

# Carena planante a convogliamento d'aria

Riccardo Mambretti

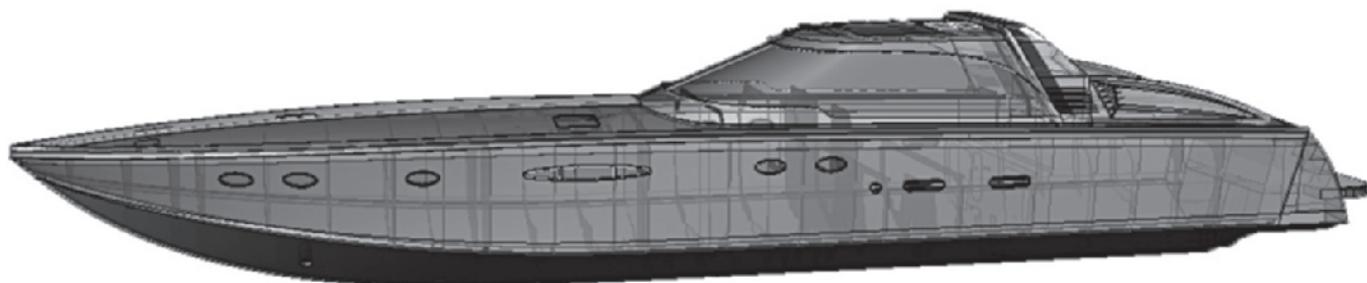
Un'imbarcazione incontra una resistenza, al moto, proporzionale alla quantità d'acqua che essa sposta nel muoversi: tanto più modesto sarà il treno d'onde che genera (o, in altri termini, tanto minore risulterà la quantità d'acqua spostata), tanto più bassa sarà la resistenza opposta al moto e la potenza necessaria a ottenerlo. Pertanto, la ricerca dell'ottimizzazione dinamica come di quella statica nel progetto delle imbarcazioni è rivolta al miglior compromesso fra esigenze funzionali e fisico-prestazionali; il perfezionamento delle forme, infatti, non è legato a una soluzione assoluta ma tende a considerare fattori dimensionali e di dislocamento (di peso) di volta in volta in funzione della velocità di esercizio prefissata. In quest'ottica, analizziamo nel dettaglio le caratteristiche di questa carena innovativa

I moderni studi idrodinamici hanno promosso la ricerca di alcuni sistemi di soluzioni analoghe; lo studio delle carene sistematiche propone infatti diverse soluzioni tipologiche applicabili alle più svariate esigenze progettuali. Il vantaggio consiste nel poter conoscere a priori il comportamento e le caratteristiche di una certa imbarcazione sistematica interpolando dati già verificati e codificati. Lo svantaggio è evidenziato dal fatto che nessuna carena sistematica soddisferà al 100% le specifiche aspettative di un progetto e i risultati ottenuti saranno realistici o, al limite, di lieve compromesso.

Per questo motivo la progettazione 'a catalogo', che usufruisce degli studi sistematici, è sicuramente vantaggiosa nella definizione di scafi commerciali, mentre se applicata a modelli da competizione, da regata o ad alcuni mezzi speciali militari, essa va sperimentata nella realtà e in ogni condizione di mare. A bordo del solido galleggiante non saranno quindi in gioco solo i movimenti innescati dalle onde del mare, ma anche quelli provocati dal moto stesso del mezzo, che dovranno anch'essi essere considerati con molta attenzione. Basandosi proprio sull'osservazione che una barca, muovendosi longitudinalmente in un

fluido, genera un proprio treno di onde di lunghezza proporzionale alla velocità, si è potuto perfezionare un tipo di carena che, invece di navigare tradizionalmente semi-immersa (dislocante), riesce in velocità a scavalcare l'onda da essa stessa generata trovandosi quindi a operare al disopra di essa, in una sorta di assetto di 'scivolamento'. Come è noto, questo tipo di carena è definito planante e si dimostra particolarmente vantaggioso per l'ottenimento di velocità medio alte. Superato il primo momento detto "di velocità critica" (dove la lunghezza dell'onda generata coincide con quella della barca e questa si trova praticamente a navigare in salita) la carena planante

consente poi, scivolando sulla superficie, di ridurne la porzione bagnata. Al tempo stesso consente di diminuire la quantità d'acqua spostata, migliorando perciò il rendimento e determinando un calo proporzionale della potenza necessaria all'ottenimento della velocità di esercizio. La tenuta al mare delle imbarcazioni plananti in assetto di navigazione, proprio a causa della risposta immediata al moto ondoso e ai frequenti fenomeni di sussulto, si è dimostrata piuttosto dura; per questo si sono sviluppate ricerche che hanno perfezionato la forma e il comportamento della carena planante che si trova a operare in condizioni di mare formato.



I risultati hanno generato la carena a *V profondo* che unisce alla capacità di planare sulla superficie quella di ammortizzare i colpi d'onda.

Le dimensioni delle imbarcazioni che l'adottano sono viepiù aumentate negli anni man mano che è migliorato il rapporto peso/potenza dei propulsori marini oggi valido anche nel settore delle potenze più elevate, capaci così di far planare scafi di lunghezza anche superiore ai trenta metri.

