

13[^]Edizione

AC MOTOR DRIVES
TECHNOLOGY

Propulsione elettrica navale

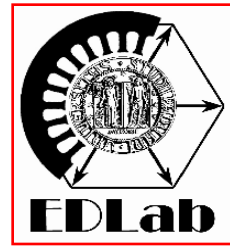


L. Sgarbossa

Department of Electrical Engineering,
University of Padova, Italy

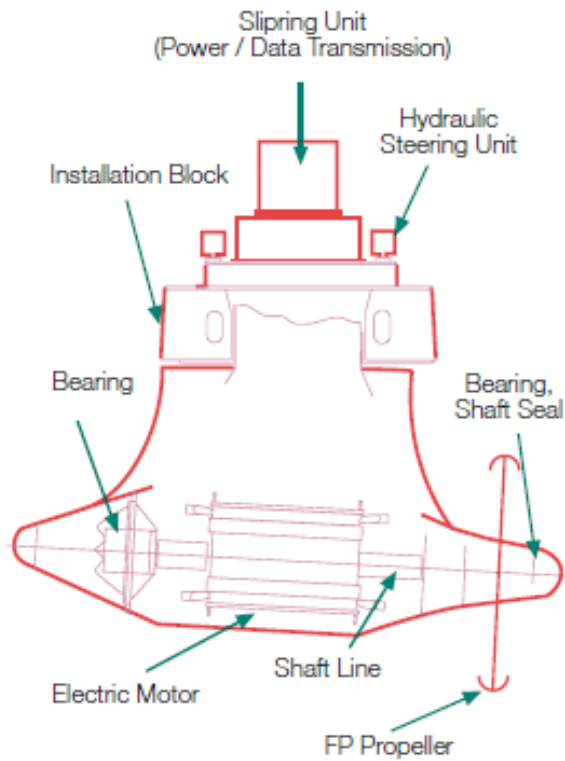
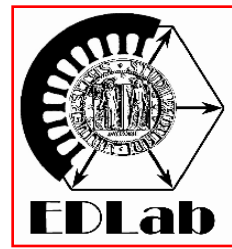


Perché la propulsione navale elettrica?

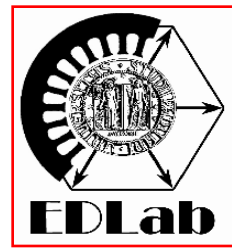


- ▶ Facile da gestire
- ▶ Minore rumorosità
- ▶ Minori vibrazioni
- ▶ Maggiore ridondanza
- ▶ Maggiore efficienza
- ▶ Minori emissioni
- ▶ Eccellente manovrabilità nei porti
- ▶ Maggior comfort dei passeggeri
- ▶ Migliore sfruttamento degli spazi

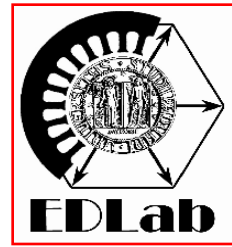
Sistema "Azipod"



Maggiore manovrabilità



Attività di EDLab nel settore navale

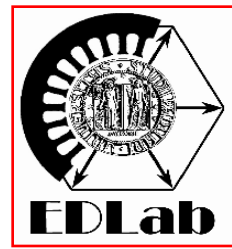


Si illustrano tre interventi:

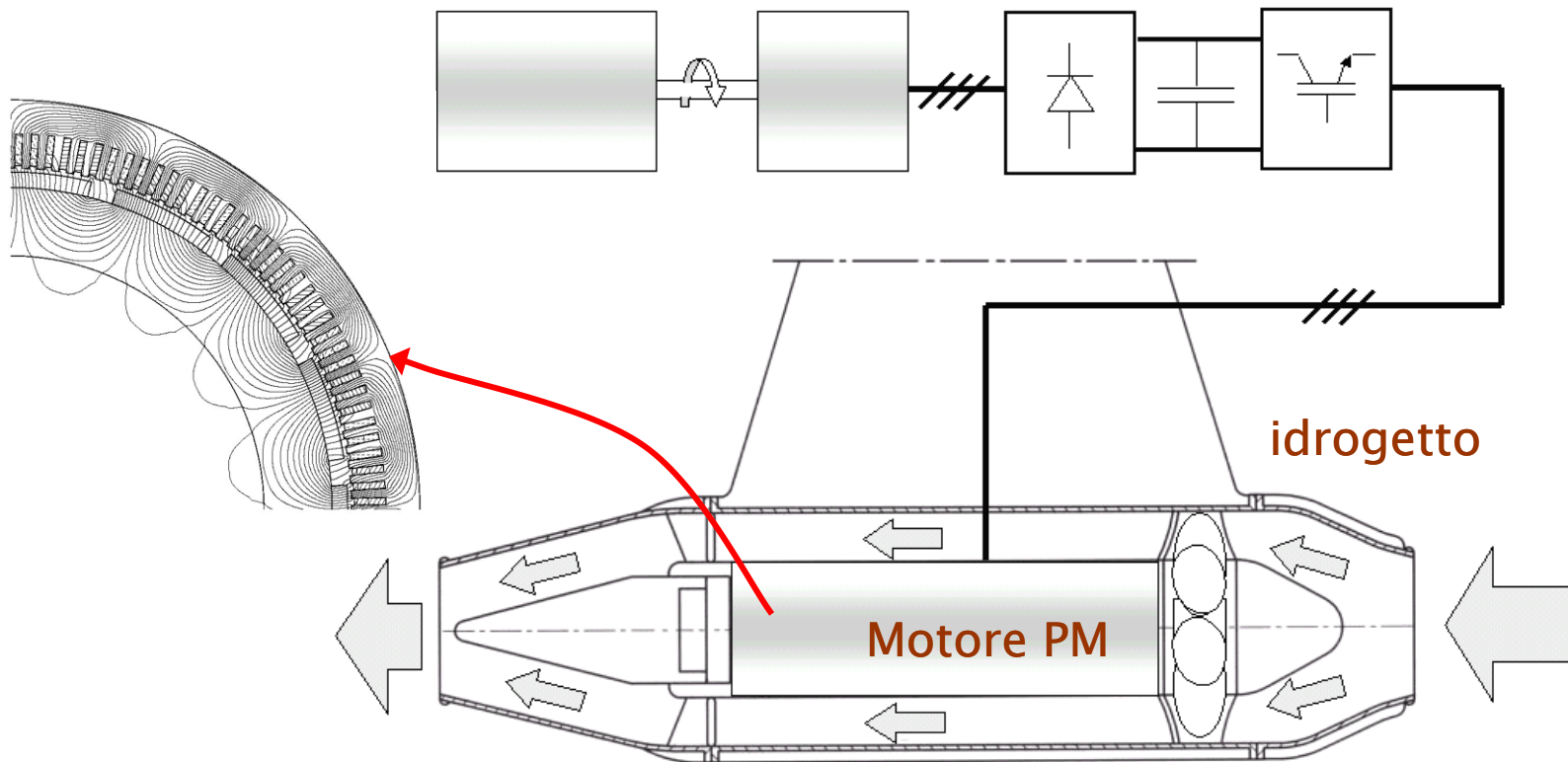
1. Studio di sistemi di propulsione a **idrogetto**
2. Progetto di motore a magneti permanenti per **yacht**
3. Progetto del sistema elettrico e di propulsione di un **catamarano ibrido**

