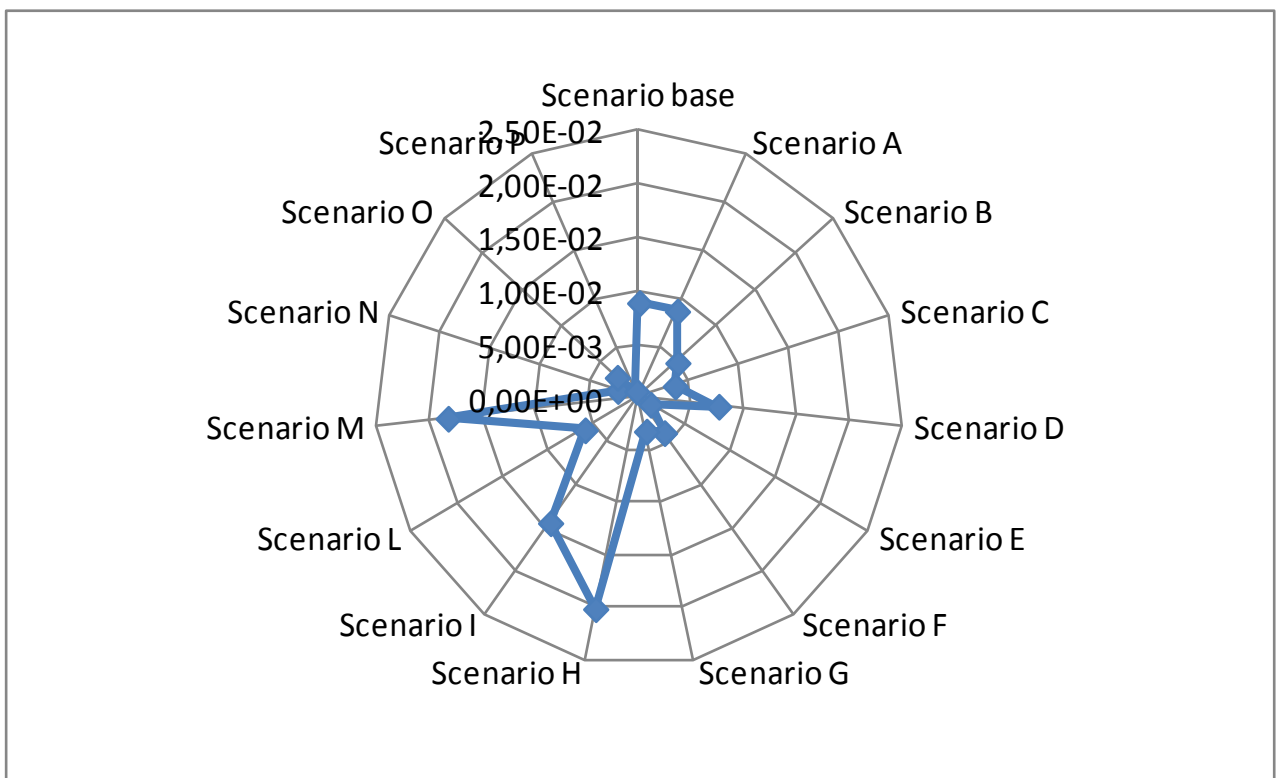


Figura A.37: EP di 1 kg alcune tipologie di materiali impiegati per il box batteria

Bibliografia

Boureima Fayçal-Siddikou, Messagie Maarten, Matheys Julien, Wynen Vincent, Sergeant Nele, Van Mierlo Joeri, De Vos Marc, De Caebel Bernard, Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context, EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stavanger, Norway, May 13-16, 2009, available on: <http://www.cars21.com/files/papers/Boureima-paper.pdf>.

Cellura Maurizio, Longo Sonia, Orioli Aldo, Life cycle Assessment di sistemi per le auto elettriche, Report Ricerca di Sistema Elettrico RdS/2011/74, Progetto: Studio per lo sviluppo di materiali innovativi per il risparmio di energia nel settore elettrico con particolare attenzione ai materiali per i mezzi di trasporto collettivi: Nuovi materiali e componenti innovativi per i mezzi di trasporto, Settembre 2011, disponibile su: http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/risparmio-di-energia-elettrica-nei-trasporti/rds-74.pdf

Daniel Claus, Materials and processing for lithium-ion batteries, Materials and Coatings, Vol.60 No.9, September 2008, 43-48.