### Il percorso progettuale

Riccardo Mambretti ha progettato, costruito, sperimentato e collaudato anche in competizioni offshore (quando le gare erano di oltre 90 MM per la classe 3 e di oltre 200 MM per le classi OP1 e OP2, C1 e C2), e con tutte le condizioni di mare possibili. La carena a V, quella classica tipo Hunt, è sempre stata da lui considerata la madre di tutte le carene: imbarcazioni da lui progettate e realizzate con questa, hanno conquistato diversi campionati, nazionali e internazionali, e primati mondiali di velocità e di fondo.

### Il P.D.P. System

Dopo aver progettato e costruito una quantità imponente di modelli one-off di imbarcazioni a motore per il diporto e per le competizioni offshore, Riccardo Mambretti, avendo gareggiato egli stesso per diversi anni, ha intuito che la carena a V tradizionale (tipo Hunt) aveva ormai raggiunto il suo limite naturale. Progetta quindi, realizza e collauda con successo il P.D.P. System, una vera e

propria rivoluzione oggi brevettata in tutto il mondo. Si tratta di una carena a V profondo con profilo inedito che presenta una caratteristica innovativa rispetto alle carene a V fin qui note, per consentire la creazione di canali paralleli longitudinali, attraverso i quali si sviluppa una compressione forzata e progressiva di acqua e aria; tutto questo genera un aumento della portanza della carena e una contemporanea riduzione della superficie d'attrito, dinamiche che consentono maggiori prestazioni, sia in termini di velocità che di stabilità e sicurezza, senza modificare la geometria di base dell'imbarcazione.

### Studio della posizione del centro longitudinale di gravità (LCG) per il miglior assetto delle carene plananti

Lo scafo planante si bilancia principalmente su tre punti, che sono la spinta statica della parte immersa di carena, la pressione dinamica di sostentamento che agisce sul piano incidente della carena e il peso applicato sul baricentro dello scafo.

La pressione dinamica varia con la velocità al quadrato e il suo punto di applicazione si sposta in relazione all'assetto, mentre la spinta statica sarà sempre eguale al volume di carena immerso e applicata sul baricentro di quel volume (che però varia con il variare della velocità). Questi concetti sono illustrati nelle figure seguenti.

Il peso è il principale ostacolo per le carene plananti, le quali, però,

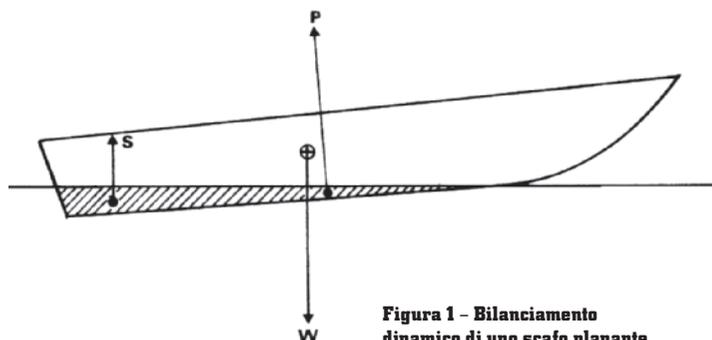


Figura 1 - Bilanciamento dinamico di uno scafo planante

beneficiano anche della portanza in rapporto alla relazione lunghezza-larghezza, cioè dell'aspect ratio della superficie portante.

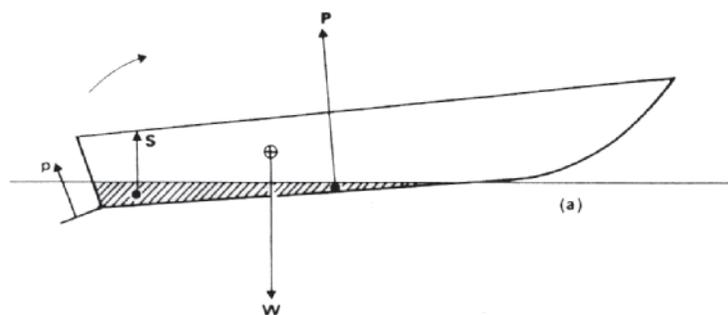
Con una serie di accurati calcoli preliminari e usufruendo di un vasto archivio di esperienze sistematiche sarà possibile esaminare e prevedere la performance della carena nelle varie condizioni di carico e valutarne le condizioni di equilibrio sopraindicate.

In genere si parte da un piano di sistemazione generale,

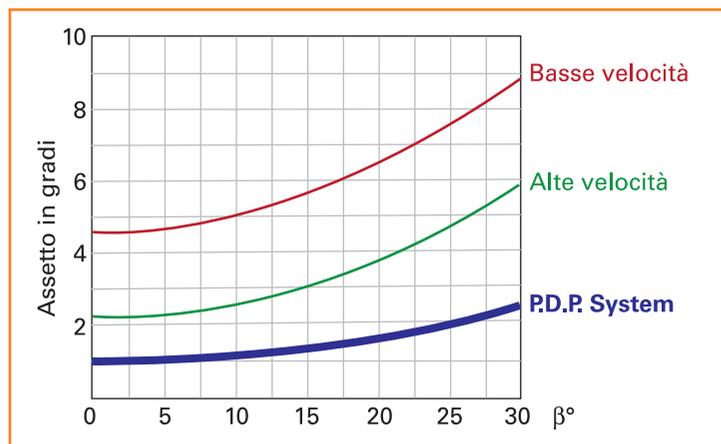
stimando pesi e dislocamenti nelle varie condizioni di carico, e conseguentemente si esaminano le variazioni dei baricentri, progettando in modo conseguentemente corretto l'imbarcazione planante che ne risulterà. L'equilibrio dinamico, ossia la posizione del LCG, è di grande importanza se si vuole ottenere un assetto spontaneo del mezzo, che offra la minima resistenza al moto.

