

Progetto “NavigA!”

Rapporto finale

Marzo 2017

Autore principale

Alessandro Gianinazzi

Ufficio dell'energia del Canton Ticino

Gruppo di lavoro e contributi di

Igor Franchini, ERS Locarnese e Vallemaggia

Fabrizio Noembrini, Associazione TicinoEnergia

Marco Piffaretti e Giorgio Gabba, Protoscar

Un progetto di politica economica regionale

con il sostegno dell'Ufficio per lo sviluppo economico del DFE



Dipartimento delle finanze e dell'economia
Divisione dell'economia

SOMMARIO

1	Introduzione	8
1.1	Generale	8
1.2	Scopo del progetto	8
1.3	Proposte turistiche	9
1.4	Panoramica generale	10
1.5	Varianti studiate	10
1.5.1	Servizio non di linea	11
1.5.2	Servizio non di linea per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore	11
1.5.3	Servizio di linea per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore	11
1.6	Rotte e punti di interesse	11
1.6.1	Percorso Nord	12
1.6.2	Percorso Sud	13
1.7	Soste e fermate	14
1.8	Tipi di imbarcazione	14
1.8.1	Panoramica del mercato	14
1.8.2	Imbarcazioni considerate nello studio	20
2	Simulazione	22
2.1	Accenni teorici	22
2.2	Schema di principio della simulazione	23
2.3	Verifica del modello	24
2.4	Tipi di propulsione	25
2.5	Rendimenti e consumi	26
3	Dati tecnici	26
3.1	Imbarcazioni - caratteristiche tecniche	26
3.2	Caratteristiche della potenza di propulsione in funzione della velocità	27
3.2.1	Comparazione delle caratteristiche delle 3 imbarcazioni	30
3.3	Batterie	31
3.3.1	Ciclo di ricarica	33
3.4	Ricarica rapida e infrastrutture	34
3.4.1	Principio generale	34
3.4.2	Tecnica di ricarica	35
3.4.3	Colonnine di ricarica, connettori e impiantistica	36
3.4.4	Infrastruttura elettrica e reti di distribuzione	40
3.5	Tempo di ricarica in funzione della velocità	42
4	Risultati	43
4.1	Consumo in funzione del peso	43
4.1.1	Comparazione delle caratteristiche delle 3 imbarcazioni	46
4.2	Predimensionamento	50
4.3	Risultati senza il sistema di ricarica rapida per un tragitto di 20 km	52

4.4	Risultati con il sistema di ricarica rapida per un tragitto di 20 km	58
4.5	Tragitto di 30 km	72
4.5.1	Sistema senza ricarica	72
4.5.2	Con sistema di ricarica (20,50 e 150 kW)	73
5	<i>Analisi e comparazioni</i>	76
5.1	Riassunto dei risultati senza il sistema di ricarica:	76
5.2	Riassunto dei risultati con sistema di ricarica (20,50 e 150 kW)	77
5.3	Comparazione tra il sistema senza ricarica e quello con ricarica	81
5.4	Analisi dei costi operativi e di gestione a lungo termine (15 anni)	85
5.4.1	Premessa	85
5.4.2	Calcolo dei costi operativi e di gestione a lungo termine	90
5.5	Analisi dei risultati economici	92
6	<i>Attori sul territorio</i>	99
7	<i>Conclusioni</i>	100
7.1	Premessa	100
7.2	Generale	100
7.3	Criticità e consigli utili	102
7.3.1	Lunghezza dei percorsi	102
7.3.2	Imbarcazioni	102
7.3.3	Batterie	103
7.3.4	Colonnine di ricarica	103

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Bacino Svizzero lago Maggiore.....	10
Figura 2 – Percorso nord	12
Figura 3 – Percorso sud.....	13
Figura 4 – Hamburg RA82	15
Figura 5 – Thames.....	15
Figura 6 – Aquabus C60	16
Figura 7 – Aquabus Dogale 45.....	16
Figura 8 – Sun Cat 58.....	17
Figura 9 – Sun UNO	17
Figura 10 – Aquabus 1050 Aquarel.....	18
Figura 11 – Kopf RA 33.....	18
Figura 12 – Hydroxy 3000.....	19
Figura 13 – Ampere S.....	19
Figura 14 – Tipo di scafo.....	24
Figura 15 – Schema a blocchi propulsione.....	25
Figura 16 – Schema di principio per la ricarica delle batterie con corrente AC o DC	35
Figura 17 – Andamento della tensione e della corrente durante il ciclo di ricarica	35
Figura 18 – Stazioni di ricarica Totem in corrente alternata (Potenze fino a 22 kW).....	37
Figura 19 – Stazioni di ricarica Totem in corrente continua (Potenze fino a 150 kW)	37
Figura 20 – Cavi per la ricarica (Potenze fino a 3 kW)	39
Figura 21 – Cavi per la ricarica in AC (Potenze fino a 22 kW)	39
Figura 22 – Cavi per la ricarica in DC (Potenze fino a 150 kW).....	39
Figura 23 – Connettori (lato veicolo)	40

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle batterie presenti sul mercato [Protoscar]	32
Tabella 2 – Tabella della variazione della potenza in funzione del peso (esempio 1)	48
Tabella 3 – Tabella della variazione della potenza in funzione del peso (esempio 2)	49
Tabella 4 – Dati riassuntivi del predimensionamento, percorso di 20 km, senza ricarica, C60	52
Tabella 5 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, senza ricarica, M12	54
Tabella 6 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, senza ricarica, C12.....	56
Tabella 7 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, C60.....	66
Tabella 8 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, M12	68
Tabella 9 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, C12.....	70
Tabella 10 – Tabella dei dati di dimensionamento piccolo catamarano (caso particolare).....	71
Tabella 11 – Confronto dei risultati di predimensionamento, senza ricarica, tragitto di 30 km, C60 – C12 – M12	72
Tabella 12 – Dati riassuntivi del predimensionamento, con ricarica, tragitto di 30 km, C60	73
Tabella 13 – Dati riassuntivi del predimensionamento, senza ricarica, tragitto di 30 km, M12.....	74
Tabella 14 – Dati riassuntivi del predimensionamento, con ricarica, tragitto di 30 km, C12	75
Tabella 15 – Confronto dei costi delle batterie per le 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km, senza ricarica	76
Tabella 16 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) per le 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km	77
Tabella 17 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 2 imbarcazioni, tragitto di 20 km	79
Tabella 18 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km	79
Tabella 19 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 4 imbarcazioni, tragitto di 20 km	80

Tabella 20 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, C60	87
Tabella 21 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, M12	88
Tabella 22 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, C12	89
Tabella 23 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, C60, 2 versioni elettriche e 1 a benzina	90
Tabella 24 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, M12, 2 versioni elettriche e 1 a benzina.....	91
Tabella 25 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, C12, 2 versioni elettriche e 1 a benzina	91
Tabella 26 – Consumi di benzina ed emissioni di CO ₂ per imbarcazioni equivalenti, ma con propulsione tradizionale	101

INDICE DEI GRAFICI

Grafico 1 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (C60)	27
Grafico 2 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (C12)	28
Grafico 3 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (M12).....	29
Grafico 4 – Comparazione delle caratteristiche della potenza di avanzamento in funzione della velocità, C12 – C60 – M12	30
Grafico 5 – Comparazione del rapporto potenza/peso in funzione del energia/peso delle batterie considerate nello studio (evidenziati in verde nella tabella precedente) [Protoscar]	33
Grafico 6 – Variazione della potenza di ricarica in funzione del tempo (esempi con colonnine da 25 e 50 kW) [Protoscar]	34
Grafico 7 – Evoluzione del tempo a disposizione della ricarica in funzione della velocità per differenti percorsi.....	42
Grafico 8 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – M12	44
Grafico 9 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12	44
Grafico 10 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C60	45
Grafico 11 – COMPARAZIONE delle caratteristiche del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12 – C60 – M12	46
Grafico 12 – CURVE DI TENDENZA delle caratteristiche del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12 – C60 – M12	47
Grafico 13 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, C60	53
Grafico 14 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, C 60	53
Grafico 15 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, M12	54
Grafico 16 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, M12	55
Grafico 17 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, C12.....	56
Grafico 18 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, C12	57

Grafico 19 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Akasol, C60	58
Grafico 20 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, batteria Akasol, C60	59
Grafico 21 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Brusa, C60	60
Grafico 22 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, batteria Brusa, C60.....	60
Grafico 23 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Nissan, C60.....	61
Grafico 24 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 1 batteria Akasol, C60.....	61
Grafico 25 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, 1 batteria Akasol, C60	62
Grafico 26 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 2 batterie Akasol, C60.....	62
Grafico 27 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, 2 batterie Akasol, C60	63
Grafico 28 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 3 batterie Brusa, C60	63
Grafico 29 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 6 batterie Brusa, C60	64
Grafico 30 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 5 batterie Nissan, C60.....	64
Grafico 31 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 6 batterie Nissan, C60.....	65
Grafico 32 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, C60.....	67
Grafico 33 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, M12	69
Grafico 34 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, M12	69
Grafico 35 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, C12.....	71
Grafico 36 – Comparazione dei costi totali per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, C60	81
Grafico 37 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, M12	81
Grafico 38 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, C12	82
Grafico 39 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, C60	82
Grafico 40 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, M12	83
Grafico 41 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, C12	83

Grafico 42 – Comparazione dei costi di gestione a lungo termine utilizzando le batterie Nissan con e senza ricarica rapida a velocità differenti, tragitto di 20 km, grande catamarano. Considerando la necessità di sostituire tutti i blocchi batteria dopo 7 anni	86
Grafico 43 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e Akasol a differenti velocità, tragitto di 20 km, C60	92
Grafico 44 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore termico a differenti velocità, tragitto di 20 km, C60	92
Grafico 45 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e motore termico a differenti velocità, tragitto 20 km, C60.....	93
Grafico 46 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12	94
Grafico 47 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico (fra batterie Nissan e Akasol) a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12	94
Grafico 48 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Akasol e motore termico a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12.....	95
Grafico 49 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico (fra batterie Nissan e Akasol) a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12.....	96
Grafico 50 – Costi a lungo termine le batterie Nissan a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12..	97
Grafico 51 – Comparazione dei costi a lungo termine per due varianti con batterie Nissan, a 15 e 20 km/h, C12	97
Grafico 52 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e motore termico, a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12	98

1 Introduzione

1.1 Generale

Il presente documento è stato allestito allo scopo di finalizzare e descrivere nei minimi dettagli la prima fase del progetto “NavigA!” così come richiesto dall’Amministrazione Cantonale in risposta al Bando di Concorso Politica Economica Regionale.

Il progetto mira ad ampliare competenze in parte già presenti in Ticino e ad ancorare innovazioni attraverso la collaborazione interdisciplinare di diversi attori. Il rapporto finale, verrà messo a disposizione di tutti i potenziali interessati, contribuendo ad ampliare le conoscenze relative alla imbarcazioni elettriche, batterie, infrastrutture portuali ecc., con lo scopo di favorire l’avvio di un processo di sviluppo di competenze ed attività imprenditoriali, che dimostri la fattibilità tecnica e la sostenibilità economica ed ecologica di tali imbarcazioni.

Questo progetto si inserisce nella roadmap della politica energetica federale che mira all’aumento dell’efficienza energetica in tutti i settori. Nel caso specifico la mobilità si lega sinergicamente al turismo. Il principale aspetto innovativo è da individuare nello sviluppo di un sistema “imbarcazione-propulsione-infrastruttura” che offre un’elevata qualità di trasporto combinata ad un impatto ambientale minimo. Oltre all’ottimizzazione di singole componenti, l’interazione di esse rappresenta una sfida tecnologica intersettoriale con potenziali ricadute positive in termini di vantaggi competitivi.

Inoltre può essere visto come il complemento di uno studio commissionato all’Università di St.Gallo dall’Ente Regionale per lo Sviluppo del Locarnese e della Vallemaggia effettuato nel 2014-2015. Questo primo documento intitolato “Studio sulla navigazione nel bacino svizzero del Lago Maggiore” aveva l’obiettivo di analizzare approfonditamente l’offerta della navigazione sul lago Maggiore comparandola ad altri laghi Svizzeri o limitrofi, sia per il trasporto di linea che per quella turistica. Particolare attenzione è stata posta ai prezzi, alla stagionalità, alla tipologia di imbarcazioni, all’impatto ambientale, all’accessibilità e ai servizi a bordo evidenziando alcune particolari criticità soprattutto dovuto alla politica dei prezzi, al servizio a bordo e agli orari che limitano le possibilità dei turisti di visitare le zone più suggestive.

1.2 Scopo del progetto

L’obiettivo finale è mostrare che esiste la possibilità di proporre un servizio di qualità, energeticamente efficiente e economicamente sostenibile che permetta di migliorare l’offerta turistica nel bacino Svizzero del lago Maggiore con una particolare attenzione ai luoghi di svago e di forte interesse turistico come le isole di Brissago e nel contempo importare sul territorio cantonale importanti conoscenze legate a nuove tecnologie di propulsione per le imbarcazioni.

Il rapporto vuole essere un valido strumento di comparazione e analisi per sviluppare un nuovo concetto di imbarcazione turistica e delle relative infrastrutture, così da promuovere e incentivare la creazione di una nuova offerta turistica sul territorio cantonale. Particolare

attenzione è data all'identificazione di tutte le opzioni in grado di dimostrare la fattibilità tecnica ma anche la sostenibilità economica ed ecologica di un servizio di navigazione alternativa ed efficiente.

Partendo dall'analisi dell'offerta attuale (tipo di imbarcazioni, tratte, orari, numero di persone trasportate, ecc..), grazie all'aiuto del committente si è potuto determinare il potenziale turistico della regione, ciò che ha permesso di sviluppare le nuove idee sulla base di dati oggettivi e sulle indicazioni degli attori presenti in loco.

1.3 Proposte turistiche

Prima di immergersi nella descrizione delle offerte turistiche attualmente disponibili è indispensabile fare un piccolo accenno alle disposizioni giuridiche che regolamentano la navigazione sul lago Maggiore.

I due grandi laghi presenti sul territorio ticinese (lago Maggiore e lago Ceresio) sono a tutti gli effetti acque internazionali, la navigazione è quindi disciplinata da una convenzione fra la Svizzera e l'Italia per disciplinare e regolamentare gli obblighi e i doveri delle società di navigazione che operano su questi 2 specchi d'acqua. In questo trattato, il diritto di trasporto di persone con servizi regolari di linea sul Lago Maggiore è stabilito come segue: "l'esercizio del servizio pubblico di navigazione di linea è assicurato, sia nel bacino italiano sia in quello svizzero, da un'impresa italiana munita di atto di concessione italiano alla quale la Svizzera si impegna a rilasciare la concessione per il proprio bacino" (art. 9).

Dopo una breve consultazione con alcuni attori del settore e considerando le disposizioni contenute nella convenzione si intravedono tre tipi di servizio, che si differenziano enormemente per le risorse finanziarie necessarie:

- servizio non di linea singolo con imbarcazioni da 12/60 posti (es. navetta per le Isole di Brissago);
- servizio non di linea con imbarcazioni da 60 posti per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore (più navette organizzate, min. 3);
- servizio di linea con imbarcazioni da 200 posti per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore (flotta).

Per attivare quest'ultimo servizio è necessaria una revisione degli accordi internazionali tra Svizzera e Italia.

La progettazione di una o più imbarcazioni a propulsione alternativa richiede una conoscenza approfondita del territorio, del tipo di utilizzazione desiderata e delle infrastrutture esistenti o da realizzare. In una delle prime fasi, grazie ad uno dei partner del progetto è stato effettuato un sopralluogo per identificare i punti di interesse, le rotte e i tempi di percorrenza.

1.4 Panoramica generale

La conformazione del bacino svizzero del lago Maggiore (raffigurato nella figura sottostante) presenta diverse particolarità interessanti. Guardando la cartina risulta subito ovvio che il delta del fiume Maggia rappresenta uno dei punti più caratteristici sia per la sua centralità che per dimensioni. Durante un sopralluogo di valutazione è stato possibile identificare diversi luoghi turisticamente interessanti. A nord della foce della Maggia troviamo un frequentatissimo lungolago che si estende da Locarno fino a Minusio, la foce del fiume Verzasca, la foce del fiume Ticino e le Bolle di Magadino e successivamente tutta la costa del Gambarogno. A sud della Maggia invece abbiamo Ascona e il suo lungolago, alcuni lidi pubblici e le isole di Brissago.

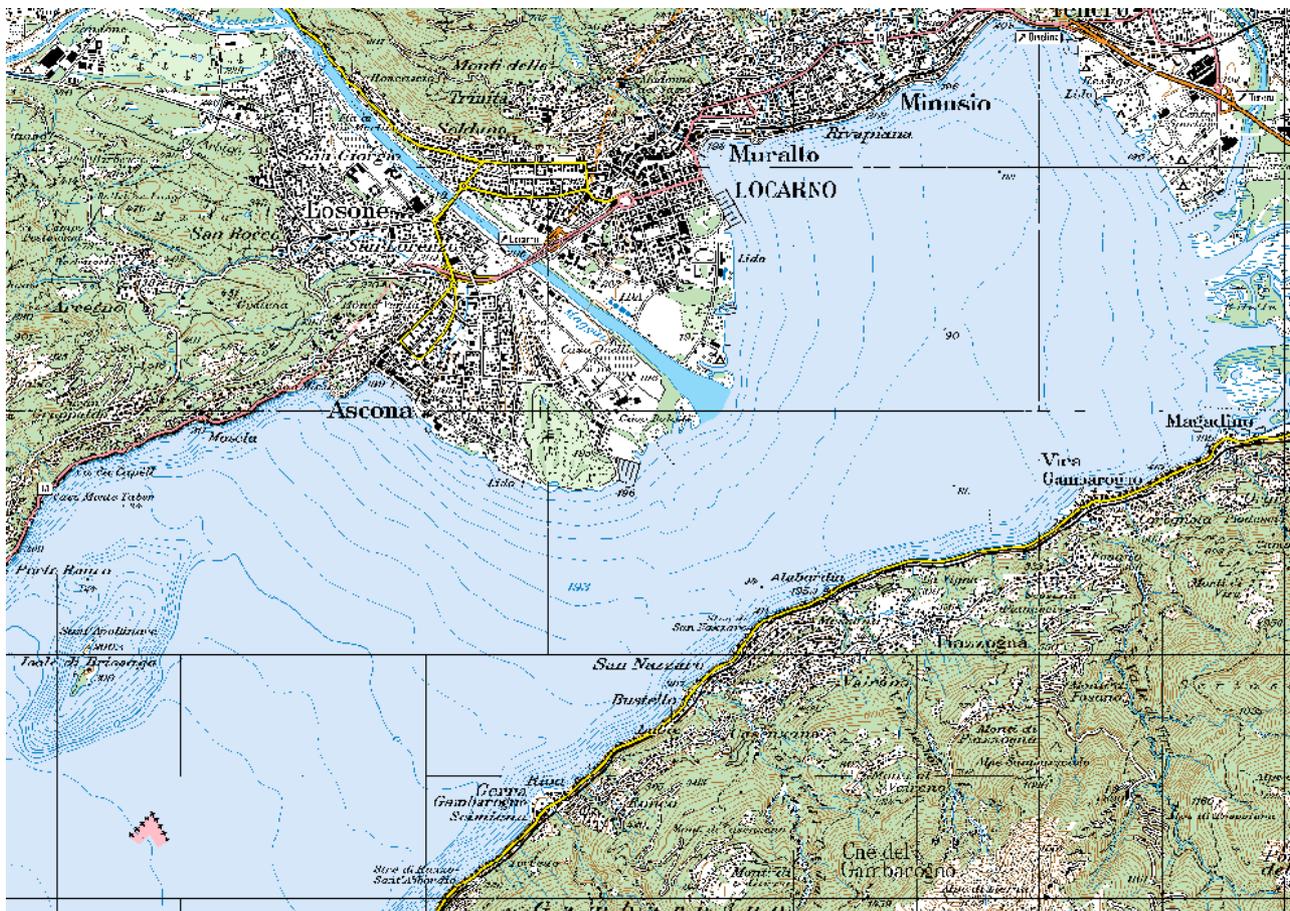


Figura 1 – Bacino Svizzero lago Maggiore

1.5 Varianti studiate

La progettazione di veicoli a propulsione alternativa richiede uno studio approfondito dell'utilizzazione e delle infrastrutture necessarie per poter determinare correttamente il dimensionamento dei motori e dell'energia immagazzinata. Come già indicato in precedenza i tre tipi di servizio che si vorrebbero offrire, si differenziano enormemente non solo per le risorse finanziarie necessarie, ma anche per il dimensionamento e le infrastrutture portuali.

1.5.1 Servizio non di linea

Quando si parla di servizio non di linea si intendono tutte quelle corse dove un gruppo di persone si sposta da un punto A a un punto B, con o senza fermate intermedie e senza vincoli di orari. Non è prevista una pubblicazione di orari di partenza e di arrivo ma tutto dipende dalla richiesta turistica. Un esempio concreto è la visita organizzata delle isole di Brissago o un tour attorno alle stesse isole.

Le imbarcazioni che potrebbero svolgere questo compito sono imbarcazioni medio piccole (tra 12 e 60 posti) per le quali non sono necessarie grandi infrastrutture portuali. Ogni imbarcazione è indipendente e il tragitto può essere modificato a seconda delle esigenze del turista. Anche dal profilo giuridico, secondo il trattato internazionale in vigore attualmente questo servizio potrebbe essere proposto senza particolari problemi.

1.5.2 Servizio non di linea per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore

Dal profilo giuridico anche un servizio non di linea che copre l'intero bacino Svizzero del lago Maggiore è conforme al trattato in vigore. Tecnicamente invece, il dimensionamento dell'imbarcazione risulta più complessa soprattutto in relazione alla vastità del territorio e alla sua conformità.

Per poter garantire una navigazione confortevole e conciliarla con le esigenze turistiche è fondamentale suddividere il i vari punti di interesse su più rotte. In questo modo si potranno offrire diversi percorsi distinti serviti da più imbarcazioni, proponendo un tour panoramico senza soste.

1.5.3 Servizio di linea per l'intero bacino Svizzero del Lago Maggiore

Un eventuale servizio di linea invece si differenzia molto da quanto presentato fino ad ora. Innanzitutto occorre ridefinire gli accordi internazionali con l'Italia in seguito è indispensabile sviluppare un progetto sostanzialmente molto diverso da quanto previsto con i servizi non di linea.

L'imbarcazione di circa 200 posti dovrà percorrere l'intero bacino per un totale di 35 km a giro. In questo caso ci saranno molti punti di attracco, dove, il turista avrà la possibilità di scendere o salire a suo piacimento.

1.6 Rotte e punti di interesse

Secondo una recente analisi di mercato effettuata dagli studenti della Scuola Superiore alberghiera e turismo di Bellinzona (SSAT) i tour panoramici sono interessanti se hanno una durata massima di 2 ore. Considerata la morfologia del bacino Svizzero, i punti di interesse e le tempistiche ideali si sono potuti identificare 2 percorsi turisticamente interessanti.

1.6.1 Percorso Nord

Il primo denominato “Percorso Nord” si snoda nel golfo di Locarno fino a raggiungere le rive del Gambarogno. Con questo tragitto si vuole proporre la visita della costa di Minusio del delta del fiume Verzasca e le bolle di Magadino compresa la foce del Ticino. Per evitare un percorso troppo rettilineo in mezzo al lago è possibile discendere costeggiando le rive del Gambarogno per poi rientrare a Locarno una volta raggiunto San Nazzaro.

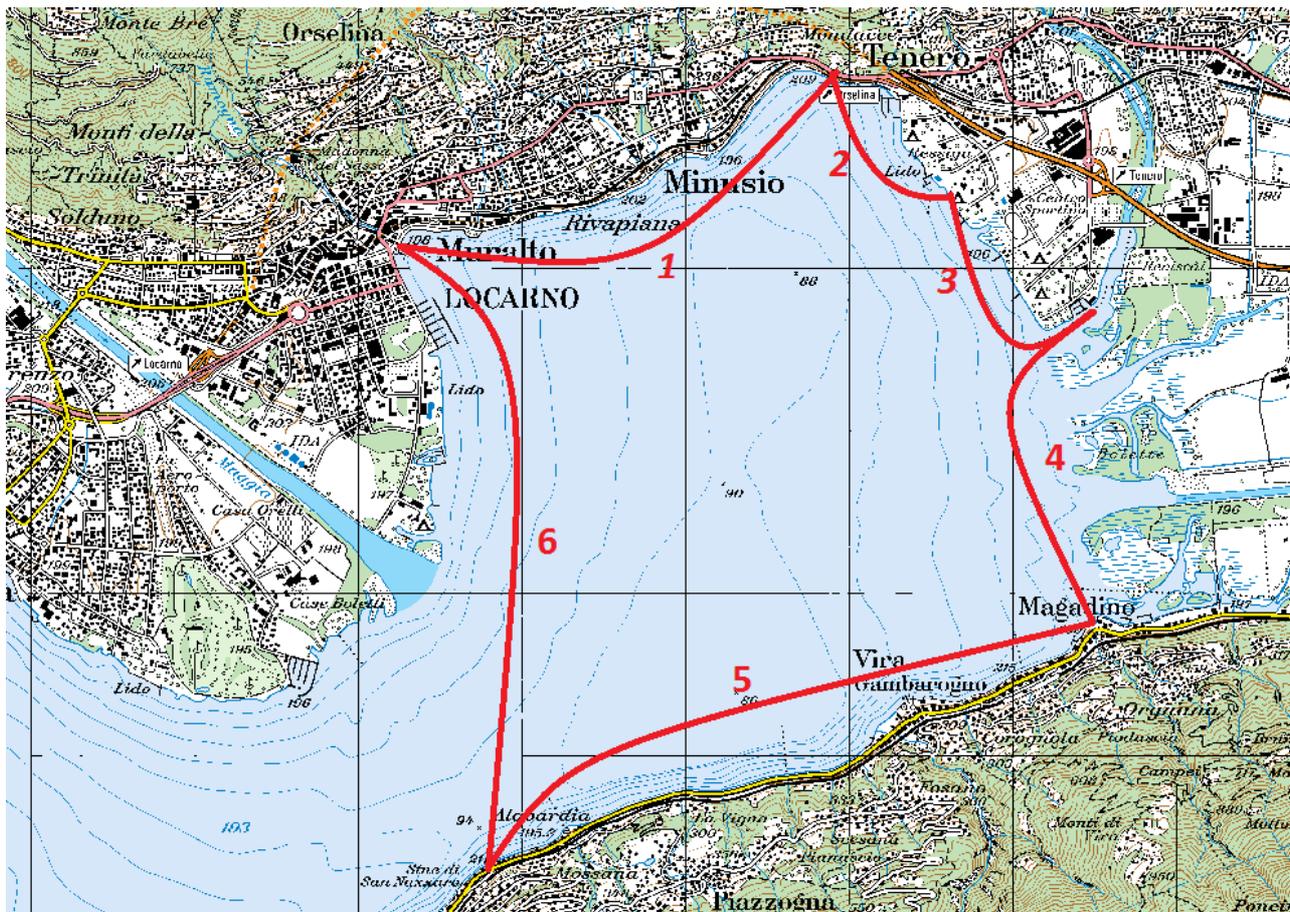


Figura 2 – Percorso nord

Questa proposta turistica è caratterizzata da un percorso lento con molti punti di interesse sia turistici che naturalistici. In totale si percorrono circa 20 km, che può essere ridotta a 13 km, in caso di condizioni meteo sfavorevoli o di esigenze turistiche, eliminando la costa del Gambarogno.

Come si può notare dalla figura il percorso è suddiviso in sei tratte, indicativamente la tratta uno ha una lunghezza di tre chilometri, la seconda di uno, la terza e la quarta di due, la quinta e la sesta di sei.

1.6.2 Percorso Sud

Il secondo tragitto denominato “Percorso SUD”, poiché si sviluppa tutto a sud di Locarno, è incentrato sulle isole di Brissago e il suo parco botanico. Dopo aver costeggiato tutto il delta del fiume Maggia si prosegue verso Ascona, per poi raggiungere le Isole di Brissago.

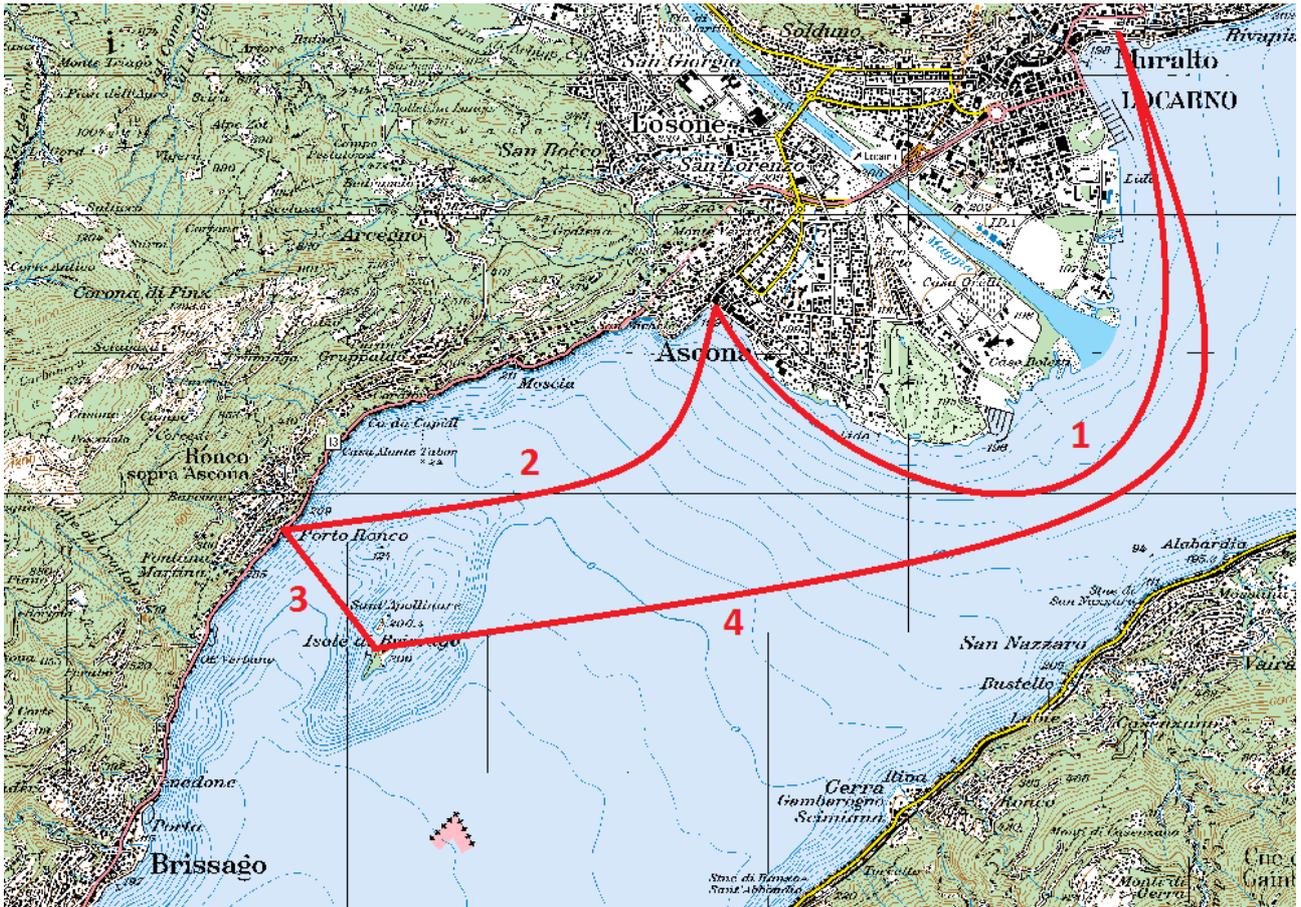


Figura 3 – Percorso sud

La seconda proposta è caratterizzata da un percorso più lineare con pochi punti di interesse ma distanti tra loro. La lunghezza totale è anch'essa di 20 km, che può essere aumentata di 6 km se si decide di raggiungere il porto di Brissago. Il percorso, escluso il passaggio da Brissago è composto da quattro tratte distinte; la prima di sette chilometri, la seconda di quattro, la terza di uno e la quarta di otto.

1.7 Soste e fermate

Come già indicato in precedenza, lo studio prevede di analizzare diverse proposte turistiche, molto differenti tra loro. Per quanto riguarda le soste e i punti di imbarco e sbarco molto dipenderà dell'evoluzione del progetto.

Per quanto riguarda i tragitti non di linea non si intravedono particolari problemi poiché le soste sono di breve durata, mentre le fermate con scalo sono poche e dove già attualmente è possibile ormeggiare.

Differente invece il discorso per il servizio di linea dove gli scali potrebbero essere una ventina. In questo caso si potrebbero sfruttare i pontili utilizzati dalla società di navigazione attuale.

1.8 Tipi di imbarcazione

1.8.1 Panoramica del mercato

Negli ultimi 15 anni il settore delle imbarcazioni elettriche, sfruttando la tecnologia sviluppata dalle case automobilistiche per le vetture ibridi o elettriche, ha vissuto un'evoluzione rapida e costante.

Se agli inizi del secolo le barche elettriche erano essenzialmente dei prototipi progettati da privati o da piccoli cantieri navali in cerca di mercati alternativi, con gli sviluppi delle case automobilistiche e le ingenti risorse di grosse compagnie tutte le componenti (motori, batterie, convertitori, celle fotovoltaiche, ecc.) hanno avuto uno sviluppo incredibile.

Attualmente sul mercato sono disponibili innumerevoli tipi di imbarcazioni elettriche, dalla piccola barca privata, al trasposto passaggeri, al traghetto ecc..

Se la forma dello scafo (monoscafo, catamarano o trimarano), la capacità e le dimensioni possono variare notevolmente una caratteristica che accomuna la quasi totalità di queste imbarcazioni è la velocità di crociera compresa tra i 12 e 18 km/h.

Qui di seguito vengono riportati alcuni esempi non esaustivi delle imbarcazioni presenti al momento dello studi sul mercato mondiale:

Solar Shuttle Hamburg RA82



Figura 4 – Hamburg RA82

N° di passeggeri: 120
Potenza motori: 16 kW
Autonomia: 12 ore
Velocità di crociera: 15 km/h

Thames



Figura 5 – Thames

N° di passeggeri: 255
Potenza motori: -
Autonomia: -
Velocità di crociera: -

Aquabus C60



Figura 6 – Aquabus C60

N° di passeggeri: 60
Potenza motori: 16 kW
Autonomia: 10 ore
Velocità di crociera: 12 km/h

Aquabus Dogale 45



Figura 7 – Aquabus Dogale 45

N° di passeggeri: 54
Potenza motori: 20 kW
Autonomia: 8 ore
Velocità di crociera: 12 km/h

Sun Cat 58



Figura 8 – Sun Cat 58

N° di passeggeri: 58
Potenza motori: 16 kW
Autonomia: 10 ore
Velocità di crociera: 9 km/h

Sun UNO Watertaxi



Figura 9 – Sun UNO

N° di passeggeri: 16-20
Potenza motori: -
Autonomia: 8 ore
Velocità di crociera: 8 km/h

Aquabus 1050 Aquarel



Figura 10 – Aquabus 1050 Aquarel

N° di passeggeri: 24
Potenza motori: 8 kW
Autonomia: 8 ore
Velocità di crociera: 10 km/h

Kopf RA 33



Figura 11 – Kopf RA 33

N° di passeggeri: 20
Potenza motori: 10 kW
Autonomia: 8 ore
Velocità di crociera: 13 km/h

Hydroxy 3000



Figura 12 – Hydroxy 3000

N° di passeggeri: 7
Potenza motori: 6 kW
Autonomia: - (Fuel Cell)
Velocità di crociera: 12 km/h

Ampere s.



Figura 13 – Ampere S

N° di passeggeri: 360 + 120 veicoli
Potenza motori: 450 kW
Autonomia: - ore
Velocità di crociera: 20 km/h

1.8.2 Imbarcazioni considerate nello studio

Per il seguente studio, stando all'analisi di mercato sopraelencato e alle specificità dei tragitti presentati in precedenza, sono state identificate tre tipi di imbarcazioni che potrebbero, per le loro caratteristiche, essere utilizzate per i servizi non di linea. Si tratta di un monoscafo e due catamarani di dimensioni diverse. Seguendo le richieste del promotore, il numero dei passeggeri è definito in base alle diverse categorie di licenza di navigazione; per questo motivo si propongono 2 imbarcazioni con un numero massimo di 12 persone e una da 60.

Per quanto riguarda il percorso di linea con imbarcazioni di grandi dimensioni e un numero di passeggeri variabile tra 200 e 350 posti, l'analisi di mercato ha dimostrato che attualmente ci sono diversi progetti, alcuni già in fase avanzata, ma è difficile reperire informazioni tecniche utilizzabili per la realizzazione o la validazione di un programma di simulazione.

Monoscafo 12 posti "M12"

Sulle orme delle più vecchie e classiche imbarcazioni è possibile realizzare una barca innovativa caratterizzata da un solo scafo (monoscafo). L'esperienza centenaria nei processi produttivi di questo tipo di carena e la possibilità di convertire facilmente le vecchie imbarcazioni sono all'origine delle numerose offerte presenti sul mercato.

Per il nostro studio questo tipo di imbarcazione è stato identificato e classificato come idoneo per svolgere la funzione di navetta fino ad un massimo di 12 posti, partendo dai dati relativi alle imbarcazioni tipo Sun UNO e Aquabus 1050 Aquarel. Considerate le modeste dimensioni tutti i posti sono seduti, mentre è personalizzabile il tipo di copertura superiore e laterale.

Le caratteristiche principali, oltre al numero di passeggeri sono le dimensioni relativamente contenute, 2,5 m di larghezza per una lunghezza variabile tra 8 e 11 m, munito di un solo motore. Questo tipo di scafo ha una velocità ottimale di crociera di circa 10 km/h.

Catamarano 12 posti "C12" (Piccolo catamarano)

Con una forma più idrodinamica e accattivante il catamarano è un'imbarcazione innovativa che sempre più spesso viene associata alla propulsione alternativa elettrica o ibrida. La realizzazione può richiedere però maggiori studi e simulazioni sia a livello di resistenza meccanica che di consumi energetici.

Per il piccolo trasposto non di linea l'imbarcazione avrebbe una larghezza di 2,5 m per una lunghezza variabile tra 7 e 8 m con una doppia motorizzazione, sullo stile dell'Hydroxy 3000 o del Kopf RA 33.

Anche in questo caso i posti sarebbero prevalentemente seduti con una copertura parziale (senza ripari laterali). Questo tipo di scafo ha una velocità ottimale di crociera di circa 10-12 km/h.