Ishihara Kaoru, Kihira Nobuo, Terada Nobuyuki, Iwahori Toru, Environmental burdens of large lithium-ion batteries developed in a Japanese national project, 2006, available on: <http://www.electrochem.org/dl/ma/202/pdfs/0068.PDF>.

EC – European Commission, Ecodesign your future – How ecodesign can help the environment by making products smarter, 2012, available on: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/>

Majeau-Bettez Guillaume, Hawkins Troy R., Hammer Strømman Andres, Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles, Environmental Science & Technology, Article ASAP, DOI: 10.1021/es103607c, April 20, 2011, available on: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es103607c>.

Matheys Julien, Van Autenboer Wout, Timmermans Jean-Marc, Van Mierlo Joeri, Van den Bossche Peter, Maggetto Gaston, Influence of Functional Unit on the Life Cycle Assessment of Traction Batteries, International Journal of Life Cycle Assessment 12 (3), 2007, 191-196.

Matheys Julien, Van Mierlo Joeri, Timmermans Jean-Marc, Life-cycle assessment of batteries in the context of the EU Directive on end-of-life vehicles, International Journal Vehicle Design, Vol.46, No.2, 2008, 189-203.

Matheys Julien, Van Autenboer Wout, Van Mierlo Joeri, SUBAT: Sustainable Batteries - Work Package 5: Overall Assessment – Final Public Report, Vrije Universiteit Brussel – ETEC, 2004.

Matheys Julien, Timmermans Jean-Marc, Van Autenboer Wout, Van Mierlo Joeri, Maggetto Gaston, Meyer Sandrine, De Groof Arnaud, Hecq Walter, Van den Bossche Peter, Comparison of the environmental impacts of 5 electric vehicles battery technologies using LCA, Proceedings of LCE2006, 13th CIRP International Conference on life cycle engineering, 2006.

Messagie M., Boureima F., Matheys J., Sergeant N., Turcksin L., Macharis C., Van Mierlo J., Life cycle assessment of conventional and alternative small passenger vehicles in Belgium, Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2010 IEEE, available on: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5729233&tag=1.

Notter Dominic A., Gauch Marcel, Widmer Rolf, Wager Patrick, Stamp Anna, Zah Rainer, Althaus Hans-Jorg, Contribution of Li-ion Batteries to the environmental impact of electric vehicles, *Environmental Science & Technology* Vol.44 No.17, 2010, 6550-6556, available on <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es903729a>.

Prè, PRè – Product Ecology Consultants. SimaPro7. Environmental database; 2012

Samaras Constantine, Meisterling Kyle, Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in vehicles: implications for policy, *Environmental Science Technology*, 2008, 42, 3170-3176.

Schexnayder Susan M., Das Sujit, Dhingra Rajive, Overly Jonathan G., Tonn Bruce E., Peretz Jean H., Waidley Greg, Davis Gary A., Environmental evaluation of new generation vehicles and vehicle components, 2001, ORNL/TM-2001-266, available on: [http://www.cta.ornl.gov/cta/Publications/Reports/ORNL TM 2001 266.pdf](http://www.cta.ornl.gov/cta/Publications/Reports/ORNL_TM_2001_266.pdf).

Siret C., Lopez I., Van Damme G., Recycling or direct metal production: a comprehensive Life cycle analysis from metals to batteries, 2009, available on: <http://www.batteryrecycling.unicore.com/>.

UNI EN ISO 14040, Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework, July 2006.

UNI EN ISO 14044, Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, July 2006.

Van den Bossche Peter, Vergels Frédéric, Van Mierlo Joeri, Matheys Julien, Van Autenboer Wout, SUBAT: An assessment of sustainable battery technology, *Journal of Power Sources* 162, 2006, 913-9190.

Xu Terrence, Wang Wei, Gordin Mikhail L., Wang Donghai, Choi Daiwon, Lithium-ion batteries for stationary energy storage, *Energy Storage Technologies*, Vol.62 No.9, September 2010, 24-30

Zackrisson Mats, Avellán Lars, Orlenius Jessica, Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues, *Journal of Cleaner Production* 18, 2010, 1519-1529.

Curriculum Scientifico del Dipartimento dell'Energia – Università degli Studi di Palermo

Sede di attività: il Dipartimento dell'Energia è ubicato in Viale delle Scienze, 90128, Palermo, PA, Sicilia, Italia.