1° caso: IDROGETTO

Studio di fattibilità

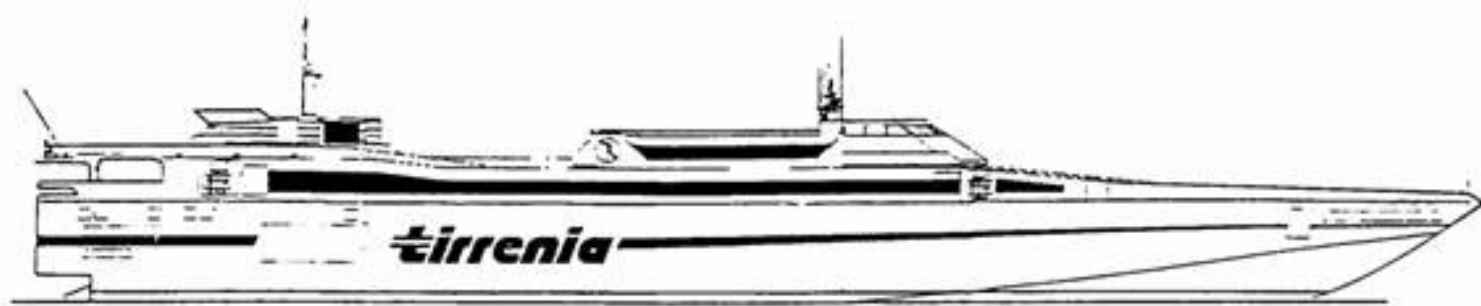
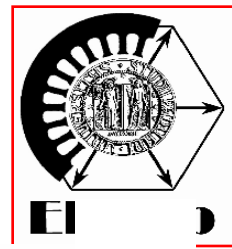


A bordo: diesel generatore elettronica di potenza



1° caso

L'imbarcazione attuale

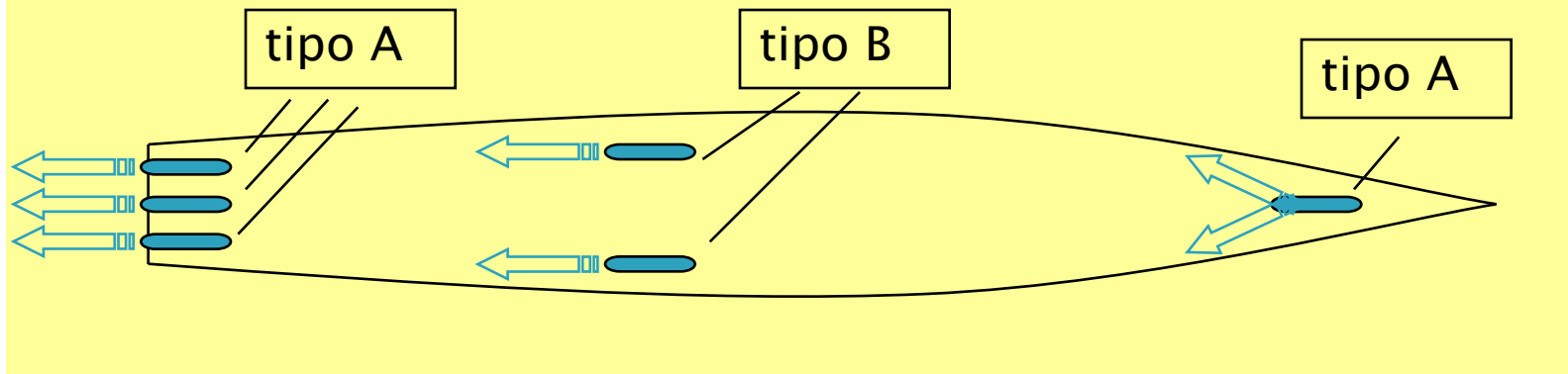


- total length 145.6 m
- waterline length 128.6 m
- maximum width 22.0 m
- total height 12.6 m
- full-load water line 3.94 m
- maximum load 1200 tons
- installed power **70.4 MW**
- nominal speed **38.6 knots** (71.5 km/h)

1° caso

L'imbarcazione diesel-elettrica

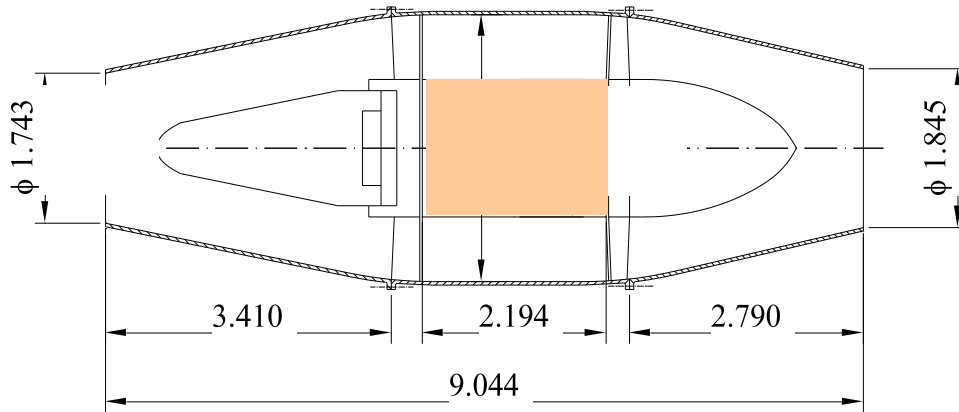
Stesse prestazioni in velocità



- 6 idrogetti elettrici
- Potenza generata da 3 turbine a gas (nessun diesel):
>>> aumento degli spazi e dell'affidabilità
- – 50% volume sala macchine
- – 340 ton del peso a entrobordo
- – 200 ton del peso della nave

1° caso

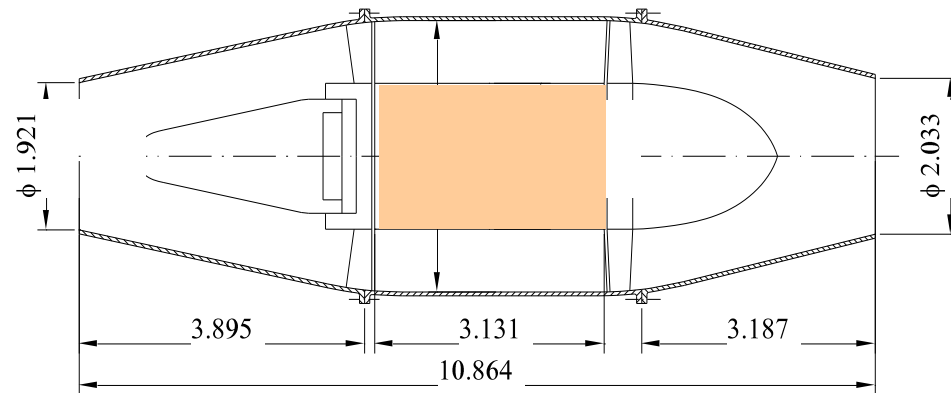
Gli idrogetti



Tipo A
22 poli
245 rpm

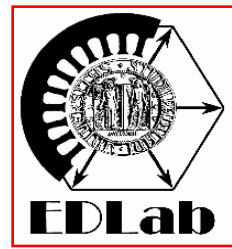
Tipo B
28 poli
211 rpm

		A	B	Total
Spinta	kN	4x 302	2x 405	2018
Peso motore	tons	4x 16	2x 27	118
Potenza motore	MW	4x 10.5	2x 12.8	68
Rendimento globale	%	56.8	62.7	59



2° caso : YACHT

Progetto motori elettrici



NAVE ATTUALE

Si tratta della Vis (1956), la nave del Presidente della ex Jugoslavia Tito.

Lunghezza: 58 m,
Larghezza max: 8.7 m
Peso: 670 ton

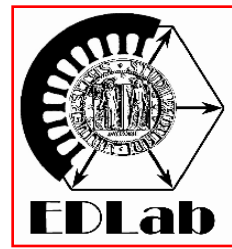


Ora è in fase di ristrutturazione a nave da crociera.