Catamarano 60 posti "C60" (Grande catamarano)

Per trasportare un numero maggiore di persone e per tragitti più lunghi è stata selezionata un'imbarcazione di tipo catamarano da 60 posti tipo il Sun Cat 58 o l'Aquabus C60. Le dimensioni più generose rispetto alle 2 imbarcazioni precedenti aprono un ventaglio di varianti maggiori, posti seduti o in piedi, completamente cabinato o solo parziale, equipaggiamento di bordo secondo le esigenze. Le dimensioni di una simile imbarcazione sono una larghezza di 6-8 m, una lunghezza 14-16 m, munito di 2 motori per una velocità di crociera di 10-12 km/h.

2 Simulazione

Un partner molto importante di questo studio è senza dubbio il “Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme” (LAV) del Politecnico federale di Zurigo. Dopo aver identificato i percorsi turisticamente interessanti e le imbarcazioni più interessanti era necessario quantificare le potenze necessarie per la propulsione, i consumi giornalieri per dimensionare la motorizzazione, il sistema di stoccaggio dell’energia e il tipo di ricarica. Essendo un campo relativamente nuovo, dove i dati disponibili sono scarsi, è stato necessario sviluppare un simulatore. Questo metodo di lavoro ha permesso di analizzare un ampio spettro di varianti identificando le migliori soluzioni.

2.1 Accenni teorici

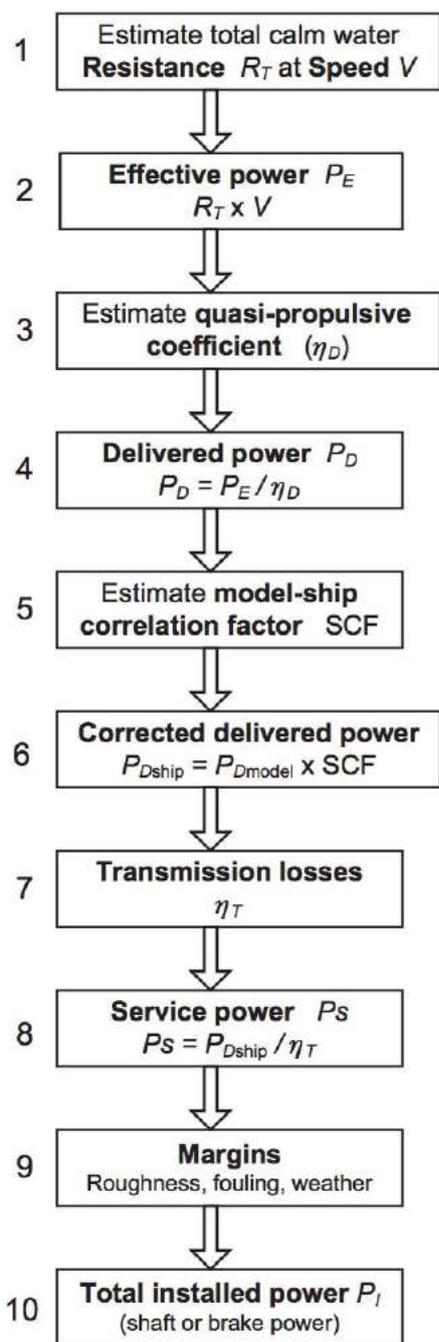
Dagli anni 2000 con l’aumento costante delle prestazioni degli elaboratori l’ingegneria meccanica ha vissuto un’era di grande sviluppo, il moltiplicarsi dei programmi di simulazione, i nuovi materiali e l’introduzione dell’elettronica ha modificato massicciamente tutti i settori. La nautica non fa eccezione e negli ultimi anni abbiamo assistito ad un maggiore interesse da parte dei cantieri navali, delle società di navigazione e delle autorità politiche per le nuove tecnologie.

In confronto ad altri settori però, per la progettazione delle nuove imbarcazioni, le simulazioni e i dimensionamenti teorici hanno un ruolo meno predominante rispetto all’esperienza, alla conoscenza pratica e alle prove di cantiere.

Per questo motivo anche i processi di simulazione presentano dei limiti nei quali i risultati possono essere considerati attendibili. All’infuori di questi confini è possibile definire una tendenza o dei comportamenti generali senza però dare dei valori assoluti. Ad esempio per determinare l’attrito all’avanzamento molte delle relazioni matematiche riscontrabili in letteratura contengono dei coefficienti ottenuti empiricamente, e sono quindi valide per determinate dimensioni e forme dello scafo.

2.2 Schema di principio della simulazione

Nello schema sottostante è rappresentato il processo di simulazione e le differenti componenti considerate per determinare le caratteristiche delle imbarcazioni studiate.



La velocità ha una grossa influenza sull'energia necessaria alla navigazione (vedi grafici $P(V)$).

I rendimenti sono stati ricercati in letteratura e dipendono da molti fattori. (Test empirici).

La verifica del modello è molto importante per poter garantire un risultato corretto. Nel nostro caso questo passaggio è stato integrato nella tappa 1.

I rendimenti dovuti alle perdite nella trasmissione della trazione sono tipici del sistema utilizzato e secondo la letteratura possono variare tra il 95 e il 98 %. Per lo studio è stato fissato al 95%. Il rendimento del motore e dell'elica sono integrati nella tappa 1.

Integrato nella tappa 1.

Potenza totale utilizzata per l'avanzamento.

La resistenza all'avanzamento dipende principalmente dal tipo di scafo, dalla forma e dal volume immerso.

2.3 Verifica del modello

Come abbiamo appena potuto constatare dall'analisi del processo di simulazione la parte più delicata è riuscire a verificare e convalidare il modello. Considerate le imbarcazioni presenti sul mercato e le loro caratteristiche, il Politecnico di Zurigo ha determinato che lo scafo rappresentato nelle figura 4c è quello più utilizzato per le imbarcazione di nuova generazione medio piccole.

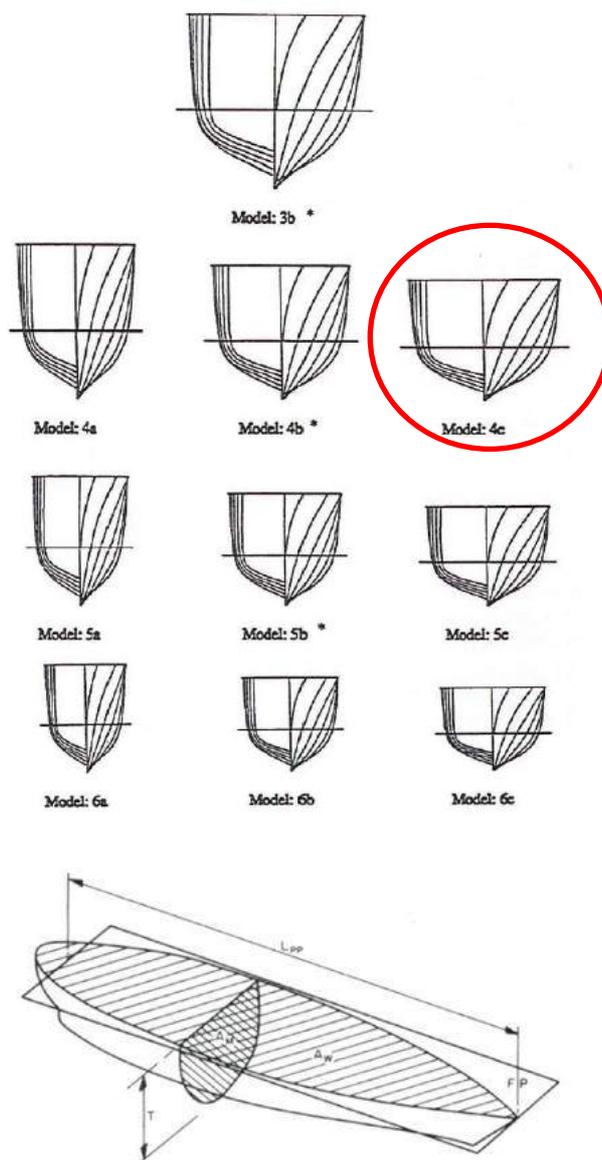


Figura 14 – Tipo di scafo

2.4 Tipi di propulsione

Come già anticipato questo progetto è nato dalla volontà di migliorare l'offerta del trasporto nel bacino Svizzero del lago Maggiore.

Fin dall'inizio delle prime discussioni è risultato chiaro che il desiderio del committente non era solo migliorare l'offerta dal punto di vista del prezzo, degli orari e del servizio a bordo ma si voleva approfittare dell'occasione per proporre qualcosa di assolutamente innovativo e ecologicamente sostenibile. In Svizzera la qualità delle acque è molto buona, come molti altri laghi, il lago Maggiore è anche una grande riserva di acqua potabile che bisogna assolutamente preservare.

Considerati i tragitti e le esigenze turistiche, si è subito pensato ad una motorizzazione puramente elettrica con accumulo in batterie di nuova generazione. Questa tecnologia sufficientemente matura e testata permette di progettare molti tipi di imbarcazioni idonee sia al servizio di linea che a quello di navetta. Per questi motivi non sono state considerate soluzioni con motorizzazioni ibride o con tecnologie non ancora mature (es. pila a combustibile).

Il principio globale è molto semplice e può essere rappresentato con il seguente schema a blocchi.

L'energia elettrica proveniente dalla rete di distribuzione locale viene accumulata nelle batterie tramite un convertitore che permette di trasformare la corrente alternata in corrente continua. Questo elemento potrebbe essere collocato a bordo dell'imbarcazione o direttamente nella colonnina di ricarica.

L'energia immagazzinata nelle batterie defluisce successivamente nei motori elettrici tramite un sistema di regolazione che permetterà di variare la velocità. È inoltre ipotizzabile dotare l'imbarcazione di inverter (convertitori continua-alternata) così da permettere l'installazione di accessori convenzionali alimentati in corrente alternata.

Questo sistema semplice e molto dinamico garantisce una buona possibilità di aggiungere in futuro nuove fonti di produzione di energia sia elettrica che termica (ad esempio pannelli fotovoltaici o Fuel Cells).

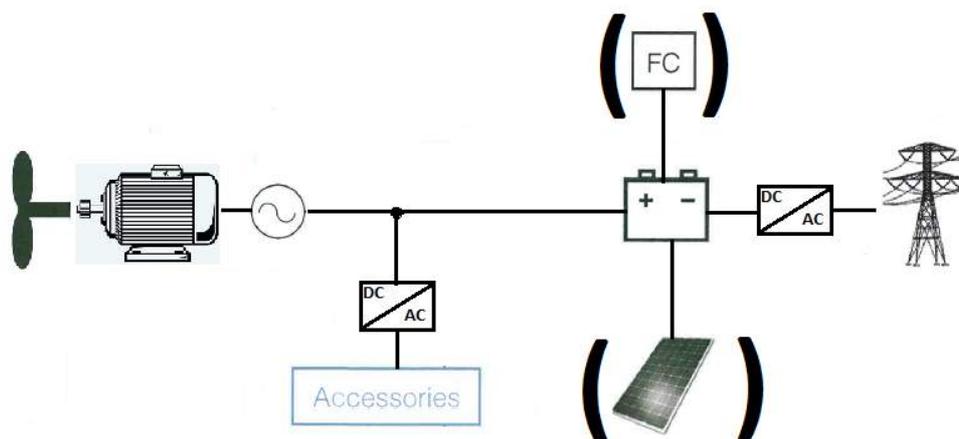


Figura 15 – Schema a blocchi propulsione

2.5 Rendimenti e consumi

Il rendimento del motore elettrico è molto elevato raggiungendo facilmente valori compresi tra 90 e il 95 % a cui vanno sommate alcune perdite dovute all'elettronica di potenza (rendimento del 90 – 95%). Più delicato è il rendimento dell'elica che normalmente non supera il 30 %.

Ricordiamo però che questi rendimenti non rappresentano delle variabili del nostro studio, in quanto il programma di simulazione utilizzato per estrapolare le caratteristiche dei consumi di base di ogni singola imbarcazione, è stato convalidato tramite misure reali effettuate su barche elettriche misurando la potenza necessaria alla navigazione direttamente ai morsetti delle batterie.

Un valore che invece dovrà essere considerato ed è necessario per una comparazione dei consumi con il motore a benzina è il rendimento del ciclo di carica e scarica delle batterie, che dipende dalla tecnologia, dall'età delle batterie, dal sistema di raffreddamento e da altri fattori. Per il nostro studio abbiamo ipotizzato un rendimento del 90%

Per quanto concerne i consumi di un'eventuale versione a benzina o per una comparazione diretta con le varianti elettriche si ipotizza che il servizio turistico sia proposto con le stesse imbarcazioni, così da equiparare i costi di realizzazione dello scafo, i rendimenti dell'elica, della trasmissione e della potenza necessaria all'avanzamento. Il rendimento del motore a benzina è fissato al 20% compatibile con i rendimenti misurati sulle automobili meno performanti. Per il calcolo della produzione di CO₂ verrà considerato un valore di emissione di 2.38 grammi per litro di benzina.

3 Dati tecnici

3.1 Imbarcazioni - caratteristiche tecniche

Come si è potuto capire nei capitoli precedenti le incognite dovute alle molteplici possibilità di costruzione o di utilizzo delle imbarcazioni e delle infrastrutture annesse potranno produrre enormi differenze tra i risultati teorici e quelli pratici.

Nel presente capitolo verranno presentati due tipologie di risultati, uno riferito a un contesto generalizzato dove i grafici e le riflessioni riportate potranno essere utilizzati per meglio comprendere il comportamento e l'utilizzazione delle imbarcazioni a propulsione elettrica, mentre nella seconda parte si presenteranno alcuni scenari relativi alle possibili utilizzazioni sul lago Maggiore. Non sarà possibile presentare tutti gli scenari, ma la panoramica permetterà di individuare quegli elementi sensibili che dovranno poi essere studiati e approfonditi dai promotori del progetto, assieme ai partner, in caso di realizzazione.

3.2 Caratteristiche della potenza di propulsione in funzione della velocità

Nei seguenti grafici viene rappresentata la potenza elettrica necessaria per la navigazione con le tre differenti imbarcazioni (catamarano 12 posti / 60 posti e un monoscafo da 12 posti). Nel mondo della nautica non esistono norme che definiscono le condizioni standard per la rappresentazione delle caratteristiche dei consumi ed è quindi indispensabile chiarire che i dati presentati sono stati ottenuti mediante un simulatore il cui algoritmo è stato verificato comparandolo alle misure realizzate su imbarcazioni simili.

I valori si riferiscono ad una barca completamente equipaggiata, navigando in condizioni ottimali (senza vento e senza increspature) e con il carico di passeggeri massimo.

Catamarano 60 posti

Massimo 60 posti,
Larghezza 6 - 8 m,
Lunghezza variabile tra 14 e 16 m,
Velocità ottimale di crociera di circa 10 -12 km/h.

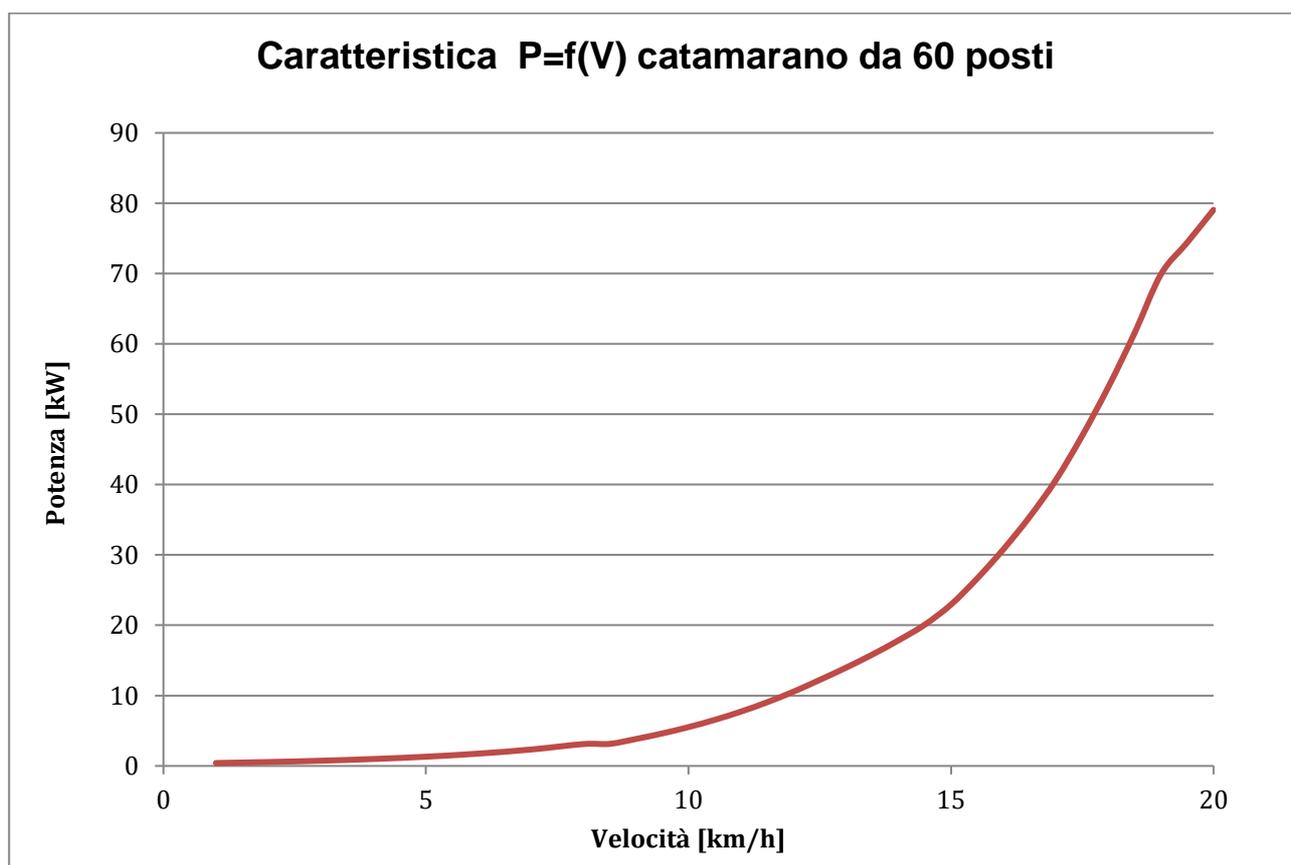


Grafico 1 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (C60)

Catamarano 12 posti

Massimo 12 posti,
Larghezza 2.5 m,
Lunghezza variabile tra 7 e 8 m,
Velocità ottimale di crociera di circa 8-10 km/h.

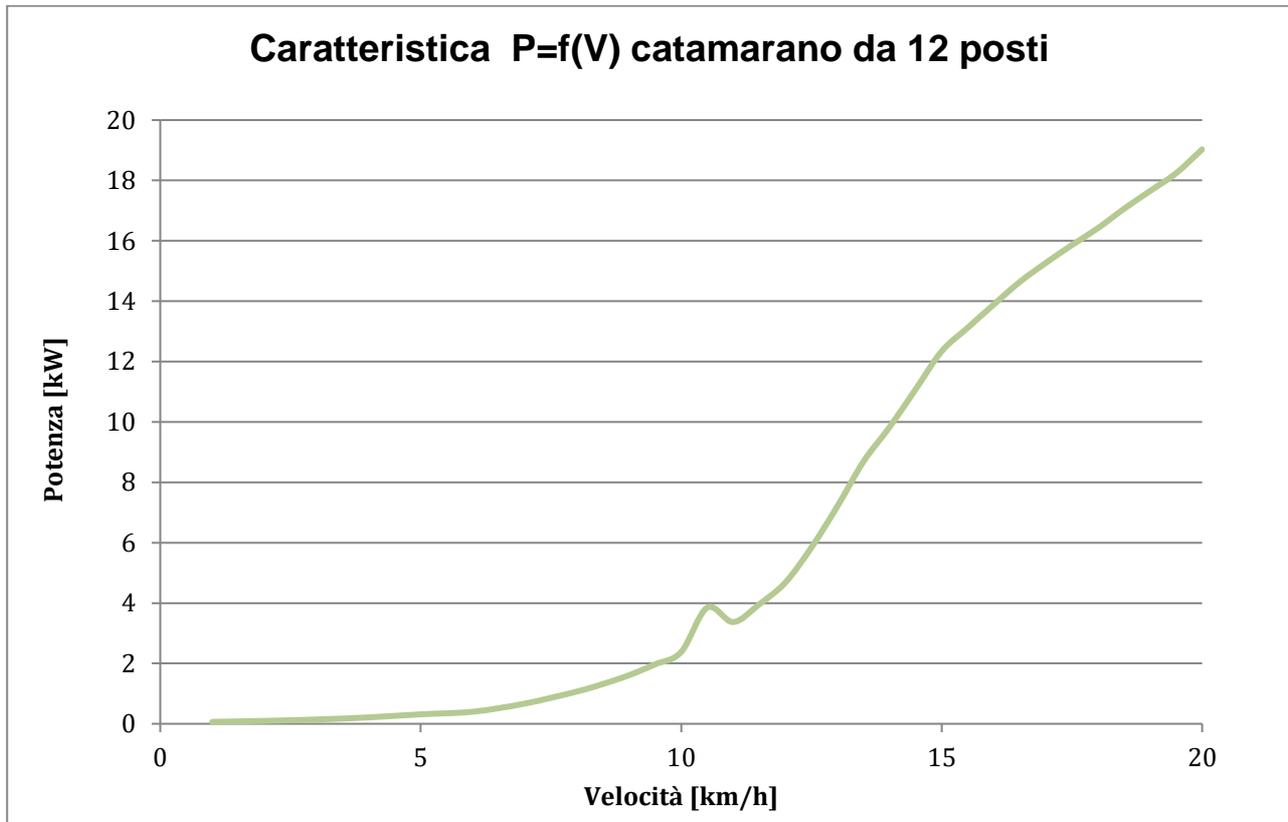


Grafico 2 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (C12)

Monoscafo 12 posti

Massimo 12 posti,
Larghezza 2.5 m,
Lunghezza variabile tra 8 e 11 m,
Velocità ottimale di crociera di circa 8-10 km/h.

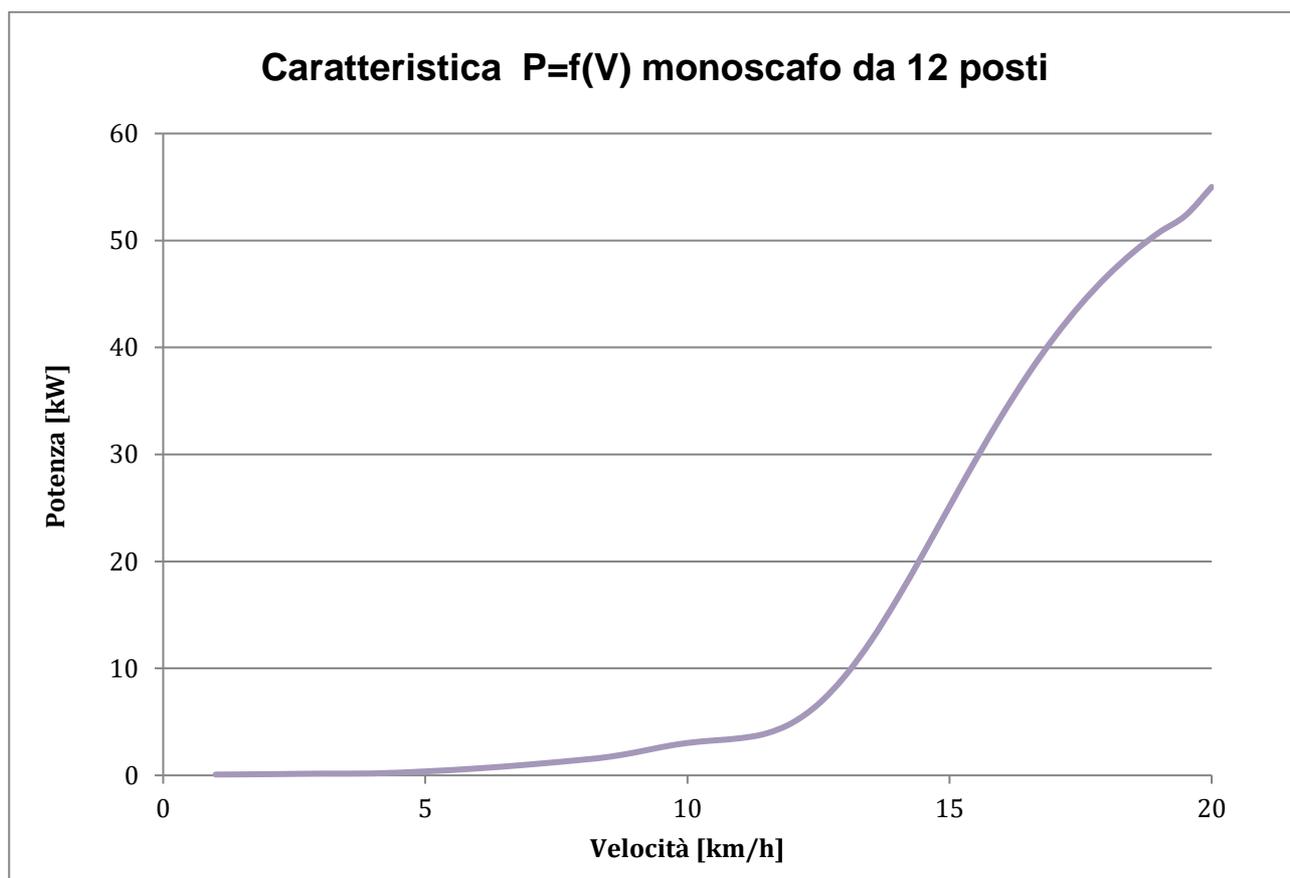


Grafico 3 – Caratteristica della potenza necessaria all'avanzamento in funzione della velocità (M12)

3.2.1 Comparazione delle caratteristiche delle 3 imbarcazioni

Come si può notare nel grafico sottostante, fino ad una velocità di 10-12 km/h il consumo di tutte le barche è molto ridotto, l'imbarcazione da 60 posti ha un consumo leggermente maggiore ma rapportato al numero dei posti a disposizione risulta molto interessante.

Discorso leggermente differente per le velocità comprese tra i 12 e 15 km/h, in questa fascia si può notare come il comportamento del monoscafo varia notevolmente dopo i 12 km/h.

Grazie a questo grafico si può definire un impiego consono al tipo di imbarcazione a disposizione ottimizzando così i consumi.

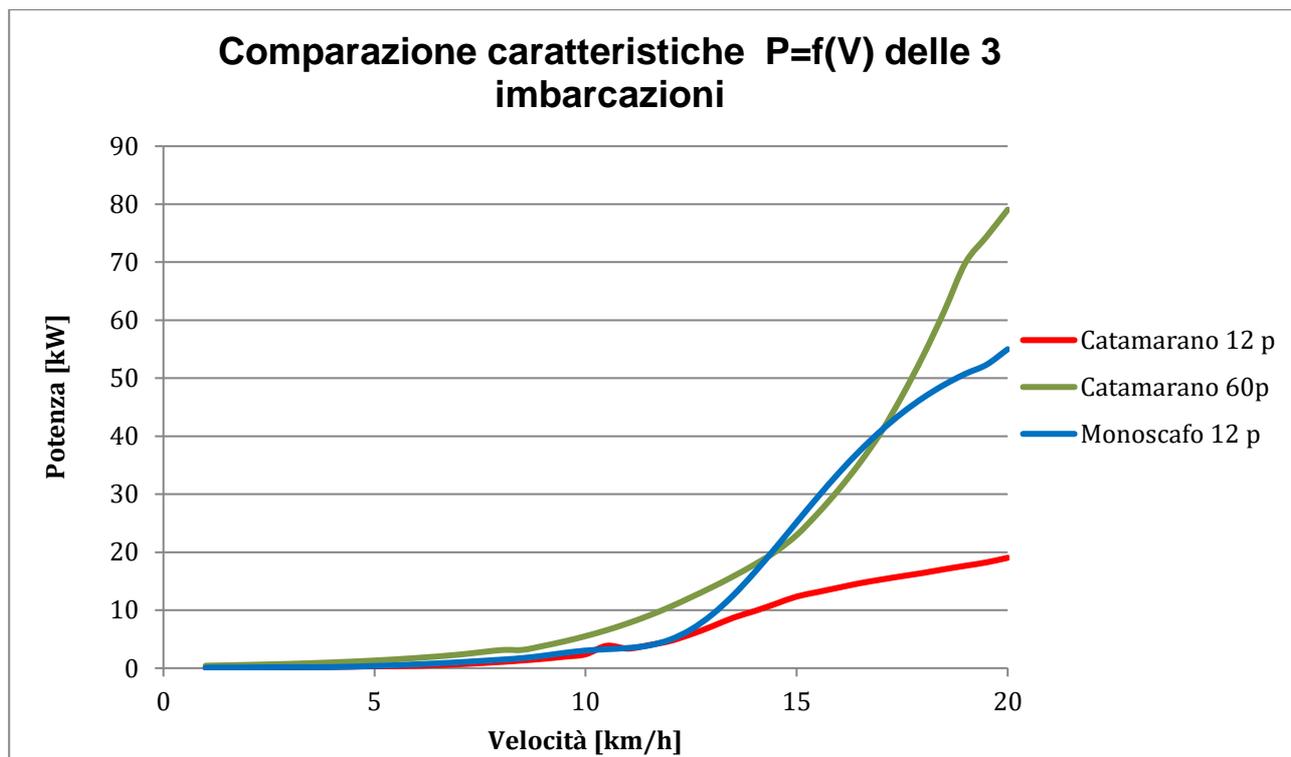


Grafico 4 – Comparazione delle caratteristiche della potenza di avanzamento in funzione della velocità, C12 – C60 – M12

Analizzando il grafico si può constatare facilmente che la velocità di crociera consigliata per questi tipi di imbarcazioni corrisponde grossomodo al momento in cui i consumi iniziano ad aumentare in maniera esponenziale.

Le caratteristiche presentate fino ad ora riproducono i valori del modello di base, realizzato con batterie al piombo, dimensionate per navigare 8 ore alla velocità di crociera.

Se vogliamo aumentare la velocità di crociera bisognerà calcolare l'energia necessaria dimensionando correttamente il numero di batterie.

Se prendiamo l'esempio del catamarano da 60 posti possiamo notare come la potenza necessaria all'avanzamento sia 10 volte superiore a una velocità di 20 km/h rispetto ai 10 km/h della versione di base. Per poter navigare a velocità superiori, oltre ad un motore più potente sarà indispensabile un numero di batterie superiore, aumentando notevolmente il peso e di conseguenza modificando la caratteristica appena presentata. Per avere un quadro completo e rappresentativo è fondamentale quindi analizzare la relazione tra l'aumento del fabbisogno di energia e il peso totale.

3.3 Batterie

La scelta delle batterie è una parte fondamentale per la riuscita di questo progetto. Come già sottolineato per gli altri componenti, l'evoluzione della tecnica negli ultimi anni è stata impressionante e le batterie di nuova generazione ne sono la prova lampante. Grazie soprattutto alla ricerca svolta nell'ambito automobilistico le batterie attuali hanno raggiunto standard che solo pochi anni fa erano inimmaginabili. Per questo motivo per l'analisi di mercato e l'identificazione delle migliori soluzioni è stato indispensabile affidarci ad uno specialista del settore così da poter garantire una conoscenza approfondita e attuale di tutte le differenti tecnologie. In questo ambito l'esperienza accumulata dai collaboratori di un partner del progetto, ProtosCar, è stata fondamentale. Secondo una loro ricerca di mercato sono state individuate alcune batterie particolarmente idonee ad essere utilizzate su un'imbarcazione.

Per un progetto che prevede la realizzazione di poche unità, la scelta delle batterie, si è focalizzata sui pacchetti già pre-assemblati e sviluppati per il settore automobilistico.

Questa scelta ha innumerevoli vantaggi, innanzitutto i prodotti presenti in commercio sono stati collaudati e certificati, garantendo un'affidabilità e una sicurezza superiore ad un nuovo prodotto. Inoltre le condizioni ambientali per le quali sono state sviluppate le batterie destinate alle automobili di tutto il mondo sono pressoché le stesse che potremmo riscontrare sui nostri laghi. Anche l'aspetto normativo non deve essere sottovalutato e a differenza di alcune piccole particolarità nei sistemi di protezione dei circuiti elettrici è possibile applicare le stesse norme definite per le auto elettriche.

È lampante che anche dal profilo economico sia la scelta più vantaggiosa, una soluzione esclusiva comporterebbe costi di sviluppo e di realizzazione più elevati. Questa soluzione potrebbe essere considerata solamente nel caso in cui sarebbero necessarie diverse imbarcazioni uguali.

Qui di seguito vengono presentate le batterie utilizzate nei capitoli successivi, a causa delle innumerevoli variabili del progetto, non è stato possibile identificare un solo tipo di batteria, poiché per ogni variazione (velocità di crociera, chilometri percorsi, tipo di imbarcazione, ecc.) è stata identificata la batteria migliore.

Produttore	Tecnologia	Modello	OCV [V]	E [kWh]	Potenza continua [kW]	Potenza di picco [kW]	Massima potenza ricarica [kW]	Peso [kg]	Dimensioni [L x W x H mm]	Prezzo	Potenza massima per la ricarica rapida [kW]
FZ SONICK	Na-NiCl ₂	Z5-278-ML3X-64	278	17.8	N/A	30	N/A*	182	825 x 530 x 296	14000	6
FZ SONICK	Na-NiCl ₃	Z5-557-ML3X-32	557	17.8	N/A	30	N/A	182	825 x 530 x 296	14000	
FZ SONICK	Na-NiCl ₄	Z5-278-ML3X-76	278	21.2	N/A	30	N/A	182	825 x 530 x 296	14000	
FZ SONICK	Na-NiCl ₅	Z5-557-ML3X-38	557	21.2	N/A	30	N/A	182	825 x 530 x 296	14000	
Brusa	Li-Ion	EV B1-350-40	350	14	70	28	28	130	760 x 516 x 300		
Brusa	Li-Ion	EV B1-350-40-HP	350	14	112	210	42	130	760 x 516 x 300		
Brusa	Li-Ion	EV B1-400-40	400	16	80	160	32	145	844 x 511 x 300	?	25
Brusa	Li-Ion	EV B1-4000-40-HP	400	16	128	240	48	145	844 x 511 x 300		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 8M 53 NMC	355	18.8	94.1	150.6	37.7	171	1300 x 600 x 210		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 9M 53 NMC	399.6	21.2	105.9	169.4	42.4	191	998 x 750 x 210		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 12M 53 NMC	177.6 - 532.8	28.2	71 - 141.2	142.1 - 225.9	56.5	253	1594 x 600 x 210		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 15M 53 NMC	222 - 666	35.3	88.8 - 176.5	177.6 - 282.4	70.6	314	1545 x 750 x 210	26475	70
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 24M 53 NMC	355.2 - 532.8	56.5	142.1 - 213.1	284.2 - 426.2	113	506	1545 x 600 x 420		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 30M 53 NMC	444 - 666	70.6	177.6 - 266.4	355.2 - 532.8	141.2	629	1545 x 750 x 420		
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 36M 53 NMC	532.8	84.7	213.1	426.2	169.4	759	1594 x 600 x 630	63525	
Akasol	Li-Ion (NMC)	Akasystem 45M 53 NMC	666	105.9	266.4	532.8	211.8	943	1545 x 750 x 630		
Torqueedo	Li-Ion (LFP)	Deep Blue Energy Core Pack	345	12.8	N/A	N/A	N/A	150	1191 x 497.5 x 328.5	14000	20
A123	Li-Ion (LFP)		393	23	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Renault	LMO	Fluence Z.E.	240 - 403	22	N/A	85*	35	290	764 x 1288 x 832		
Nissan	LMO+LNO	Leaf	240 - 403	24	N/A	400	200	218	570,5 x 1188 x 264,1	3696	17

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche delle batterie presenti sul mercato [Protoscar]

Una delle caratteristiche principali per la scelta del tipo di batteria è la tensione di uscita. Per non trovarsi nella situazione di dover sviluppare dei componenti elettronici specifici ci siamo basati sulla tecnologia utilizzata momentaneamente nel settore automobilistico, settore che offre molte possibilità sia per l'elettronica di potenza che quella di gestione. Per garantire una totale compatibilità con i componenti disponibile sul mercato il limite della tensione non deve superare i 400 V.

Inoltre nel dimensionamento del sistema di motorizzazione bisogna considerare che per garantire una durata di vita delle batterie la carica delle stesse non deve scendere sotto il 20%, 30% se si usano batterie di seconda mano.

Essendo un mercato relativamente nuovo i listini dei prezzi non sono reperibili pubblicamente, ma è necessario contattare il fabbricante o il fornitore per avere maggiori informazioni. I prezzi indicati nella tabella sono quindi da considerarsi indicativi e sicuramente potranno subire variazioni nel corso dei prossimi anni. Il fabbricante delle batterie Brusa non ha voluto comunicare i costi spiegando che attualmente i prezzi sono stabiliti individualmente in base al tipo di ordine.

Nel capitolo dedicato ai risultati alle batterie Brusa verrà attribuito un costo al kWh equivalente alle batterie Akasol.

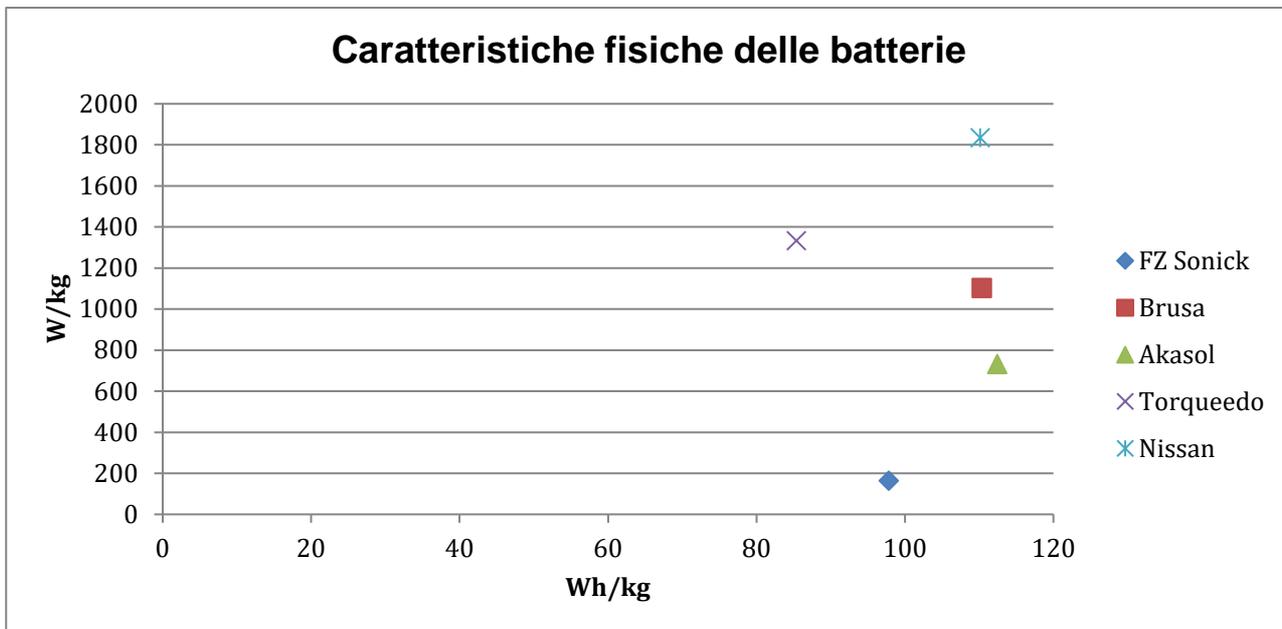


Grafico 5 – Comparazione del rapporto potenza/peso in funzione del energia/peso delle batterie considerate nello studio (evidenziati in verde nella tabella precedente) [Protoscar]

3.3.1 Ciclo di ricarica

Durante la carica la temperatura delle batterie deve essere controllata con cura, soprattutto con le batterie al Litio.