L'assetto artificiale e forzato che si consegue applicando i flap costa energia, prelevata dalla forza





**Figura 2 - Forze e momenti generati dalle appendici. Quando il baricentro (W) si trova troppo distante dal centro di pressione (P) è necessario utilizzare correttori d'assetto**



**Figura 3 - Variazioni d'assetto con differenti deadrise**

propulsiva, e ciò avviene anche nella fase precedente la planata. Infatti, la pressione esercitata sui flap, per correggere l'assetto, si scompone in una spinta verticale (lift) che tende a sollevare la poppa e una resistenza orizzontale (drag) che è frenante. Utilizzare di continuo i flap per correggere il bilanciamento e mantenere l'assetto alla velocità di crociera, cioè quella di progetto, significa avere la barca dinamicamente sbilanciata. La maggior parte degli scafi plananti, al contrario, usa i flap a tutte le andature, anche alla velocità massima: in questo modo si riesce a migliorare leggermente la velocità riducendo l'angolo di assetto e la resistenza, a spese però dell'energia propulsiva (vedi figura 2), correggendo a posteriori un

difetto progettuale. Per stabilire la correlazione tra centro statico e dinamico occorre conoscere l'ascissa del peso totale del natante e il suo centro di carena. Bisogna inoltre posizionare adeguatamente, oltre a quelli fissi, i pesi consumabili (combustibile e acqua), in modo da ridurre al minimo la variazione del baricentro in relazione all'equilibrio dinamico che si modificherà sia perché lo scafo si alleggerisce sia perché diventa più veloce. Solo se questo non avviene spontaneamente, si rende necessario ricorrere ai flap con 'l'effetto collaterale' negativo già segnalato. Ciò non si riscontra nelle carene dotate di P.D.P. System le quali presentano un angolo di assetto inferiore a quello delle carene a V profondo (vedi figura 3),



**L'autore:  
RICCARDO MAMBRETTI**

Nasce a La Spezia il 2 maggio 1938 da padre italiano e madre tedesca. Compie gli studi classico-scientifici in Svizzera. Svolge il servizio militare nei mezzi corazzati con il grado di ufficiale del Savoia Cavalleria. Seguendo la tradizione familiare

acquisisce una lunga esperienza a tutti i livelli aziendali e organizzativi: dirige due società di oltre trecento dipendenti nel settore della meccanica di precisione, ove vanta anche la paternità di alcuni brevetti.

Al contempo arricchisce la propria esperienza a livello diportistico, prima di approdare professionalmente alla nautica nel 1969.

Inizia quindi una sperimentazione sempre più approfondita, collaborando con progettisti italiani e statunitensi e con maestri d'ascia veneziani: cantieri come Abbate, San Marco, Dogale e case costruttrici di motori come Autodelta, Volvo Penta, B.P.M., Mercury partecipano a questo percorso di ricerca nel settore.

Dà vita al cantiere sperimentale E.R.I.A. Marine (Esperimenti Ricerche Applicazioni Marine), costruttore dei sorprendenti UFO, insignito via via di importanti riconoscimenti tecnico-commerciali tra cui anche due Gold Mercury International Award e l'Apollo d'Oro della Camera di Commercio Europea 1979.

La Ufo Squadra Corse, team nato in seno al cantiere ERIA Marine, si afferma ben presto in tutte le classi annoverando tra i suoi piloti lo stesso Mambretti, Giulio de Angelis, Mario Caprara, l'architetto Massimo Musio Sale, Tommaso de Simone (organizzatore di importanti competizioni Endurance), Sandro e Guido Pesenti, Clelia de Simone, la prima "First Lady del mare" che in Italia seguì l'esempio della campionessa americana Betty Cook.

Gli UFO, imbarcazioni progettate da Riccardo Mambretti e costruite dal cantiere E.R.I.A. Marine, vincono numerosi trofei e competizioni, conquistano titoli a livello nazionale e internazionale e stabiliscono record europei e mondiali in varie classi offshore. Nel campo della sperimentazione nautica la E.R.I.A. Marine può annoverare alcune importanti innovazioni, tra cui, nelle competizioni offshore, l'adozione di motori Alfa Romeo, l'installazione di motori BPM Vulcano con l'abbinamento a piedi poppieri MerCruiser, il primo utilizzo, nel Mediterraneo, di motori fuoribordo nelle competizioni offshore, l'abbinamento di eliche a quattro pale ai gruppi poppieri Volvo Penta e Italmare, l'automatizzazione dell'alimentazione di carburante dai serbatoi ai motori, l'invenzione e l'adozione sui propri scafi del Navigatore (Medaglia d'Oro al Salon International de Genève 1972), strumento meccanico allora unico nel suo genere, e di una sorta di flap fissi autoregolanti che prolungavano vantaggiosamente il fondo delle imbarcazioni. Riccardo Mambretti si dedica sempre più allo studio delle linee d'acqua, per mantenere quelle doti di velocità e sicurezza che gli UFO hanno costantemente dimostrato nei confronti delle imbarcazioni concorrenti.