Originariamente azionata da due motori **diesel da 1000 HP** ciascuno, collegati alle eliche attraverso due riduttori 5:1

2° caso

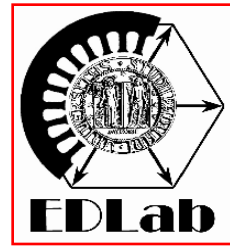
Scopo dello studio



- ▶ Progetto di due motori elettrici (entrobordo) sincroni a magneti permanenti identici da **1000 HP** ciascuno per trasformare in diesel-elettrica l'attuale propulsione diesel.
- ▶ La scelta di motori a magneti permanenti deriva dalla loro **maggiore efficienza** e dalla loro **maggiore compattezza**.

2° caso

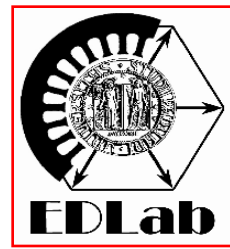
Direct drive vs geared-base drive



- ▶ Lo studio ha preso avvio con un confronto in termini di volume, costi e prestazioni generali fra una soluzione a “presa diretta” (**direct drive**) e una con gli attuali riduttori (**gear-based drive**).
- ▶ Con la velocità delle **eliche attuali** di 360 rpm e con gli **attuali riduttori (5:1)**, il confronto è fra due motori aventi:
 - 20000Nm/360 rpm (direct drive)
 - 4000 Nm/1800 rpm (gear-based drive).

2° caso

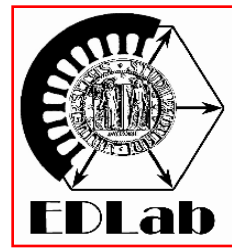
Direct drive vs geared-base drive



- ▶ Anche adottando tutti gli accorgimenti per la riduzione dei volumi del motore, si è trovato che il motore per la **soluzione direct drive ha un peso (e quindi un costo) non meno di 3 volte quello della soluzione gear-based.**
- ▶ >>> si è deciso di mantenere i riduttori (che sono a costo zero in questo caso), accettando un ingombro complessivo di poco maggiore.

2° caso

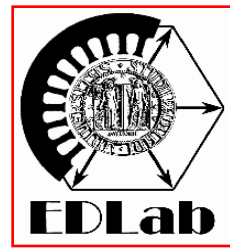
Scelta configurazione rotorica



- Il **secondo passo** è stata la scelta della **configurazione rotorica** per il motore della soluzione gear-based.
- ▶ **La propulsione navale non richiede** il funzionamento nella regioni a **potenza costante**; motori con rotori **SPM** sarebbero quindi adeguati.
 - ▶ Tuttavia, motori con rotori **IPM** consentono minori traferri, montaggi più facili e sicuri dei magneti e in generale una **maggior densità di coppia**.
 - ▶ >>> **si è deciso per un motore IPM**

2° caso

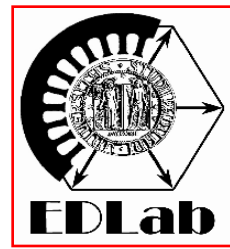
Dati motore



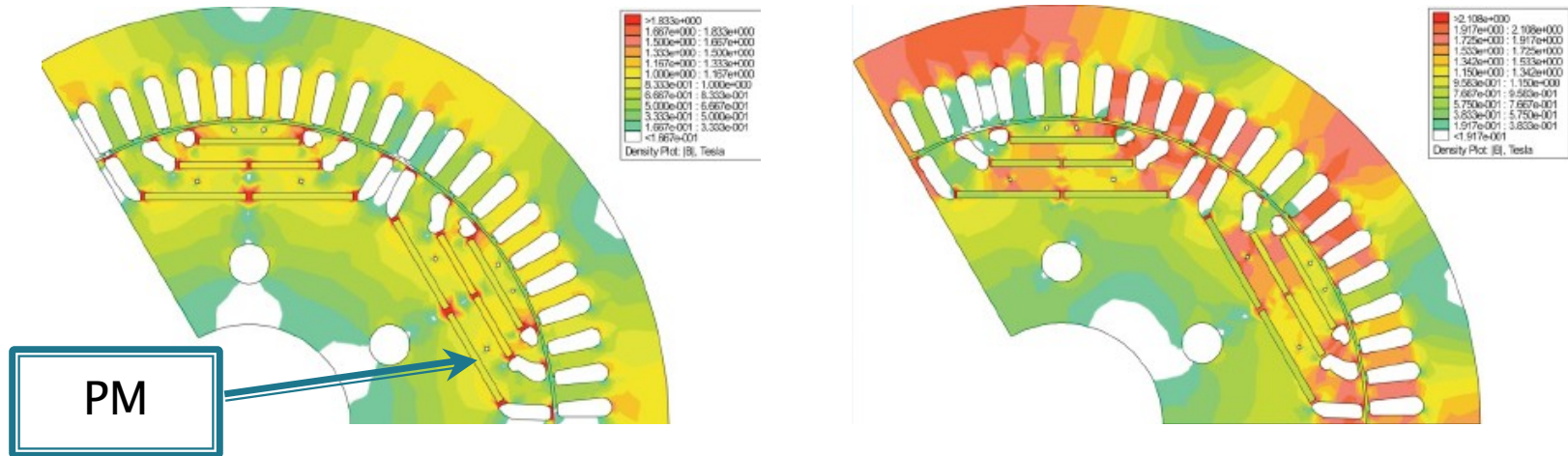
	6-pole IPM
Outer D_e (mm)	620
Inner D_i (mm)	454
Stack H_{bi} (mm)	41.5
Slot number Q	63
Airgap (mm)	2
PM thickness (mm)	5
PM weight (kg)	37
Iron losses (kW)	10@90Hz
Copper losses (kW)	8.4
Stack length (mm)	520

2° caso

Progetto elettromagnetico



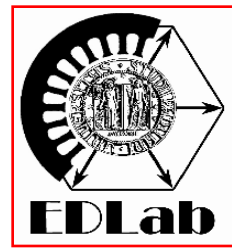
La progettazione elettromagnetica è stata svolta con mezzi analitici e strumenti di simulazione agli elementi finiti