Per quanto riguarda il raffreddamento esistono diverse possibilità dettate dal fornitore (ad aria forzato, ad aria per convezione o ad acqua), veicoli con sistemi di raffreddamento convenzionale o poco efficiente riescono a sfruttare la massima potenza di carica solo per una frazione di tempo del processo di carica, in questi casi la potenza media di carica è decisamente inferiore alla potenza massima del carica batterie limitando notevolmente l'energia immagazzinata. Nei casi peggiori se la temperatura non è correttamente controllata le batterie potrebbero danneggiarsi seriamente.

Nel seguente grafico possiamo notare come varia la curva di ricarica di una batteria alimentata con una stazione da 50 e da 25 kW. Il grafico, che si riferisce ad auto il cui pacco batterie è raffreddato per semplice convezione, mostra che la diminuzione del tempo di carica non è direttamente proporzionale all'aumentare della potenza.

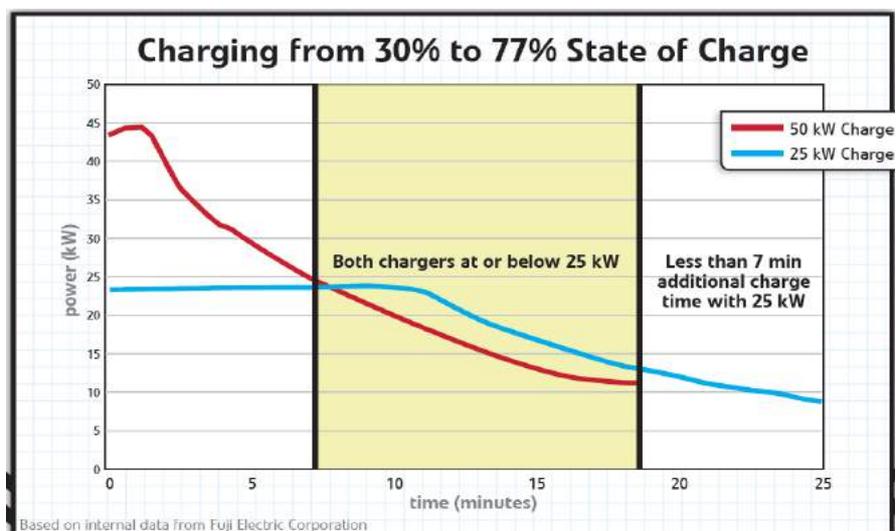


Grafico 6 – Variazione della potenza di ricarica in funzione del tempo (esempi con colonnine da 25 e 50 kW) [Protoscar]

A causa dell'aumento della temperatura l'energia immessa nelle batterie deve essere ridotta (per evitare danni permanenti), l'effetto è maggiore con una ricarica da 50 kW mentre è più attenuato e ritardato nel tempo con una ricarica da 25 kW.

È evidente che se si dispone di un tempo di ricarica superiore ai 12 minuti non è necessario e troppo costoso realizzare una ricarica troppo potente. Contrariamente se si dispone di poco tempo una ricarica rapida permette di immagazzinare il doppio dell'energia. In generale, a parità di sistema di raffreddamento, più la batteria è scarica e maggiore è la quantità di energia che si riesce a caricare nella prima parte del processo di carica (cioè quello a corrente costante, vedi cap. 7.2).

3.4 Ricarica rapida e infrastrutture

Se nel campo delle batterie sono già diversi anni che c'è un costante miglioramento sia dal punto di vista della durata di vita che nell'energia immagazzinata, negli ultimi anni, a rendere ancora più interessante questa tecnologia, è stato lo sviluppo delle postazioni di ricarica veloce e superveloce.

Di conseguenza utilizzando le batterie sviluppate per automobilistica si potrà sfruttare anche la tecnologia disponibile sul mercato per le postazioni di ricarica.

Come per le batterie questa scelta permetterà di assicurarsi dei prodotti di qualità, realizzati in quadro normativo ben definito e disponibili in una vasta gamma di potenze con la possibilità di ricariche lente, veloci o superveloci.

Inoltre in un'ottica di un concetto globale di mobilità sostenibile sarà possibile creare una sinergia tra i parcheggi per le auto elettriche e le barche, permettendo di sfruttare l'investimento durante tutto l'anno o nei momenti in cui le imbarcazioni non sono ormeggiate.

3.4.1 Principio generale

Per ricaricare le batterie di un veicolo o di un'imbarcazione occorre fornire corrente continua. Essa può essere generata direttamente da un generatore di corrente continua, come ad

esempio i moduli fotovoltaici o le celle a combustibile, o indirettamente tramite un convertitore raddrizzando la corrente alternata delle rete elettrica. Attualmente il sistema di ricarica si basa su tensioni continue da 300-400 V, in futuro, per aumentare la potenza di ricarica e diminuire le perdite sarà possibile un aumento fino ad 800 V, per questo motivo nei capitoli precedenti dedicati alle batterie sono state scelte le soluzioni da 400 V. Durante la ricarica però la tensione e la corrente devono essere controllate con precisione, per evitare surriscaldamenti che potrebbero danneggiare permanentemente le batterie. Di conseguenza fra l'alimentazione e le batterie ci deve essere un sistema di conversione e di controllo come mostrato nell'immagine qui sotto:

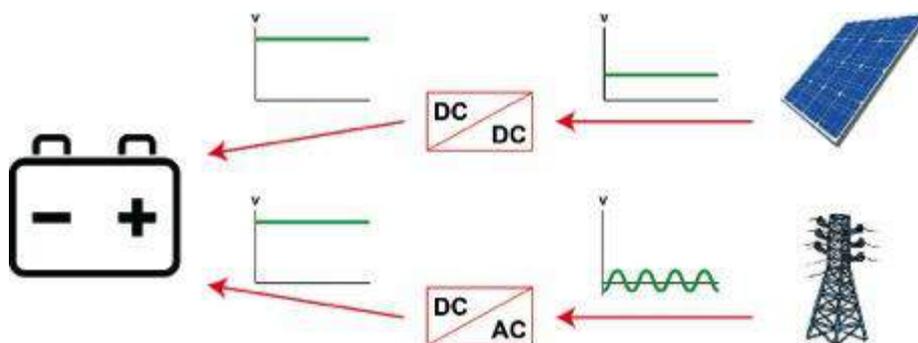


Figura 16 – Schema di principio per la ricarica delle batterie con corrente AC o DC

3.4.2 Tecnica di ricarica

Solitamente nella maggior parte delle batterie per ottenere una ricarica completa partendo da una batteria quasi scarica si possono distinguere due fasi ben distinte. Il grafico sottostante rappresenta in maniera chiara questo processo :

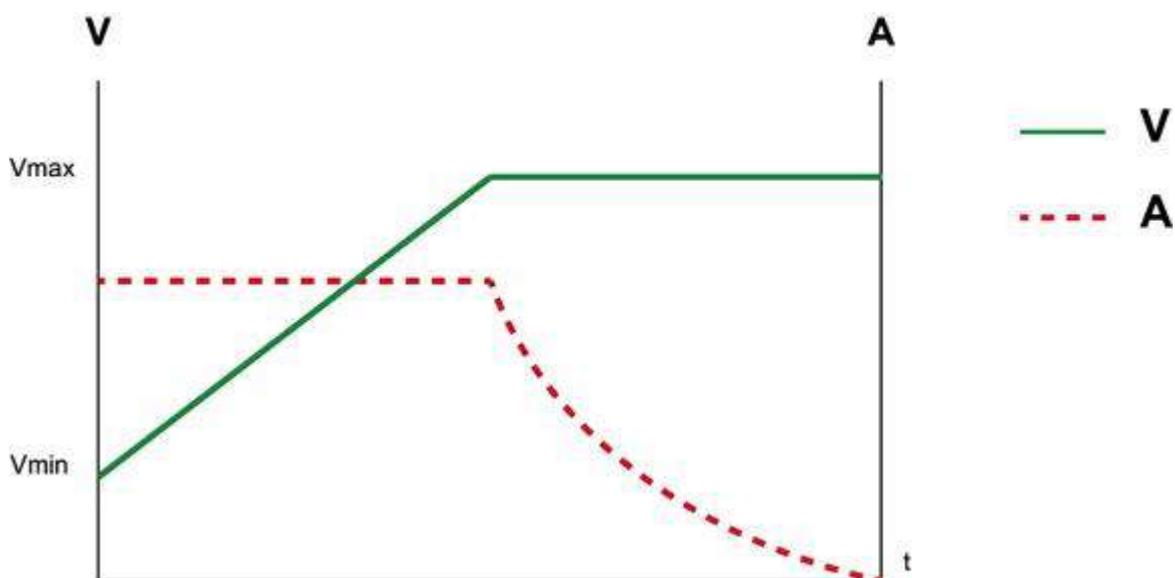


Figura 17 – Andamento della tensione e della corrente durante il ciclo di ricarica

In una prima fase la corrente immessa nelle batterie è costante, mentre la tensione aumenta fino al valore massimo ammissibile. La maggior parte dell'energia viene immagazzinata in questa fase.

Quando la tensione raggiunge il valore limite superiore inizia la seconda fase, dove la corrente decresce fino a raggiungere i 0 ampere. In questa fase avviene il bilanciamento delle singole celle che compongono la batteria.

3.4.3 Colonnine di ricarica, connettori e impiantistica

Le colonnine

Le colonnine di ricarica possono essere raggruppate in due grandi categorie, quelle più semplici che forniscono corrente alternata (che dovrà poi essere convertita in corrente continua sull'imbarcazione) e quelle dove la conversione è fatta esternamente al veicolo. Se il veicolo si collega ad una colonna di ricarica AC, la conversione AC/DC è fatta dal carica-batterie di cui è equipaggiato il veicolo stesso. Se invece ci si collega ad una colonna DC, l'energia passa direttamente dalla stazione di ricarica alle batterie, senza transitare per il carica-batterie. A loro volta le colonne sono collegate alla rete o direttamente (morsettiera) o mediante un connettore industriale.

Tutte le colonne di ricarica hanno al loro interno un sistema di comunicazione con il veicolo che consente di effettuare la carica conformemente ai requisiti di sicurezza previsti dalle normative. Nelle colonne pubbliche sono poi presenti i sistemi di accesso ed eventualmente di pagamento per consentire la carica solo a coloro che ne hanno diritto.

Inoltre è sempre possibile la ricarica con una presa domestica: in questo caso la potenza di carica viene automaticamente ridotta (< 3 kW), il che permette di ricaricare circa 10 km di autonomia per ogni ora di carica. La strategia delle case automobilistiche è quella di equipaggiare le auto con carica-batteria di potenza ridotta (inferiore a 11kW nella stragrande maggioranza dei casi, solo un produttore offre carica in AC a 22kW) e di utilizzare le stazioni di ricarica DC per cariche per potenze più elevate.

Per questo motivo le stazioni di ricarica in corrente alternata forniscono potenze ridotte, che possono variare tra i 11 kW delle ricariche accelerate ai 22 kW per le ricariche veloci, mentre quelle in corrente continua partono dai 22kW, sino ai 50 kW per le ricariche rapide fino ad arrivare a quelle di ultima generazione che prevedono una potenza di ricarica da 150 kW. Altro aspetto che caratterizza le colonne di ricarica è la presenza di connettori (prese o spine dedicate), appositamente progettati per gestire le potenze in gioco e la comunicazione con il veicolo (vedi capitolo seguente).

Nelle immagini sottostanti sono illustrati alcuni esempi:



Figura 18 – Stazioni di ricarica Totem in corrente alternata (Potenze fino a 22 kW)



Figura 19 – Stazioni di ricarica Totem in corrente continua (Potenze fino a 150 kW)

A livello dei costi le indicazioni reperibili sul mercato sono molto variabili. Attualmente i costi variano tra 18'000 e 30'000 per le stazioni da 20 kW, da 25'000 a 50'000 per quelle da 50 kW, mentre le colonnine più potenti (150 kW) i costi sono stimati tra 50'000 e 90'000 franchi. Nel capitolo dei risultati per le analisi tecniche ed economiche si considereranno i costi seguenti:

- 20 kW : 25'000
- 50 kW : 40'000
- 150 kW: 80'000

La stessa strategia utilizzata dalle case automobilistiche può essere applicata anche a questo progetto: dopo aver definito il profilo della missione, la dimensione dei blocchi batteria, la loro tensione nominale e la potenza elettrica di rete disponibile nei pressi dei moli, sarà possibile procedere con l'identificazione e il dimensionamento ottimale dell'infrastruttura di ricarica.

Se durante l'utilizzo non sono possibili delle soste per la ricarica il pacco batterie deve essere sufficientemente grande per coprire l'autonomia giornaliera. In questo caso l'infrastruttura al porto sarà minima, necessitando solamente di una stazione di ricarica AC per la ricarica "lenta" con convertitore "on-board".

Se i tragitti permettono delle soste prolungate può avere senso una carica rapida in DC. In questo caso si può immaginare o una stazione di ricarica DC mobile da mettere a bordo o una stazione di ricarica DC fissa in porto.

La prima soluzione è raccomandata quando si hanno tempi di sosta maggiori di 15 minuti. Le batterie possono essere caricate con ricarica accelerata (fino a 25 kW), e con un sistema "on-board" si evitano strutture fisse nel porto, diminuendo nel contempo la quantità di batterie necessarie sull'imbarcazione. Lato porto è semplicemente necessaria la disponibilità di una presa industriale trifase a cui collegare la stazione di ricarica mobile a bordo. In questo caso una stazione con una potenza superiore (es. 50 kW) sarebbe interessante solamente se vi fossero più utilizzatori in contemporanea.

La seconda soluzione è raccomandata con tempi di sosta più corti 5-12 minuti ove sarà necessario un sistema con una potenza di ricarica superiore, permettendo così di immettere nelle batterie molta energia in breve tempo. Le masse ed i volumi di questo sistema implicano necessariamente una sua collocazione in porto.

I connettori

La normativa internazionale a livello automobilistico ha normalizzato 3 tipi di connettori per la carica in AC (denominati Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 3) e 3 per la carica in DC (denominati Tipo 1 CCS, Tipo 2 CCS e CHAdeMO). Per la ricarica AC solo il Tipo 1 e il Tipo 2 hanno riscosso successo, mentre per la ricarica DC in Europa il Tipo 2 CCS è di utilizzo generalizzato anche se le colonne di ricarica spesso hanno sia il connettore Tipo 2 CCS che quello CHAdeMO. Il vantaggio di utilizzare sistemi automobilistici risiede nel fatto che sono stati progettati per garantire il massimo livello di sicurezza: infatti, a differenza dei normali connettori di tipo industriale, essi sono dotati anche di connettori aggiuntivi per la comunicazione fra auto e stazione di ricarica, proprio per svolgere i controlli di sicurezza.

Fra i vari tipi normalizzati la scelta dipenderà dalla modalità di carica (cioè lenta in AC o rapida in DC) e quindi, in ultima analisi, dalla grandezza del pacco batterie e dal profilo di missione (tempi di percorrenza, tempi di sosta e numero di corse giornaliere).



Figura 20 – Cavi per la ricarica (Potenze fino a 3 kW)



Figura 21 – Cavi per la ricarica in AC (Potenze fino a 22 kW)



Figura 22 – Cavi per la ricarica in DC (Potenze fino a 150 kW)

	Type 1/USA	Type 2/Europa
Alternating current (AC)	 SAE J1772/IEC 62196-2	 IEC 62196-2
Direct current (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3
„Combined AC/DC charging system“	 SAE J1772/IEC 62196-3	 IEC 62196-3

Figura 23 – Connettori (lato veicolo)

Sulle imbarcazioni si raccomanda un connettore di tipo 2, se è prevista la carica AC, mentre per le ricarica in DC di tipo 2 CCS. Questi connettori consentono sia la carica rapida DC che la carica lenta AC notturna.

In conclusione non esiste al momento una soluzione predefinita o migliore di altre. La scelta dei singoli componenti è una conseguenza diretta delle scelte e delle possibilità tecniche disponibili vicino ai porti (pontili) e della versatilità e flessibilità che si vuole raggiungere con ogni singola imbarcazione.

L'identificazione e il dimensionamento ottimale del sistema di ricarica può avvenire solo dopo aver definito il profilo della missione, dimensione dei blocchi batteria, la loro tensione nominale e la potenza elettrica di rete disponibile nei pressi dei moli.

3.4.4 Infrastruttura elettrica e reti di distribuzione

L'elaborazione di un progetto innovativo, come la conversione di un servizio turistico basato su imbarcazioni dotate di un motore termico, richiede una attenta analisi delle infrastrutture necessarie.

L'utilizzo di imbarcazioni elettriche per un servizio giornaliero, compatibile con le esigenze di un servizio turistico che vuole promuovere e rilanciare tutta una regione, necessita di un fabbisogno energetico importante. Per riscuotere un interesse generale è fondamentale che il turista possa raggiungere facilmente, sia utilizzando i mezzi di trasporto pubblici che l'automobile, il luogo d'imbarco e di sbarco.

Considerati i percorsi proposti è evidente che l'unica soluzione attuabile graviti attorno al porto di Locarno.

Se dal lato turistico questa è la soluzione più ovvia e sensata, tecnicamente comporta parecchie difficoltà. Purtroppo attualmente le infrastrutture elettriche nei pressi del porto di Locarno non sono idonee per alimentare delle postazioni di ricarica rapida che richiedono potenze elevate.

Il problema tecnico maggiore è dato dal fatto che tutto il lungolago di Locarno è potenzialmente inondabile, quindi collocare cabine di trasformazione "in zone a rischio" richiede una pianificazione molto complessa e costosa.

Secondo un'analisi sommaria, e considerato quanto esposto fino ad ora, nella zona del porto di Locarno sono state individuate alcune aree, dove è tecnicamente possibile sviluppare un concetto di ricarica rapida. Escludendo la possibilità di raggiungere il porto principale, poiché difficilmente realizzabile sia dal profilo economico che pianificatorio, ci sarebbe la possibilità di installare una cabina di trasformazione in zona tennis in grado di alimentare 3 colonnine da 150 kW che potrebbero essere posizionate a nord del nuovo Lido. Il costo di questa variante è stimato a 250'000 franchi escluse le colonnine.

Una seconda possibilità è stata individuata all'imbarcadero di Muralto. In questo caso con un investimento minore, stimato a 100'000 franchi, sfruttando delle cabine di trasformazione già presenti in loco si potrebbe allacciare una colonnina da 150 kW.

Esistono poi altre due località, una in zona industriale nei pressi della foce della Maggia e una a Tenero Mappo, dove tecnicamente sarebbe possibile creare un allacciamento a costi inferiori, ma evidentemente non possono essere presi in considerazione poiché troppo discosti dal centro turistico della regione.

3.5 Tempo di ricarica in funzione della velocità

Nel grafico sottostante è raffigurato il tempo a disposizione della ricarica in rapporto alla velocità di navigazione (valore medio di tutto il tragitto) variando la lunghezza del percorso. Da notare che anche in questo caso non si tratta di una relazione lineare, e di conseguenza bisogna valutare attentamente i vantaggi e gli svantaggi dell'aumento di velocità.

Considerate le caratteristiche della ricarica rapida, dove valore nominale della ricarica è garantito solo per i primi 10-12 minuti, al momento della definizione di un progetto specifico bisognerà analizzare attentamente le velocità che permettano di compiere il percorso desiderato in circa 1 ora e 45 minuti.

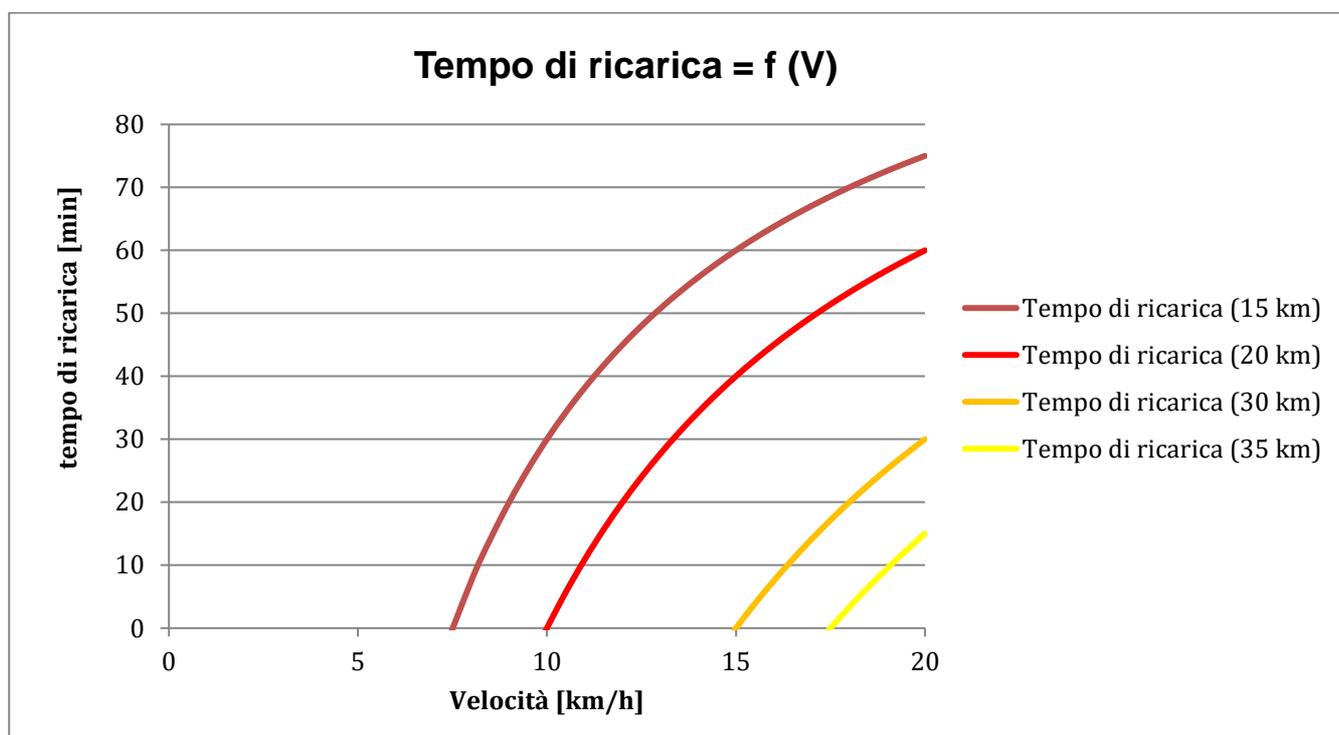


Grafico 7 – Evoluzione del tempo a disposizione della ricarica in funzione della velocità per differenti percorsi

4 Risultati

Un pre-dimensionamento comporta l'analisi approfondita dei risultati, scaturiti dalla combinazione di tutte le variabili come la lunghezza del tragitto, il tipo di imbarcazione, il tipo di batteria e le differenti potenze di ricarica. Combinando le caratteristiche di questi elementi è possibile identificare la soluzione tecnica che permetterà di percorrere il tragitto stabilito alla velocità desiderata.

Appare fin da subito chiaro che il numero di combinazioni è molto elevato e le soluzioni applicabili potranno essere tecnicamente molto differenti. Considerando tutte le possibili variabili e in particolare al ragguardevole numero di batterie necessario in alcune varianti, fin dall'inizio ci si è posti il quesito dell'influenza del peso sul comportamento dell'imbarcazioni. È evidente che aumentando il peso imbarcato, sia se si tratta di persone o di materiale, lo scafo sprofonda maggiormente in acqua e di conseguenza il consumo di energia durante gli spostamenti aumenta, in proporzione alla maggior quantità di acqua spostata. Per evitare errori di dimensionamento dovuti ad approssimazioni troppo grossolane è stato indispensabile iniziare con una valutazione della variazione di consumo in rapporto al peso.

4.1 Consumo in funzione del peso

Le simulazioni sul comportamento dello scafo sono un processo molto complesso e lungo. Per ottimizzare il lavoro e l'analisi dei risultati, dopo alcune prove, è possibile affermare che a velocità inferiori i 10 km/h il peso non modifica sostanzialmente il consumo.

Nelle rappresentazioni grafiche mostrate nel capitolo precedente, il peso era una costante e il consumo variava unicamente in funzione della velocità. Considerato però che le imbarcazioni presenti sul mercato, con il quale è stato possibile sviluppare il simulatore, sono dimensionate per navigare 8 ore a delle velocità di crociera relativamente basse (8-12 km/h), con un aumento importante della velocità bisognerà considerare l'aumento di peso dovuto ad un numero maggiore di batterie

Grazie alle simulazioni effettuate dal laboratorio "Aerothermochemistry and Combustion Systems" del politecnico federale di Zurigo (LAV) contenute nel rapporto allegato è stato possibile determinare l'aumento dell'energia necessaria all'avanzamento in funzione dell'aumento di peso [W/kg].

Lo studio di questo andamento è molto complicato, basti pensare che nella relazione intervengono parametri come la superficie bagnata, la superficie frontale (forma dello scafo), il tipo di materiale, le dimensioni dello scafo, il baricentro, ecc.. Applicando delle regole semplificate è però possibile avere un'idea generale delle differenti risposte dinamiche applicabili alle tre tipologie di barche considerate nel presente studio. Un po' inaspettatamente le simulazioni hanno mostrato che oltre alla velocità anche il peso stesso influisce sulla variazione del consumo. I dati riportati nei grafici sottostanti rappresentano una media dei valori ottenuti variando il peso tra 200 e 3500 kg. Dimensionamenti che si discostano notevolmente da questi valori potrebbero risultare errati.

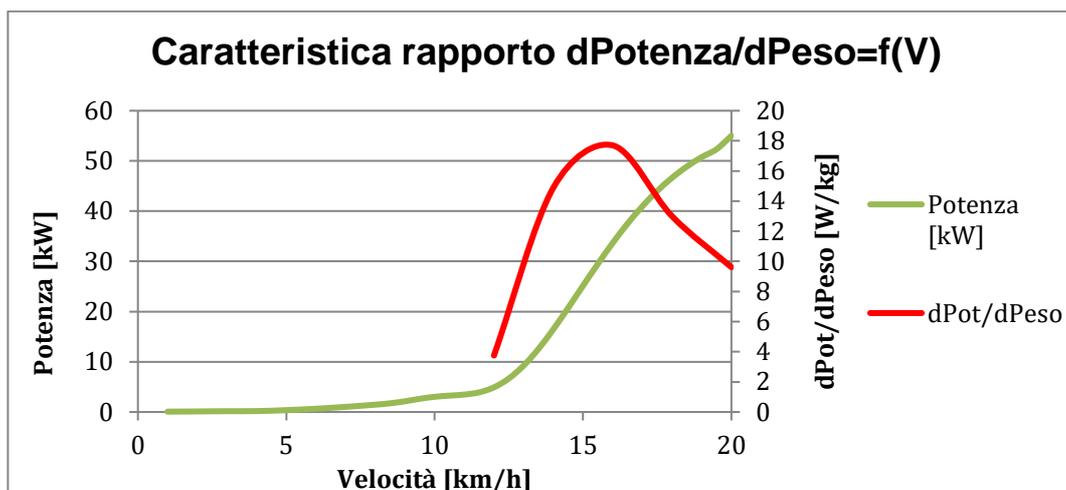


Grafico 8 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – M12

Come si può notare con l'aumentare della velocità il coefficiente di correzione muta in continuazione raggiungendo il valore massimo di circa 18 W/kg tra i 15 e i 16 km/h, per poi diminuire considerevolmente. Questa diminuzione potrebbe essere dovuta all'effetto planante dello scafo che sollevandosi diminuisce la massa d'acqua spostata.

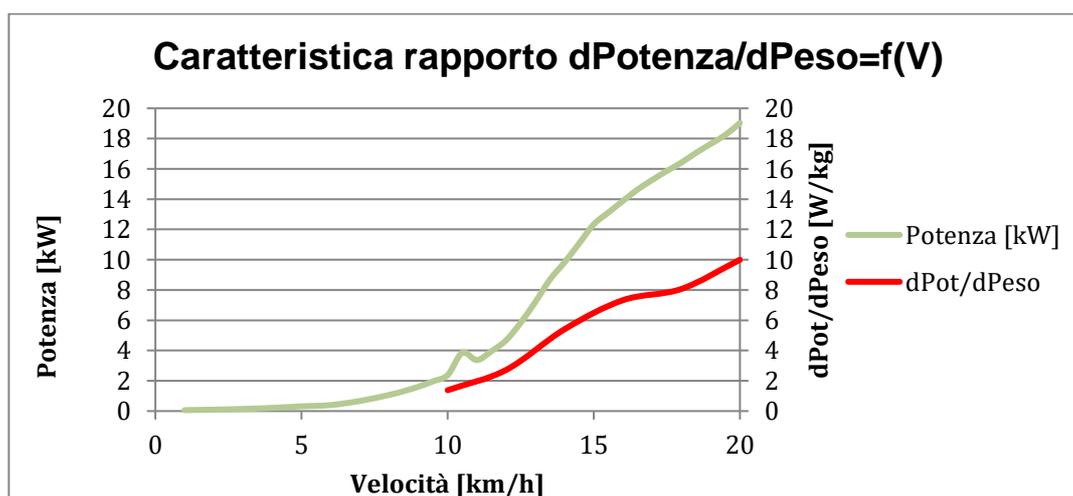


Grafico 9 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12

Per il catamarano da 12 posti la situazione è leggermente diversa, in questo caso il coefficiente di correzione è decisamente più basso soprattutto nella zona compresa tra i 14 e i 16 km/h inoltre ha un andamento più lineare.

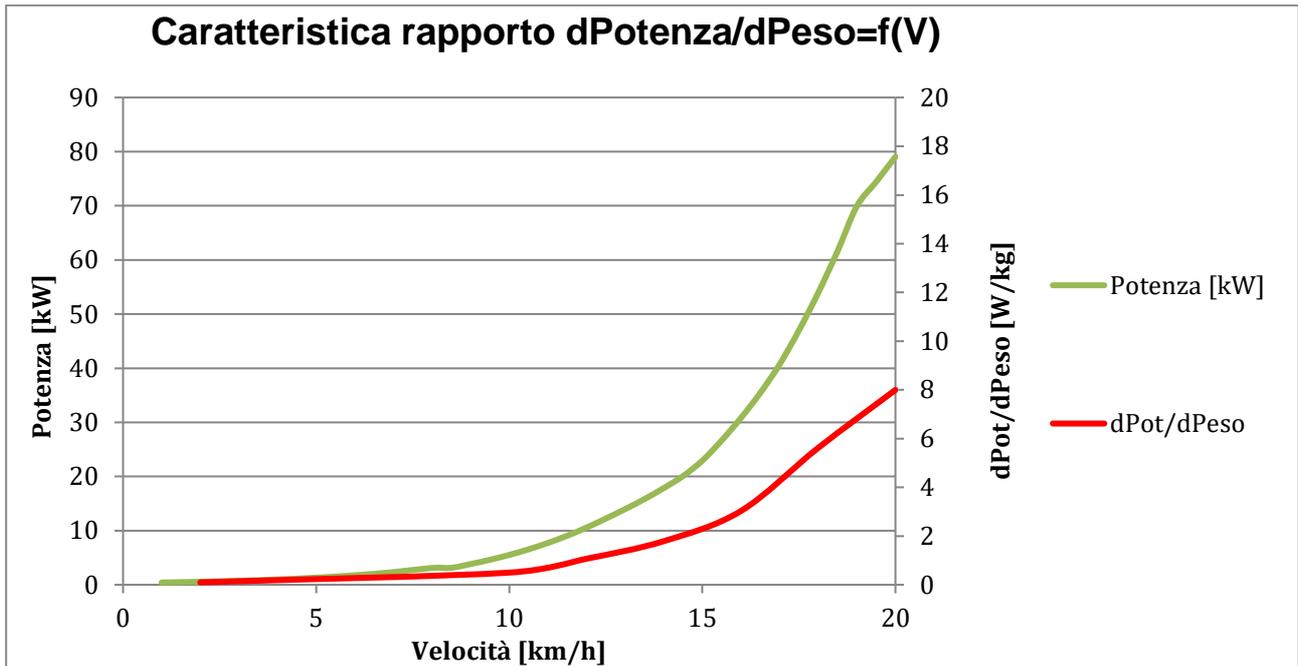


Grafico 10 – Caratteristica del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C60

Per il catamarano da 60 il coefficiente di correzione segue molto bene la curva della potenza inoltre in valore assoluto l'influenza del peso è decisamente minore. Questa differenza con le altre imbarcazioni è probabilmente dovuta ad una maggiore lunghezza dello scafo e a un'ottimizzazione del rapporto lunghezza-larghezza.

4.1.1 Comparazione delle caratteristiche delle 3 imbarcazioni

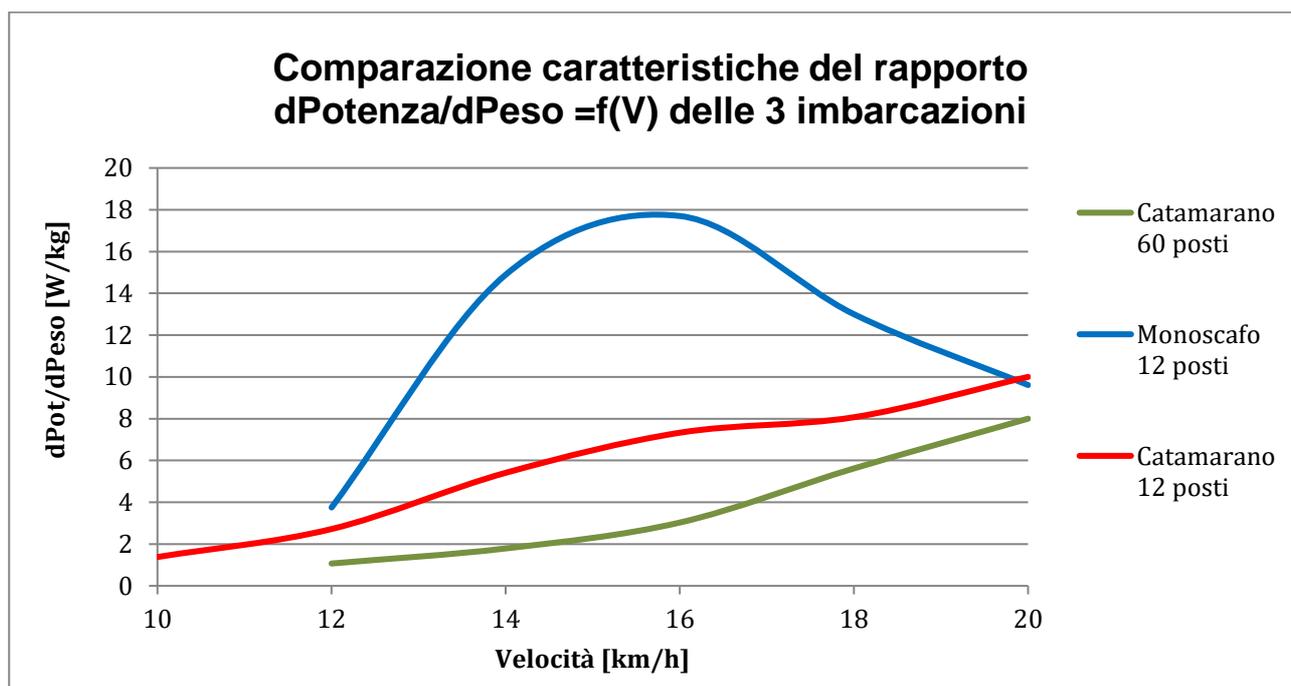


Grafico 11 – COMPARAZIONE delle caratteristiche del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12 – C60 – M12

Come era prevedibile fino ad una velocità di 12 km/h tutte e tre le imbarcazioni possono essere considerate ottimali. In effetti sia la potenza necessaria all'avanzamento (grafico alla capitolo precedente) hanno valori molto bassi. Per velocità superiori invece si può notare come ben presto la soluzione di uno scafo classico subisca un influsso del peso maggiore.

Grazie a queste indicazioni nel dimensionamento potremo tener conto della variazione del consumo in relazione al numero di batterie imbarcate.

Per semplificare le simulazione è stato ipotizzato che tra 0 e 12 km/h il coefficiente cambia linearmente mentre per velocità superiori le potenze necessarie all'avanzamento sono corrette mediante un'equazione che rappresenta le caratteristiche appena riportate.