Negli anni '80, vista la superiorità velocistica in acque poco mosse dei pluriscafi rispetto alle imbarcazioni monocarena, studia, realizza e brevetta nuove configurazioni di carene che aumentano sensibilmente le prestazioni dei monoscafi mantenendone le doti di morbidezza e robustezza anche in mare formato. Oltre ad avere ottenuto importanti riconoscimenti a livello sportivo, commerciale e progettuale, nel 1986 Riccardo Mambretti viene insignito, a New York, della laurea Honoris Causa in scienze economiche e commerciali.

Attualmente con il suo studio si dedica alla progettazione di imbarcazioni a motore da diporto e competizione dai 3 ai 30 metri di lunghezza, nell'ottica di uno styling accurato e all'avanguardia e soprattutto della sicurezza in mare.

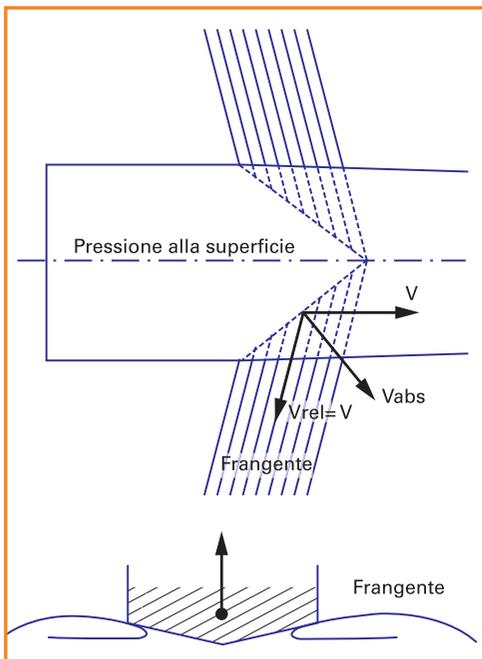
Già nel 1987 pubblica infatti una relazione sulla sicurezza in offshore, documento che mirava a sensibilizzare gli «addetti ai lavori» sulla necessità di una regolamentazione che, pur favorendo lo sviluppo del settore, salvaguardasse l'incolumità dei diretti interessati, i piloti. Anche e soprattutto a vantaggio del diporto nautico. Riccardo Mambretti, da oltre 30 anni membro della prestigiosa Associazione Italiana Progettisti Nautica da Diporto (AS.PRO.NA.DI.), alla fine degli anni '90 deposita un brevetto di carena a convogliamento d'aria, denominato P.D.P. (Powered Dynamic Pressure) System che rappresenta, in sintesi, il compendio di 40 anni di lavoro dedicato a quella che si può definire con due parole: velocità in sicurezza, concetti spesso apparentemente antitetici che, invece, concorrono a stimolare la ricerca tecnologica nel settore automobilistico, aeronautico e nautico.

Calle 3F, n.9 - 29660 Nueva Andalucía (Málaga) Spain

Tel. +34 609 581389 - rm@pdpsystem.com

Via Berina, 8 - 22070 Fenegrò (CO) - Italia

Tel. +39 348 7095520 - rm@pdpsystem.com - www.pdpsystem.com



**Carena a V**



**Carena P.D.P. System**



**Figura 4 - Comportamento del fluido nelle due tipologie di carena**

**Figura 5 - Osservazioni di fluidodinamica a confronto**



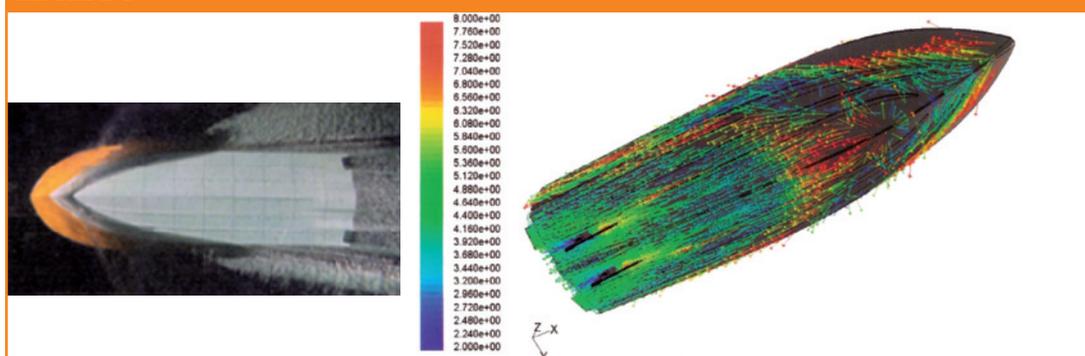
**Carena P.D.P. System. Dati imbarcazione: L.O.A. 31', Disl. 2,7 t., Motor. 2 x 200 HP f.b., Velocità 61 nodi (69 MPH)**

senza l'ausilio di correttori. È meglio infatti conseguire l'assetto spontaneamente con un corretto bilanciamento dello scafo e con una buona carena per evitare resistenze che vanno a detrimento della spinta propulsiva.