La figura mostra le mappe di campo di statore e rotore a vuoto e a carico

2° caso

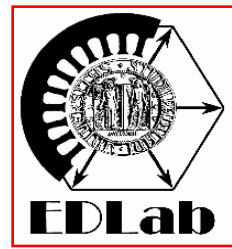
Progetto termico



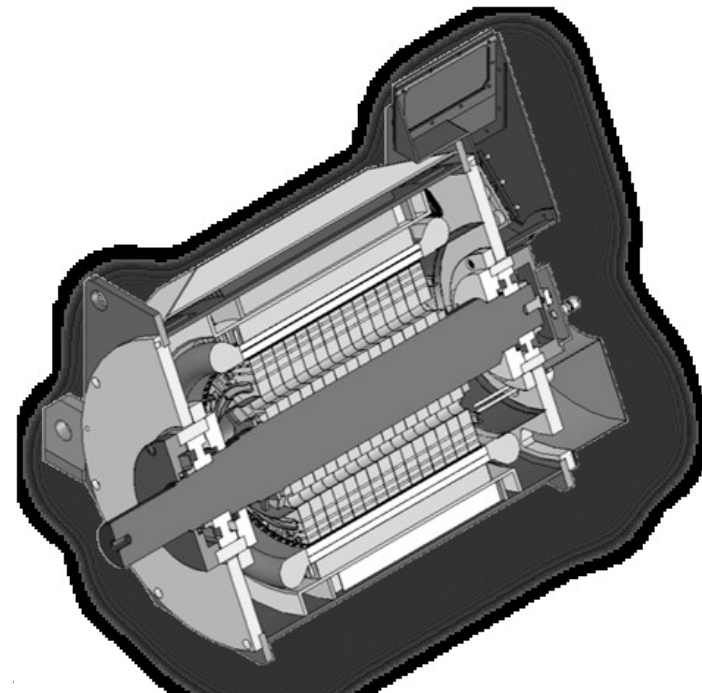
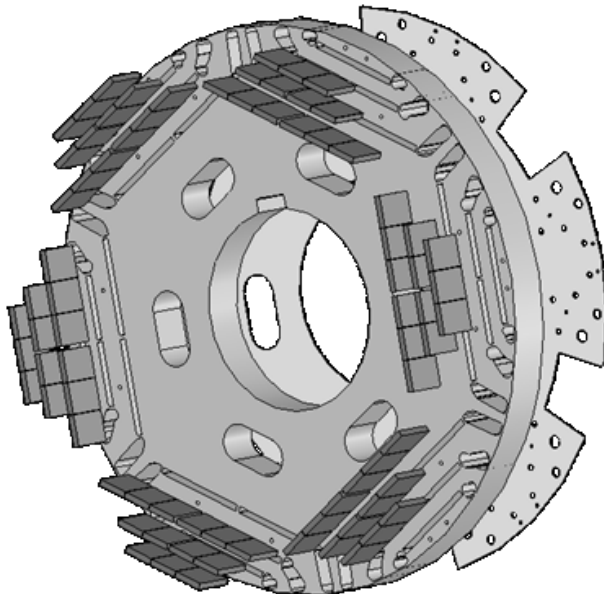
- ▶ La macchina è raffreddata **esternamente** ad **acqua** circolante in un circuito chiuso (esterno allo statore) in un percorso a più vie in parallelo
- ▶ Un flusso d'**aria forzata** in percorsi prestabiliti raffredda **internamente** il rotore ad ogni velocità di marcia.

2° caso

Struttura meccanica

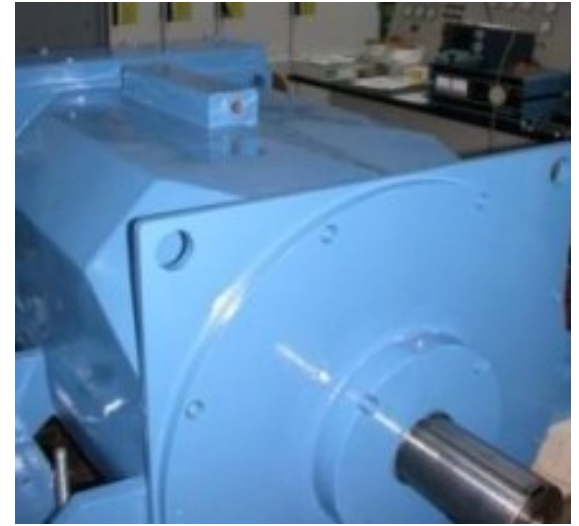
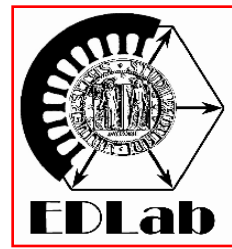


- ▶ Il rotore è realizzato in **moduli** da circa 100 lamierini separati da lamiere non magnetiche con funzione meccanica.
- ▶ I **magneti** sono costituiti da piastrelle della stessa lunghhezza dei moduli



2° caso

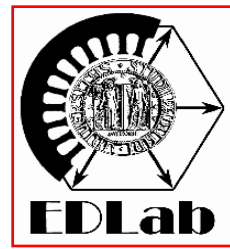
Costruzione



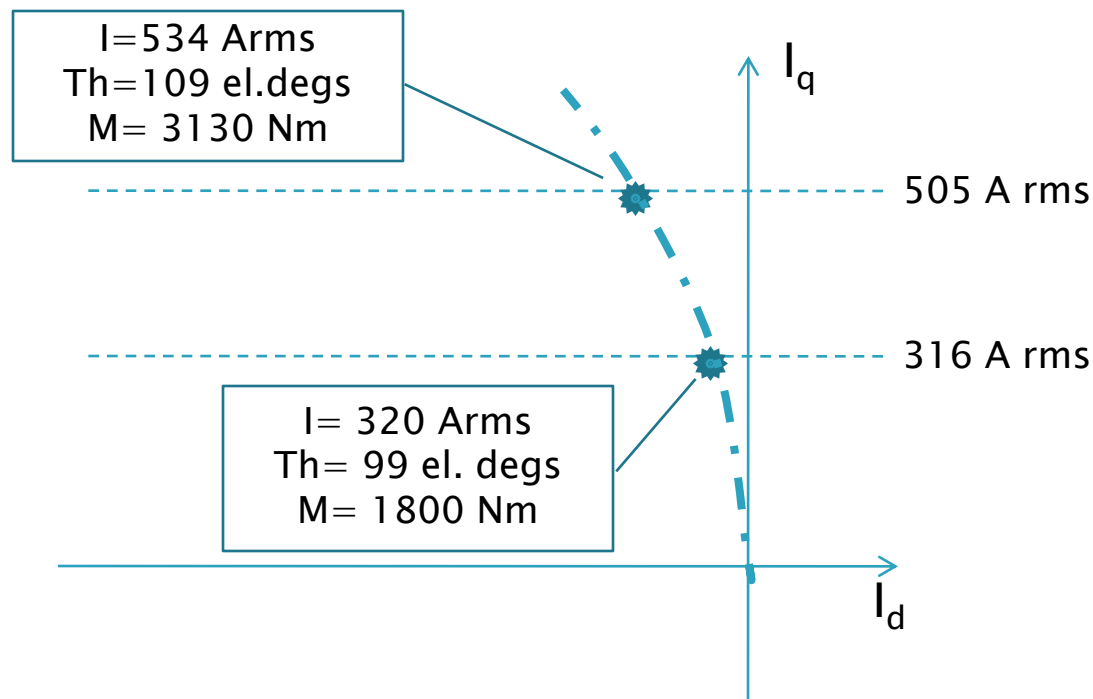
Tema d.o.o.
<http://www.tema.hr/>

2° caso

Misure sperimentali



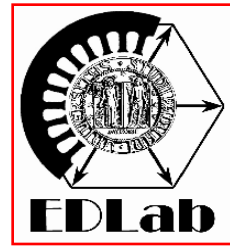
Verifica del luogo di **massima coppia per corrente**



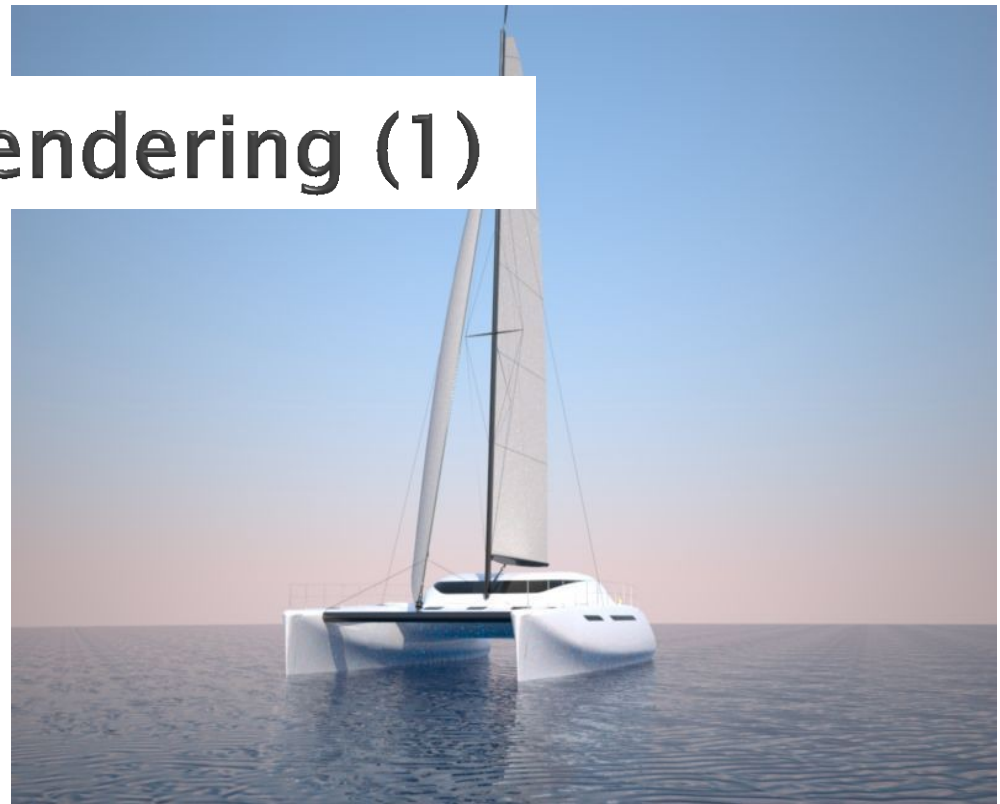
Le misure sono in accordo con le previsioni