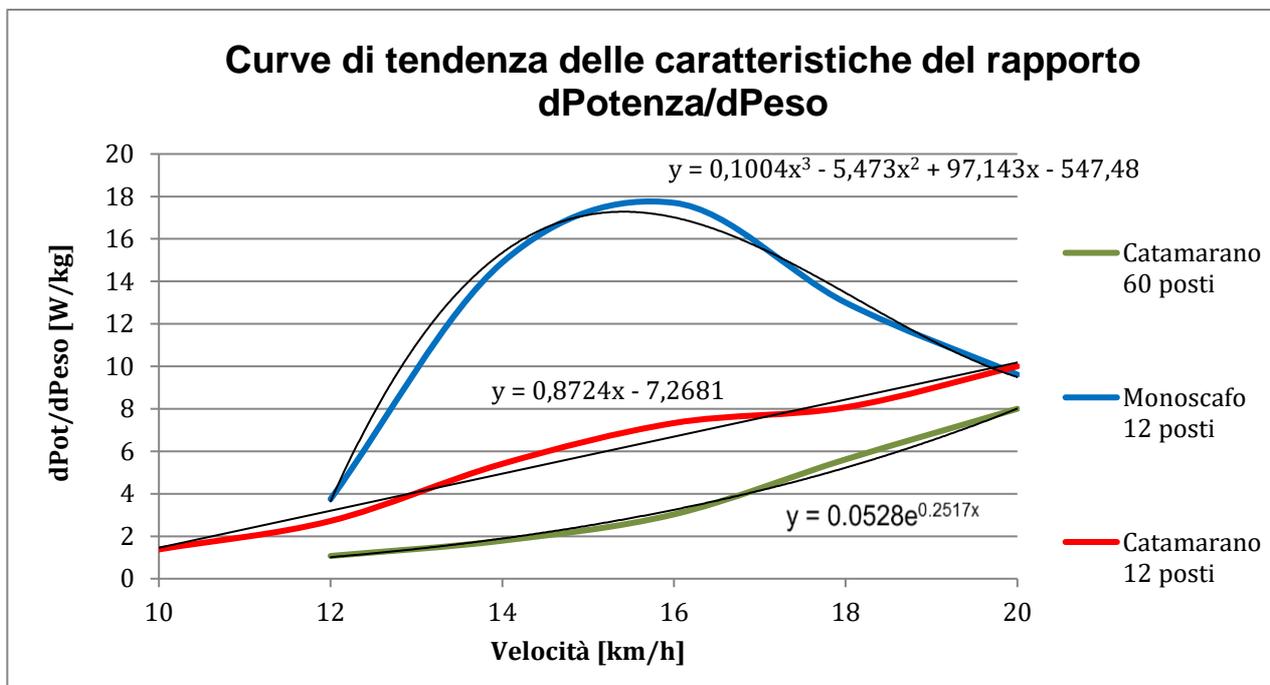


Grafico 12 – CURVE DI TENDENZA delle caratteristiche del rapporto dPotenza/dPeso (aumento della potenza in rapporto al peso) in funzione della velocità – C12 – C60 – M12

Prima di poter utilizzare questi parametri di correzione per calcolare l'influsso delle batterie usate nel nostro studio è necessario svincolare le caratteristiche di riferimento dal peso delle batterie al piombo. Secondo una stima basata sull'autonomia dichiarata dal fabbricante delle imbarcazioni utilizzate per validare il modello matematico risulta che sull'imbarcazione da 60 posti sono collocate un numero di batterie pari a 1330 kg, 430 sul monoscafo, 400 su un catamarano da 12 posti.

Esempi della variazione della potenza/energia in rapporto al peso

Nelle tabelle seguenti, grazie ad alcuni esempi concreti, possiamo comprendere meglio come il peso dovuto al numero di batterie modifichi la potenza necessaria alla propulsione.

Il primo esempio riguarda l'imbarcazione da 60 posti (catamarano), tragitto da 15 km e batterie Akasol:

Valori con una batteria Akasol (314 kg)

Valori con sette batterie Akasol (2200 kg)

Velocità [km/h]	Potenza [kW]	Tempo necessario per 1 tragitto [ore]	Energia necessaria 1 giro [kWh]	Energia giornaliera necessaria [kWh]	Velocità [km/h]	Potenza [kW]	Tempo necessario per 1 tragitto [ore]	Energia necessaria 1 giro [kWh]	Energia giornaliera necessaria [kWh]
1	0.3	15.00	5.2	20.88	1.0	0.5	15.0	7.1	28.6
2	0.5	7.50	3.5	14.01	2.0	0.6	7.5	4.7	18.9
3	0.6	5.00	3.1	12.53	3.0	0.8	5.0	4.2	16.8
4	0.8	3.75	3.1	12.60	4.0	1.1	3.8	4.2	16.7
5	1.1	3.00	3.4	13.51	5.0	1.5	3.0	4.4	17.7
6	1.5	2.50	3.8	15.09	6.0	2.0	2.5	4.9	19.6
7	2.0	2.14	4.3	17.33	7.0	2.6	2.1	5.6	22.3
8.0	2.7	1.88	5.1	20.31	8.0	3.5	1.9	6.5	25.9
8.5	2.7	1.76	4.7	18.95	8.5	3.5	1.8	6.2	24.9
9.0	3.3	1.67	5.5	22.09	9.0	4.3	1.7	7.1	28.5
9.5	4.0	1.58	6.4	25.48	9.5	5.1	1.6	8.1	32.3
10.0	4.9	1.50	7.3	29.13	10.0	6.1	1.5	9.1	36.5
10.5	5.8	1.43	8.3	33.12	10.5	7.2	1.4	10.3	41.1
11.0	6.9	1.36	9.4	37.50	11.0	8.5	1.4	11.5	46.1
11.5	8.1	1.30	10.6	42.21	11.5	9.9	1.3	12.9	51.6
12.0	9.5	1.25	11.8	47.30	12.0	11.5	1.3	14.4	57.5
12.5	11.0	1.20	13.2	52.72	12.5	13.3	1.2	16.0	63.8
13.0	12.6	1.15	14.5	57.95	13.0	15.2	1.2	17.5	70.1
13.5	14.2	1.11	15.8	63.23	13.5	17.2	1.1	19.1	76.4
14.0	16.0	1.07	17.2	68.75	14.0	19.4	1.1	20.8	83.2
14.5	18.0	1.03	18.6	74.55	14.5	21.8	1.0	22.6	90.4
15.0	20.6	1.00	20.6	82.40	15.0	24.9	1.0	24.9	99.8
15.5	24.0	0.97	23.2	92.93	15.5	28.9	1.0	28.0	112.0
16.0	27.8	0.94	26.1	104.29	16.0	33.4	0.9	31.3	125.2
16.5	32.0	0.91	29.1	116.46	16.5	38.4	0.9	34.9	139.5
17.0	36.8	0.88	32.5	129.95	17.0	44.0	0.9	38.8	155.3
17.5	42.6	0.86	36.5	145.99	17.5	50.7	0.9	43.5	173.9
18.0	48.9	0.83	40.8	163.14	18.0	58.2	0.8	48.5	193.9
18.5	56.0	0.81	45.4	181.47	18.5	66.4	0.8	53.9	215.4
19.0	63.5	0.79	50.1	200.55	19.0	75.4	0.8	59.5	238.0
19.5	67.2	0.77	51.7	206.64	19.5	80.6	0.8	62.0	248.1
20.0	70.8	0.75	53.1	212.47	20.0	86.1	0.8	64.6	258.3

Tabella 2 – Tabella della variazione della potenza in funzione del peso (esempio 1)

Per il secondo esempio abbiamo scelto l'imbarcazione monoscafo, un tragitto di 18 km e batterie Brusa.

Valori con una batteria (145 kg)

Valori con sette batterie (1015 kg)

Velocità [km/h]	Potenza [kW]	Tempo necessario per 1 tragitto [ore]	Energia necessaria 1 giro [kWh]	Energia giornaliera necessaria [kWh]	Velocità [km/h]	Potenza [kW]	Tempo necessario per 1 tragitto [ore]	Energia necessaria 1 giro [kWh]	Energia giornaliera necessaria [kWh]
1	0.0	18.00	0.3	1.30	1.0	0.2	18.0	3.4	13.4
2	0.0	9.00	-0.2	-0.67	2.0	0.4	9.0	3.4	13.5
3	0.0	6.00	-0.2	-0.88	3.0	0.6	6.0	3.5	14.0
4	-0.1	4.50	-0.4	-1.73	4.0	0.7	4.5	3.4	13.4
5	0.0	3.60	0.1	0.29	5.0	1.1	3.6	3.9	15.7
6	0.2	3.00	0.7	2.72	6.0	1.5	3.0	4.6	18.2
7	0.5	2.57	1.3	5.38	7.0	2.0	2.6	5.2	21.0
8.0	0.9	2.25	2.0	8.00	8.0	2.6	2.3	5.9	23.7
8.5	1.1	2.12	2.4	9.51	8.5	3.0	2.1	6.3	25.2
9.0	1.5	2.00	3.0	11.96	9.0	3.5	2.0	6.9	27.7
9.5	1.9	1.89	3.7	14.77	9.5	4.0	1.9	7.6	30.5
10.0	2.3	1.80	4.2	16.64	10.0	4.5	1.8	8.1	32.4
10.5	2.5	1.71	4.3	17.18	10.5	4.8	1.7	8.2	33.0
11.0	2.7	1.64	4.4	17.53	11.0	5.1	1.6	8.3	33.4
11.5	3.1	1.57	4.8	19.29	11.5	5.6	1.6	8.8	35.1
12.0	3.9	1.50	5.8	23.28	12.0	7.0	1.5	10.5	42.1
12.5	4.5	1.44	6.4	25.71	12.5	11.2	1.4	16.1	64.5
13.0	6.1	1.38	8.5	33.83	13.0	15.7	1.4	21.7	86.9
13.5	8.7	1.33	11.6	46.49	13.5	20.5	1.3	27.3	109.2
14.0	12.1	1.29	15.6	62.31	14.0	25.4	1.3	32.7	130.8
14.5	16.0	1.24	19.9	79.67	14.5	30.4	1.2	37.7	150.8
15.0	20.3	1.20	24.3	97.34	15.0	35.1	1.2	42.2	168.7
15.5	24.6	1.16	28.6	114.23	15.5	39.6	1.2	46.0	183.8
16.0	28.8	1.13	32.4	129.72	16.0	43.6	1.1	49.0	196.1
16.5	32.8	1.09	35.8	143.28	16.5	47.1	1.1	51.4	205.4
17.0	36.5	1.06	38.7	154.75	17.0	50.0	1.1	53.0	211.9
17.5	39.9	1.03	41.0	164.07	17.5	52.5	1.0	54.0	216.0
18.0	42.8	1.00	42.8	171.31	18.0	54.5	1.0	54.5	217.9
18.5	45.4	0.97	44.2	176.67	18.5	56.0	1.0	54.5	218.1
19.0	47.6	0.95	45.1	180.34	19.0	57.3	0.9	54.3	217.0
19.5	49.4	0.92	45.6	182.53	19.5	58.3	0.9	53.8	215.2
20.0	52.3	0.90	47.1	188.38	20.0	60.5	0.9	54.4	217.8

Tabella 3 – Tabella della variazione della potenza in funzione del peso (esempio 2)

4.2 Predimensionamento

In uno studio a carattere generale le variabili e le possibilità tecniche sono talmente numerose che è stato necessario stabilire dei criteri standard e delle restrizioni di utilizzo. I dimensionamenti presentati in questo rapporto sono da considerare validi solo ed esclusivamente se i seguenti punti sono rispettati:

- Le partenze avvengono ogni 2 ore
- Sono previsti un massimo 4 giri al giorno (10.00 / 12.00 / 14.00 / 16.00)
- Le colonnine attuali permettono di ricaricare più utenti alla volta, ma nel caso in cui le colonnine siano utilizzate contemporaneamente l'energia immagazzinata è minore. Non potendo prevedere la ripartizione della potenza di ricarica per le differenti unità si ipotizza che la colonnina è utilizzata unicamente da una sola imbarcazione alla volta.
- Le batterie FZ Sonick non possono subire delle ricariche rapide.

Inoltre vengono posti alcuni limiti tecnici per preservare la durata di vita dei componenti o per garantire una concreta corrispondenza tra la simulazione e la realtà:

- L'energia residua minima nelle batterie, a fine giornata, deve essere del 20 %
- Per le batterie di seconda mano l'energia residua deve essere del 30 %
- L'efficacia della ricarica rapida è del 100% nei primi 12 minuti poi scende al 70 per le colonnine da 20 kW e al 35 per quelle da 50 e 150.

Per agevolare la comparazione e l'analisi dei risultati, è stato creato un programma di dimensionamento che permette di identificare le migliori combinazioni di tipo di imbarcazione, batterie e stazione di ricarica.

In una prima fase è valutata la versione senza la ricarica parziale, identificando la velocità minima di crociera e il numero di batterie necessarie a percorrere il tragitto selezionato per 4 volte al giorno a differenti velocità comprese tra il valore minimo e i 20 km/h.

La seconda parte del programma analizza la variante con la ricarica rapida, da 20, 50 o 150 kW, determinando il numero minimo di batterie necessarie a percorrere i chilometri totali a diverse velocità. È importante considerare che le batterie, ad inizio giornata devono essere completamente cariche e che l'imbarcazione sia collegata subito alla colonnina di ricarica dopo ogni giro.

Il presente studio non ha la finalità di identificare una soluzione specifica, bensì deve essere uno strumento per evidenziare le differenti caratteristiche delle imbarcazioni, delle batterie, delle stazioni di ricarica, individuando le possibili combinazioni, le criticità e i vantaggi di una navigazione elettrica.

La presentazione dei risultati è strutturata in forma tabellare permettendo così di comparare i risultati di ogni singola imbarcazione. Per favorire la lettura, l'analisi e la comprensione dei risultati, il rapporto, raccoglie solamente le soluzioni più rappresentative dei seguenti casi:

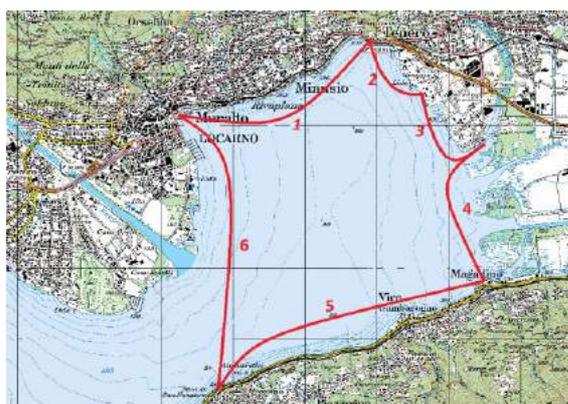
- analisi senza la ricarica rapida,
- analisi con la ricarica rapida al porto principale,
- i principali partner del progetto hanno espresso il desiderio di poter navigare ad una velocità di circa 20 km/h. In un contesto, dove l'investimento iniziale potrebbe essere

il fattore determinante per lo sviluppo del progetto, è stato deciso di presentare anche delle soluzioni intermedie che a nostro avviso rappresentano degli ottimi compromessi tra qualità del servizio e costi. Si propongono quindi le velocità di crociera di 12, 15 e 20 km/h, queste 3 diverse soluzioni permettono di ottenere una visione globale del progetto sia a livello tecnico che economico. È importante sottolineare che la diminuzione della velocità di crociera non equivale ad una minor velocità massima che è determinata dalla potenza del motore.

- nell'analisi dei costi a differenti velocità non è conteggiato il prezzo del motore elettrico, considerandolo come un costo fisso. Questa approssimazione introduce sicuramente un errore a favore delle varianti a velocità elevate che ipoteticamente vedrebbero lievitare ulteriormente l'investimento iniziale rispetto alle soluzioni a bassa velocità. La scelta però è dettata da un ragionamento legato alla sicurezza, che prevede l'installazione di un motore più potente anche sulle varianti a bassa velocità così da permettere degli spostamenti rapidi in caso di emergenza dovuta al maltempo o a situazioni di pericolo o per le manovre di attracco.

Percorso variante 1 (20 km)

Un discriminante molto importante è la lunghezza del tragitto che si desidera percorrere. La variante di 20 km, permette di effettuare i tragitti turisticamente più interessanti proposti nel paragrafo 2.4, denominati percorsi sud e nord.



Percorso variante 2 (30 km)

La seconda variante prevede un tragitto di 30 km. Questa soluzione attualmente non rappresenta una vera alternativa turistica. Aumentando di 10 km il tragitto, per quanto riguarda il percorso nord si potrebbe raggiungere Ascona prima di tornare a Locarno, mentre nel percorso a sud il servizio di navigazione verrebbe esteso fino a Brissago.

4.3 Risultati senza il sistema di ricarica rapida per un tragitto di 20 km

Nelle tabelle sottostanti sono riportati i risultati dei possibili dimensionamenti, ricordiamo che per garantire il rispetto delle tempistiche (massimo di 2 ore al giro) la velocità minima deve essere di 10 km/h. I costi sono relativi al sistema di accumulo.

Catamarano da 60 posti

		Catamarano 60 posti		
		Nr. Batt.	Peso	Costi
FZ Sonick	12 km/h	5	910	70000
	15 km/h	9	1638	126000
	20 km/h	29	5278	406000
Akasol	12 km/h	3	942	79425
	15 km/h	5	1570	132375
	20 km/h	14	4396	370650
Brusa	12 km/h	6	870	72000
	15 km/h	10	1450	120000
	20 km/h	31	4495	372000
Torqueedo	12 km/h	7	1050	98000
	15 km/h	13	1950	182000
	20 km/h	42	6300	588000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	5	1090	18480
	15 km/h	8	1744	29568
	20 km/h	25	5450	92400

Tabella 4 – Dati riassuntivi del predimensionamento, percorso di 20 km, senza ricarica, C60

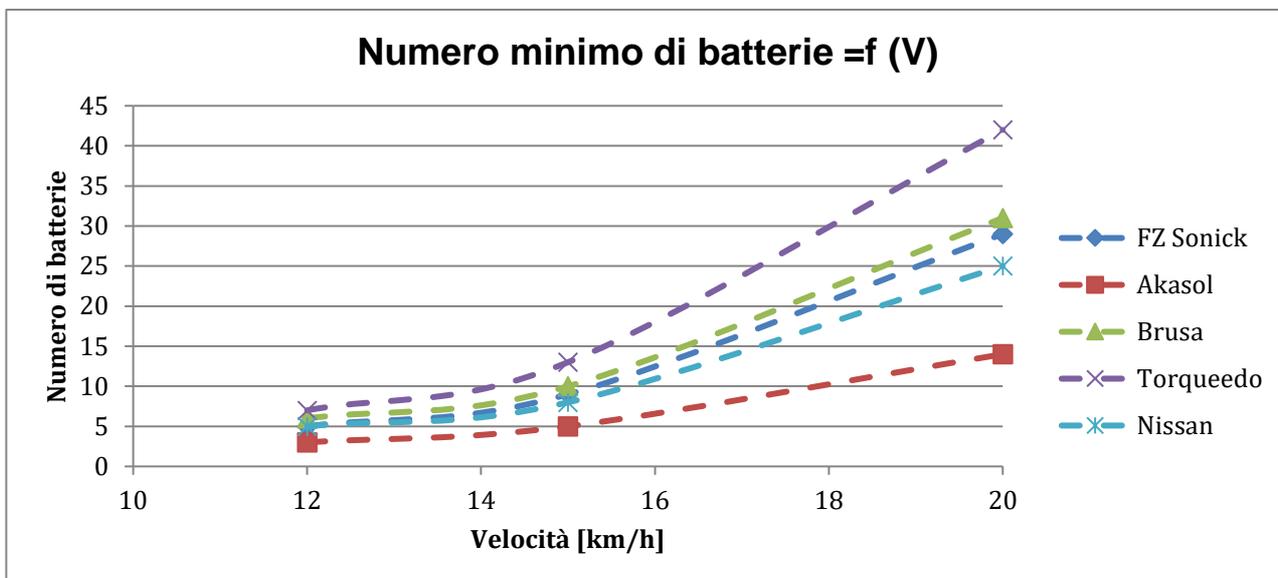


Grafico 13 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, C60

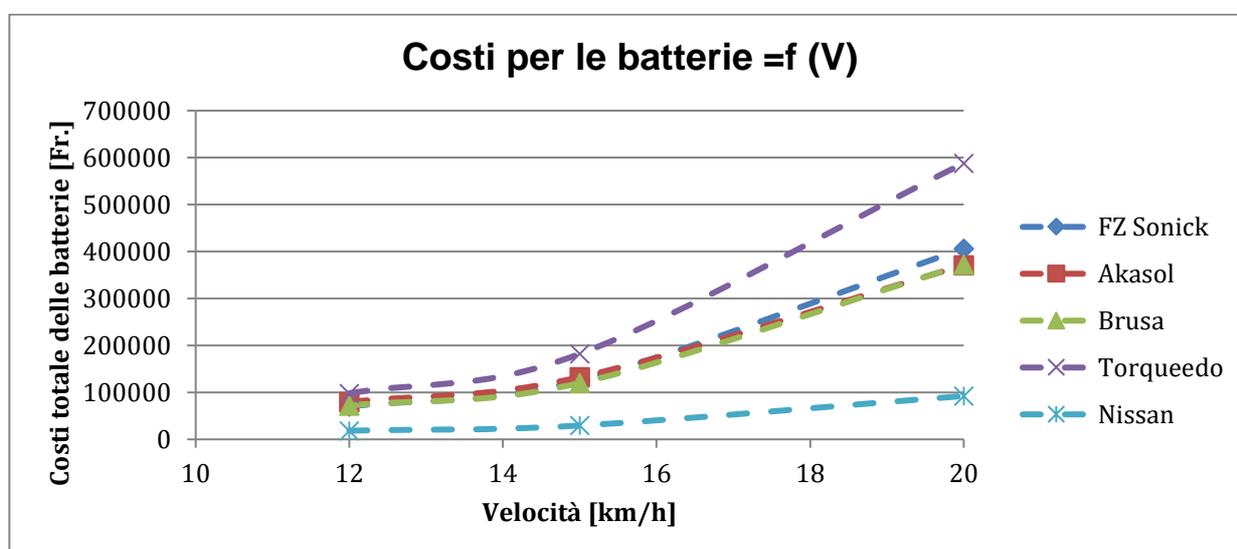


Grafico 14 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, C 60

Analizzando i risultati presentati nella tabella riassuntiva possiamo constatare come la velocità ha un influsso marcato sul numero di batterie e di conseguenza anche sull'investimento totale. Per garantire una riserva di energia sufficiente per navigare alla velocità di crociera di 20 km/h il numero di batterie è veramente imponente e in confronto ai 12 km/h risulta assolutamente sproorzionato.

Le batterie Torqueedo oltre a dover imbarcare un numero di blocchi superiore rappresentano la variante con costi sono maggiori. Contrariamente le batterie Akasol, che rappresentano la soluzione con il minor numero di batterie a livello finanziario è in media assieme alle FZ e alle Brusa. Le batterie Nissan "Secondary use", invece, grazie al prezzo molto basso, pur necessitando di un numero relativamente elevato sono quelle più economiche. Questa differenza è riscontabile soprattutto alle velocità superiori.

Monoscafo da 12 posti

		Monoscafo 12 posti		
		Nr. Batt.	Peso	Costi
FZ Sonick	12 km/h	3	546	42000
	15 km/h	19	3458	266000
	20 km/h	22	4004	308000
Akasol	12 km/h	2	628	52950
	15 km/h	9	2826	238275
	20 km/h	11	3454	291225
Brusa	12 km/h	3	435	36000
	15 km/h	19	2755	228000
	20 km/h	24	3480	288000
Torqueedo	12 km/h	4	600	56000
	15 km/h	28	4200	392000
	20 km/h	33	4950	462000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	436	7392
	15 km/h	16	3488	59136
	20 km/h	19	4142	70224

Tabella 5 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, senza ricarica, M12

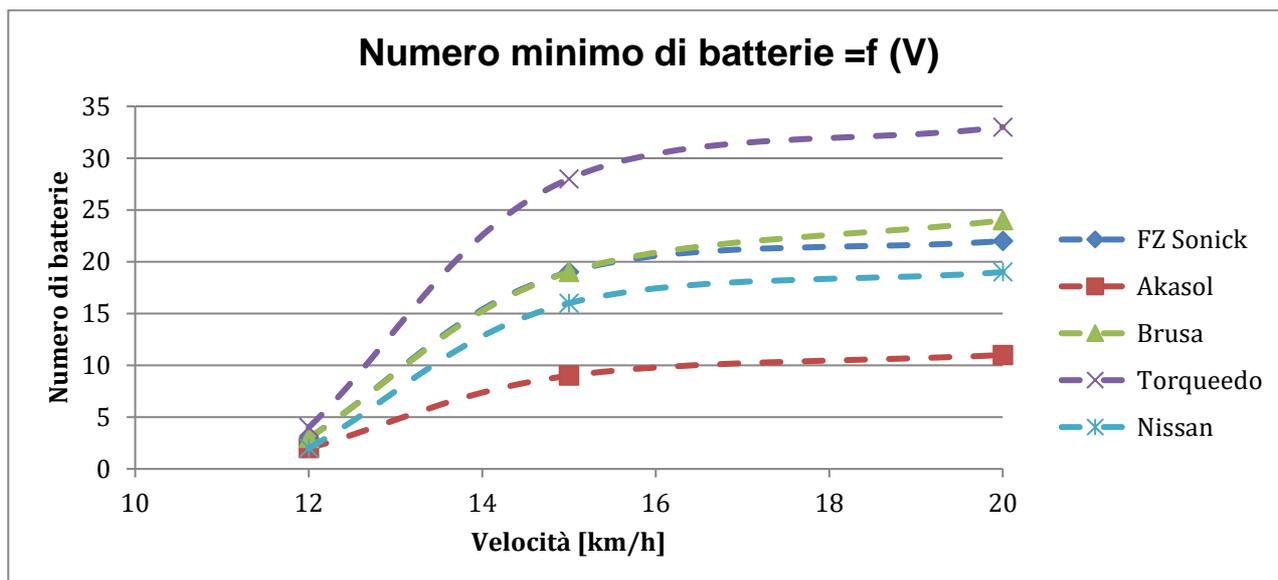


Grafico 15 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, M12

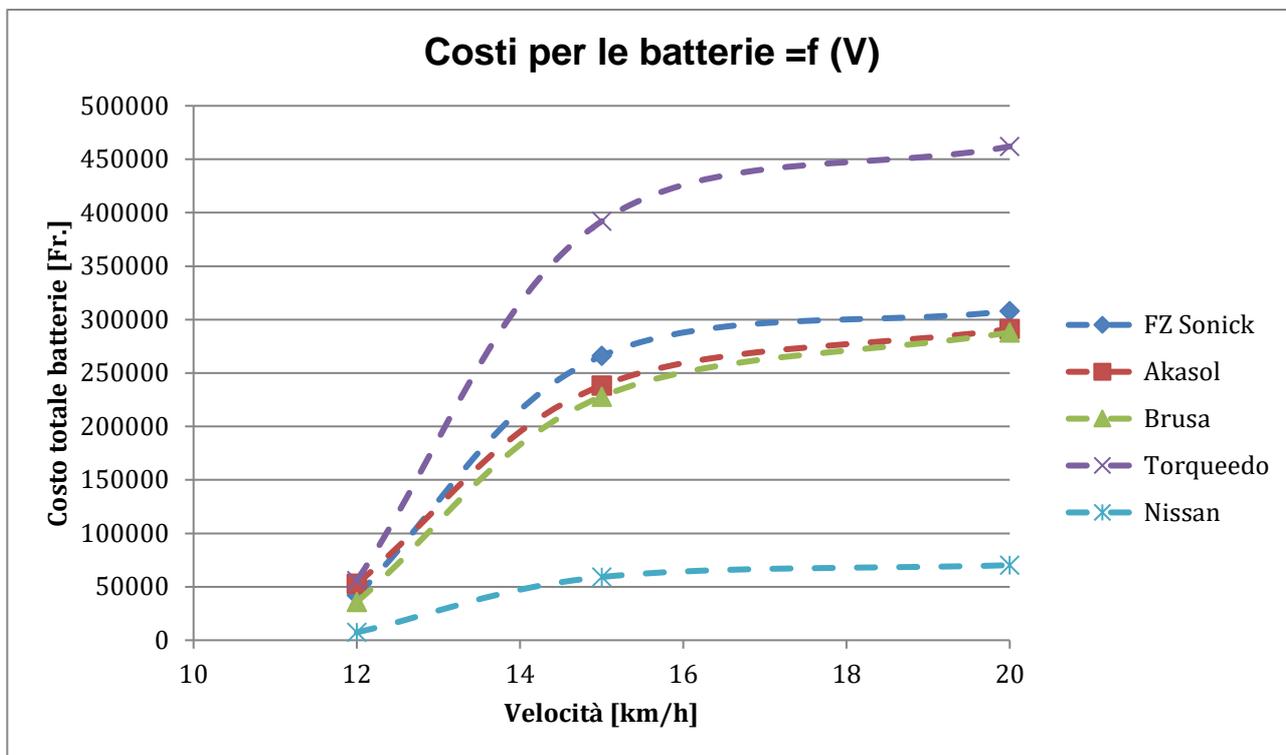


Grafico 16 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, M12

I risultati per l'imbarcazione realizzata con uno scafo singolo sono evidentemente molto diversi dal natante precedente. La velocità ha un influsso importante, ma come si può notare grazie ai due grafici il numero di batterie e di conseguenza anche i relativi costi aumentano vertiginosamente già a partire dai 15 km/h. Questo risultato è dovuto alla maggiore sensibilità al peso imbarcato, proprio nella fascia intermedia compresa tra i 13 e 16 km/h.

A livello di costi anche con questa imbarcazione le batterie Nissan "Secondary use" rappresentano la soluzione più economica.

Catamarano da 12 posti

		Catamarano 12 posti		
		Nr. Batt.	Peso	Costi
FZ Sonick	12 km/h	3	546	42000
	15 km/h	6	1092	84000
	20 km/h	8	1456	112000
Akasol	12 km/h	2	628	52950
	15 km/h	3	942	79425
	20 km/h	4	1256	105900
Brusa	12 km/h	3	435	36000
	15 km/h	7	1015	84000
	20 km/h	8	1160	96000
Torqueedo	12 km/h	4	600	56000
	15 km/h	9	1350	126000
	20 km/h	11	1650	154000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	364	7392
	15 km/h	5	910	18480
	20 km/h	7	1274	25872

Tabella 6 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, senza ricarica, C12

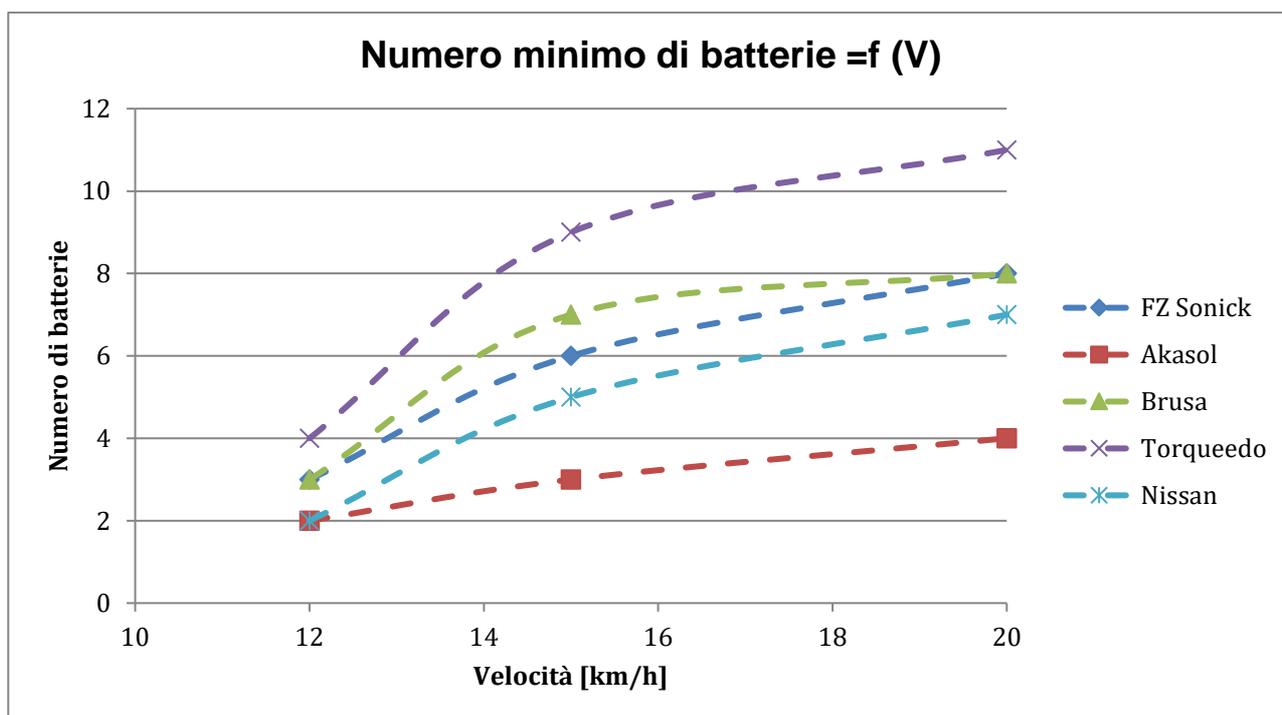


Grafico 17 – Numero minimo di batterie per garantire l'energia giornaliera sufficiente, percorso di 20 km, senza ricarica, C12

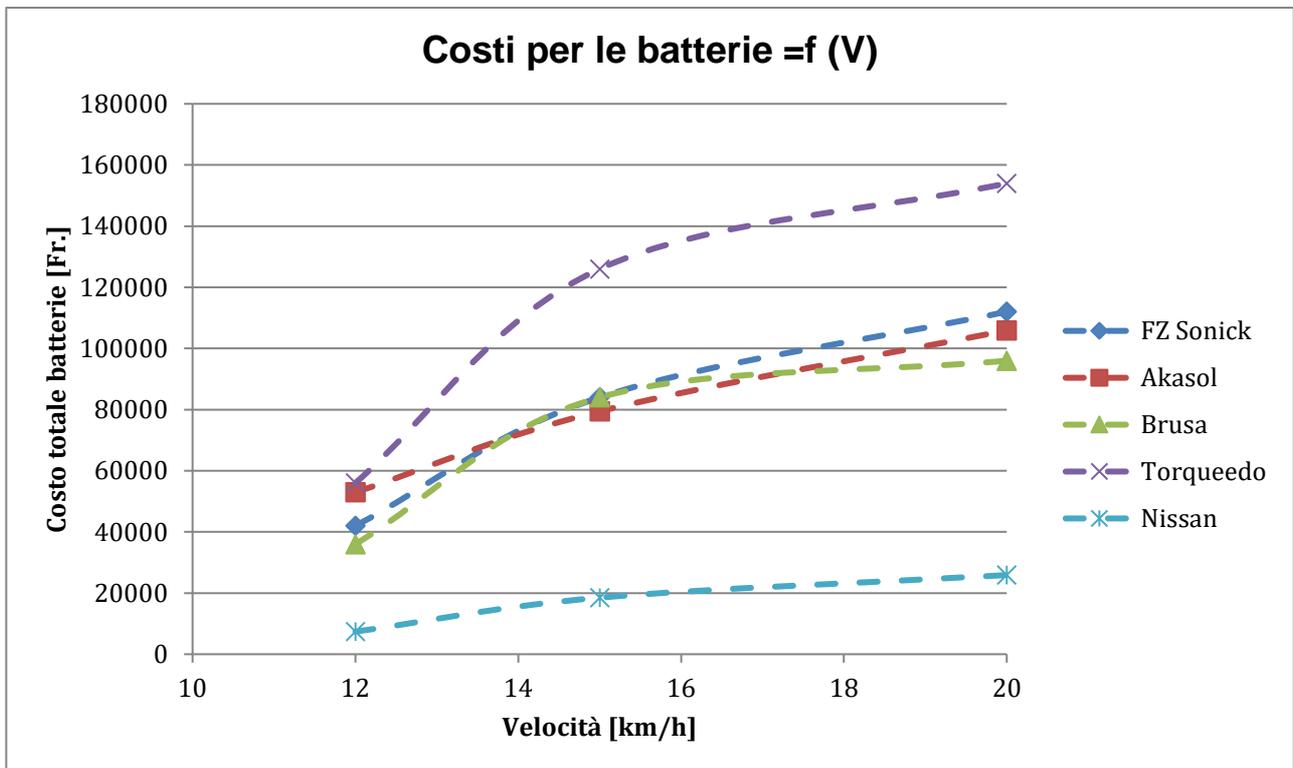


Grafico 18 – Costo delle batterie a differenti velocità, percorso di 20 km, senza ricarica, C12

Interessante notare che il piccolo catamarano presenti una combinazione delle caratteristiche sia del monoscafo che del suo fratello più grande. In confronto al monoscafo però, richiede molta meno energia.

Ad esclusione delle batterie Nissan che rappresentano la soluzione più economica e le Torqueedo quelle più care, è interessante notare come per le altre tre marche non esiste una soluzione univoca ma dipenderà dalla velocità di crociera desiderata.

4.4 Risultati con il sistema di ricarica rapida per un tragitto di 20 km

Come già anticipato nel capitolo dedicato alle batterie il costruttore delle batterie FZ Sonick ha specificato che questa tipologia non è adatta ad una ricarica veloce.

Nella tabella sottostante sono riportati i risultati delle combinazioni più interessanti tra numero di batterie e potenza di ricarica. Ricordiamo che la ricarica rapida viene sfruttata unicamente al porto di partenza (Locarno).

Introducendo un'ulteriore variabile dovuta alla potenza della ricarica, l'analisi risulta molto più articolata e imprevedibile, i risultati selezionati sono il prodotto di una vasta e complessa analisi dovuta principalmente alle notevoli differenze tra le caratteristiche delle batterie e delle imbarcazioni.

Qui di seguito sono riportati alcuni esempi interessanti relativi all'imbarcazione Catamarano da 60 posti. Con i prossimi grafici si vuole porre l'accento sulle diverse interazioni tra le batterie e la ricarica.

Il grafico sottostante mostra il valore dell'energia residua a fine giornata con un numero variabile di batterie a differenti velocità. Quando la curva è negativa significa che non si dispone della quantità minima di energia per navigare, bisogna quindi o diminuire la velocità o aumentare il numero di accumulatori. Possiamo notare la grande differenza di risultato tra 1 o 2 batterie mentre già con 3 unità il guadagno è minimo, questo è dovuto al fatto che la batteria Akasol ha una potenza massima di ricarica molto alta, questa caratteristica permette la valorizzazione della colonnina di ricarica da 150 kW già con sole 2 unità. Anche se questo abbinamento non raggiunge i risultati richiesti dal promotore (velocità di crociera 20 km/h) è sicuramente una soluzione da privilegiare poiché rappresenta il miglior compromesso tra investimento e risultato ottenuto.