Tipologia di attività: Il Dipartimento dell'Energia promuove e coordina la ricerca e l'insegnamento nel campo della valutazione delle prestazioni energetico –ambientali di prodotti e servizi, della produzione e gestione delle fonti di energia e della gestione delle risorse energetiche ed ambientali. In dettaglio, il Dipartimento dell'Energia svolge attività di ricerca e di formazione che contribuiscono allo sviluppo di conoscenze fondamentali nei campi dell'ecologia industriale, dell'analisi del ciclo di vita, dell'edilizia sostenibile, della pianificazione energetica, della trasmissione del calore, dello sfruttamento di fonti rinnovabili di energia, dell'inquinamento e del comfort ambientale.

Le principali linee di attività riguardano:

- Energia: Pianificazione energetica; Gestione e conservazione dell'energia; Sistemi per la produzione e distribuzione del freddo; Bilanci energetico - ambientali di sistemi edificio – impianto; Utilizzo di tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia; Energia incorporata nei materiali; Solar Heating and Cooling.
- Sostenibilità ambientale: Applicazione dei criteri di sostenibilità nel settore dell'edilizia; Rifiuti solidi urbani e sostenibilità di sistemi e processi; Life Cycle Analysis di materiali edili, alimenti, tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia; Sviluppo di software ad hoc di monitoraggio e simulazione energetica di edifici ed impianti; Stima dei risparmi energetici conseguibili e delle emissioni evitabili con l'implementazione di soluzioni di progettazione eco-compatibile; Sistemi di gestione ambientale; Modelli decisionali per l'analisi delle emissioni inquinanti dei sistemi di trasporto in ambito urbano.
- Controllo ambientale degli spazi aperti e dell'ambiente indoor: Climatologia urbana ed interazioni energetiche con l'ambiente costruito; Controllo degli inquinanti atmosferici; Raccolta ed elaborazione di dati climatici; Valutazione e controllo del comfort ambientale; Inquinamento acustico.
- Trasmissione del calore: Studio di metodologie per la progettazione e la verifica di apparecchi di scambio termico innovativi; Studio dello scambio termico negli evaporatori e nei condensatori delle macchine frigorifere; Sviluppo di algoritmi di base per modelli dinamici di simulazione di sistemi edificio-impianto per tipologie edilizie mediterranee.

Competenze attinenti al progetto: il Dipartimento dell'Energia ha una lunga e provata esperienza nel campo della Life Cycle Assessment e dello studio delle tecnologie alimentate da fonti energetiche rinnovabili.

In dettaglio, ha svolto i seguenti temi di ricerca, attinenti al progetto proposto:

- Studi di LCA, in accordo alle norme internazionali della serie ISO 14040, per l'analisi delle prestazioni energetiche ed ambientali di prodotti e processi. In dettaglio sono stati svolti studi di LCA di materiali e componenti edili, edifici, tecnologie alimentate da fonti energetiche rinnovabili, prodotti agricoli., sistemi di storage, ecc.
- Stima, validata sulla base delle esperienze reali e ipotizzate, dei risparmi energetici conseguibili e delle emissioni evitabili con l'implementazione di soluzioni di progettazione eco-compatibile.
- Individuazione di soluzioni "virtuose" per il miglioramento delle prestazioni energetiche ed ambientali di processi e prodotti.

Il Dipartimento dell'Energia è inserito nell'elenco degli esperti riportato dall'European Platform on LCA del Joint Research Centre (Ispra).

Laboratori: laboratorio virtuale per lo svolgimento di studi di LCA, costituito da software (SimaPro 7.2, GaBi4, Boustead Model, DREAMLCA) e database ambientali (Database Ecoinvent, Database GEMIS, Banca dati European Platform on LCA, Banca dati progetto NEEDS, ecc.); laboratorio solare attrezzato per attività di ricerca mirata allo studio e allo sviluppo di tecnologie innovative che permettono lo sfruttamento dell'energia solare per il condizionamento degli edifici.

Attività in ambito internazionale: partecipazione a

- Task 38 "Solar Air Conditioning and Refrigeration"
- Task 40 "Solar Net Zero Energy Buildings"
- Task 42 "Energy Conservation through Energy Storage (ECES)".