3° caso: CATAMARANO

Propulsione e sistema elettrico di bordo di un catamarano ibrido

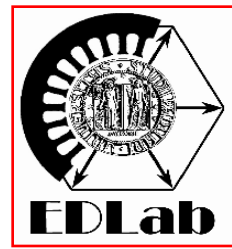


Il Catamarano: rendering (1)

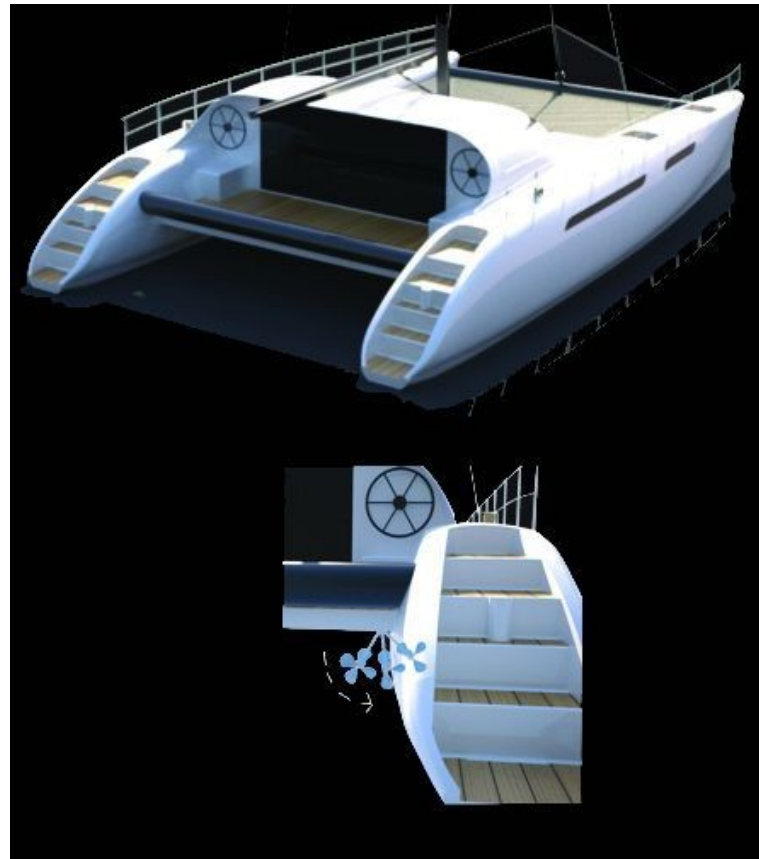


CATECO srl
Via Sabotino 2 A
00195 Roma
r.brancati@met-economia.it

3° caso

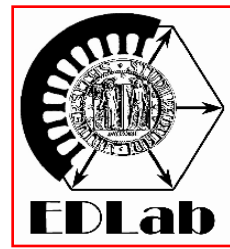


Il Catamarano: rendering (2)



3° caso

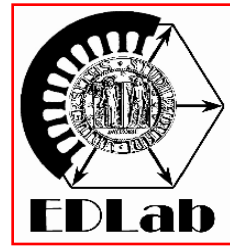
Caratteristiche del catamarano ibrido



- ▶ Capacità del sistema ibrido di gestire l'energia in modo efficiente,
- ▶ Navigazione a propulsione elettrica senza emissioni di inquinamento,
- ▶ Ridotta rumorosità con navigazione a batterie,
- ▶ Produzione di energia dal vento, durante la navigazione,
- ▶ Gestione efficiente del motore diesel per la generazione dell'energia necessaria alla navigazione a piena potenza.

3° caso

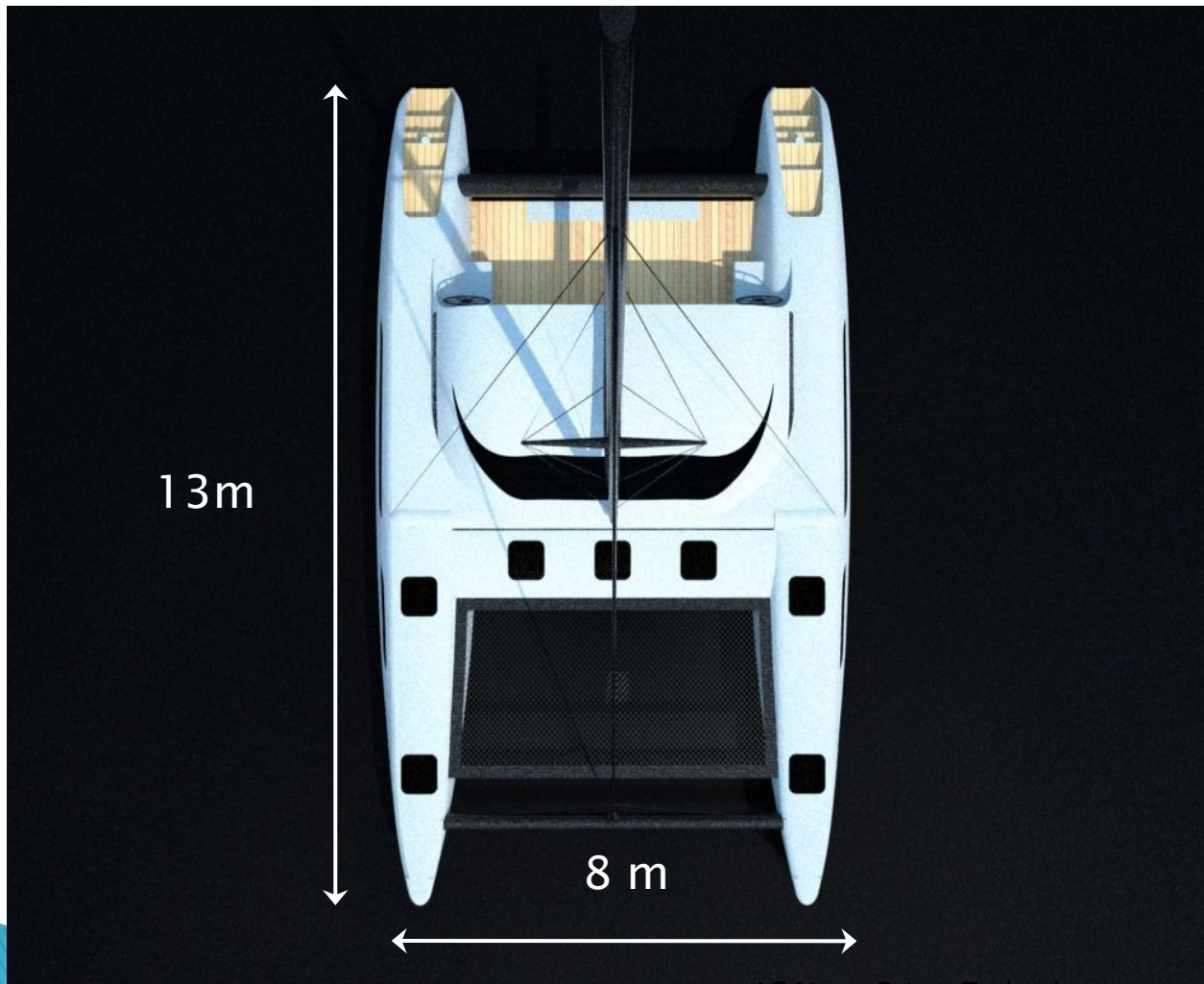
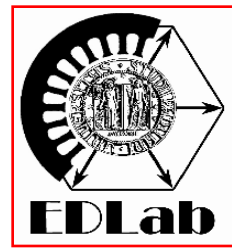
Specifiche del progetto