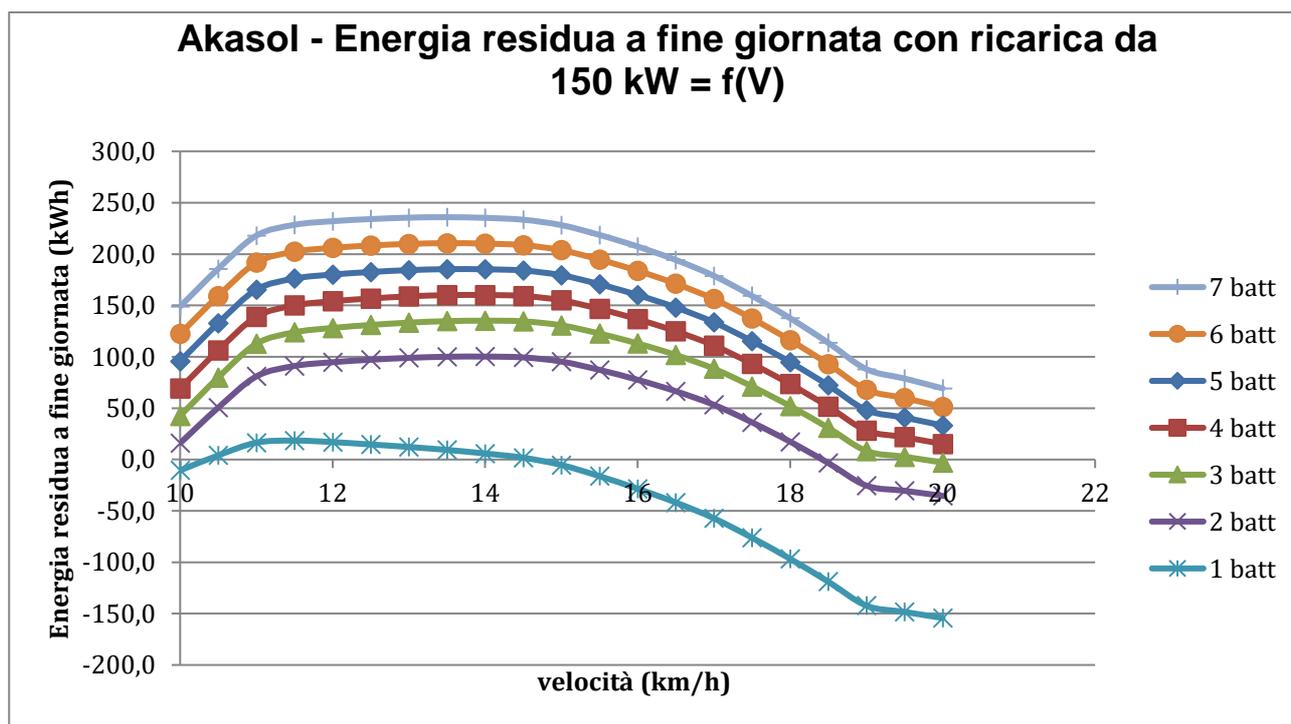


Grafico 19 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Akasol, C60

Nel grafico successivo viene mostrata la stessa situazione rappresentato però la quantità di energia ricaricata ad ogni singolo giro. Con due unità si riesce ad immagazzinare il doppio di energia mentre con la 3 batteria il guadagno è minimo. Dal 4 blocco via l'energia immagazzinata durante la ricarica è sempre uguale, il guadagno energetico è dovuto all'energia iniziale contenuta nelle batterie.

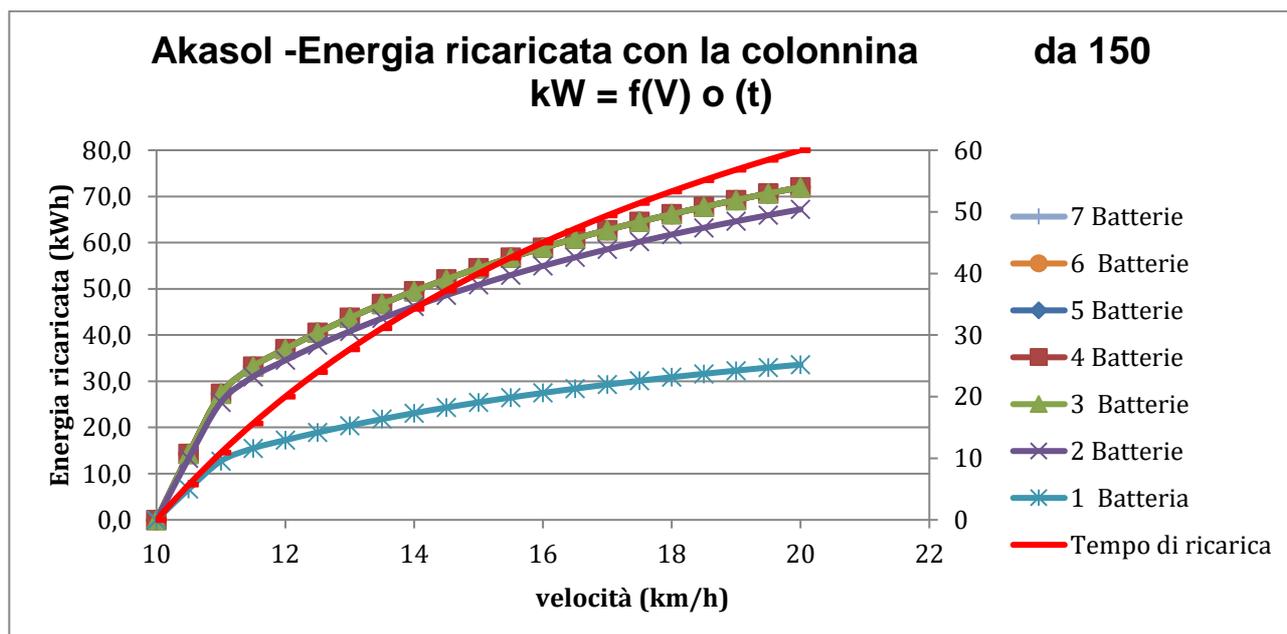


Grafico 20 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, batteria Akasol, C60

Con le batterie Brusa la situazione è completamente diversa. Queste batterie hanno una potenza massima di ricarica inferiore e di conseguenza per fruttare completamente la potenza fornita da una colonnina da 150 kW sono necessarie più unità (6 pezzi), a partire dalla 7 batteria la ricarica rapida non viene più sfruttata (vedi grafico dell'energia ricarica).

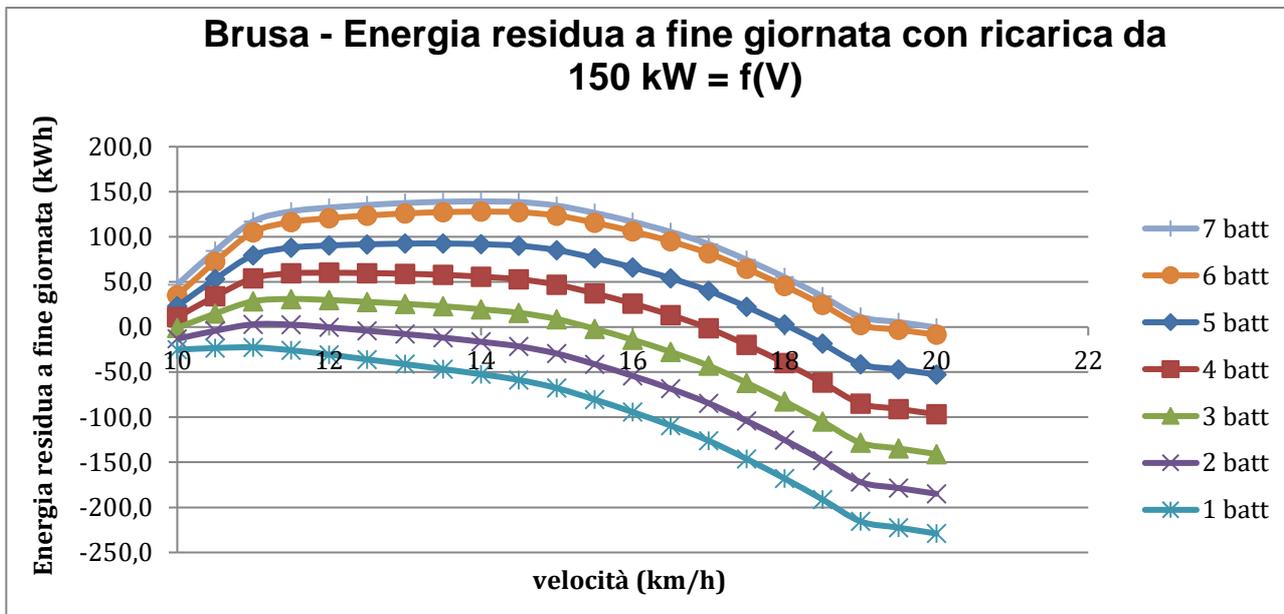


Grafico 21 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Brusa, C60

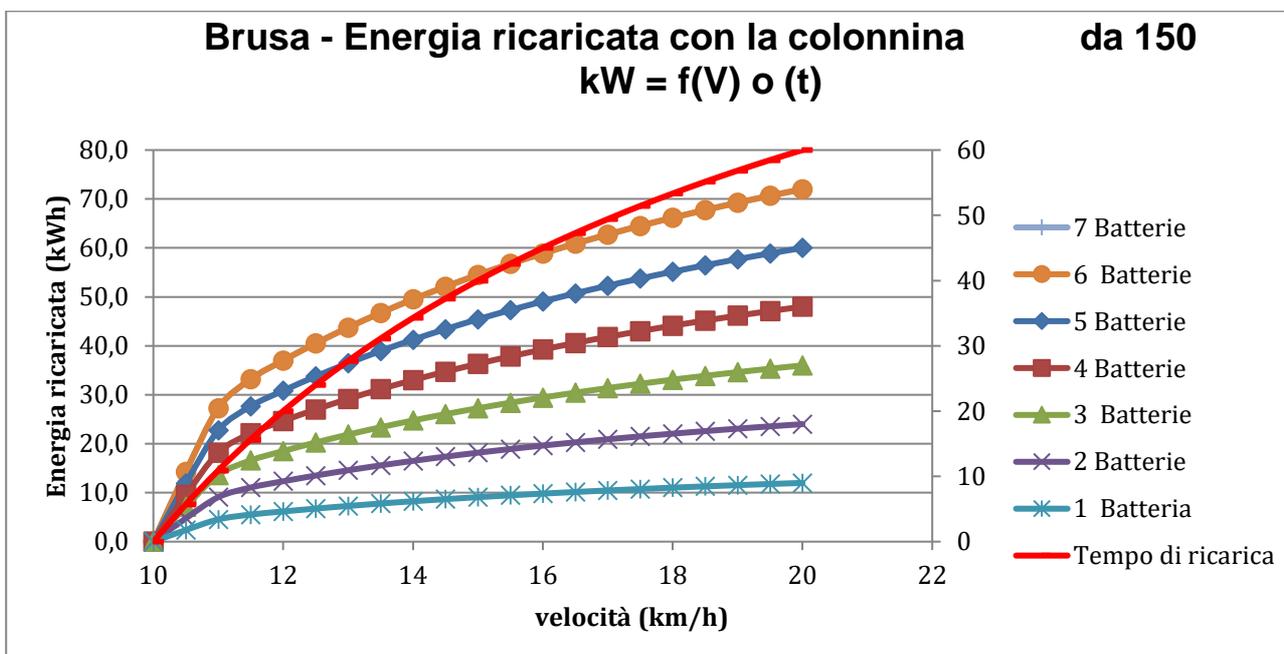


Grafico 22 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, batteria Brusa, C60

Importante notare come la caratteristica relativa ai 7 blocchi batteria sia perfettamente sovrapposta a quella concernente le 6 unità.

Le batterie Nissan invece hanno una potenza di ricarica molto bassa, quindi per fruttare interamente la potenza erogabile dalla stazione di ricarica da 150 kW sono necessarie molte unità e di conseguenza non si riscontra una grande differenza tra le singole unità.

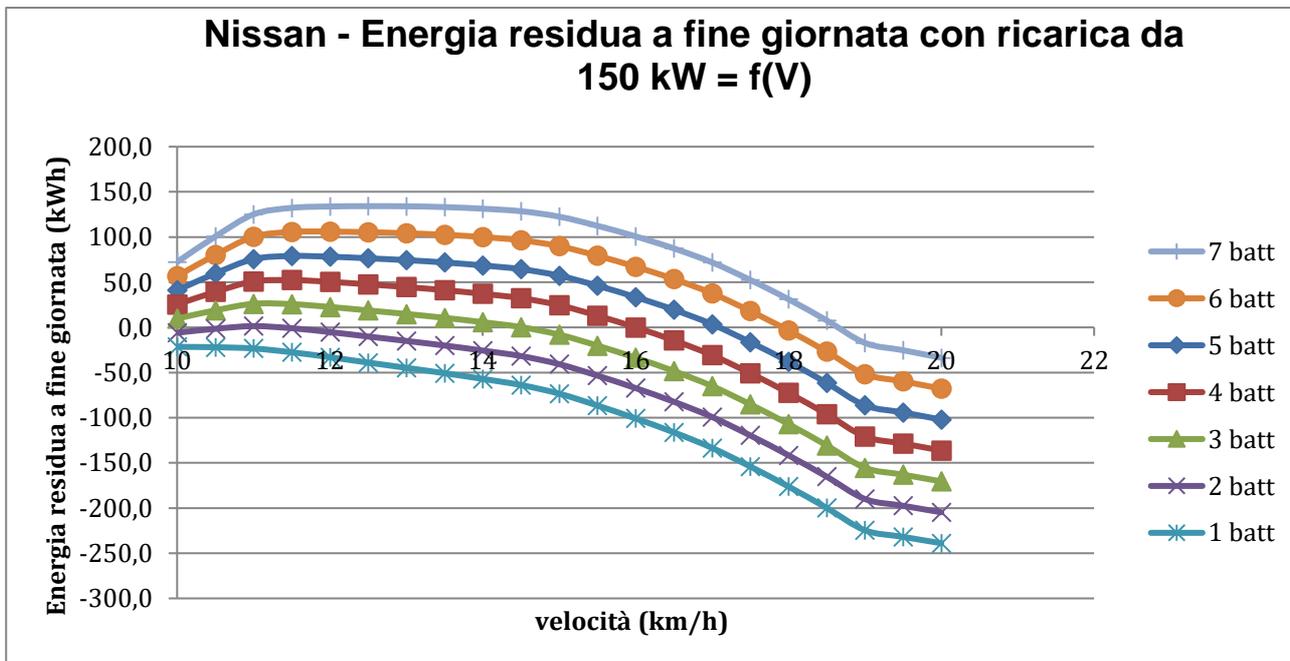


Grafico 23 – Energia residua a fine giornata con ricarica da 150 kW in funzione della velocità, tragitto di 20 km, batterie Nissan, C60

Nei grafici seguenti viene mostrato lo stesso fenomeno ma comparando i risultati delle 3 differenti potenze di ricarica. I grafici che rappresentano l'energia residua a fine giornata sono molto interessanti poiché il risultato finale è condizionato dall'energia ricaricata ad ogni giro e l'energia iniziale presente nelle batterie ad inizio giornata.

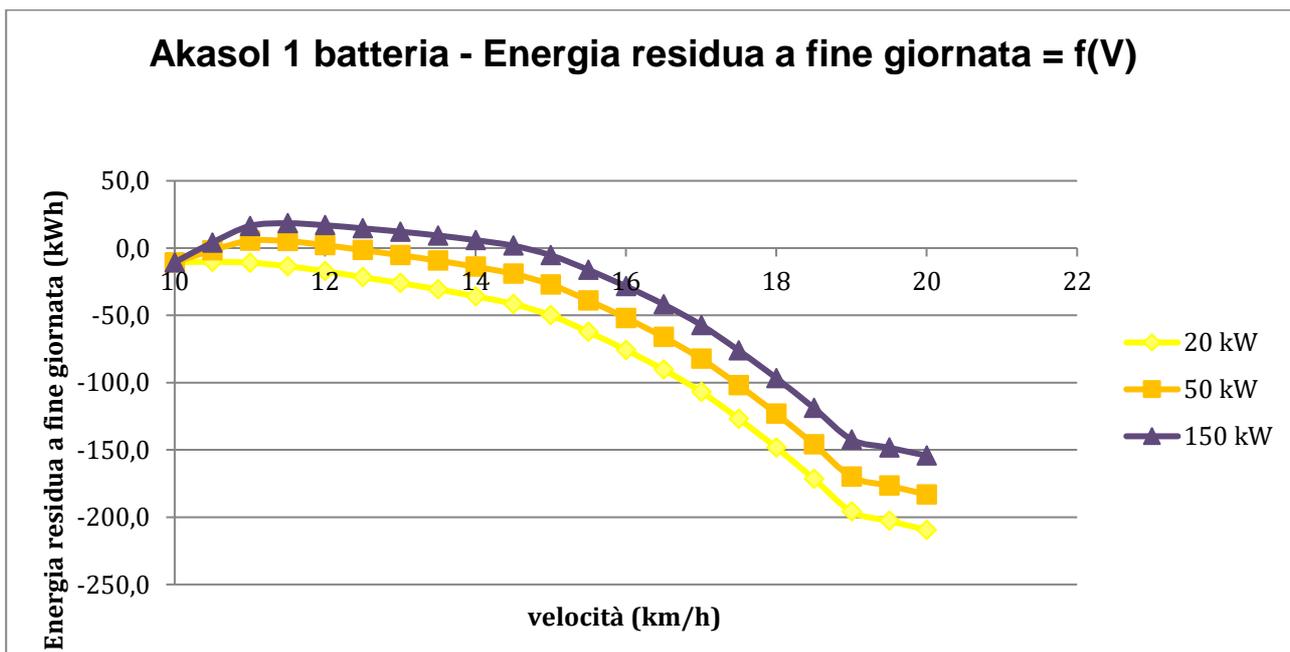


Grafico 24 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 1 batteria Akasol, C60

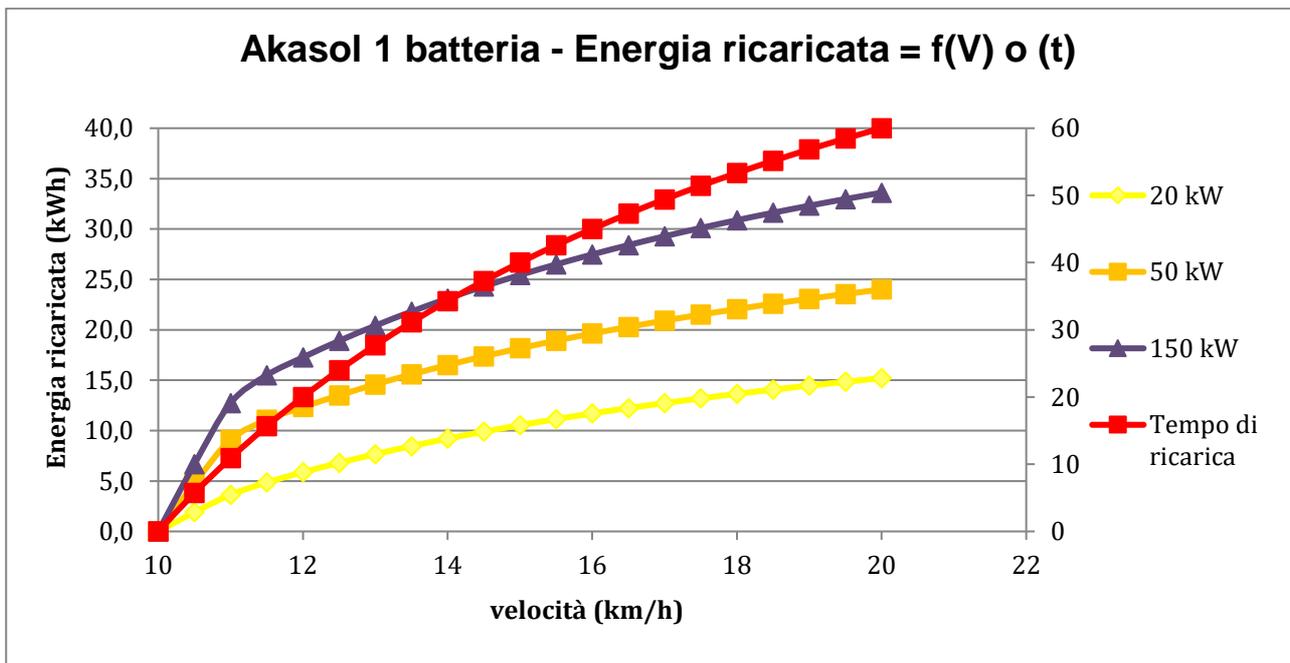


Grafico 25 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, 1 batteria Akasol, C60

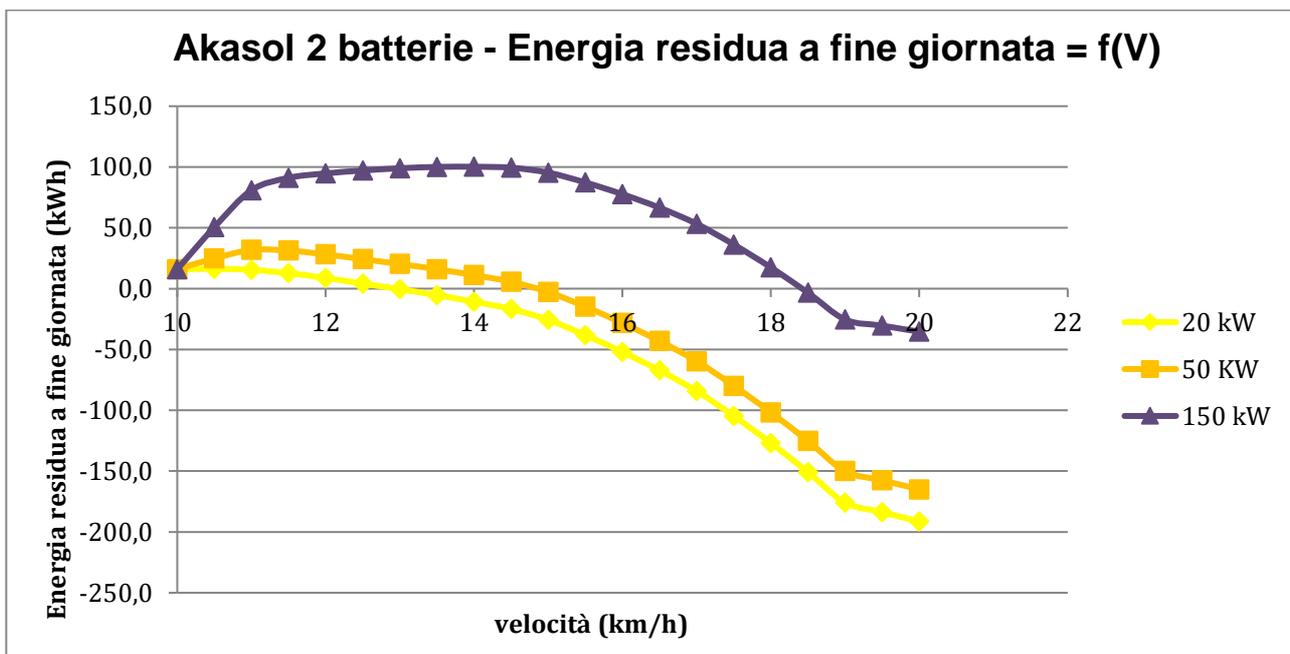


Grafico 26 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 2 batterie Akasol, C60

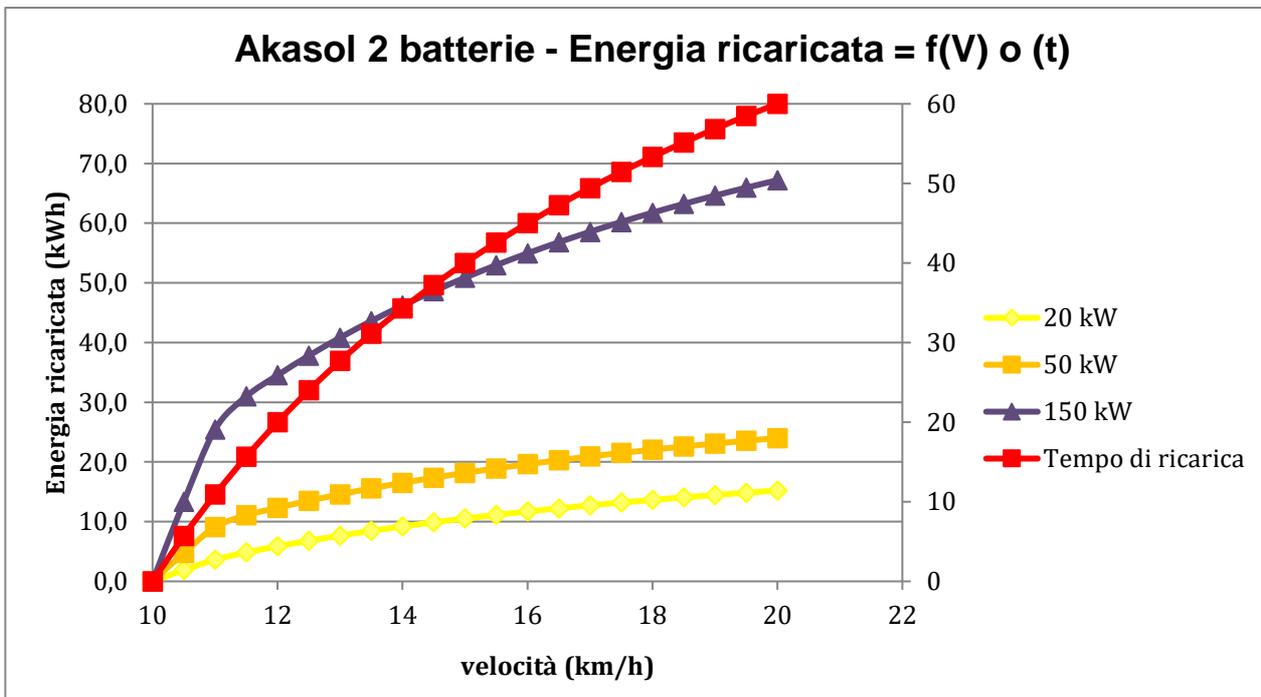


Grafico 27 – Energia ricaricata ad ogni singola fermata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità o in relazione al tempo di sosta, tragitto da 20 km, 2 batterie Akasol, C60

Analizzando attentamente i 4 grafici precedenti possiamo comprendere come, a causa dei vari fattori, l'interazione tra le batterie e la ricarica sia difficilmente immaginabile e imprevedibile. Per la ricarica da 150 kW ritroviamo però chiaramente il cambio di rendimento a partire dal 12 minuto, leggermente meno marcato per la caratteristica della colonnina da 50 e praticamente impercettibile per la 20 kW.

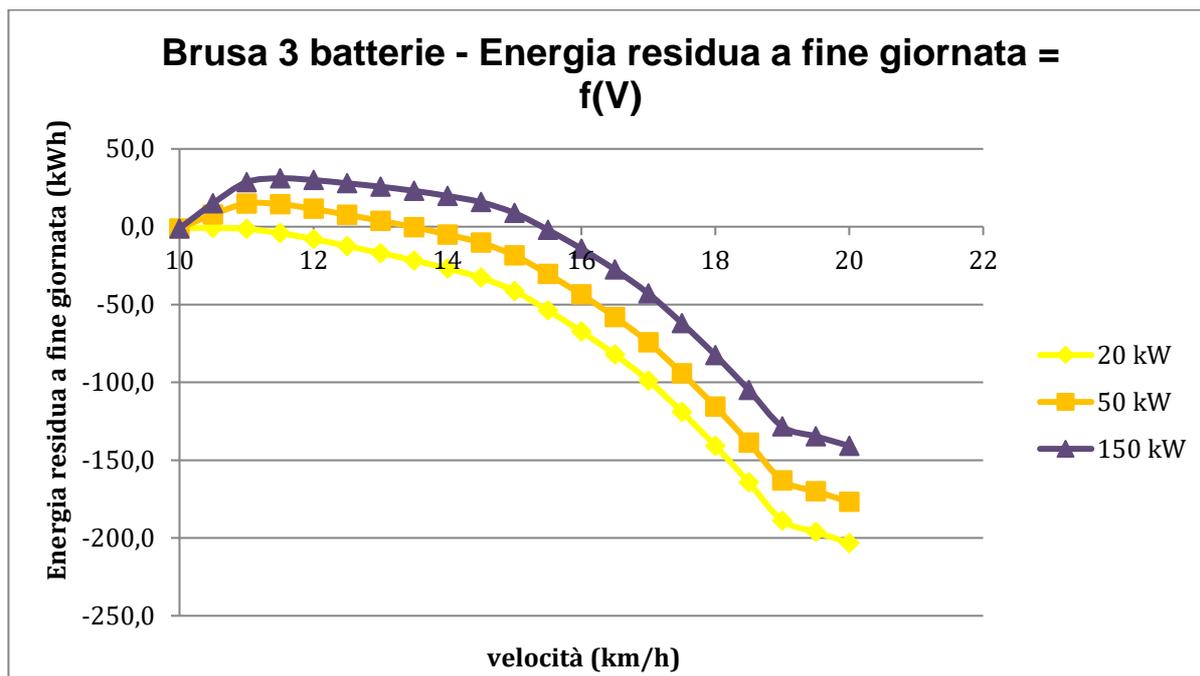


Grafico 28 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 3 batterie Brusa, C60

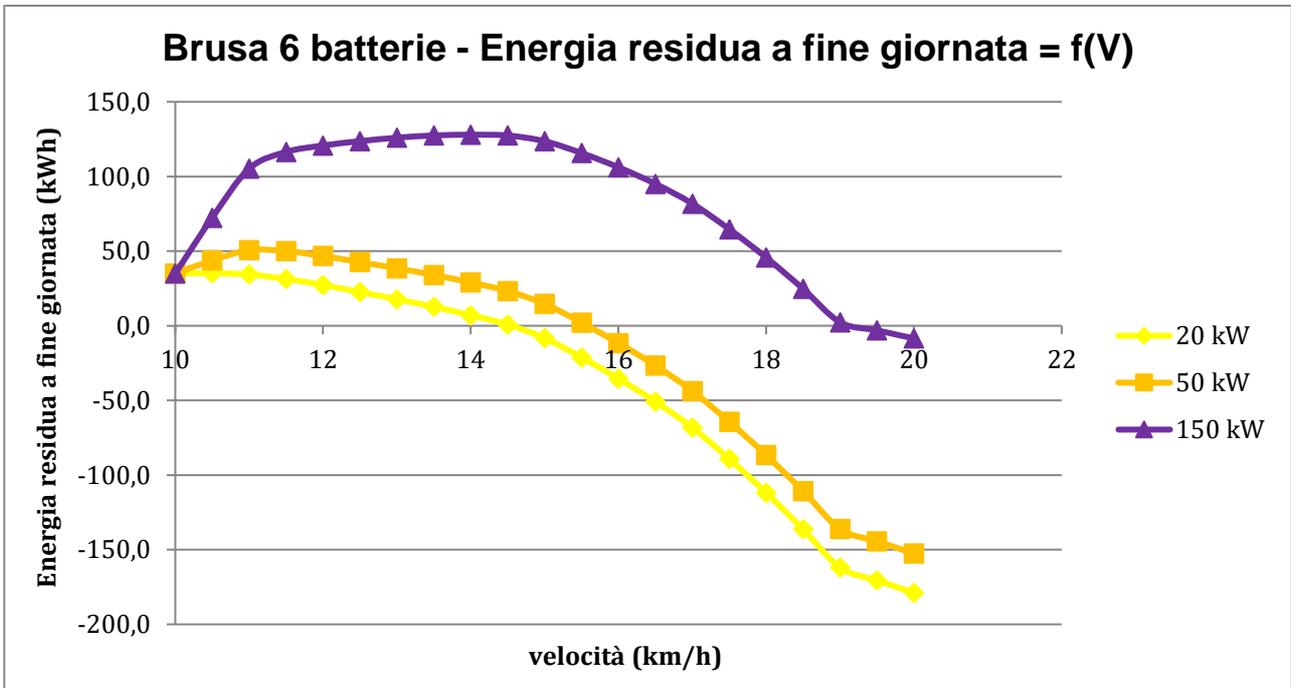


Grafico 29 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 6 batterie Brusa, C60

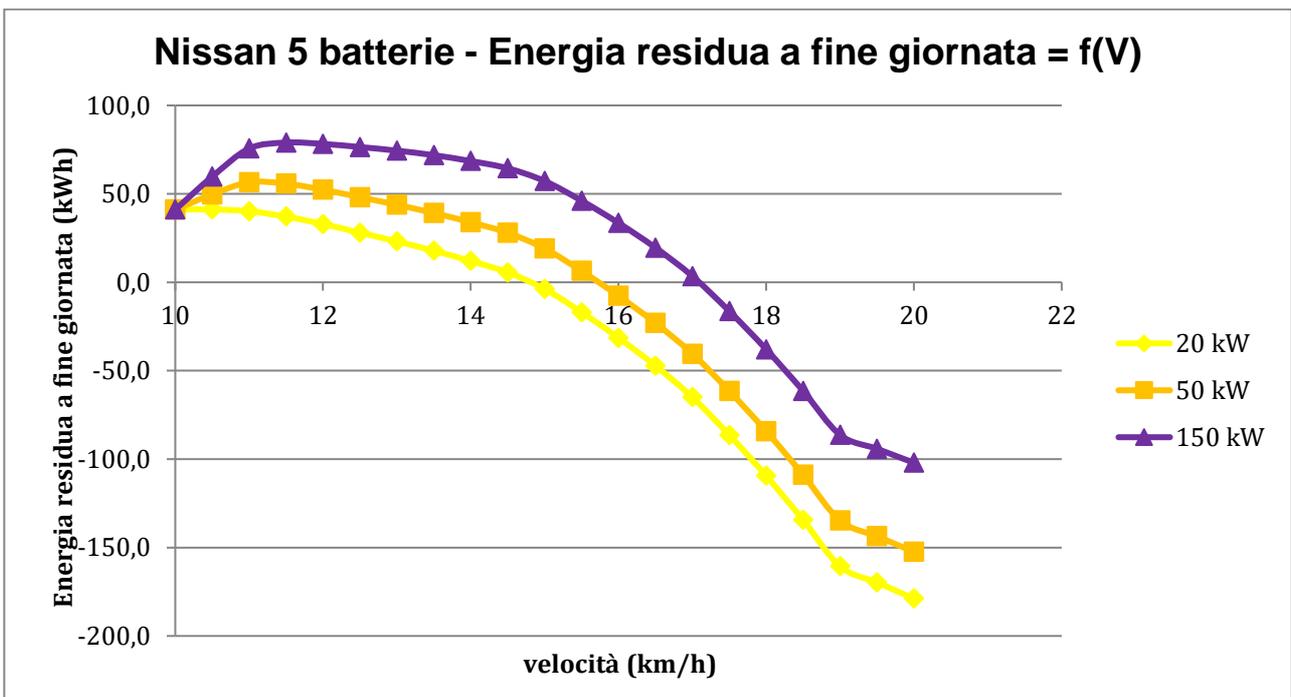


Grafico 30 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 5 batterie Nissan, C60

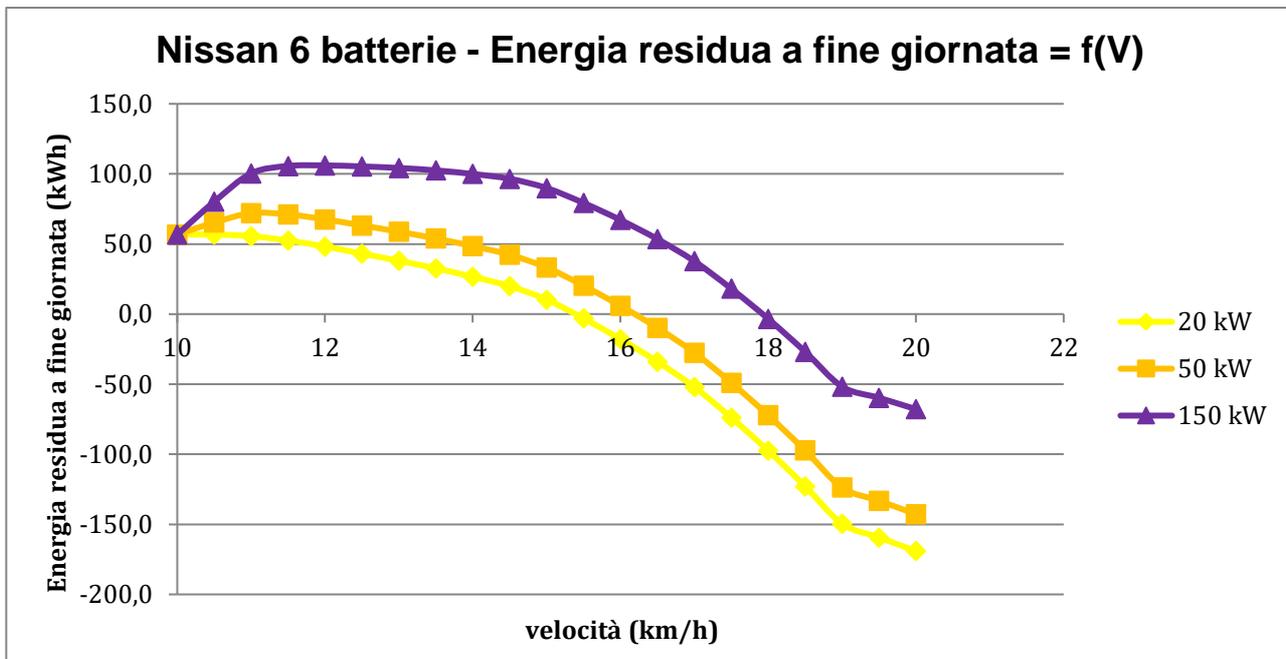


Grafico 31 – Energia residua a fine giornata con le tre potenze di ricarica in funzione della velocità, tragitto di 20 km, 6 batterie Nissan, C60

Analizzando ogni singolo caso con la stessa procedura applicata negli esempi precedenti è stato possibile selezionare i migliori abbinamenti tra imbarcazione, numero di batterie e potenza di ricarica. Per uniformare i risultati e per non eccedere in simulazioni difficilmente implementabili durante la realizzazione, considerato il volume disponibile nelle imbarcazioni e le dimensioni medie delle batterie, è stato fissato un numero massimo di 14 unità. A conseguenza di questa limitazione, per alcune batterie, non è stato possibile identificare l'accoppiamento "Battello-batterie-colonnina di ricarica" adatto a raggiungere la velocità di crociera massima (20 km/h). Per questi casi nella tabella riassuntiva è stato indicato la velocità massima raggiungibile utilizzando 14 batterie.

Nelle tabelle sottostanti oltre al numero minimo di batterie e alla potenza di ricarica sono stati riportati anche i relativi costi, così da poter comparare l'influenza dei due componenti sui costi finali.