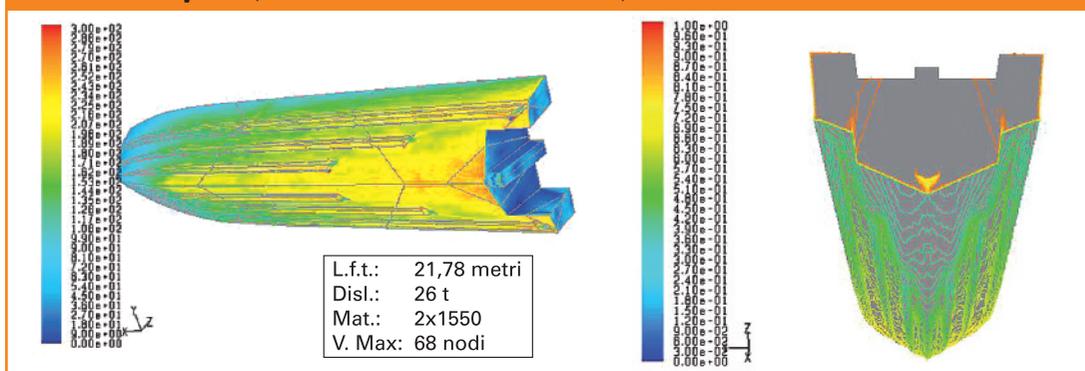
### Come interagisce la carena dotata di P.D.P. System

1) Gli elementi longitudinali paralleli alla chiglia (quelli cioè che rappresentano i fianchi dei tunnel), sporgenti dalla superficie di carena, con l'aumentare della velocità dello scafo, tendono progressivamente a evitare che una crescente massa d'acqua si sposti rapidamente dalla chiglia verso lo spigolo, come avviene invece su di una normale carena a V con

**Carena a V**



**Carena P.D.P. System (velocità rilevazione CFD: 45 nodi)**



pattini idrodinamici di tipo conosciuto (figura 4).  
2) La conseguenza di questa azione è il progressivo e crescente contenimento, in una minore porzione di carena, di acqua e aria che, con l'avanzamento, si miscelano nei tunnel del P.D.P. System e che danno origine

alla spinta idrodinamica di sostentamento, portanza dello scafo.  
3) La riduzione della superficie d'attrito del P.D.P. System è chiaramente visibile nelle osservazioni di fluidodinamica, dove si evidenzia come nelle normali carene a V essa assume da poppa verso prua l'aspetto

di un rettangolo con cuspidi a forma triangolare, mentre nella carena P.D.P. System l'acqua crea una figura quasi 'a cattedrale', cioè con tratti rettilinei tra un tunnel e il successivo prima di deviare verso l'esterno, aumentando così sensibilmente la portanza. (vedi figura 5).