- Dimensioni (LxW): 13x8 m
- Peso (min-max): 4500-6000 kg
- Spazi interni: da 8 a 10 letti
- **Velocità max con diesel-generator ON: 15 nodi**
- **Velocità max a batterie: 5 nodi**
- Tempo di navigazione a batterie: 3 ore
- Velocità di navigazione a vela: fino a 24 nodi

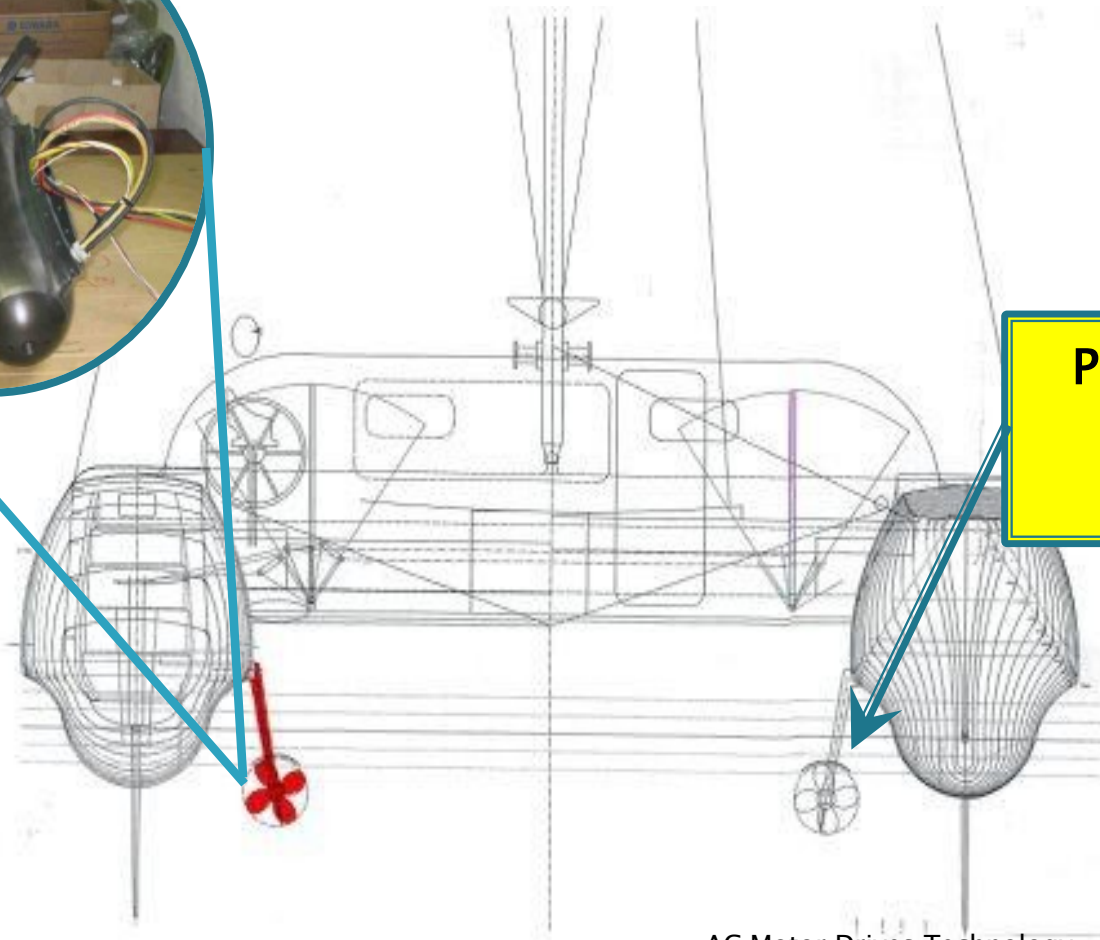
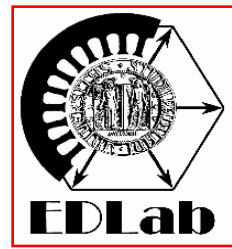
3° caso