Catamarano da 60 posti

		Catamarano 60 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	2	20	52950	25000	77950
	12 km/h					
	15 km/h	2	150	52950	80000	132950
	15 km/h	3	50	79425	40000	119425
	15 km/h	4	20	105900	25000	130900
	20 km/h	4	150	105900	80000	185900
	20 km/h	12	50	317700	40000	357700
Brusa	20 km/h	13	20	344175	25000	369175
	12 km/h	3	50	36000	40000	76000
	12 km/h	4	20	48000	25000	73000
	15 km/h	4	150	48000	80000	128000
	15 km/h	5	50	60000	40000	100000
	15 km/h					
	20 km/h	9	150	108000	80000	188000
Torqueedo	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.5 Km/h				
	12 km/h	4	50	56000	40000	96000
	12 km/h	5	20	70000	25000	95000
	15 km/h	4	150	56000	80000	136000
	15 km/h	7	50	98000	40000	138000
	15 km/h	9	20	126000	25000	151000
Secondary Use (Nissan)	20 km/h	11	150	154000	80000	234000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 16.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.0 Km/h				
	12 km/h	3	20	11088	25000	36088
	12 km/h					
	15 km/h	4	50	14784	40000	54784
	15 km/h					
Secondary Use (Nissan)	15 km/h	6	20	22176	25000	47176
	20 km/h	8	150	29568	80000	109568
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 18.0 Km/h				
	20 km/h					

Tabella 7 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, C60

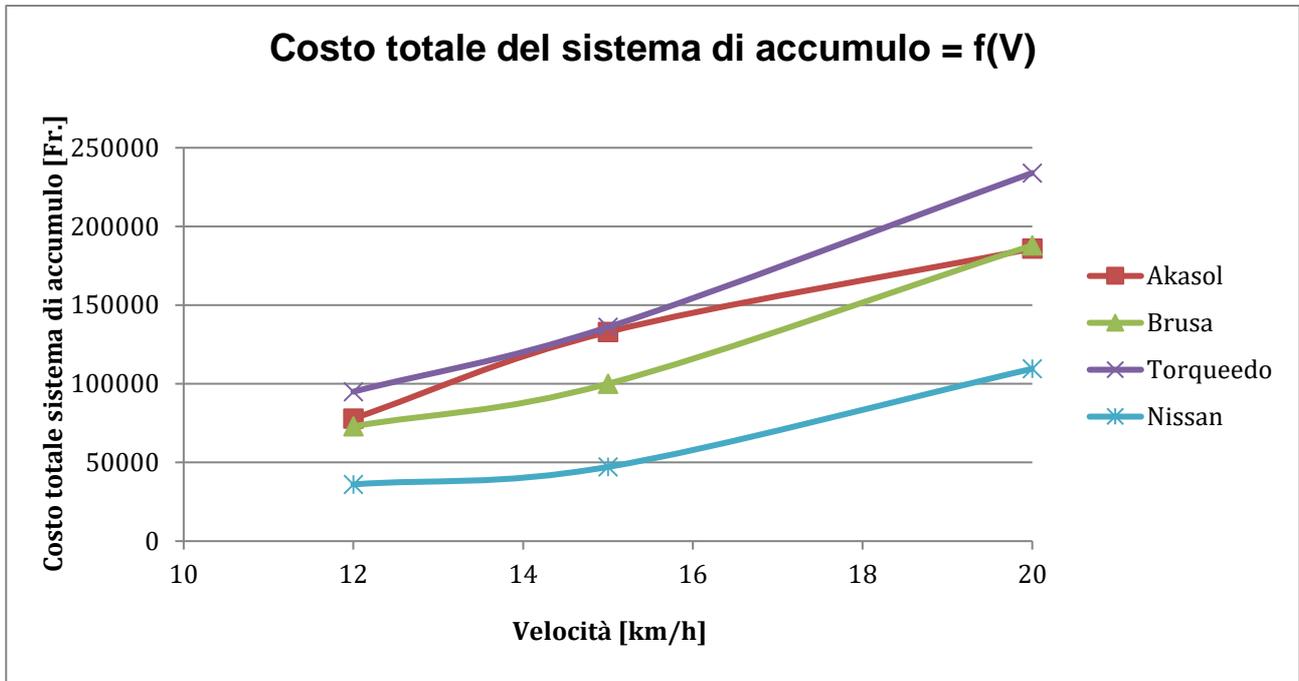


Grafico 32 –Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, C60

Come per la soluzione senza la ricarica rapida, anche in questo caso la velocità di crociera influisce notevolmente sul dimensionamento e il numero di batterie. Bisogna segnalare però che 2 batterie Akasol sarebbero sufficienti per garantire una velocità di crociera di 18.0 km/h mentre con tre si arriva a 19.5 km/h.

Eloquenti sono i risultati scaturiti per la velocità di 15 km/h dove generalmente sono sufficienti la metà delle batterie.

Le batterie Nissan permettano di ottenere il risultato desiderato con gli investimenti iniziale più bassi. Ricordiamo però che a lungo termine, le batterie Nissan, dovranno essere sostituite con una frequenza doppia, ma grazie al loro costo nettamente inferiore anche considerato questa spesa aggiuntiva in diversi casi risultano le più economiche.

Tra le batterie nuove le Akasol consentono di ottenere i risultati desiderati con il minor numero di unità, ma come si può notare dal grafico dei costi non si traduce sempre nella soluzione più economica. In certe situazioni le batterie Brusa essendo più modulari si rivelano economicamente più interessanti (vedi risultati alla velocità di 15 km/h).

Se il porto è dotato della ricarica da 150 kW tutte le marche di batteria prese in considerazione in questo studio permettono di sviluppare un progetto basato su una velocità di crociera di 20km/h. Con potenze inferiori l'unica marca con cui si potrebbe lavorare sono le Akasol, ma questa soluzione è economicamente penalizzante.

Monoscafo da 12 posti

		Monoscafo 12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	1	20	26475	25000	51475
	12 km/h					
	15 km/h	2	150	52950	80000	132950
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	150	52950	80000	132950
	20 km/h					
	20 km/h					
Brusa	12 km/h	2	20	24000	25000	49000
	12 km/h					
	15 km/h	4	150	48000	80000	128000
	15 km/h	9	20	108000	25000	133000
	15 km/h					
	20 km/h	5	150	60000	80000	140000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
Torqueedo	12 km/h	3	20	42000	25000	67000
	12 km/h					
	15 km/h	6	150	84000	80000	164000
	15 km/h	8	50	112000	40000	152000
	15 km/h	11	20	154000	25000	179000
	20 km/h	7	150	98000	80000	178000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 12.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	20	7392	25000	32392
	12 km/h					
	15 km/h	7	150	25872	80000	105872
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	8	150	29568	80000	109568
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				

Tabella 8 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, M12

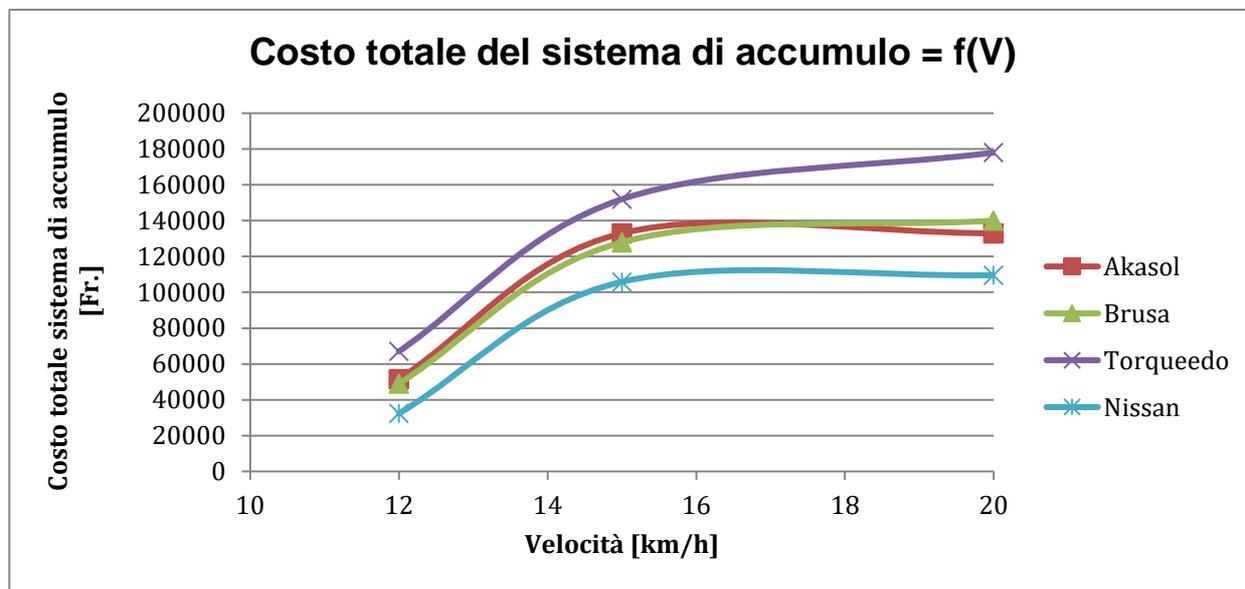


Grafico 33 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, M12

Il grafico comparativo dei costi permette di evidenziare ancora una volta come l'imbarcazione a monoscafo subisce un forte aumento dei consumi e di conseguenza dei costi già a partire dai 13 km/h.

Anche in questo caso le batterie Nissan rappresentano la variante meno costosa, ma in confronto al catamarano da 60 posti, però, il numero di batterie utilizzate è inferiore e di conseguenza anche la differenza di costo è limitata.

Se calcoliamo i costi aggiunti di manutenzione per le batterie Nissan la differenza è pressoché nulla, come mostrato dal grafico seguente.

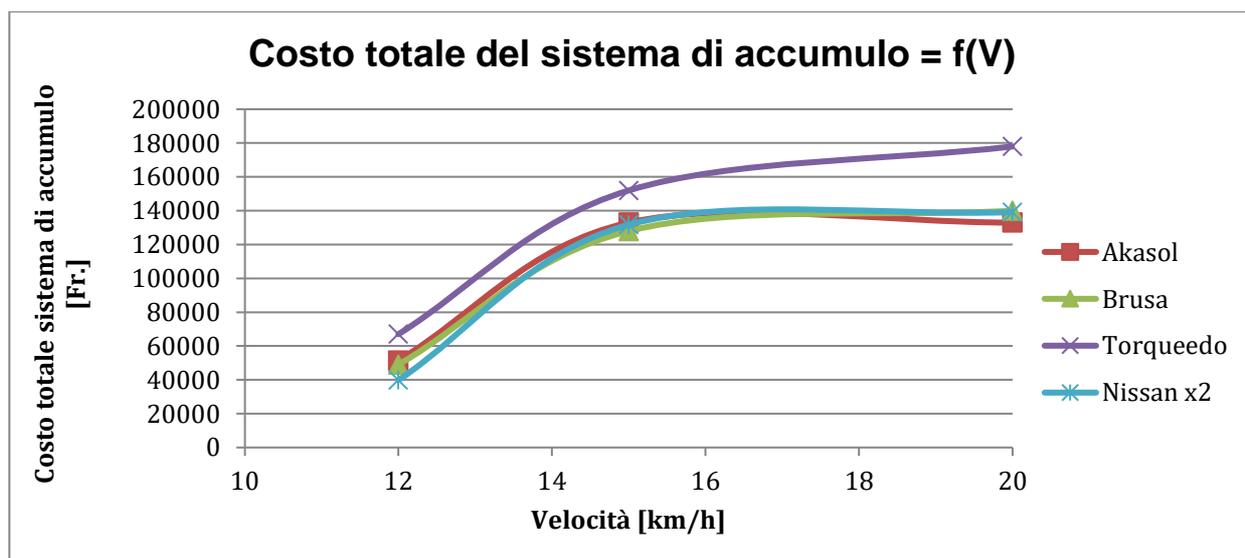


Grafico 34 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, M12

Con questo tipo di imbarcazione per poter navigare a 20 km/h bisognerà assolutamente disporre della ricarica da 150 kW, indipendentemente dalla marca di batterie scelta. Interessante è notare, che se si decidesse di navigare a 12 km/h, basterebbe la colonnina da 20 kW.

Catamarano 12 posti

Il piccolo Catamarano è un'imbarcazione che necessita di molta meno energia, questa caratteristica permette di ottenere ottimi risultati già con le stazioni di ricarica meno potenti.

		Catamarano12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	1	20	26475	25000	51475
	12 km/h					
	15 km/h	1	50	26475	40000	66475
	15 km/h	2	20	52950	25000	77950
	15 km/h					
	20 km/h	1	50	26475	40000	66475
	20 km/h	2	20	52950	25000	77950
	20 km/h					
Brusa	12 km/h	2	20	24000	25000	49000
	12 km/h					
	15 km/h	2	50	24000	40000	64000
	15 km/h	3	20	36000	25000	61000
	15 km/h					
	20 km/h	2	50	24000	40000	64000
	20 km/h	3	20	36000	25000	61000
	20 km/h					
Torqueedo	12 km/h	2	20	28000	25000	53000
	12 km/h					
	15 km/h	3	50	42000	40000	82000
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	50	28000	40000	68000
	20 km/h	3	50	42000	40000	82000
	20 km/h	4	20	56000	25000	81000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	20	7392	25000	32392
	12 km/h					
	15 km/h					
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	20	7392	25000	32392
	20 km/h	2	50	7392	40000	47392
	20 km/h	3	20	11088	25000	36088

Tabella 9 – Dati riassuntivi del predimensionamento, 20 km, con ricarica rapida, C12

Con batterie Nissan abbiamo una situazione particolare, come si può vedere nella tabella sottostante, con 2 blocchi di batteria e una ricarica da 20 kW si dispone della quantità di energia a sufficienza per garantire sia una navigazione a bassa velocità che a quella alta, ma non nella fascia intermedia. Con 3 batterie, abbinate alla ricarica da 20 kW invece questo problema sparisce.

Velocità [km/h]	Potenza [kW]	Tempo necessario per 1 tragitto [ore]	Energia necessaria 1 giro [kWh]	Energia giornaliera necessaria [kWh]
1.0	0.1	20.00	1.3	5.39
2.0	0.1	10.00	1.0	4.07
3.0	0.2	6.67	1.0	4.05
4.0	0.2	5.00	1.1	4.51
5.0	0.3	4.00	1.3	5.32
6.0	0.4	3.33	1.4	5.64
7.0	0.7	2.86	2.0	7.99
8.0	1.1	2.59	2.8	11.05
8.5	1.4	2.35	3.2	12.79
9.0	1.7	2.22	3.7	14.69
9.5	2.0	2.11	4.2	16.98
10.0	2.4	2.00	4.9	19.44
10.5	3.9	1.90	7.5	29.85
11.0	3.5	1.82	6.3	25.12
11.5	4.1	1.74	7.1	28.24
12.0	4.8	1.67	8.0	31.97
12.5	6.0	1.60	9.6	38.21
13.0	7.4	1.54	11.3	45.27
13.5	8.9	1.48	13.1	52.46
14.0	10.0	1.43	14.3	57.19
14.5	11.3	1.38	15.5	62.20
15.0	12.5	1.33	16.7	66.93
15.5	13.3	1.29	17.2	68.88
16.0	14.1	1.25	17.7	70.65
16.5	14.9	1.21	18.1	72.23
17.0	15.5	1.18	18.3	73.14
17.5	16.1	1.14	18.5	73.82
18.0	16.7	1.11	18.6	74.33
18.5	17.4	1.08	18.8	75.15
19.0	18.0	1.05	18.9	75.73
19.5	18.6	1.03	19.1	76.27
20.0	19.4	1.00	19.4	77.59

Tempo di ricarica tra un giro e l'altro [ore]	Energia caricata durante la sosta [kWh] CON 20 kW	Energia caricata durante la sosta [kWh] CON 50 kW	Energia caricata durante la sosta [kWh] CON 150 kW	Energia giornaliera disponibile [kWh]	Energia giornaliera disponibile [kWh]	Energia giornaliera disponibile [kWh]
18.00	-360.00	-612.00	-612.00	-1046.40	-1802.40	-1802.40
-8.00	-160.00	-272.00	-272.00	-446.40	-782.40	-782.40
-4.67	-93.33	-158.67	-158.67	-246.40	-442.40	-442.40
-3.00	-60.00	-102.00	-102.00	-146.40	-272.40	-272.40
-2.00	-40.00	-68.00	-68.00	-86.40	-170.40	-170.40
-1.33	-26.67	-45.33	-45.33	-46.40	-102.40	-102.40
-0.85	-17.14	-29.14	-29.14	-17.83	-53.83	-53.83
-0.50	-10.00	-17.00	-17.00	3.60	-17.40	-17.40
-0.35	-7.06	-12.00	-12.00	12.42	-2.40	-2.40
-0.22	-4.44	-7.56	-7.56	20.27	10.93	10.93
-0.11	-2.11	-3.58	-3.58	27.28	22.86	22.86
0.00	0.00	0.00	0.00	33.60	33.60	33.60
0.10	1.90	3.24	3.24	39.31	43.31	43.31
0.18	3.64	6.18	6.18	44.51	52.15	52.15
0.26	4.85	7.52	7.52	48.16	56.17	56.17
0.33	5.87	8.39	8.39	51.20	58.76	58.76
0.40	6.80	9.18	9.18	54.00	61.14	61.14
0.46	7.66	9.91	9.91	56.58	63.34	63.34
0.52	8.46	10.59	10.59	58.98	65.37	65.37
0.57	9.20	11.22	11.22	61.20	67.26	67.26
0.62	9.89	11.81	11.81	63.27	69.02	69.02
0.67	10.53	12.35	12.35	65.20	70.66	70.66
0.71	11.14	12.87	12.87	67.01	72.20	72.20
0.75	11.70	13.35	13.35	68.70	73.64	73.64
0.79	12.23	13.80	13.80	70.29	74.99	74.99
0.82	12.73	14.22	14.22	71.79	76.26	76.26
0.86	13.20	14.62	14.62	73.20	77.46	77.46
0.89	13.64	15.00	15.00	74.53	78.59	78.59
0.92	14.06	15.36	15.36	75.79	79.67	79.67
0.95	14.46	15.69	15.69	76.99	80.68	80.68
0.97	14.84	16.01	16.01	78.12	81.64	81.64
1.00	15.20	16.32	16.32	79.20	82.56	82.56

Tabella 10 – Tabella dei dati di dimensionamento piccolo catamarano (caso particolare)

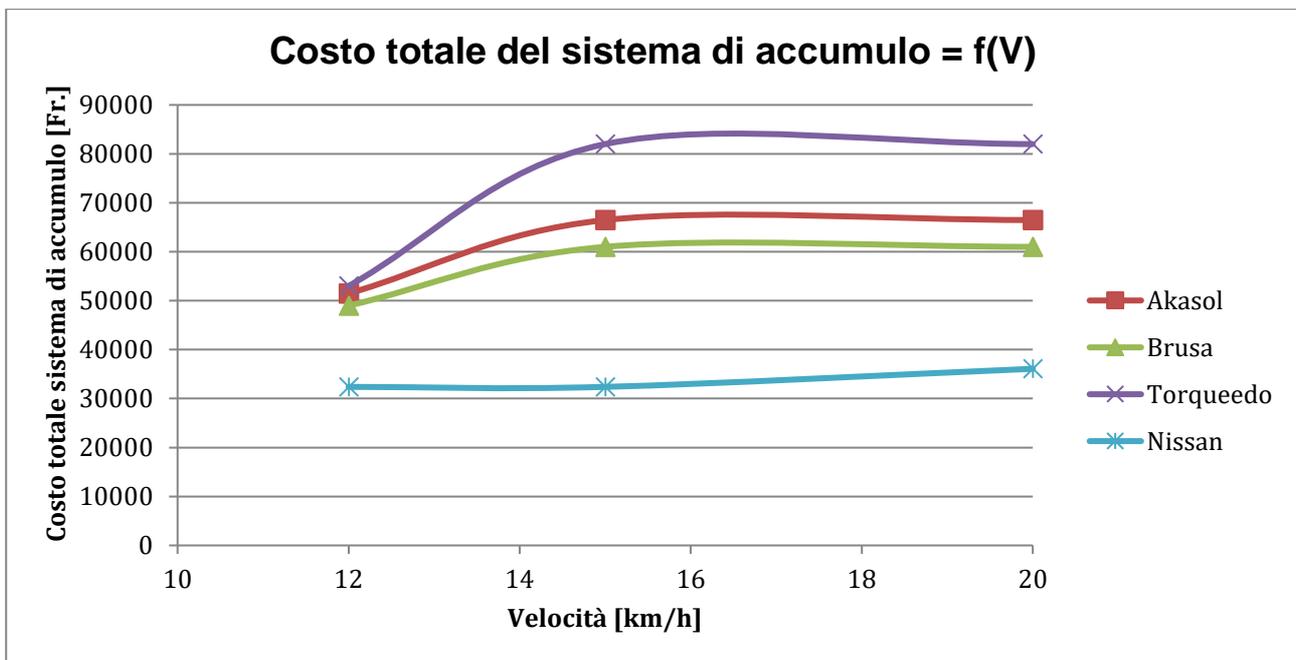


Grafico 35 – Costo del sistema di accumulo (batterie + ricarica) a differenti velocità, percorso di 20 km, con ricarica rapida, C12

Anche in questo caso le batterie Nissan rappresentano la variante meno costosa sia come investimento iniziale che a lungo termine. Il piccolo catamarano è un'imbarcazione che consuma poca energia e di conseguenza si riesce ad ottenere buoni risultati anche con una ricarica da 20 kW.

4.5 Tragitto di 30 km

Come anticipato in precedenza un tragitto di 30 km non rappresenta una vera alternativa turistica, ma bensì trova un interesse pratico nella dinamica di comprensione delle difficoltà per un corretto dimensionamento delle imbarcazioni elettriche.

Considerando che uno dei requisiti fondamentali per proporre una navigazione turistica di piacere è la durata massima del viaggio, che ricordiamo, secondo un'indagine eseguita prima di questo studio non deve superare le 2 ore, e alla volontà di proporre 4 giri giornalieri, è inevitabile ridurre notevolmente il tempo di sosta in porto e a viaggiare a velocità considerate elevate per queste imbarcazioni.

4.5.1 Sistema senza ricarica

La rappresentazione tabellare dei risultati permette di comprendere quanto la velocità possa influire sul consumo totale soprattutto nel caso si percorrano molti chilometri.

		Catamarano 60 posti			Monoscafo 12 posti			Catamarano 12 posti		
		Nr. Batt.	Peso	Costi	Nr. Batt.	Peso	Costi	Nr. Batt.	Peso	Costi
FZ Sonick	15 km/h	15	2730	210000	37	6734	518000	10	1820	140000
	18 km/h	36	6552	504000	48	8736	672000	12	2184	168000
	20 km/h	54	9828	756000	41	7462	574000	14	2548	196000
Akasol	15 km/h	11	3454	291225	18	5652	476550	7	2198	185325
	18 km/h	19	5966	503025	24	7536	635400	8	2512	211800
	20 km/h	27	8478	714825	21	6594	555975	9	2826	238275
Brusa	15 km/h	16	2320	192000	38	5510	456000	13	1885	156000
	18 km/h	38	5510	456000	50	7250	600000	15	2175	180000
	20 km/h	57	8265	684000	43	6235	516000	16	2320	192000
Torqueedo	15 km/h	21	3150	294000	57	8550	798000	16	2400	224000
	18 km/h	51	7650	714000	72	10800	1008000	19	2850	266000
	20 km/h	78	11700	1092000	62	9300	868000	22	3300	308000
Secondary Use (Nissan)	15 km/h	15	3270	55440	32	6976	118272	14	2548	51744
	18 km/h	31	6758	114576	41	8938	151536	16	2912	59136
	20 km/h	46	10028	170016	35	7630	129360	19	3458	70224

Tabella 11 – Confronto dei risultati di predimensionamento, senza ricarica, tragitto di 30 km, C60 – C12 – M12

Ad eccezione del piccolo catamarano dove i risultati di dimensionamento parrebbero effettivamente attuabili, per le altre 2 imbarcazioni, si può affermare che dal profilo tecnico sussistono alcuni problemi dovuti al peso e al volume. Se poi analizziamo i costi ci rendiamo conto che aumentando il percorso di 10 chilometri gli investimenti iniziali subiscono un notevole incremento.

4.5.2 Con sistema di ricarica (20,50 e 150 kW)

Con la stessa modalità attuata in precedenza vengono ora presentati i risultati più significativi per il percorso di 30 km.

Catamarano 60 posti:

		Catamarano 60 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	16 km/h	8	150	112000	80000	192000
	16 km/h	9	50	126000	40000	166000
	16 km/h	10	20	140000	25000	165000
	18 km/h	12	150	168000	80000	248000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 150 kW la Vmax è di 18.5 Km/h				
Brusa	16 km/h					
	20 km/h					
	20 km/h					
Torqueedo	16 km/h					
	16 km/h					
	18 km/h					
	18 km/h					
	20 km/h					
	20 km/h					
Secondary Use (Nissan)	16 km/h	14	150	51744	80000	131744
	18 km/h					
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 15.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 15.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 150 kW la Vmax è di 16.5 Km/h				

Tabella 12 – Dati riassuntivi del predimensionamento, con ricarica, tragitto di 30 km, C60

Rispetto alla variante senza ricarica parziale con l'utilizzo della colonnina per la ricarica rapida la situazione migliora leggermente, ma le possibilità sono davvero limitate. Considerato però che il percorso da 30 km non risponde ad una specifica richiesta turistica è stato deciso di non ampliare l'analisi dei dati.

I risultati ottenuti dimostrano come con un massimo di 14 unità non si riesca a garantire l'energia a sufficienza per navigare a 20 km/h.

Con le batterie Akasol otteniamo dei risultati molti buoni, con 12 batterie e una ricarica da 150 kW si potrebbe navigare a 18 km/h, mentre con le batterie Nissan la velocità massima è leggermente inferiore.

Economicamente tutte le soluzioni si equivalgono soprattutto se consideriamo gli eventuali costi di manutenzione delle batterie Nissan.

Monoscafo 12 posti:

		Monoscafo 12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	16 km/h					
	16 km/h					
	16 km/h					
	18 km/h			-		
	20 km/h					
	20 km/h					
Brusa	16 km/h					
	20 km/h			-		
	20 km/h					
Torqueedo	16 km/h					
	16 km/h					
	18 km/h			-		
	18 km/h					
	20 km/h					
	20 km/h					
Secondary Use (Nissan)	16 km/h					
	18 km/h					
	20 km/h			-		
	20 km/h					
	20 km/h					

Tabella 13 – Dati riassuntivi del predimensionamento, senza ricarica, tragitto di 30 km, M12

Con le limitazioni imposte a livello tecnico (numero massimo di 14 unità) l'imbarcazione dotata di un solo scafo necessita di troppa energia e non vi quindi la possibilità di utilizzarla su una tratta così lunga.

Catamarano 12 posti:

		Catamarano12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	16 km/h	7	20	185325	25000	210325
	16 km/h					
	16 km/h					
	18 km/h	7	20	185325	25000	210325
	20 km/h	5	150	132375	80000	212375
	20 km/h	6	50	158850	40000	198850
Brusa	20 km/h	8	20	211800	25000	236800
	16 km/h	14	20	168000	25000	193000
	20 km/h	10	150	120000	80000	200000
Torqueedo	20 km/h	13	50	156000	40000	196000
	16 km/h					
	16 km/h					
	18 km/h					
	18 km/h					
	20 km/h					
Secondary Use (Nissan)	20 km/h					
	16 km/h	14	20	51744	25000	76744
	18 km/h	12	50	44352	40000	84352
	20 km/h	9	150	33264	80000	113264
	20 km/h	13	50	48048	40000	88048
20 km/h						

Tabella 14 – Dati riassuntivi del predimensionamento, con ricarica, tragitto di 30 km, C12

Come già riscontrato nella variante di 20 km per il catamarano da 12 posti è l'imbarcazione che consuma meno energia.

Grazie a questa caratteristica anche con un tragitto di 30 km ci sono diverse possibilità di raggiungere l'obiettivo prefissato.

5 Analisi e comparazioni

5.1 Riassunto dei risultati senza il sistema di ricarica:

Questa comparazione dei risultati non può riprodurre tutte le possibilità o le particolarità che si potranno riscontrare durante un'eventuale fase di dimensionamento; rappresenta però una base di partenza per un ragionamento globale sulle possibili varianti e la loro influenza sia tecnica che economica.

Tabella riassuntiva con le 3 imbarcazioni a confronto:

		Catamarano 60 posti			Monoscafo 12 posti			Catamarano 12 posti		
		Nr. Batt.	Peso	Costi	Nr. Batt.	Peso	Costi	Nr. Batt.	Peso	Costi
FZ Sonick	12 km/h	5	910	70000	3	546	42000	3	546	42000
	15 km/h	9	1638	126000	19	3458	266000	6	1092	84000
	20 km/h	29	5278	406000	22	4004	308000	8	1456	112000
Akasol	12 km/h	3	942	79425	2	628	52950	2	628	52950
	15 km/h	5	1570	132375	9	2826	238275	3	942	79425
	20 km/h	14	4396	370650	11	3454	291225	4	1256	105900
Brusa	12 km/h	6	870	72000	3	435	36000	3	435	36000
	15 km/h	10	1450	120000	19	2755	228000	7	1015	84000
	20 km/h	31	4495	372000	24	3480	288000	8	1160	96000
Torqueedo	12 km/h	7	1050	98000	4	600	56000	4	600	56000
	15 km/h	13	1950	182000	28	4200	392000	9	1350	126000
	20 km/h	42	6300	588000	33	4950	462000	11	1650	154000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	5	1090	18480	2	436	7392	2	364	7392
	15 km/h	8	1744	29568	16	3488	59136	5	910	18480
	20 km/h	25	5450	92400	19	4142	70224	7	1274	25872

Tabella 15 – Confronto dei costi delle batterie per le 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km, senza ricarica

Osservando i risultati ottenuti per le 3 imbarcazioni è evidente che in tutti i casi la velocità di crociera influisce in maniera considerevole sulla quantità di batterie necessarie.

Per quanto riguarda il peso imbarcato, non si riscontra una differenza sostanziale tra le diverse tecnologie di batterie. Quindi anche considerando i fattori di correzione dovuti al peso la scelta della batteria non influisce sul risultato finale.

Diverso il discorso economico, dove le batteria Nissan (“Secondary use”) rappresentano sempre la soluzione più economica. Si ricorda che nella simulazione le caratteristiche delle batteria Nissan sono state adattate per rappresentare in maniera reale il degrado subito durante la loro prima utilizzazione. Doveroso però segnalare, a svantaggio di questa soluzione, che la durata di vita sarà inferiore e non ci sono garanzie sulla loro durata.

Se a livello tecnico non si riscontrano particolari problemi a lavorare con un numero elevato batterie (esclusi alcuni accorgimenti per garantire un corretto raffreddamento), il volume totale è sicuramente una nota dolente. Ad esclusione del piccolo catamarano dove, in tutte le sue varianti, il numero complessivo di batterie è ragionevole, per le altre 2 imbarcazioni sarà pressoché impossibile trovare lo spazio per installare tutte le unità necessarie per una navigazione a 20 km/h. Per il monoscafo esprimiamo alcune perplessità anche per la velocità intermedia, per la quale è richiesta una notevole quantità di energia.

5.2 Riassunto dei risultati con sistema di ricarica (20,50 e 150 kW)

Rispetto alla situazione precedente, con la ricarica rapida, l'analisi risulta più complessa e articolata.

Tabella riassuntiva con le 3 imbarcazioni a confronto:

	Catamarano 60 posti				Monoscafo 12 posti				Catamarano 12 posti				
	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	
Aksol	12 km/h	2	20	52950	25000	77950							51475
	12 km/h												
	15 km/h	2	150	52950	80000	132950							66475
	15 km/h	3	50	79425	40000	119425							77950
	15 km/h	4	20	105900	25000	130900							
	20 km/h	4	150	105900	80000	185900							66475
	20 km/h	12	50	317700	40000	357700							77950
	20 km/h	13	20	344175	25000	369175							
	12 km/h	3	50	36000	40000	76000							49000
	12 km/h	4	20	48000	25000	73000							
	15 km/h	4	150	48000	80000	128000							64000
	15 km/h	5	50	60000	40000	100000							61000
	Brusa	15 km/h											
20 km/h		9	150	108000	80000	188000							64000
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.0 Km/h											
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.5 Km/h											
12 km/h		4	50	56000	40000	96000							53000
12 km/h		5	20	70000	25000	95000							
15 km/h		4	150	56000	80000	136000							82000
15 km/h		7	50	98000	40000	138000							
15 km/h		9	20	126000	25000	151000							
20 km/h		11	150	154000	80000	234000							68000
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 16.0 Km/h											
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.0 Km/h											
Torqueedo		12 km/h	3	20	11088	25000	36088						
	12 km/h												
	15 km/h	4	50	14784	40000	54784							
	15 km/h												
	15 km/h	6	20	22176	25000	47176							
	20 km/h	8	150	29568	80000	109568							82000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.5 Km/h											
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 18.0 Km/h											
	12 km/h	3	20	11088	25000	36088							32392
	12 km/h												
	15 km/h	4	50	14784	40000	54784							
	15 km/h												
	Secondary Use (Nissan)	15 km/h	6	20	22176	25000	47176						
15 km/h													
20 km/h		8	150	29568	80000	109568							82000
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.5 Km/h											
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 18.0 Km/h											
12 km/h		3	20	11088	25000	36088							32392
12 km/h													
15 km/h		4	50	14784	40000	54784							
15 km/h													
15 km/h		6	20	22176	25000	47176							
20 km/h		8	150	29568	80000	109568							82000
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.5 Km/h											
20 km/h		Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 18.0 Km/h											

Tabella 16 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) per le 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km

Analizzando la tabella soprastante è difficile tracciare una tendenza generalizzata tra i costi e la velocità o tra i costi e la potenza delle colonnine di ricarica, ogni accoppiamento presenta delle particolarità e deve essere valutato in base alle esigenze e alle opportunità infrastrutturali.

Uguualmente a quanto rilevato nella variante senza ricarica, anche se in proporzioni minori, la velocità ha un ruolo fondamentale nell'investimento totale. L'utilizzo delle batterie Nissan "Secondary use" permettono un notevole risparmio dell'investimento iniziale, anche se considerando una durata di vita inferiore (da prevedere una sostituzione di tutti gli accumulatori dopo 7-8 anni) in alcune situazioni esse non risultano la scelta più economica (vedi monoscafo).

Per alcune batterie non è sempre stato possibile identificare il numero minimo di blocchi batteria associati ad una potenza di ricarica da 20 e 50 kW. Ma i costi cumulati relativi a queste colonnine con un numero di 14 unità sono generalmente superiori alla soluzione che prevede una ricarica da 150 kW. Fanno eccezione le batterie Nissan dove l'investimento totale con 14 unità e la ricarica da 20 kW è inferiore ma, considerando i costi di sostituzione dovuti all'invecchiamento la differenza si riduce notevolmente.

Per il catamarano più piccolo il discorso è differente, questo tipo di imbarcazione necessita di minor energia e quindi di un numero minore di batterie. Di conseguenza anche la differenza dei costi tra le varianti è minore. Inoltre è l'unica imbarcazione a non aver bisogno della ricarica da 150 kW per poter disporre dell'energia necessaria ad una velocità di navigazione di 20 km/h.

Altro aspetto molto importante da segnalare è che i costi della ricarica sono stati addossati interamente ad una sola imbarcazione, nel caso in cui il progetto prevedesse la creazione di una flotta di più imbarcazioni i costi di investimento per imbarcazioni si ridurrebbero in proporzione. Attenzione però, i risultati sono validi solo se la colonnina di ricarica è utilizzata da una sola imbarcazione contemporaneamente, per questo motivo, in considerazione dei tempi di stazionamento al porto, nelle tabelle sottostanti sono riportati alcuni esempi dell'evoluzione di costi con 2, 3 e 4 barche.

		Catamarano 60 posti 1 barca					Catamarano 60 posti 2 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	105'900	25'000	130'900	65'450
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950	2	150	105'900	80'000	185'900	92'950
	15 km/h	3	50	79'425	40'000	119'425	3	50	158'850	40'000	198'850	99'425
	15 km/h	4	20	105'900	25'000	130'900	4	20	211'800	25'000	236'800	118'400
	20 km/h	4	150	105'900	80'000	185'900	4	150	211'800	80'000	291'800	145'900
	20 km/h	12	50	317'700	40'000	357'700	12	50	635'400	40'000	675'400	337'700
Nissan	20 km/h	13	20	344'175	25'000	369'175	13	20	688'350	25'000	713'350	356'675
	12 km/h	3	50	11'088	40'000	51'088	3	50	22'176	40'000	62'176	31'088
	15 km/h	4	50	14'784	40'000	54'784	4	150	29'568	80'000	109'568	54'784
	15 km/h	6	20	22'176	25'000	47'176	6	20	44'352	25'000	69'352	34'676
20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568	8	150	59'136	80'000	139'136	69'568	
		Monoscafo 12 posti 1 barca					Monoscafo 12 posti 2 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	52'950	25'000	77'950	38'975
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950	2	150	105'900	80'000	185'900	92'950
	20 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950	2	150	105'900	80'000	185'900	92'950
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	14'784	25'000	39'784	19'892
	15 km/h	7	150	25'872	80'000	105'872	7	150	51'744	80'000	131'744	65'872
	20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568	8	150	59'136	80'000	139'136	69'568
		Catamarano 12 posti 1 barca					Catamarano 12 posti 2 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	52'950	25'000	77'950	38'975
	15 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475	1	50	52'950	40'000	92'950	46'475
	15 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	105'900	25'000	130'900	65'450
	20 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475	1	50	52'950	40'000	92'950	46'475
	20 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	105'900	25'000	130'900	65'450
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	14'784	25'000	39'784	19'892
	20 km/h	2	50	7'392	40'000	47'392	2	50	14'784	40'000	54'784	27'392
	20 km/h	3	20	11'088	25'000	36'088	3	50	22'176	40'000	62'176	31'088

Tabella 17 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 2 imbarcazioni, tragitto di 20 km

		Catamarano 60 posti 1 barca					Catamarano 60 posti 3 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	158'850	25'000	183'850	61'283
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950	2	150	158'850	80'000	238'850	79'617
	15 km/h	3	50	79'425	40'000	119'425	3	50	238'275	40'000	278'275	92'758
	15 km/h	4	20	105'900	25'000	130'900	4	20	317'700	25'000	342'700	114'233
	20 km/h	4	150	105'900	80'000	185'900						
	20 km/h	12	50	317'700	40'000	357'700						
	20 km/h	13	20	344'175	25'000	369'175						
Nissan	12 km/h	3	50	11'088	40'000	51'088	3	50	33'264	40'000	73'264	24'421
	15 km/h	4	50	14'784	40'000	54'784	4	150	44'352	80'000	124'352	41'451
	15 km/h	6	20	22'176	25'000	47'176	6	20	66'528	25'000	91'528	30'509
	20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568						
		Monoscafo 12 posti 1 barca					Monoscafo 12 posti 3 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	79'425	25'000	104'425	34'808
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950	2	150	158'850	80'000	238'850	79'617
	20 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950						
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	22'176	25'000	47'176	15'725
	15 km/h	7	150	25'872	80'000	105'872	7	150	77'616	80'000	157'616	52'539
	20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568						
		Catamarano 12 posti 1 barca					Catamarano 12 posti 3 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	79'425	25'000	104'425	34'808
	15 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475	1	50	79'425	40'000	119'425	39'808
	15 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	158'850	25'000	183'850	61'283
	20 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475						
	20 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950						
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	22'176	25'000	47'176	15'725
	20 km/h	2	50	7'392	40'000	47'392						
	20 km/h	3	20	11'088	25'000	36'088						

Tabella 18 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 3 imbarcazioni, tragitto di 20 km

		Catamarano 60 posti 1 barca					Catamarano 60 posti 4 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950	2	20	211'800	25'000	236'800	59'200
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950						
	15 km/h	3	50	79'425	40'000	119'425						
	15 km/h	4	20	105'900	25'000	130'900						
	20 km/h	4	150	105'900	80'000	185'900						
	20 km/h	12	50	317'700	40'000	357'700						
Nissan	20 km/h	13	20	344'175	25'000	369'175						
	12 km/h	3	50	11'088	40'000	51'088	3	50	44'352	40'000	84'352	21'088
	15 km/h	4	50	14'784	40'000	54'784						
	15 km/h	6	20	22'176	25'000	47'176						
20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568							
		Monoscafo 12 posti 1 barca					Monoscafo 12 posti 4 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	105'900	25'000	130'900	32'725
	15 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950						
	20 km/h	2	150	52'950	80'000	132'950						
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	29'568	25'000	54'568	13'642
	15 km/h	7	150	25'872	80'000	105'872						
	20 km/h	8	150	29'568	80'000	109'568						
		Catamarano 12 posti 1 barca					Catamarano 12 posti 4 barca					
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi barca	Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot	Costi barca
Akasol	12 km/h	1	20	26'475	25'000	51'475	1	20	105'900	25'000	130'900	32'725
	15 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475						
	15 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950						
	20 km/h	1	50	26'475	40'000	66'475						
	20 km/h	2	20	52'950	25'000	77'950						
Nissan	12 km/h	2	20	7'392	25'000	32'392	2	20	29'568	25'000	54'568	13'642
	20 km/h	2	50	7'392	40'000	47'392						
	20 km/h	3	20	11'088	25'000	36'088						

Tabella 19 – Confronto dei costi per il sistema di accumulo (batterie + ricarica) usando una flotta di 4 imbarcazioni, tragitto di 20 km

Grazie a questo esercizio si può notare come più il numero di imbarcazioni aumenta più viene premiata la soluzione con poche batterie. Se si naviga ad una velocità di 12 km/h il numero massimo di imbarcazioni utilizzabile contemporaneamente su una solo colonnina è di 6 unità, che si riduce a 3 alla velocità di 15 km/h e a 2 per i 20 km/h.