Figura 6 - Test comparativi in vasca navale

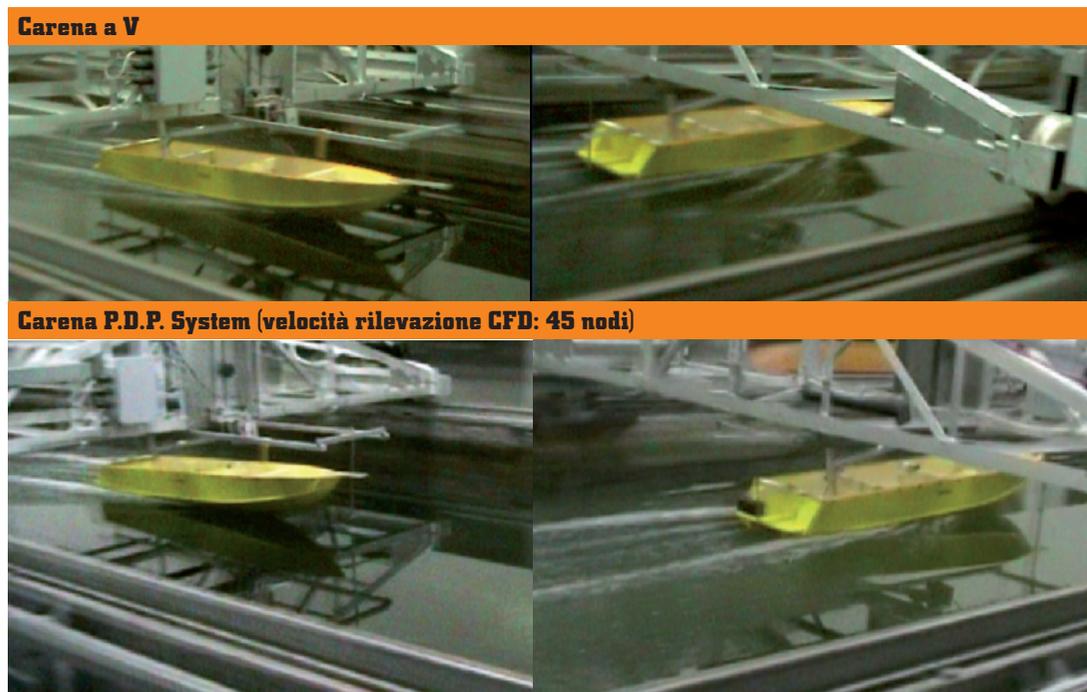


Figura 7 - Rilevazione filetti fluidi in vasca navale

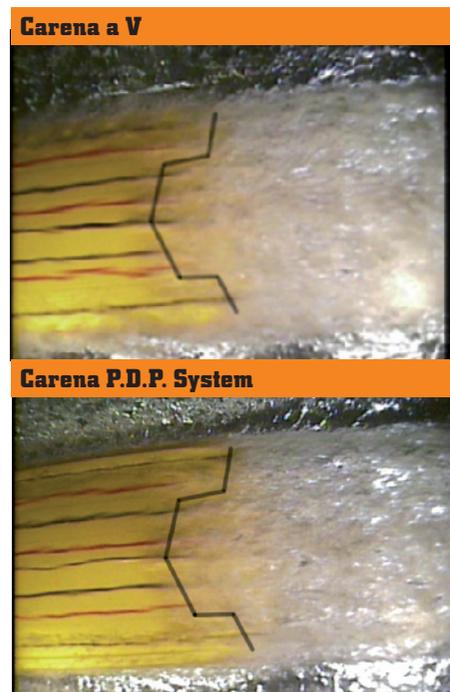
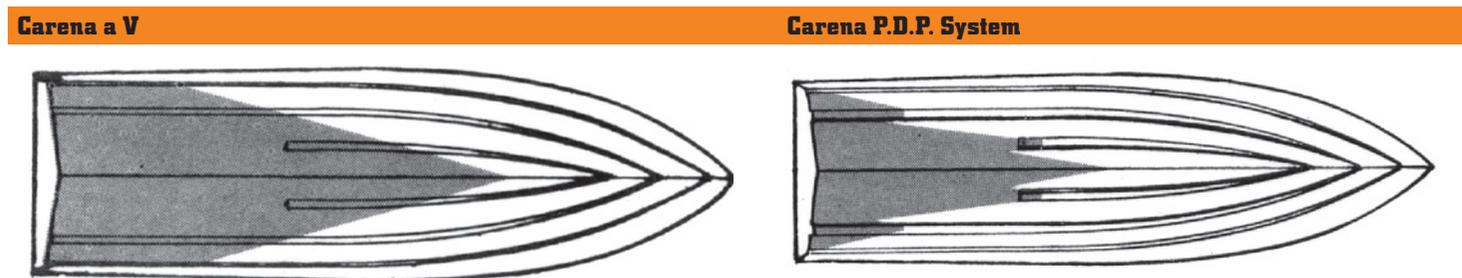


Figura 8 - Schema di confronto tra superfici bagnate portanti



4) Nella carena P.D.P. System le scie appaiono più contenute e gli spruzzi laterali più arretrati e maggiormente aderenti ai fianchi dello scafo rispetto a quelle della carena a V. Ciò conferma una superficie bagnata più contenuta (nella prima rispetto alla seconda) e un'azione maggiore di lift dell'acqua contenuta forzosamente all'interno dei tunnel della carena (vedi figura 6).

5) Nella carena a V è visibile la componente di filetti fluidi che tendono a deviare dalla chiglia verso lo spigolo e creano turbolenza in uscita dallo specchio di poppa. Nel P.D.P. System il movimento dell'acqua, per effetto dei

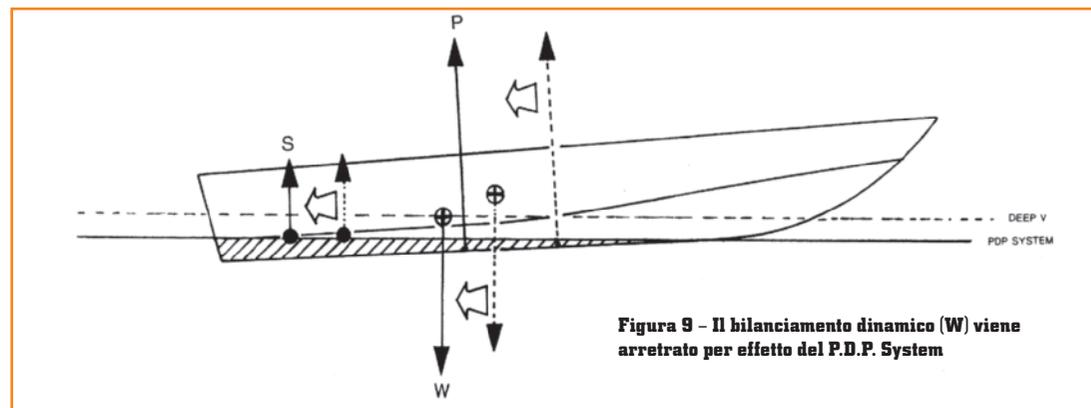


Figura 9 - Il bilanciamento dinamico (W) viene arretrato per effetto del P.D.P. System

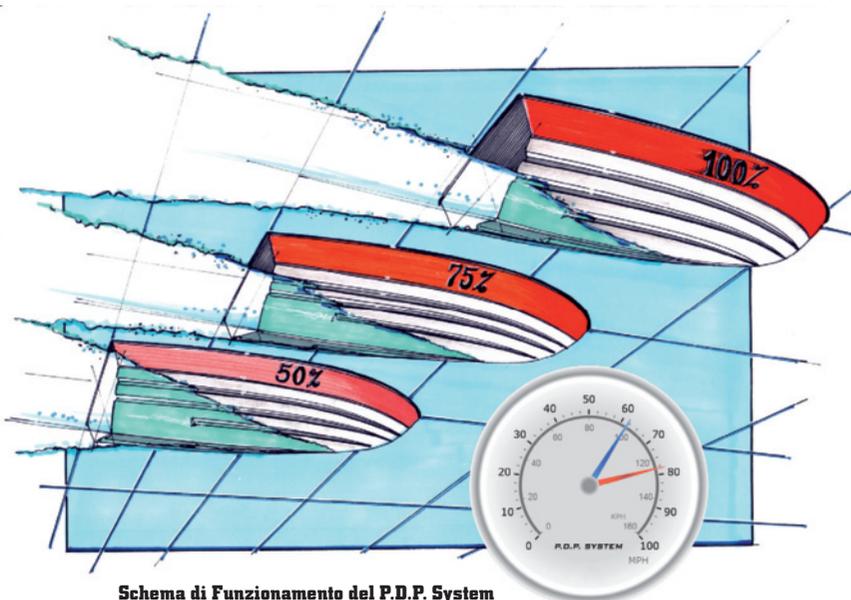
tunnel che la caratterizzano, è lineare e parallelo alla chiglia, riducendo sensibilmente la turbolenza a poppa (vedi figura 7). Ciò è importante per la propulsione, specialmente quella con eliche di superficie, sempre più utilizzate, che prediligono un andamento