Misure del catamarano



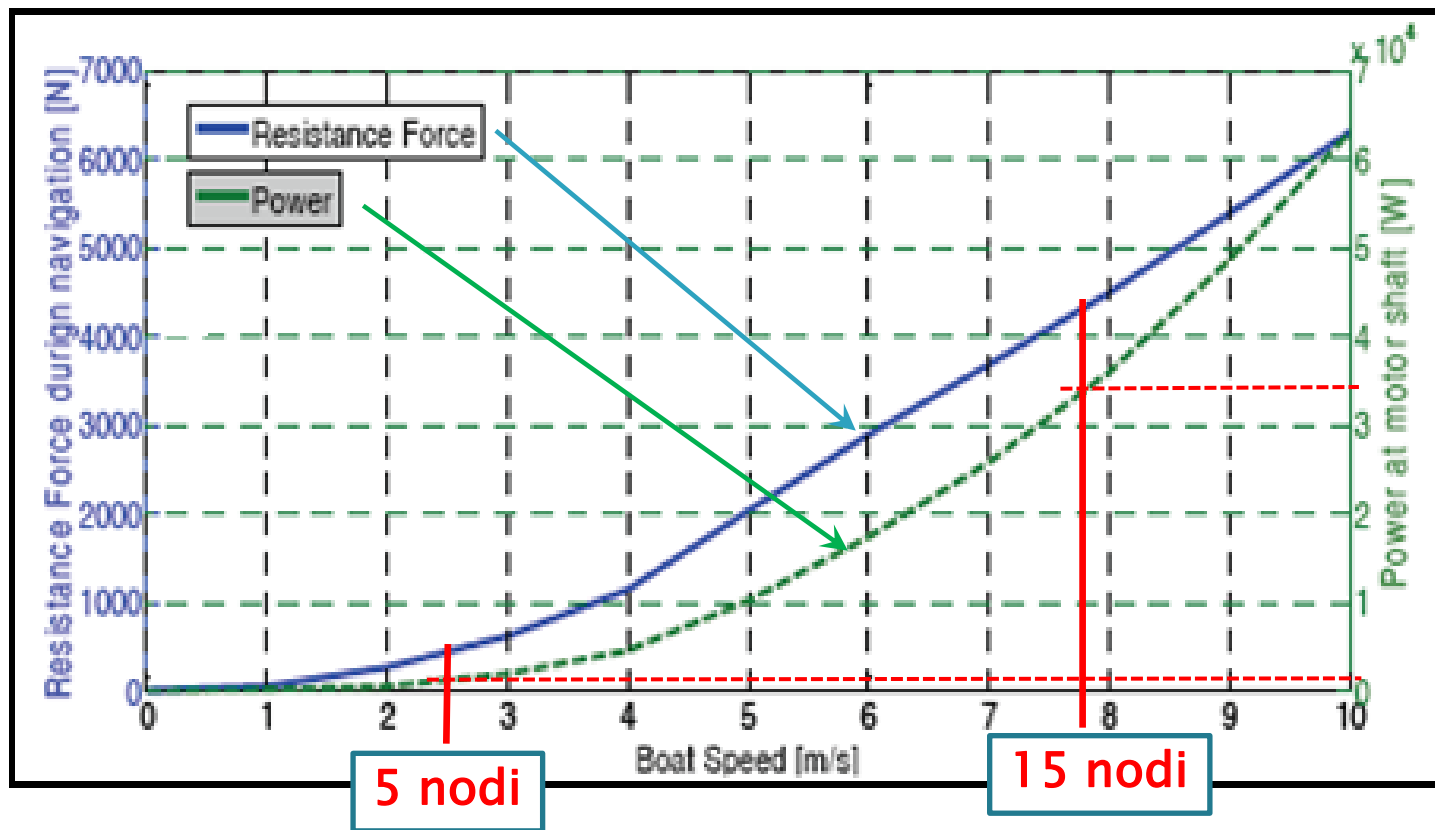
3° caso

Sistema di propulsione

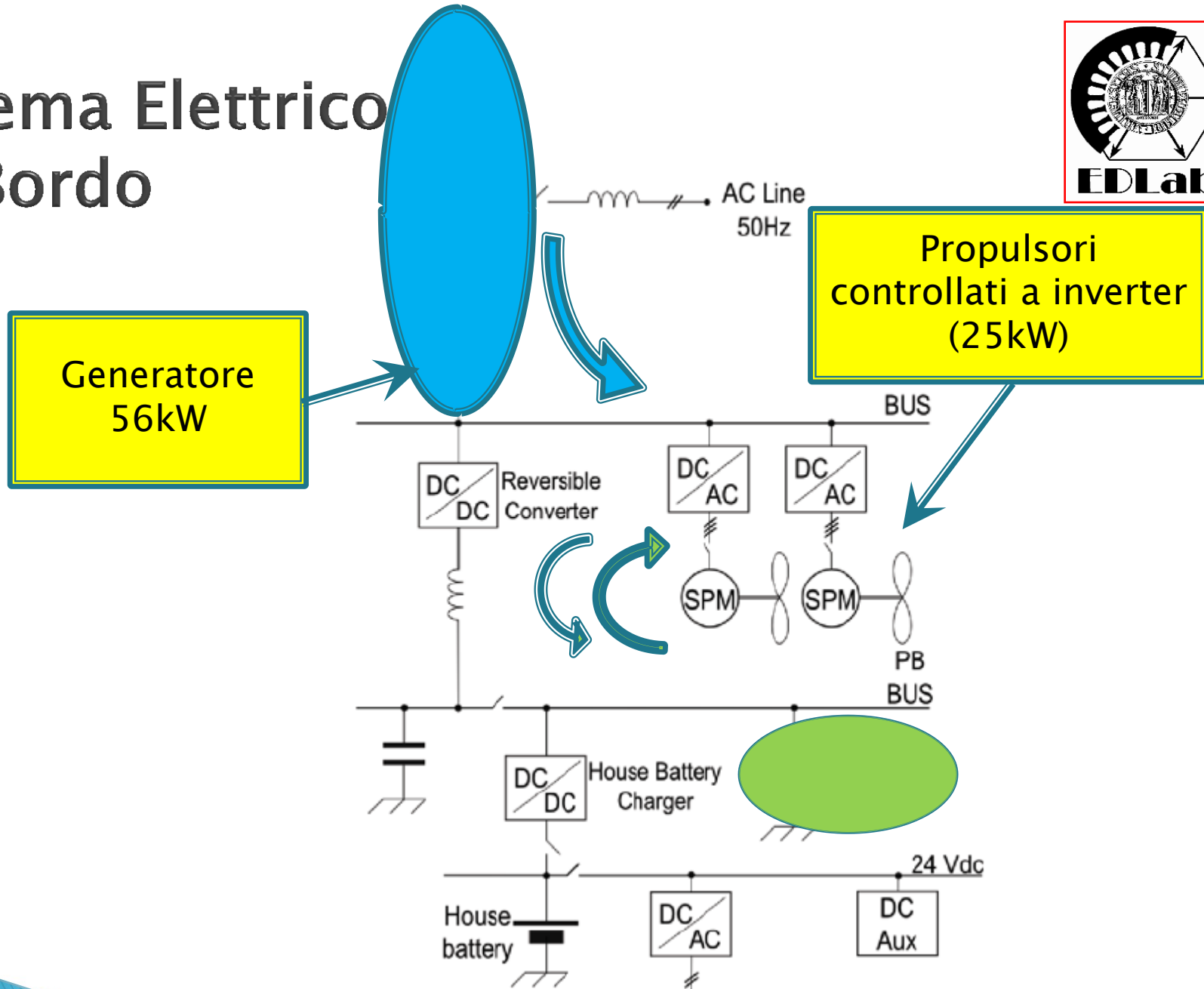
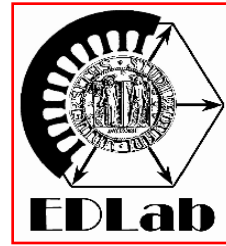


Possibilità di sollevare i propulsori

CURVE VELOCITÀ – POTENZA

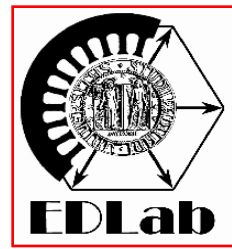


Sistema Elettrico di Bordo



3° caso

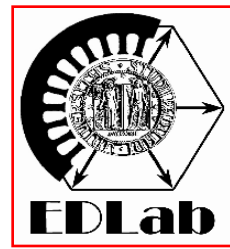
I BUS-DC di bordo



HV-BUS (High Voltage)	PB-BUS (Propulsion Battery)	24V-BUS (House)
300-650V	72V	24V
Generatore diesel Convertitori	Batterie di propulsione	Dispositivi a basso assorbimento