5.3 Comparazione tra il sistema senza ricarica e quello con ricarica

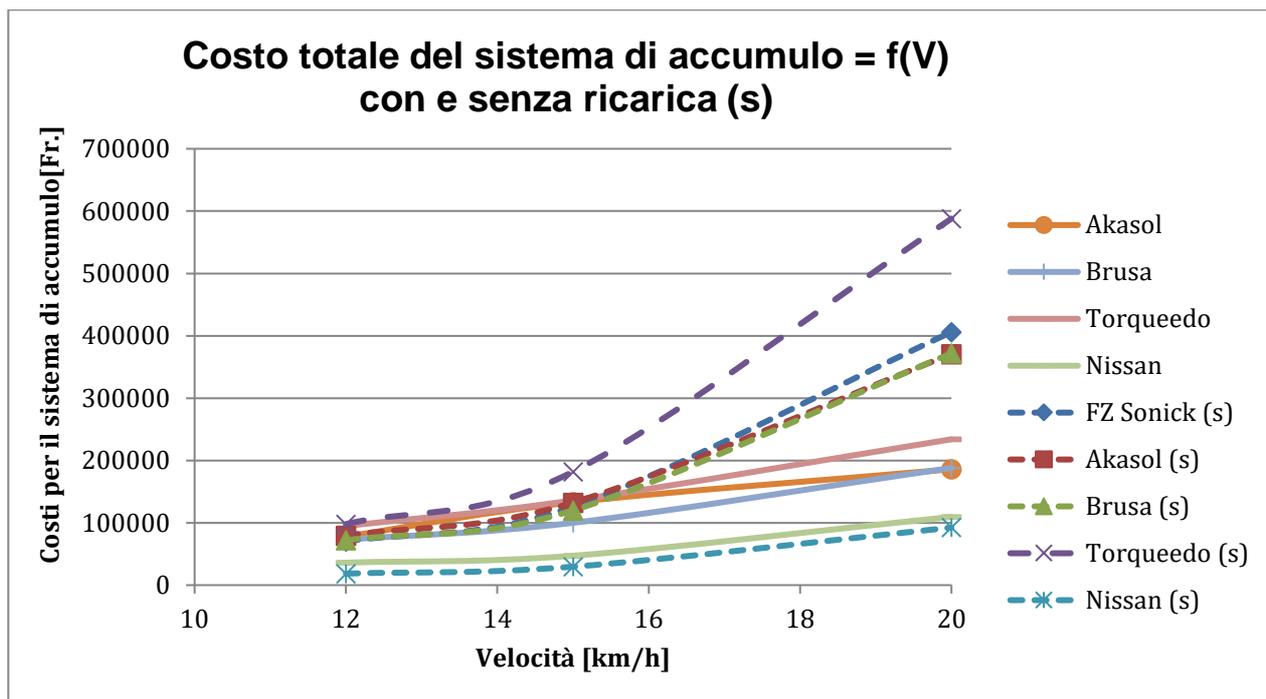


Grafico 36 – Comparazione dei costi totali per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, C60

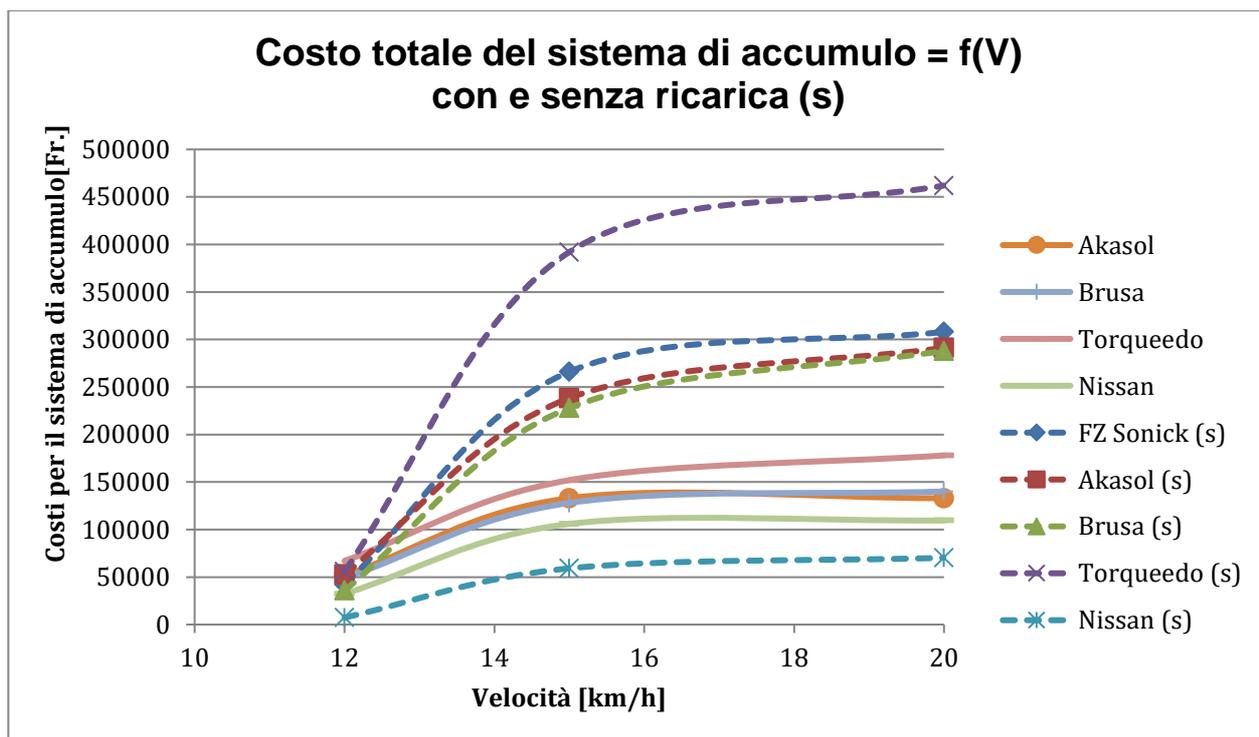


Grafico 37 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, M12

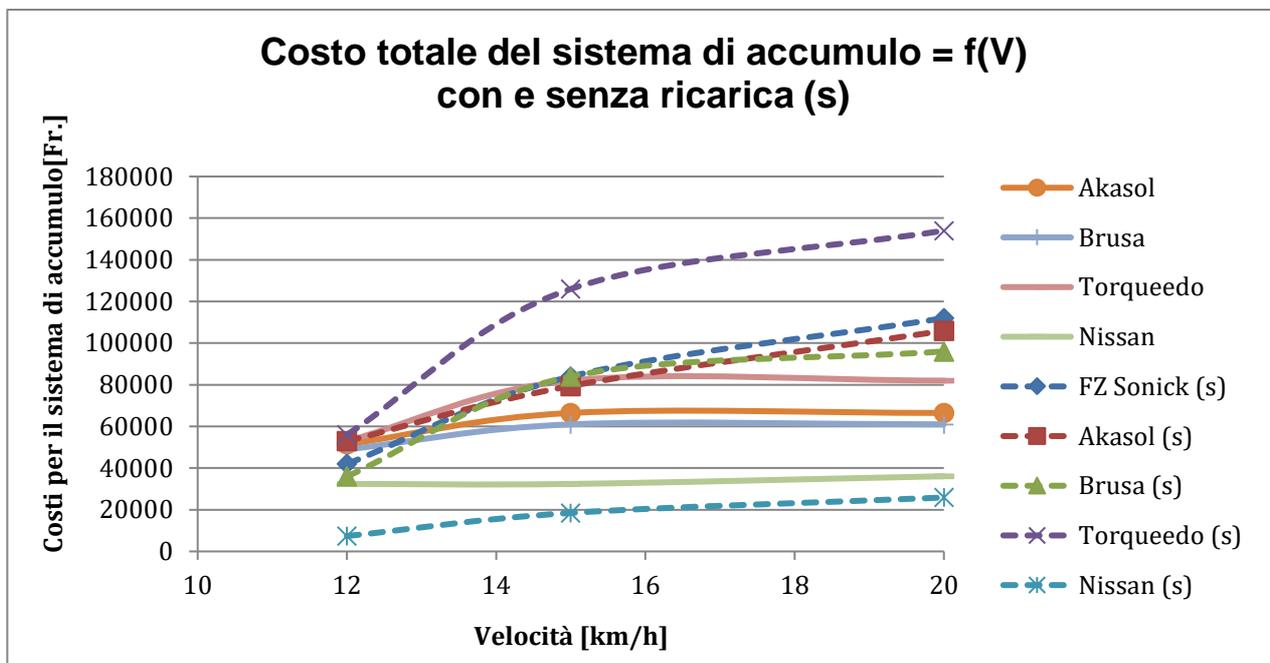


Grafico 38 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, C12

Dalla comparazione dei due sistemi possiamo dedurre che per tutte e 3 le imbarcazioni, l'investimento iniziale più economico si ottiene utilizzando le batterie Nissan senza la ricarica.

A lungo termine invece la variante con la ricarica rapida, è la soluzione più interessante, soprattutto per le velocità più alte. Nei grafici seguenti è rappresentata la situazione considerando i costi supplementari dovuti al cambio delle batterie Nissan, sia con la ricarica che senza.

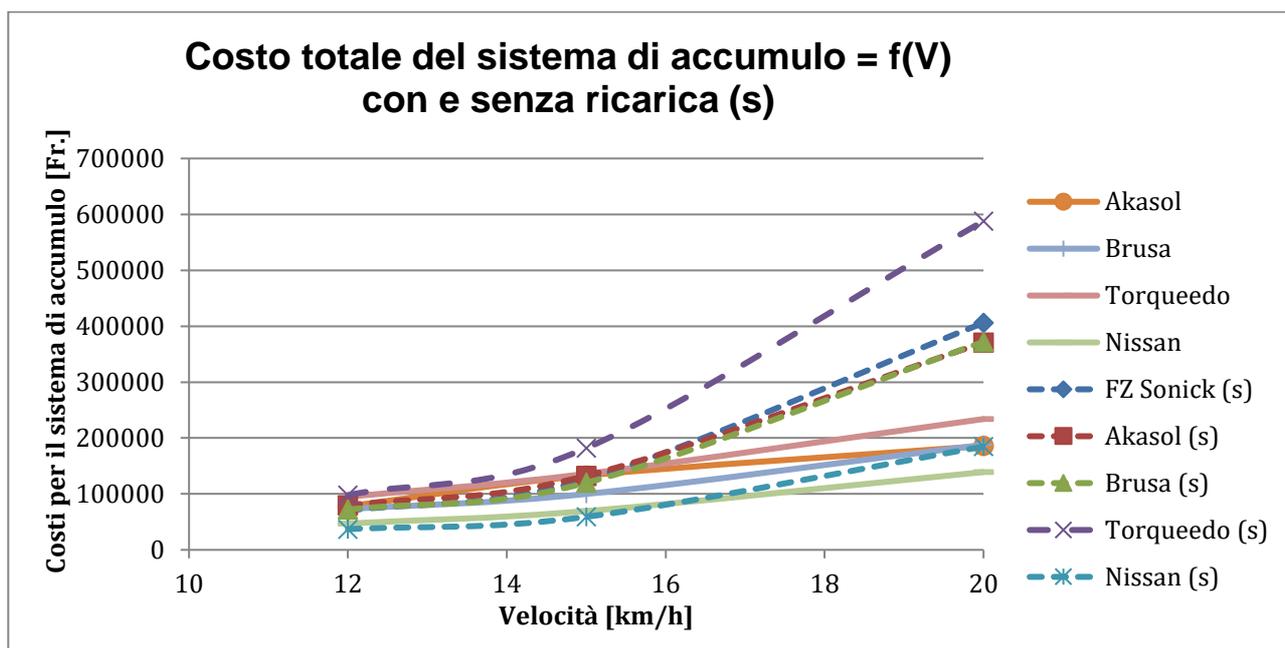


Grafico 39 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, C60

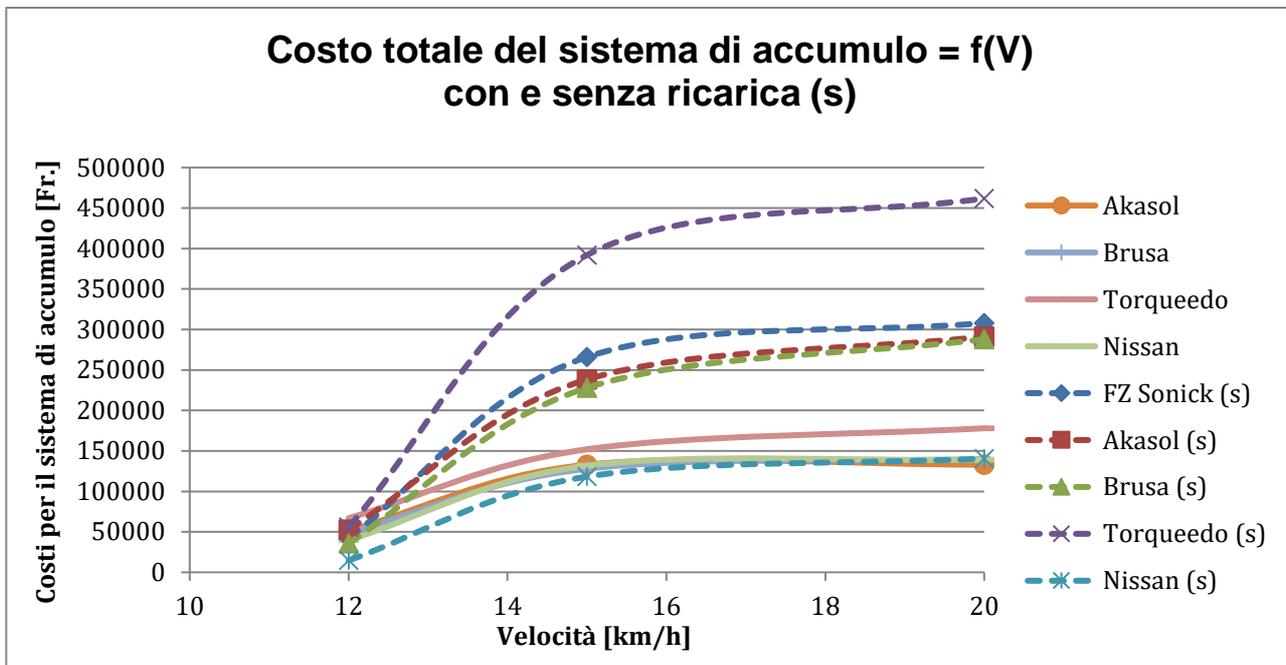


Grafico 40 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, M12

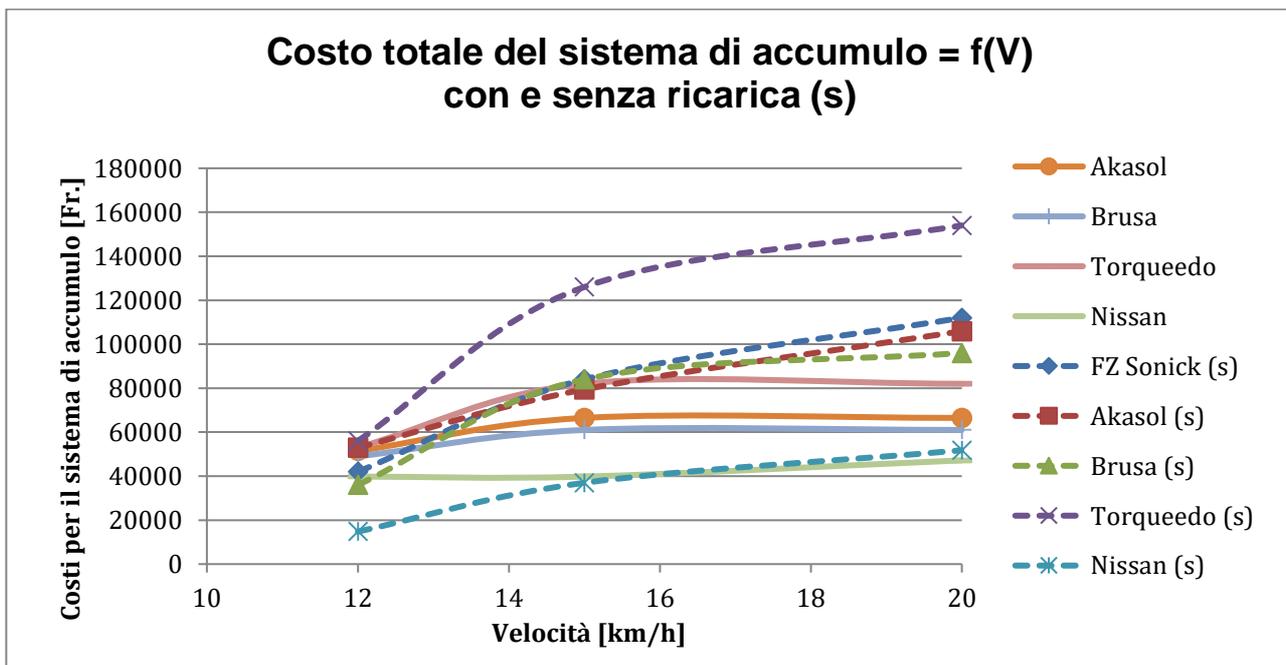


Grafico 41 – Comparazione dei costi per il sistema di accumulo con e senza ricarica, tragitto di 20 km, considerando la manutenzione delle batterie Nissan, C12

Considerando un investimento a lungo termine la situazione è un po' più complessa e non esiste un'unica soluzione per tutte e 3 le imbarcazioni.

In linea generale le batterie Nissan risultano sempre la scelta economicamente più vantaggiosa anche se la differenza si riduce notevolmente arrivando ad equivalersi come nel caso del monoscafo.

La soluzione che comprende la ricarica rapida risulta economicamente più interessante solo per le velocità elevate ma considerando l'insieme del progetto è la soluzione da privilegiare, poiché questa scelta ha un margine di ottimizzazione migliore, soprattutto dovuto alla condivisione dell'infrastruttura di ricarica rapida con altri natanti, riducendo ulteriormente il costo d'investimento per imbarcazione.

La scelta delle batterie Nissan dimensionante per un utilizzo senza ricarica rappresenta una soluzione interessante soprattutto nell'ottica di una realizzazione pilota, sviluppata e utilizzata per testare su un breve periodo (3-5 anni) il riscontro del turista e acquisendo nel contempo l'esperienza necessaria per uno sviluppo più capillare.

5.4 Analisi dei costi operativi e di gestione a lungo termine (15 anni)

5.4.1 Premessa

In questo capitolo si vuole confrontare i costi a lungo termine (gestione/operativi) di un'imbarcazione elettrica con la versione a benzina. Nel capitolo dedicato al dimensionamento sono stati studiati tutti gli scenari possibili, combinando tra di loro tragitti, imbarcazioni e tipi di batterie, utilizzeremo quindi i risultati dall'indagine tecnica ed economica per identificare alcuni tra i casi più interessanti da sottoporre ad una valutazione comparativa dei costi a lungo termine.

L'analisi che segue non deve essere intesa come un'analisi economica del progetto bensì come una comparazione e una valutazione sommaria del potenziale delle imbarcazioni elettriche.

Per realizzare la previsione dei costi gestionali-operativi sono state definite delle condizioni di utilizzo e dei valori standard che potrebbero differire dal reale utilizzo futuro delle imbarcazioni.

Per la fabbricazione dello scafo e la strumentazione di bordo si ipotizza che i costi, sia per la versione elettrica che per quella a benzina, siano equivalenti, così come per la motorizzazione. I costi del motore termico sono equiparati al costo del motore elettrico compresa l'elettronica di potenza, di conseguenza, i costi supplementari per la versione elettrica (costi di gestione) sono dovuti esclusivamente alle batterie e alla ricarica (elettronica, raffreddamento e la colonnina di ricarica posizionata al porto).

Per quanto concerne i costi imputabili all'infrastruttura elettrica per alimentare le stazioni di ricarica rapida esse sono a carico del gestore del porto, al servizio pubblico della città o del gestore di rete il quale beneficerà del guadagno sulla vendita dell'energia. I costi operativi invece sono imputabili esclusivamente al prezzo dell'elettricità o della benzina.

Considerati i percorsi proposti nello studio e le condizioni meteorologiche della regione si stima che durante la stagione turistica (aprile-ottobre) sia possibile offrire questo servizio di navigazione per 180 giorni.

Il prezzo dell'energia elettrica verrà fissato dal distributore locale e potrà variare a dipendenza della potenza massima di ricarica e dell'evoluzione del mercato Svizzero e internazionale. Prevedere a lungo termine la variazione del costo dell'energia è pressoché impossibile sia per l'elettricità che per la benzina, sono quindi ipotizzati dei costi fissi basati su una media degli ultimi anni pari a 22 cts./kWh per l'energia elettrica e di 1.8 Fr./l per la benzina (il costo del carburante sui laghi è maggiore rispetto ad un normale distributore).

Per semplificare l'analisi economica vengono pure parificati i costi di manutenzione dei due sistemi di propulsione mentre per quanto riguarda il rendimento del motore termico e del ciclo di carica e scarica delle batterie sono stimati al 20% rispettivamente al 90%. In realtà i costi di manutenzione di un sistema termico sono decisamente maggiori, basti pensare al cambio d'olio, inesistente per la trazione elettrica.

Come già anticipato nel capitolo dedicato al dimensionamento, decidendo di utilizzare le batterie Nissan bisognerà prevedere una sostituzione completa degli accumulatori dopo un'utilizzazione di 7-8 anni, mentre per le batterie nuove si presume una durata di vita di 15 anni.

In considerazione di questa problematica escludiamo dall'analisi dei costi a lungo termine le varianti che prevedono l'utilizzazione delle batterie Nissan senza la ricarica rapida, poiché gli investimenti necessari alla sostituzione delle batterie annullerebbero il vantaggio economico iniziale come mostrato nel grafico sottostante per il grande catamarano.

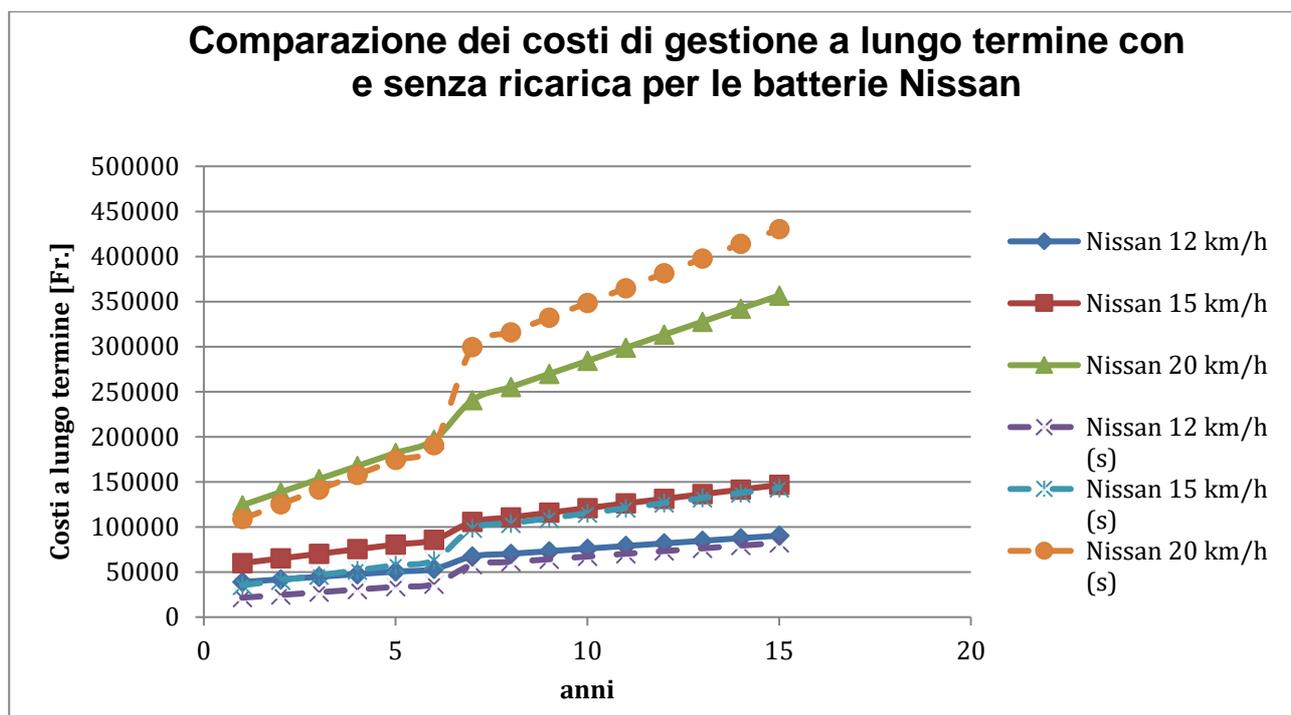


Grafico 42 – Comparazione dei costi di gestione a lungo termine utilizzando le batterie Nissan con e senza ricarica rapida a velocità differenti, tragitto di 20 km, grande catamarano. Considerando la necessità di sostituire tutti i blocchi batteria dopo 7 anni

Come possiamo notare dal grafico alle velocità ridotte i costi complessivi delle due varianti dopo 15 anni si equivalgono, mentre per la velocità di 20 km/h, a causa della sostituzione delle batterie i costi complessivi della variante senza ricarica sono decisamente superiori. Non si esclude comunque che per le imbarcazioni più piccole e in determinate circostanze (realizzazione di un solo battello) la variante senza ricarica possa risultare leggermente più economica, ma è tecnologicamente meno interessante.

Considerate le premesse appena elencate e secondo le conclusioni parziali espresse nel capitolo precedente per l'analisi economica a lungo termine si identificano come soluzioni più interessanti le varianti realizzate con le batterie Nissan o Akasol per un percorso di 20 km.

Dalla tabella riassuntiva dei risultati di dimensionamento sono stati quindi selezionati i seguenti abbinamenti.

		Catamarano 60 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	2	20	52950	25000	77950
	12 km/h					
	15 km/h	2	150	52950	80000	132950
	15 km/h	3	50	79425	40000	119425
	15 km/h	4	20	105900	25000	130900
	20 km/h	4	150	105900	80000	185900
	20 km/h	12	50	317700	40000	357700
	20 km/h	13	20	344175	25000	369175
Brusa	12 km/h	3	50	36000	40000	76000
	12 km/h	4	20	48000	25000	73000
	15 km/h	4	150	48000	80000	128000
	15 km/h	5	50	60000	40000	100000
	15 km/h					
	20 km/h	9	150	108000	80000	188000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.5 Km/h				
Torquedo	12 km/h	4	50	56000	40000	96000
	12 km/h	5	20	70000	25000	95000
	15 km/h	4	150	56000	80000	136000
	15 km/h	7	50	98000	40000	138000
	15 km/h	9	20	126000	25000	151000
	20 km/h	11	150	154000	80000	234000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 16.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 17.0 Km/h				
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	3	20	11088	25000	36088
	12 km/h					
	15 km/h	4	50	14784	40000	54784
	15 km/h					
	15 km/h	6	20	22176	25000	47176
	20 km/h	8	150	29568	80000	109568
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 17.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 18.0 Km/h				

Tabella 20 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, C60

		Monoscafo 12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	1	20	26475	25000	51475
	12 km/h					
	15 km/h	2	150	52950	80000	132950
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	150	52950	80000	132950
	20 km/h					
	20 km/h					
Brusa	12 km/h	2	20	24000	25000	49000
	12 km/h					
	15 km/h	4	150	48000	80000	128000
	15 km/h	9	20	108000	25000	133000
	15 km/h					
	20 km/h	5	150	60000	80000	140000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
Torquedo	12 km/h	3	20	42000	25000	67000
	12 km/h					
	15 km/h	6	150	84000	80000	164000
	15 km/h	8	50	112000	40000	152000
	15 km/h	11	20	154000	25000	179000
	20 km/h	7	150	98000	80000	178000
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 12.5 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	20	7392	25000	32392
	12 km/h					
	15 km/h	7	150	25872	80000	105872
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	8	150	29568	80000	109568
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 20 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				
	20 km/h	Con 14 batterie e la ricarica 50 kW la Vmax è di 13.0 Km/h				

Tabella 21 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, M12

		Catamarano 12 posti				
		Nr. Batt.	Potenza Ric	Costi Batt	Costi Ric	Costi tot
Akasol	12 km/h	1	20	26475	25000	51475
	12 km/h					
	15 km/h	1	50	26475	40000	66475
	15 km/h	2	20	52950	25000	77950
	15 km/h					
	20 km/h	1	50	26475	40000	66475
	20 km/h	2	20	52950	25000	77950
Brusa	12 km/h	2	20	24000	25000	49000
	12 km/h					
	15 km/h	2	50	24000	40000	64000
	15 km/h	3	20	36000	25000	61000
	15 km/h					
	20 km/h	2	50	24000	40000	64000
	20 km/h	3	20	36000	25000	61000
Torqueedo	12 km/h	2	20	28000	25000	53000
	12 km/h					
	15 km/h	3	50	42000	40000	82000
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	50	28000	40000	68000
	20 km/h	3	50	42000	40000	82000
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	2	20	7392	25000	32392
	12 km/h					
	15 km/h					
	15 km/h					
	15 km/h					
	20 km/h	2	20	7392	25000	32392
	20 km/h	2	50	7392	40000	47392
	3	20	11088	25000	36088	

Tabella 22 – Selezione dei casi interessanti per la comparazione dei costi operativi a lungo termine, tragitto 20 km, C12

5.4.2 Calcolo dei costi operativi e di gestione a lungo termine

Per le imbarcazioni elettriche i costi di gestione sono suddivisi in due parti; quelli computabili alle batterie e alle colonnine di ricarica più i costi relativi all'energia elettrica necessaria per la navigazione. Per la comparazione con la versione equivalente dotata di un motore termico convenzionale, sono utilizzati gli stessi dati di consumo convertendoli in litri di benzina. Sulla base delle premesse descritte precedentemente sono stati ottenuti i risultati seguenti :

Catamarano 60 posti

		Catamarano 60 posti		
		Costo batt.	Costo energia	Costo tot
Akasol	12 km/h	fr. 77'950	fr. 43'118	fr. 121'068
	15 km/h	fr. 119'425	fr. 77'616	fr. 197'041
	20 km/h	fr. 185'900	fr. 200'442	fr. 386'342
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	fr. 47'176	fr. 43'230	fr. 90'406
	15 km/h	fr. 69'568	fr. 77'022	fr. 146'590
	15 km/h	-	-	-
	20 km/h	fr. 139'136	fr. 217'582	fr. 356'718
	20 km/h	-	-	-
Benzina	12 km/h	fr. 0	fr. 168'090	fr. 168'090
	15 km/h	fr. 0	fr. 302'578	fr. 302'578
	20 km/h	fr. 0	fr. 781'402	fr. 781'402

Tabella 23 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, C60, 2 versioni elettriche e 1 a benzina

Monoscafo 12 posti

		Monoscafo 12 posti		
		Costo batt.	Costo energia	Costo tot
Akasol	12 km/h	fr. 51'475	fr. 19'800	fr. 71'275
	15 km/h	fr. 132'950	fr. 100'452	fr. 233'402
	20 km/h	fr. 132'950	fr. 150'150	fr. 283'100
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	fr. 39'784	fr. 21'714	fr. 61'498
	15 km/h	fr. 131'444	fr. 154'440	fr. 285'884
	15 km/h	-	-	-
	20 km/h	fr. 139'136	fr. 177'738	fr. 316'874
	20 km/h	-	-	-
Benzina	12 km/h	fr. 0	fr. 77'188	fr. 77'188
	15 km/h	fr. 0	fr. 391'602	fr. 391'602
	20 km/h	fr. 0	fr. 585'344	fr. 585'344

Tabella 24 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, M12, 2 versioni elettriche e 1 a benzina

Catamarano 12 posti

		Catamarano 12 posti		
		Costo batt.	Costo energia	Costo tot
Akasol	12 km/h	fr. 51'475	fr. 19'404	fr. 70'879
	15 km/h	fr. 66'475	fr. 41'712	fr. 108'187
	20 km/h	fr. 66'475	fr. 47'982	fr. 114'457
Secondary Use (Nissan)	12 km/h	fr. 39'784	fr. 21'120	fr. 60'904
	15 km/h	fr. 54'784	fr. 44'220	fr. 99'004
	15 km/h	fr. 47'480	fr. 48'642	fr. 96'122
	20 km/h	fr. 54'784	fr. 51'216	fr. 106'000
	20 km/h	fr. 47'480	fr. 57'090	fr. 104'570
Benzina	12 km/h	fr. 0	fr. 158'760	fr. 158'760
	15 km/h	fr. 0	fr. 162'610	fr. 162'610
	20 km/h	fr. 0	fr. 187'053	fr. 187'053

Tabella 25 – Risultato delle previsioni dei costi di gestione e operativi dopo 15 anni, tragitto di 20 km, C12, 2 versioni elettriche e 1 a benzina

5.5 Analisi dei risultati economici

In tutti i casi analizzati, la scelta di una motorizzazione elettrica, pur avendo un investimento iniziale maggiore, comporta dei costi di utilizzazione inferiori, tali da assorbire completamente la differenza in 3-8 anni.

Catamarano 60 posti

Per quanto riguarda il grande catamarano i costi dovuti all'utilizzazione, indifferentemente dalla motorizzazione o dal tipo di batterie scelte, aumentano in proporzione alla velocità, con una netta differenza tra i 15 e i 20 km/h. La versione con le batterie Nissan rappresenta sempre la scelta più economica.

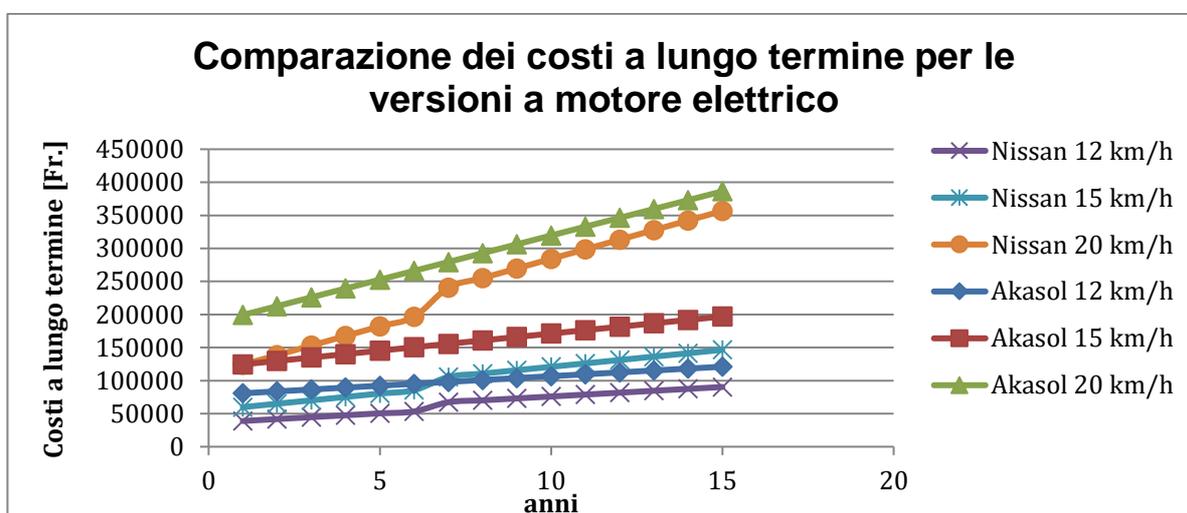


Grafico 43 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e Akasol a differenti velocità, tragitto di 20 km, C60

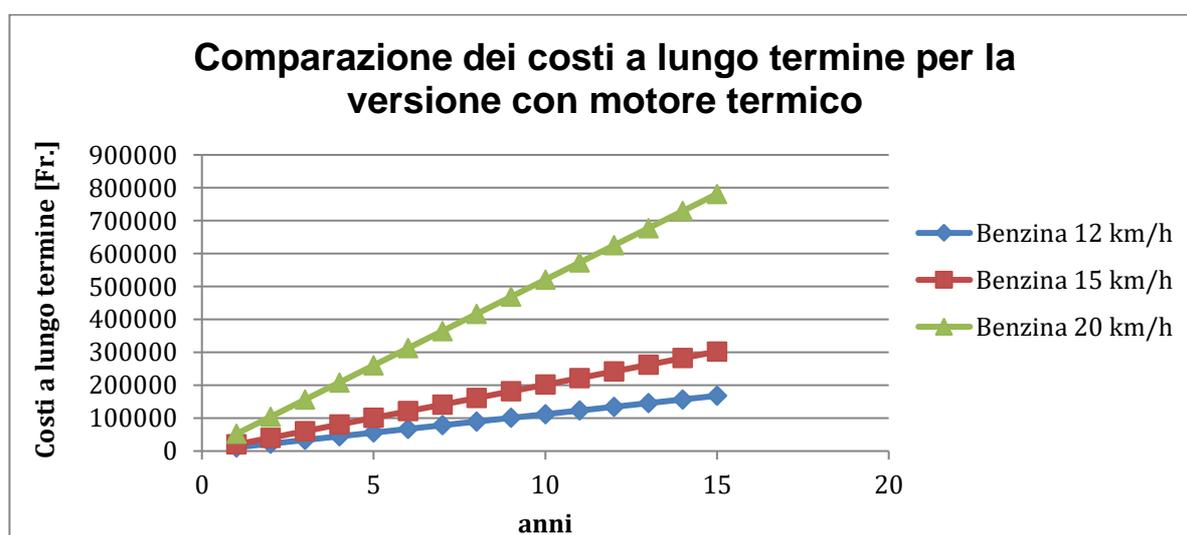


Grafico 44 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore termico a differenti velocità, tragitto di 20 km, C60

Se confrontiamo invece la versione a benzina con quella elettrica, possiamo notare come a lungo termine l'imbarcazione elettrica sia economicamente più vantaggiosa. I tempi di ritorno dell'investimento iniziale sono chiaramente variabili, 3 anni con una motorizzazione dimensionata per la velocità di crociera di 20 km/h, 4-5 con a 15 km/h, 5 anni per quella più lenta.