costante del fluido.  
6) Riducendo la superficie bagnata (vedi figura 8) ne deriva che:  
a) il centro di pressione (P) della carena viene a trovarsi man mano più arretrato rispetto a quello che avrebbe con la carena a V tradizionale

(vedi figura 9);  
b) giacché il baricentro longitudinale dello scafo (W) è necessariamente costante, e benché si debba progettare sempre dietro il centro di pressione (P), ne consegue un bilanciamento dinamico (e statico per progetto)



**Figura 10 -  
L'angolo di assetto  
longitudinale viene  
ridotto a valori  
minimi dal P.D.P.  
System**



**Schema di Funzionamento del P.D.P. System**



**Figura 11 - Daycruiser da diporto, omologato R.I.N.A., durante un hard test**

relativamente più arretrato; tali fenomeni, mentre sono poco influenti a regimi di navigazione ridotti in mare formato, si accentuano con il progressivo raggiungimento di velocità elevate.

7) La maggior portanza sulla superficie così ridotta, il cui centro di pressione (P) risulta quindi più arretrato, riduce anche l'angolo di assetto dai 3-5° circa delle normali carene a V plananti a 1-2° del P.D.P. System diminuendo così ancora di più la resistenza idrodinamica (vedi figura 10).

8) La spinta dell'elica risulta anch'essa avvantaggiata dal minor angolo di assetto dello scafo: ciò si traduce in minor dispersione e quindi, in sintesi, in maggior velocità. Tutti questi fenomeni, che consentono prestazioni

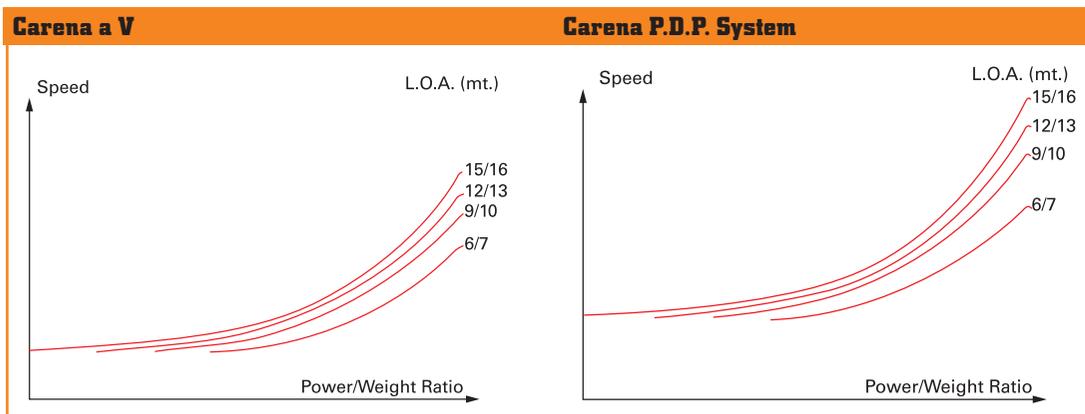
superiori a quelle delle tradizionali carene a V plananti, non hanno però, volutamente, rilevante influenza ai regimi ridotti, ossia alle basse velocità, adatte in caso di mare formato, in quanto le dimensioni delle porzioni di carena del P.D.P. System sono state studiate e sperimentate in modo tale da assumere alcune delle loro funzioni precipue man mano che le prestazioni salgono a elevati valori di velocità dello scafo.

In mare formato cioè, quando le prestazioni richieste allo scafo non sono tali da esasperarne i valori in navigazione, la carena P.D.P. System garantisce particolare dolcezza proprio grazie alla dosata dimensione delle porzioni longitudinali di

carena che emergono tra un tunnel e il successivo e alla configurazione geometrica delle loro sezioni, frutto di esperienze sistematiche su natanti di diverse dimensioni dotati di P.D.P. System, rilevate in tutte le condizioni di mare e a tutte le velocità. La fotografia (figura 11) mostra con evidente chiarezza l'aria che si comprime sotto la carena, grazie alla sua conformazione, si mescola all'acqua e crea una miscela che via via solleva tutta l'imbarcazione riducendone così la superficie d'attrito: tale azione, che è peculiare del P.D.P. System, consente così di utilizzare eliche di passo più lungo che riducono conseguentemente il regime di giri del motore alle andature di crociera e il

raggiungimento di velocità di punta finora impensabili. I due grafici a pag. 88 riportano gli incrementi di prestazioni in termini di velocità massima del P.D.P. System che arrivano a un 30% rispetto alla carena a V tradizionale.