3° caso

Modi di funzionamento

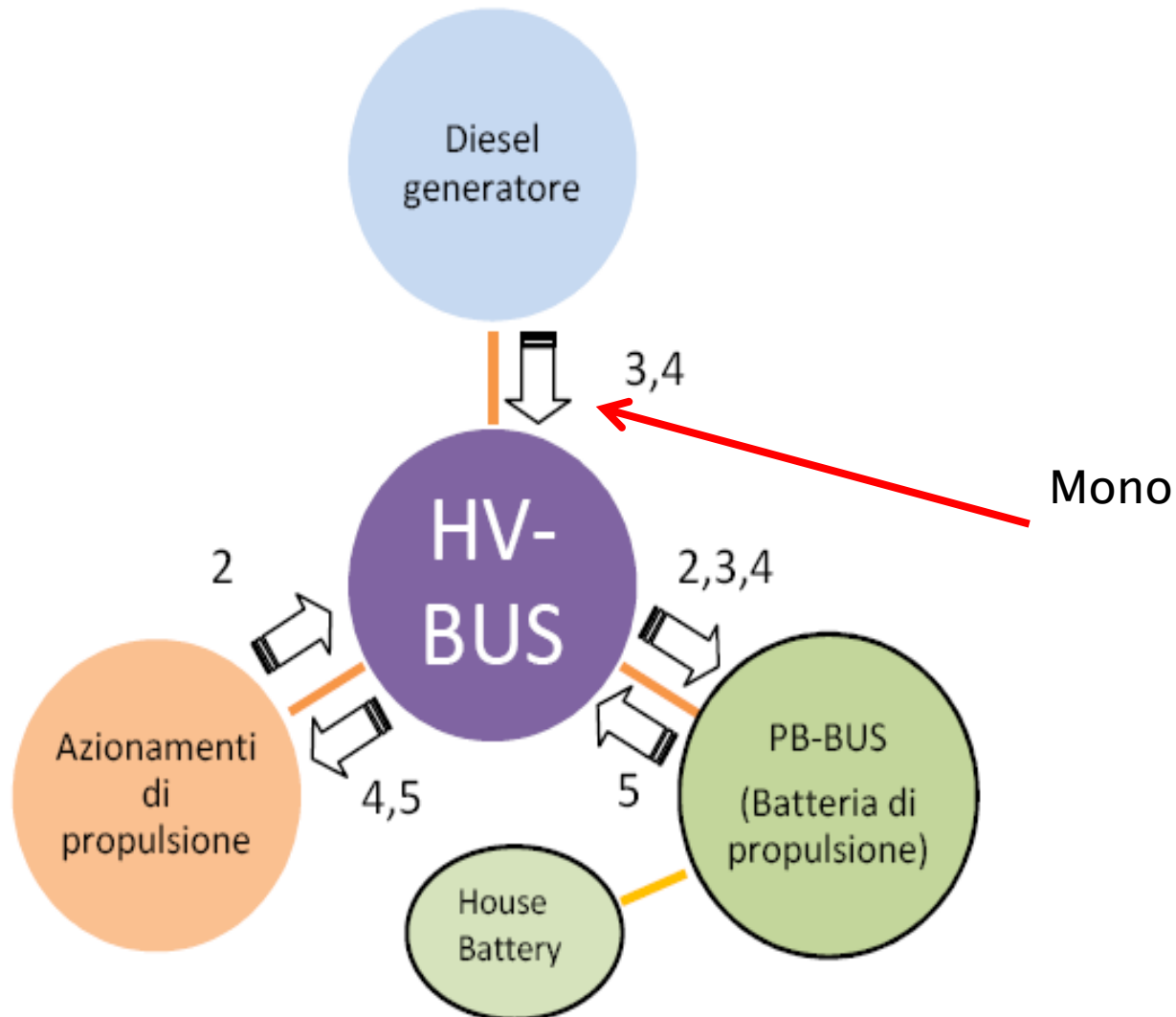
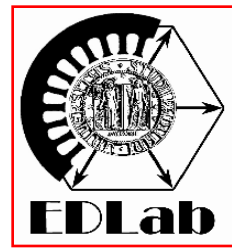


Gestione automatica del flusso di potenza considerando le richieste dei diversi componenti (vele, batterie, controllo utente, propulsori).

MODO	VELA	DIESEL	ELICHE	BATTERIA
1	Sì	OFF	OFF	OFF
2	Sì	OFF	ON turbine	in carica
3	---	ON	OFF	in carica
4	No	ON	ON propulsione	in carica
5	No	OFF	ON propulsione	in scarica

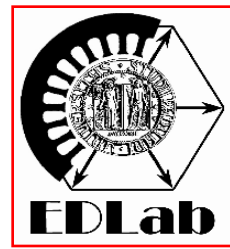
3° caso

Flussi di energia



3° caso

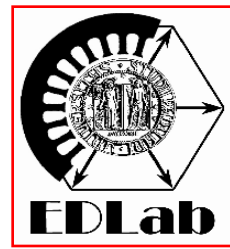
Generazione elettrica a bordo



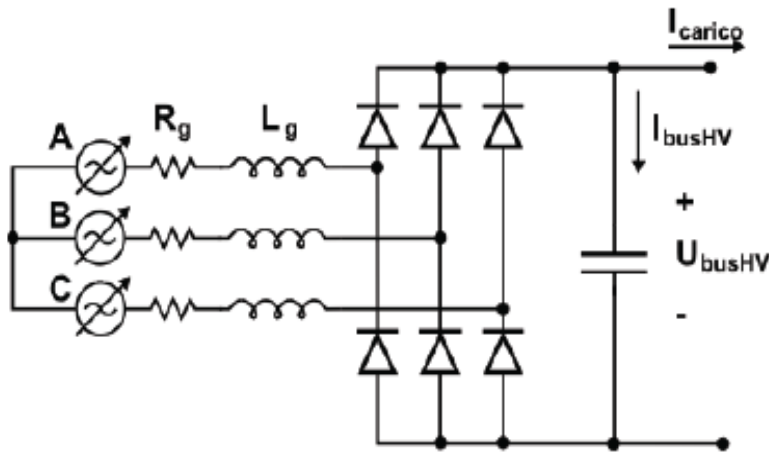
- ▶ La generazione dell'energia elettrica a bordo è ottenuta mediante un generatore sincrono a magneti permanenti (terre rare) da circa 55 kW, a 6 poli, trascinato da un motore diesel Multi-jet Common-rail da 75 HP,
- ▶ E' presente un BUS comune a tutto il sistema, con tensione variabile, la cui immissione di energia è fornita da più fonti,
- ▶ Possibilità di integrare fonti energetiche alternative
- ▶ Controllo a reazione della tensione del bus agendo sulla velocità del motore diesel.

3° caso

Generatore a magneti permanenti



- ▶ Connessione del generatore mediante ponte a diodi non controllati,
- ▶ Regolazione della tensione di Bus mediante controllo della velocità del motore diesel,
- ▶ Generatore a magneti permanenti di contenute dimensioni, raffreddato ad acqua.

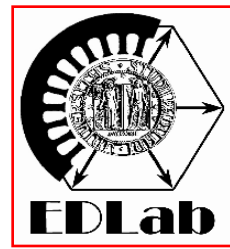


Magnetic SpA
Montebello
(Vicenza)

3° caso

Sistema di propulsione

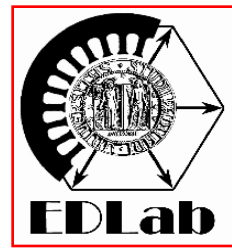
- ▶ Lo studio ha riguardato anche il progetto dei motori di propulsione.
- ▶ Si tratta di motori a magneti permanenti superficiali, collocati nei bulbi sommersi e connessi alle eliche attraverso riduttori.
- ▶ Ne risultano motori estremamente compatti.
- ▶ Qui si vede il rotore durante in fase di montaggio



Magnetic SpA
Montebello
(Vicenza)

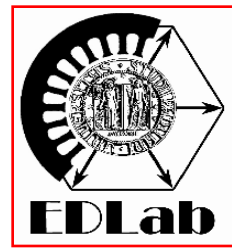
3° caso

Sistema di controllo dei motori



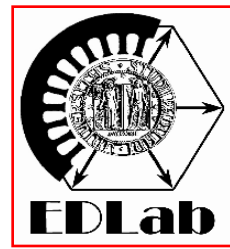
- ▶ Per questioni di spazio e affidabilità, è stato studiato e realizzato un **controllo sensorless** dei motori di propulsione che permette di non montare alcun sensore di velocità o posizione sull'albero.
- ▶ Il controllo permette la **marcia in entrambi i versi**, **l'inversioni di marcia** al volo e quindi le manovre che servono in porto.

Conclusioni



CONCLUSIONI

- ▶ Sono state descritte le attività di ricerca nel settore della **propulsione elettrica navale** svolte presso il Laboratorio di Azionamenti elettrici dell'Università di Padova;
- ▶ Gli azionamenti sviluppati (motori e controlli) possono essere impiegati anche in altre applicazioni della propulsione elettrica o in applicazioni industriali
- ▶ **GRAZIE DELL'ATTENZIONE**



EDLab

UNIVERSITÀ DI PADOVA

Dipartimento Ingegneria Elettrica

Laboratorio di Azionamenti Elettrici

Via Gradenigo 6/A,
35131 Padova , Italy

Staff:

S. Bolognani, N. Bianchi

L. Alberti, M. Barcaro, D. Bon, A. Faggion, E. Fornasiero, L. Sgarbossa

M. Castiello

B. Ruzojcic

E-mail: bolognani@die.unipd.it

www.edlab.wikidot.com

<http://edlab.die.unipd.it>