Con le batterie Akasol abbiamo lo stesso trend, anche se i tempi sono leggermente più lunghi.

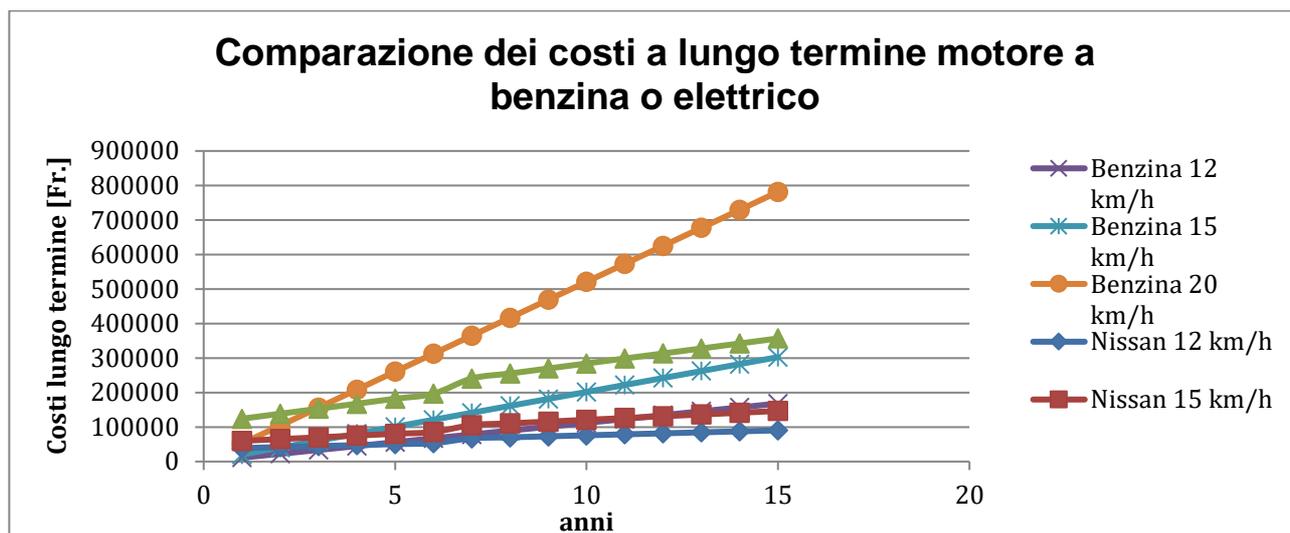


Grafico 45 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e motore termico a differenti velocità, tragitto 20 km, C60

Questo tipo di imbarcazione, come abbiamo già visto nel capitolo dedicato al dimensionamento subisce considerevolmente l'effetto del peso a partire da velocità inferiori di conseguenza si riscontra una grande variazione dei costi già a partire dai 15 km/h.

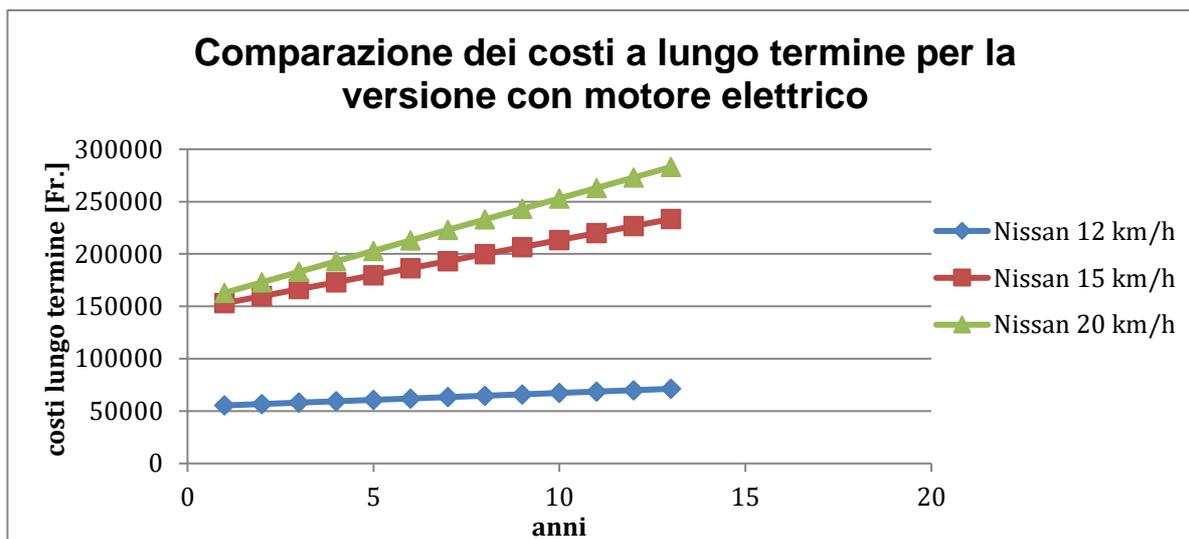


Grafico 46 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12

Inoltre è interessante notare come, proprio dovuto al peso imbarcato, la scelta delle batterie Nissan non rappresenta più la soluzione più economica per tutte le condizioni di utilizzo, ma alle velocità superiori l'investimento maggiore delle batterie Akasol comporta un miglioramento in termini di energia consumata permettendo un risparmio economico a partire dal 7 anno (curva verde-arancione o azzurra-rossa).

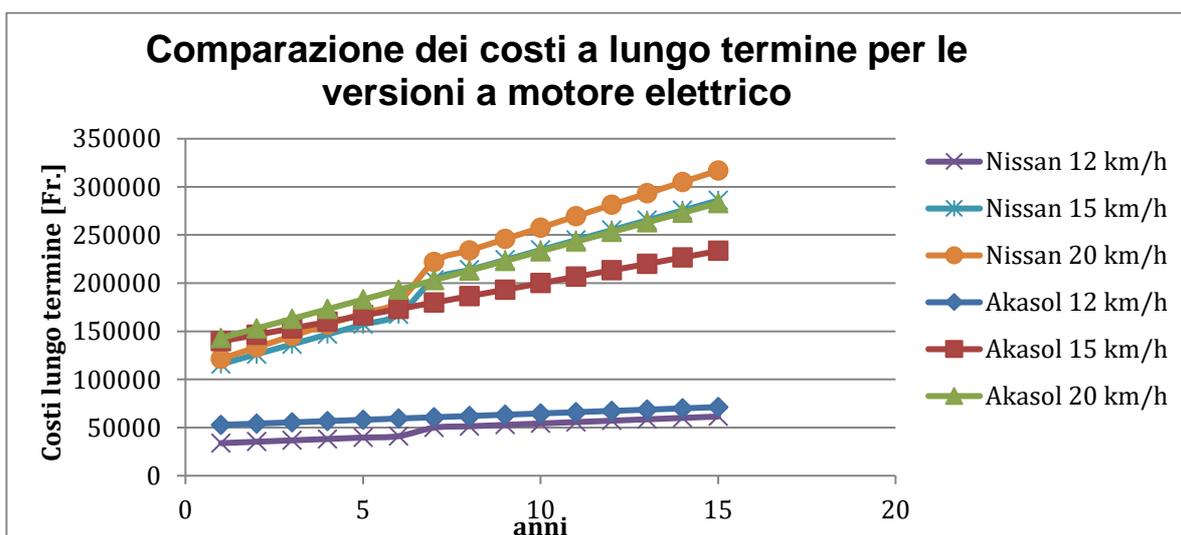


Grafico 47 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico (fra batterie Nissan e Akasol) a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12

La comparazione dei costi di gestione tra il motore termico e la motorizzazione elettrica alimentata con le batterie Akasol permette di evidenziare un caso molto interessante, se generalmente la variante elettrica a lungo termine è economicamente vantaggiosa, per il monoscafo dimensionato per un'andatura lenta (12 km/h), abbiamo una situazione anomala; a causa dei ridotti consumi energetici e i maggiori costi di investimento iniziali della versione elettrica rendono le due varianti pressoché identiche. La situazione migliora leggermente con l'utilizzo delle batterie Nissan, ma la differenza è veramente minima.

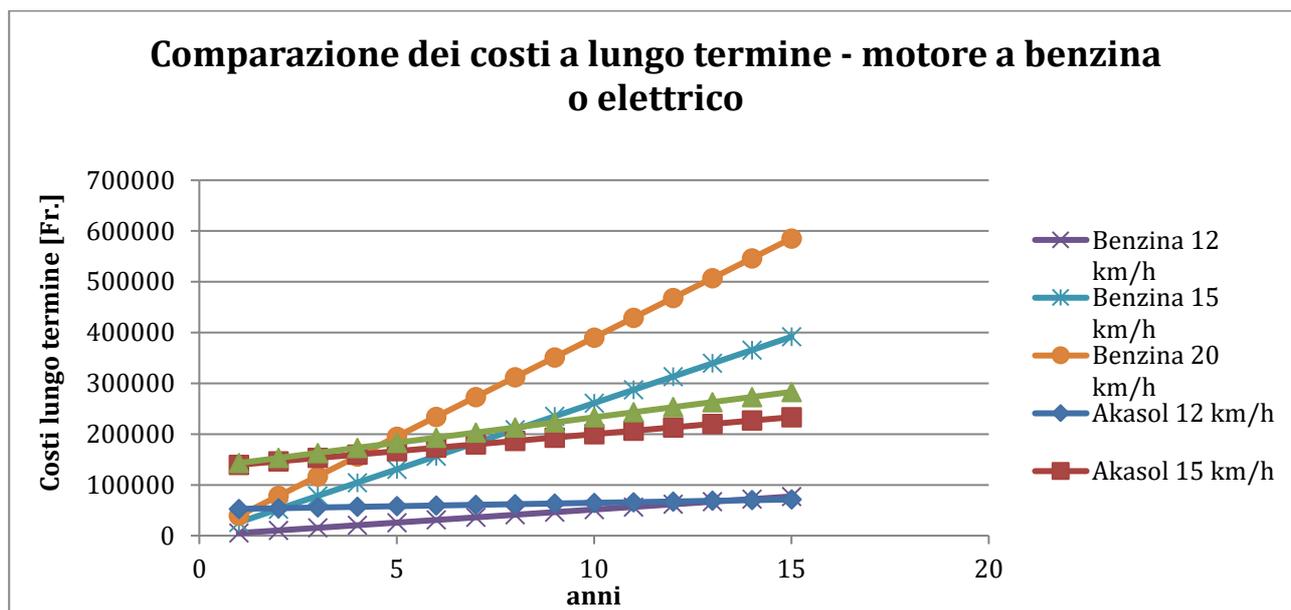


Grafico 48 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Akasol e motore termico a differenti velocità, tragitto di 20 km, M12

Catamarano 12 posti

Anche per il piccolo catamarano la versione con le batterie Nissan rappresenta la soluzione economicamente più vantaggiosa.

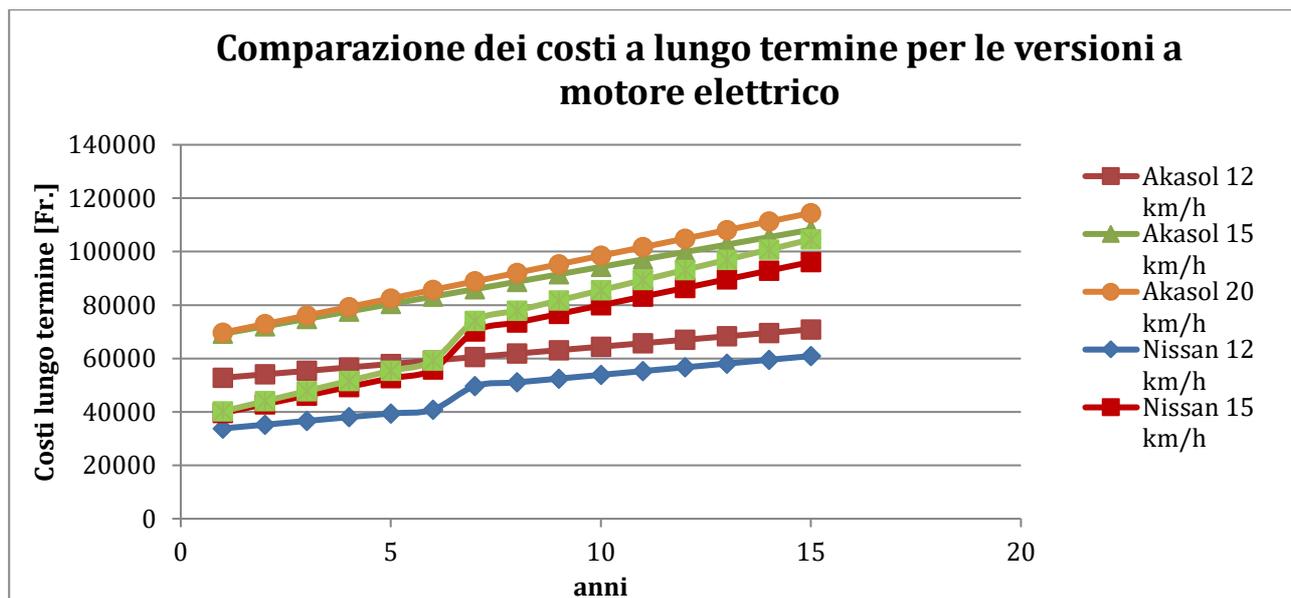


Grafico 49 – Comparazione dei costi a lungo termine con motore elettrico (fra batterie Nissan e Akasol) a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12

Ci sono però da segnalare alcuni casi particolari che meritano di essere approfonditi. Innanzitutto come già indicato nel capitolo dei risultati di dimensionamento le soluzioni tecniche che permettono di navigare alla velocità di crociera massima sono le medesime che consentono di navigare anche alla velocità di 15 km/h, di conseguenza avendo lo stesso costo di investimento iniziale la differenza finale è da ricondurre solamente al maggior consumo di energia, riducendo notevolmente la discrepanza.

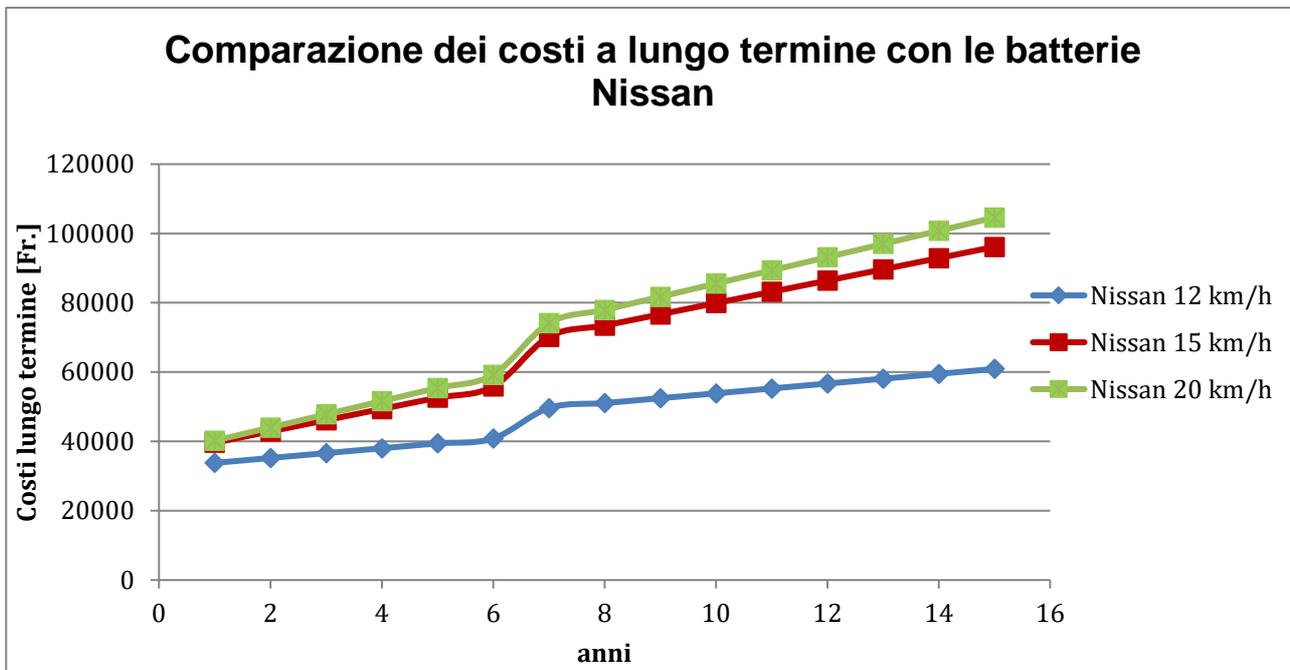


Grafico 50 – Costi a lungo termine le batterie Nissan a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12

Nella tabella dei risultati di dimensionamento per il piccolo catamarano, avevamo evidenziato che alla velocità di crociera di 15 e 20 km/h, con le batterie Nissan, erano possibili 2 soluzioni tecniche diverse ma economicamente molto simili. Interessante è vedere come in tutti i e due i casi la variante meno cara inizialmente è anche quella più economica nel corso dei primi 15 anni.

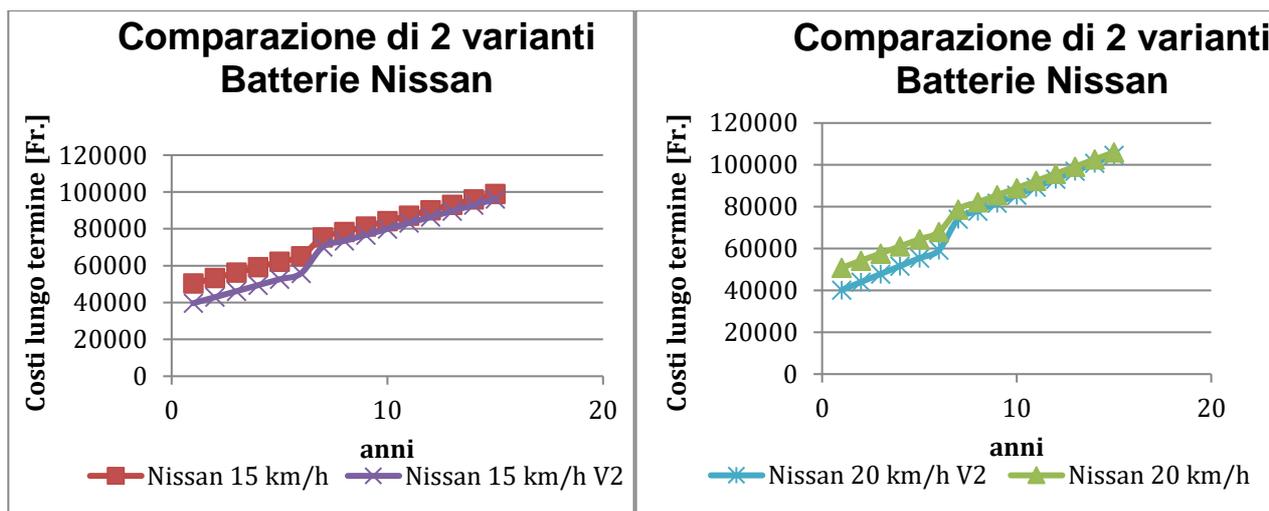


Grafico 51 – Comparazione dei costi a lungo termine per due varianti con batterie Nissan, a 15 e 20 km/h, C12

La comparazione dei costi di gestione tra il motore termico e la motorizzazione elettrica alimentata con le batterie Nissan permette di evidenziare come i maggiori costi di investimento iniziali dell'imbarcazione elettrica sono compensati dopo 3-5 anni.

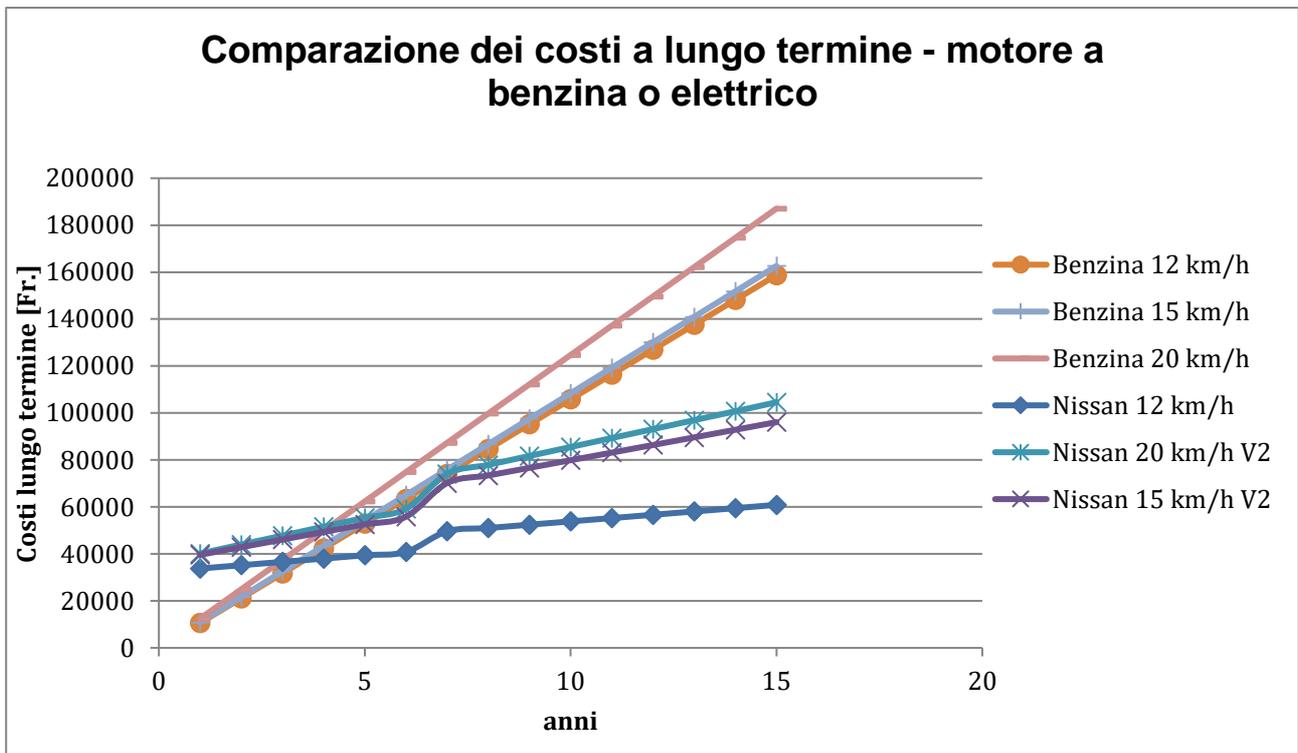


Grafico 52 – Comparazione dei costi a lungo termine fra batterie Nissan e motore termico, a differenti velocità, tragitto di 20 km, C12

6 Attori sul territorio

Uno degli scopi secondari del progetto, ma sicuramente non meno importante, era identificare i possibili attori presenti sul territorio cantonale. La lista presentata in questo rapporto non deve essere intesa come esaustiva, ma unicamente come indicazione dei possibili partner interessati ad allo sviluppo di un servizio di navigazione turistico sul lago Maggiore.

La fase di raccolta dati, necessari alla pianificazione di base e allo studio delle varianti è stata l'occasione per incontrare e discutere con alcuni attori già attivi nel settore della navigazione o potenzialmente interessati a sviluppare un nuovo concetto di servizio turistico.

Essendo un progetto rivolto ad un nuovo servizio non ancora conosciuto in territorio elvetico e basato su una tecnologia innovativa sarà fondamentale la promozione effettuata dall'organizzazione turistica regionale "OTLMV" (Organizzazione turistica Lago Maggiore e Valli) e delle società di categoria coordinate dal CcLM (Centro di competenza Lago Maggiore / ERS-LVM) per la consulenza per sviluppo di nuove attività. Come spiegato nel capitolo dedicato alle infrastrutture, per garantire uno sviluppo di un servizio turistico voluto per rilanciare un'intera regione con un concetto innovativo sarà necessario il supporto degli enti pubblici per la realizzazione dell'infrastruttura minima indispensabile al progetto. Attualmente sul territorio non è presente un'impiantistica idonea per lo sviluppo di questo servizio, soprattutto legata all'approvvigionamento in energia elettrica e all'accesso alle rive. Questo tipo di interventi possono risultare burocraticamente particolarmente impegnativi e necessitano dell'approvazione e della pianificazione dei comuni e del cantone, i quali avranno un'importanza strategica nel favorire un servizio minimo di qualità capace di innescare un processo di espansione. In particolare bisognerà coinvolgere il comune di Locarno per il potenziamento della rete elettrica in zona porto, i Comuni rivieraschi per la pianificazione delle rive e degli attracchi, i porti per garantire e sviluppare la gestione dei servizi portuali senza dimenticare tutta una serie di servizi cantonali e federale come l'Ufficio del demanio (DT), la Sezione della mobilità (DT)il Gruppo rive laghi (DT), l'Ufficio della circolazione, la Polizia lacuale e Amm. federale delle dogane (AFD) Per la fornitura di energia elettrica considerato che l'attività principale si svolgerà tra Locarno il Gambarogno e il partner principale sarà l'Azienda elettrica locale SES, ma sono ipotizzabili delle collaborazioni con l'Azienda elettrica comunale di Ascona (eventualmente per il porto di Ascona) o con l'Azienda elettrica Ticinese.

Per quanto riguarda la gestione attiva del servizio taxi o per l'organizzazione delle gite di gruppo, attualmente sono riconosciuti ufficialmente nel bacino svizzero del Lago Maggiore 3 imprenditori privati e altri due si aggiungeranno in futuro.

A livello tecnico invece, è interessante la possibile collaborazione fra i diversi cantieri nautici (bacino svizzero del Lago Maggiore), tramite il coinvolgimento dell'Associazione cantieri nautici Ticino (ACNT) e gli ingegneri del settore.

Infine ci sono diverse piccole media imprese, fornitori locali di strutture ed equipaggiamento per imbarcazioni, studi d'ingegneria attivi nei settori delle batterie, della ricarica rapida e motorizzazione elettrica (Protoscar, FZ SoNick, ABB, AGIE, ecc.).

7 Conclusioni

7.1 Premessa

Grazie al presente studio preliminare è possibile fornire una panoramica generale sui possibili utilizzi di imbarcazioni alimentate ad energia elettrica, in relazione al potenziale turistico locale e ad un primo dimensionamento tecnico ed economico.

Sulla base di chiare linee guida discusse con i principali attori attivi nel settore della navigazione del lago Maggiore sono stati studiati tre tipi di imbarcazioni, volte a modificare sostanzialmente l'offerta turistica presente nel bacino Svizzero. Avendo la possibilità di concepire un progetto innovativo, senza un'applicazione già presente sul territorio, i promotori dello studio hanno espresso chiaramente l'intenzione di orientarsi verso una propulsione alternativa.

Come indicato all'inizio dello studio, sul mercato sono disponibili numerose soluzioni puntuali per una navigazione di piacere alimentata ad energia elettrica, ma a tutt'oggi risulta difficile reperire le competenze necessarie per lo sviluppo di un progetto modulabile e ottimizzato.

In questo contesto, per il quale sono necessarie esperienze territoriali legate alle infrastrutture, al turismo e alla tecnologia navale, lo studio mira ad ampliare competenze in parte già presenti in Ticino e ad ancorare innovazioni attraverso la collaborazione interdisciplinare di diversi attori.

7.2 Generale

Considerati i risultati ottenuti e nell'ottica dei prossimi passi, si potrebbe ipotizzare una fase realizzativa preliminare, definita di studio pratico e approccio alla tecnologia elettrica, realizzando un numero molto limitato di imbarcazioni munite di batterie "secondary use" e dimensionate per una navigazione lenta (12 km/h) e una ricarica rapida di 20 kW. Questa soluzione dai costi di investimento ridotti permetterebbe di testare la tecnologia e il riscontro turistico sui due tracciati di 20 km. La durata di vita limitata delle batterie "secondary use" (stimata 6-8 anni) si adatta bene ad una imbarcazione pilota, volta a dimostrare la fattibilità di un progetto più vasto. Nel corso degli anni potrebbero essere effettuati dei test sulla velocità, sui tempi delle ricariche rapide e su forma e dimensioni dello scafo nonché sull'ottimizzazione delle eliche.

Nei confronti della motorizzazione convenzionale a benzina, considerate tutte le precisazioni indicate nel capitolo dell'analisi dei costi di gestione, è interessante notare come gli investimenti maggiori dovuti alle batterie e alla ricarica rapida siano compensati interamente dopo 3 e 8 anni. La rapidità di ritorno del maggior investimento dipende chiaramente da molti fattori, come il tipo di imbarcazione e le scelte tecniche, ma soprattutto dalla velocità di crociera. Più la velocità è alta più la differenza dei costi di gestione tra la versione a benzina e la versione elettrica aumenta, diminuendo nel contempo il periodo di ammortamento dei costi supplementari.

In conclusione è importante considerare che la forma dello scafo, il materiale utilizzato, il volume e il peso complessivo influiscono direttamente e in maniera sostanziale sul consumo di energia. Ogni modifica comporta una variazione delle caratteristiche di consumo e implica un risultato finale di dimensionamento differente. Questo studio ha permesso di identificare i fattori più importanti e di comparare la loro influenza sull'esito globale. Il simulatore è stato calibrato e validato utilizzando dati provenienti da test su imbarcazioni reali, realizzate e concepite per la propulsione elettrica a bassa velocità. In un campo dove i costi e le difficoltà tecniche sono direttamente legati allo stoccaggio dell'energia necessaria alla navigazione, queste nuove forme di scafo rappresentano un primo passo di ottimizzazione dei consumi e delle prestazioni. Sicuramente esistono ancora discreti margini di miglioramento e in caso di una realizzazione specifica occorrerà dedicare particolare attenzione a questi aspetti. Qualora si decidesse di realizzare un'imbarcazione con dimensioni, forme o pesi differenti, modificando sostanzialmente le curve di consumo, anche i valori presentati in questo studio dovranno essere adeguati di conseguenza.

Un componente estremamente importante e difficile da dimensionare correttamente è sicuramente l'elica. Questo elemento è spesso sottovaluto, ma una scelta errata influenza negativamente e in maniera imprevedibile le prestazioni di un'imbarcazione elettrica. La forma, il numero di pale, l'inclinazione, le dimensioni, ecc., sono elementi che ne modificano il rendimento. L'ottimizzazione dell'elica dipende dall'imbarcazione (forma, lunghezza, peso...) e dal suo profilo di utilizzo. La navigazione elettrica di piacere rappresenta un campo nuovo, ancora poco conosciuto e con caratteristiche completamente differenti rispetto alle imbarcazioni convenzionali, per la quali la motorizzazione è normalmente sovradimensionata e i consumi non sono determinati. Le caratteristiche principali che si differenziano dalle imbarcazioni convenzionali e che determinano un dimensionamento differente dell'elica sono la velocità di crociera inferiore, la coppia del motore costante e i cicli di navigazione con variazioni di velocità meno marcate e repentine.

È importante sottolineare il fatto che le imbarcazioni a propulsione elettrica permettono di evitare il consumo di carburante fossile e le relative emissioni di CO₂. Nella tabella sottostante, per ogni tipologia di imbarcazione considerata in questo studio, sono indicati i consumi totali di carburante calcolati su 15 anni e le relative emissioni di anidride carbonica, totali e annue, ipotizzando una propulsione convenzionale. I valori si riferiscono ad un utilizzo su un tragitto di 20 chilometri ripetuto 4 volte per 180 giorni all'anno (per ulteriori informazioni vedi capitolo 10.1).

		Catamarano 60 posti			Monoscafo 12 posti			Catamarano 12 posti		
		Consumo [L]	CO2 [t]	CO2 /anno [t]	Consumo [L]	CO2 [t]	CO2 /anno [t]	Consumo [L]	CO2 [t]	CO2 /anno [t]
Benzina	12 km/h	93'383	222	15	42'882	102	7	88'200	210	14
	15 km/h	168'099	400	27	217'556	518	35	90'339	215	14
	20 km/h	434'112	1'033	69	325'191	774	52	103'918	247	16

Tabella 26 – Consumi di benzina ed emissioni di CO₂ per imbarcazioni equivalenti, ma con propulsione tradizionale

Inoltre, in aggiunta ad un discorso puramente economico o ambientale relativo al risparmio di carburante, è doveroso considerare che una navigazione puramente elettrica consente ai passeggeri di godere di un momento piacevole lontano da rumori, vibrazioni e vapori dall'odore sgradevole.

7.3 Criticità e consigli utili

Paragonando i dati ottenuti nelle diverse simulazioni, è possibile fornire delle indicazioni di massima volte a evidenziare le criticità, le alternative e i vantaggi dell'utilizzo di nuove imbarcazioni a propulsione elettrica.

Data la complessità della tematica si è proceduto a tappe analizzando molte varianti che hanno permesso di identificare i fattori che incidono significativamente sul risultato finale. In previsione della realizzazione di un servizio di navigazione sostenibile, possiamo indicare gli aspetti sui quali sarà necessario soffermarsi, valutando attentamente le alternative a disposizione.

7.3.1 Lunghezza dei percorsi

Nello studio sono stati considerati due possibili scenari, uno di 20 km e l'altro di 30 km, da ripetere quattro volte al giorno. A livello tecnico è subito emerso che l'aumento dei chilometri percorsi, mantenendo inalterata la durata massima e quindi aumentando la velocità di navigazione, comporta un incremento notevole del fabbisogno energetico. Inoltre riducendo la sosta in porto, oltre che per lo sbarco e l'imbarco anche per la ricarica delle batterie, il tragitto di 30 km è risultato difficilmente realizzabile, in particolare in considerazione dell'oneroso impegno economico.

Vista la ridotta attrattività turistica della versione con durata maggiore e l'aumento esponenziale dei costi, si consiglia di limitare il servizio ad un percorso massimo di 20 km.

7.3.2 Imbarcazioni

L'analisi di mercato iniziale ha evidenziato diverse tipologie di imbarcazioni con propulsioni alternative, ma soprattutto ha permesso di appurare che, pur essendo un mercato di nicchia e poco sviluppato, l'idea di sostituire la motorizzazione convenzionale con una elettrica risale già agli anni novanta. Negli ultimi anni si è assistito a un netto incremento delle proposte, dovuto principalmente al rinnovato interesse legato alle politiche energetiche e climatiche nonché agli sviluppi tecnici nell'ambito degli accumulatori. Inizialmente la conversione ha riguardato esclusivamente il sistema di propulsione mantenendo la struttura classica dello scafo. Nel corso degli anni sono state però progettate e sviluppate forme alternative, come quelle di catamarani e trimarani, allo scopo di migliorare i rendimenti e diminuire i consumi.

Questo studio non ha l'obiettivo di selezionare una specifica tipologia di imbarcazione. Prima di procedere alla realizzazione delle imbarcazioni sarà necessario sviluppare un progetto specifico che tenga conto degli aspetti tecnici ed economici legati al servizio turistico proposto. È però importante tenere in considerazione che, per il catamarano da 60 posti, l'aumento della velocità di crociera implica un incremento dei costi, sia di investimento che di gestione. Questo incremento è particolarmente rilevante dopo i 15 km/h.

Il monoscafo è maggiormente sensibile al peso, in particolare con una penalizzazione alle velocità intermedie. Di conseguenza questa tipologia di natante è adatta alle basse velocità. La soluzione intermedia di 15 km/h è una variante sostanzialmente inutile, poiché le relative potenze e i costi sono pressoché identici alla variante con velocità di crociera di 20 km/h.

Per il piccolo catamarano l'analisi è simile. In questo caso i consumi sono molto inferiori e se una batteria Akasol è sufficiente per la navigazione a 12 km/h ma non per raggiungere i 15 km/h, con 2 unità si dispone dell'energia necessaria per navigare a 20 km/h. Le batterie Torqueedo, che vantano una maggiore modularità e per le quali è possibile affinare il dimensionamento, risultano più care. Una valida alternativa, se si decidesse di limitare la velocità a 15 km/h, sarebbe quella di utilizzare batterie Akasol più piccole, riducendo la capacità di ogni singolo modulo e ottimizzando il dimensionamento.

7.3.3 Batterie

Attualmente sul mercato sono disponibili diverse tecnologie e marche con rendimenti alquanto simili. Se le caratteristiche tecniche delle batterie Akasol, Brusa e Torqueedo sono analoghe, le batterie FZ Sonick sono fortemente penalizzate a causa della non idoneità alla ricarica rapida.

Le batterie Akasol sono risultate un ottimo compromesso per volumi, peso e compatibilità con le colonnine di ricarica più performanti, fattore che ha permesso di ridurre notevolmente i costi rispetto ad altre marche. Le batterie Nissan rappresentano in questo caso la soluzione economicamente più vantaggiosa (soprattutto nell'investimento iniziale), in quasi tutte le circostanze.

7.3.4 Colonnine di ricarica

I risultati di dimensionamento ottenuti con le tre imbarcazioni mostrano chiaramente che limitando la velocità di crociera a 12 km/h, una potenza di ricarica di 20 kW è sufficiente. A velocità superiori, ad esclusione del piccolo catamarano, è indispensabile aumentare la potenza fino a 150 kW. Per contro la soluzione intermedia, con una potenza di 50 kW, salvo casi molto particolari, non rappresenta una valida alternativa. Si ricorda che i costi della colonnina sono stati attribuiti alla singola imbarcazione, poiché la potenza di ricarica deve essere interamente disponibile per l'imbarcazione ormeggiata. Non sono però escluse sinergie tra più imbarcazioni con orari di rotazione differenti, in modo da ridurre i costi per singolo natante.

Per l'applicazione di questo progetto è indispensabile poter usufruire della ricarica rapida. Attualmente in riva ai laghi raramente esiste un'infrastruttura elettrica idonea a questa tecnologia e soprattutto non si trova in punti turisticamente strategici. Questa problematica potrebbe rappresentare un freno allo sviluppo di un progetto innovativo. È quindi indispensabile procedere ad un'analisi supplementare da condividere con l'azienda di distribuzione locale e le autorità cittadine per concordare e pianificare la realizzazione dell'infrastruttura elettrica necessaria.