L'aumentata efficienza della carena grazie al P.D.P. System, quindi, si traduce nella possibilità concreta di ottenere le prestazioni attuali con motori meno potenti e quindi sensibilmente più economici, sia per il cantiere costruttore sia, in termini di consumi (fino al 50% in meno!) e costi di gestione, per l'utilizzatore finale. Volendo invece mantenere la motorizzazione attuale, questa tecnologia consente un aumento finora impensabile delle prestazioni



(fino al 30%), tutto insieme a maggior comfort di marcia e una pressoché raddoppiata autonomia di crociera.

### Morbidezza in acque mosse

La morbidezza della carena P.D.P. System in acque formate è quella caratteristica della carena a V tradizionale, della quale mantiene la geometria di base. A questa si aggiunge un elevato comfort di marcia grazie al più intenso e progressivo variare delle masse d'acqua e aria compresse che si sommano ai maggiori volumi immersi.

### Sicurezza

Riprendendo il concetto di elevata stabilità longitudinale e di ridotta tendenza al rollio (dote tipica della carena P.D.P.), va notato come la presenza delle sezioni residue di carena tra un tunnel e l'altro sia proprio l'elemento che, in caso di accelerazioni laterali e frontali, agisce da smorzatore degli effetti indesiderati. I loro volumi, infatti, rispondono alle sollecitazioni imposte dai movimenti ondosi, o dal vento al traverso, come efficienti deflettori idrodinamici: per fare un paragone molto semplicistico, come i bilancieri nelle piroghe o gli scarponi dei catamarani.

Così l'indesiderabile condizione di imbardata

(frutto della combinazione del movimento sussultorio e rotatorio intorno all'asse verticale) viene minimizzata dalla pronta reazione raddrizzante indotta dalle sezioni di carena che risultano sporgenti rispetto alla base dei tunnel, evidentemente più rapida rispetto alla risposta tradizionale ottenibile con una carena a V dotata di pattini a filo carena di tipo Hunt. La forma 'a cattedrale' della porzione di carena, superficie portante dello scafo (vedi figura 5) conferisce maggiore stabilità longitudinale (beccheggio) rispetto a una analoga zona bagnata avente forma di semplice triangolo. Inoltre le strutture del sistema P.D.P., distribuite su tutta la carena, creano un generale irrobustimento dello scafo, agendo come vere e proprie nervature di rinforzo: i fenomeni di flessione e torsione dello scafo sotto sforzo vengono così praticamente eliminati.

### Considerazioni

I dati scaturiti dalle prove di fluidodinamica e in vasca navale hanno evidenziato come le metodologie di calcolo oggi conosciute (Froude, Reynolds, Taylor ecc.) per elaborare le varie componenti che mettono a fuoco, quantificandole, le diverse caratteristiche delle

carene a V, siano attendibili solo in parte e ancor meno nel caso del P.D.P. System a causa della sua innovativa conformazione.

La spiegazione è abbastanza semplice e ce ne suggerisce un'esempio l'I.T.T.C., nelle sue "Recommended Procedures" al paragrafo 3 (Description of Procedure). Da una serie di elaborazioni grafiche basate su rilevazioni sistematiche e quindi reali, si evince chiaramente che le prove su modelli in scala difficilmente danno dei risultati attendibili (citando testualmente "Scale effects on lifting surfaces and appendages can be a problem"), poiché le velocità simulate non corrispondono alle condizioni reali di navigazione.

La densità dell'acqua non può infatti essere variata per adeguarla alla prova su scala, così come non vi sono regole tali da misurare la resistenza delle appendici riportate in scala, tanto che in vasca le porzioni di carena tra i tunnel del P.D.P. System (come evidenziato anche dai test di fluidodinamica), a

velocità ridotte sembrerebbero aumentare la resistenza, come previsto proprio dall'ITTC ("With regard to scale effects, the full scale appendage drag should be scaled up on the basis of 60-65 per cent of the measured value"), mentre nella realtà rappresentano dapprima un maggior volume immerso, che tra l'altro facilita la planata, e divengono poi, con l'aumento della velocità, valide superfici portanti, oltre a contenere 'in carena' i filetti fluidi: esattamente l'opposto di ciò a cui si tende comunemente nella realizzazione delle carene a V tradizionali e di quelle a step.

### In conclusione

È principalmente il bagaglio di esperienze 'al vero' che consente a Mambretti di effettuare previsioni precise sulle performance delle imbarcazioni che adotteranno il P.D.P. System, la cui configurazione dovrà essere adattata alla geometria di carena dell'imbarcazione cui andrà applicato, alle sue dimensioni, alla tipologia e alle strategie richieste dal cantiere che l'adotterà.

In sintesi, il dosaggio degli elementi che compongono il P.D.P. System, frutto di anni di ricerca applicata, esalta questa o quella caratteristica dell'incremento delle prestazioni e della tenuta di mare a seconda delle caratteristiche dell'intero progetto e delle sue peculiarità (dimensioni, dislocamento, destinazione d'uso, deadrise, propulsione, centri di gravità ecc.).

### Fonti scientifiche

- 1-Peter Du Cane, *High-Speed Small Craft*, ed. David & Charles 1974
- 2-Ugo F. Costaguta, *Fondamenti di Idronautica*, ed. Hoepli, Milano 1981
- 3-Massimo Musio Sale, *Disegno delle imbarcazioni*, ed. Paravia, Torino 1995
- 4-International Towing Tank Conference, *Recommended Procedures*
- 5-Dino Piacci, *varie pubblicazioni e testi tecnici*