

LE PROVE AL VERO DEL NAVIGLIO DA DIPORTO: PROCEDURE E FINALITÀ

Flavio Balsamo, Franco Quaranta

*Dipartimento di Ingegneria Navale, Università di Napoli Federico II
Via Claudio 21 - 80125 Napoli
flavio.balsamo@unina.it , franco.quaranta@unina.it*

SOMMARIO

La verifica delle prestazioni delle navi è dettata, nella normale prassi dell'ingegneria navale, dall'esigenza di ottemperare a precise clausole contrattuali; tale consuetudine, ordinaria per la cantieristica mercantile e militare, viene negli ultimi anni sempre più frequentemente adottata anche nell'ambito delle imbarcazioni da diporto. Nel presente lavoro gli autori descrivono lo stato dell'arte nell'esecuzione di prove al vero su imbarcazioni di taglia minore, sottolineano la ricaduta in termini progettuali della maggiore conoscenza dei complessi fenomeni fisici implicati.

1. INTRODUZIONE

L'atto conclusivo della costruzione di una nave è costituito generalmente dall'esecuzione di una serie di verifiche sul suo funzionamento. Si tratta di prove il cui scopo principale è dimostrare al committente che la nave è in grado di navigare secondo le prestazioni definite nel contratto. Inoltre l'ente di classifica verifica alcune caratteristiche della nave importanti ai fini della sicurezza, ad esempio la manovrabilità. Per le navi della marineria mercantile le prove in mare richiedono diversi giorni di navigazione; per le navi militari, in virtù del maggior numero di sistemi da provare, si può arrivare anche a qualche settimana. In tutti questi casi le prove seguono un programma redatto in precedenza a soddisfazione delle parti (test memoranda).

È chiaro che la maggior parte delle prove riguarda la verifica del corretto funzionamento degli impianti installati a bordo, ma alcune di esse hanno una fondamentale ricaduta sull'attività dell'architetto navale.

Una delle prove più importanti è la verifica della velocità nave, sia perché rappresenta generalmente un forte vincolo contrattuale, sia perché rappresenta il momento in cui l'architetto navale verifica il proprio operato. Negli anni parecchi cantieri hanno investito molto nell'esecuzione di prove di velocità accurate, allo scopo di verificare le ipotesi fatte durante la progettazione ed avere minori incertezze per le imbarcazioni costruite successivamente.

Tutto ciò ha portato alla costruzione di ricchi ed accurati database in possesso di alcuni istituti di ricerca i cui dati principali sono reperibili in parecchie pubblicazioni.

La conoscenza accumulata in questa notevole mole di dati ha portato l'incertezza nel passaggio dai dati vasca al comportamento in mare delle navi da trasporto mercantile tradizionali a valori molto piccoli. È molto difficile oggi che alle prove in mare una nave mercantile non dia i risultati attesi, proprio in virtù di questa conoscenza abbastanza avanzata di questa tipologia di navi.

2. LA MISURA DELLA VELOCITÀ

La prova di velocità è dunque la prova che maggiormente interessa sia il committente che l'architetto navale. Nel passato la valutazione della velocità si otteneva basandosi sulla misura del tempo impiegato dalla nave a percorrere la distanza tra due basi misurate a terra; si trattava di un metodo che, essendo legato alla accuratezza della rilevazione ottica di un operatore a bordo, forniva dati spesso poco precisi e ciò in qualche caso era fonte di contestazione tra le parti.

Successivamente l'accuratezza delle misure fu migliorata dall'introduzione di sistemi basati su postazioni radio a terra. Infine, con l'introduzione del sistema satellitare GPS per scopi commerciali, si è giunti ad ottenere misure di velocità molto accurate.

Tutti questi metodi non consentono di ottenere ciò che interessa l'architetto navale, ovvero la velocità rispetto all'acqua, ma forniscono la velocità rispetto alla terra, trascurando l'effetto legato alla eventuale presenza della corrente.

La misura di velocità si effettua quindi secondo una procedura standard che consiste nel percorrere una stessa direzione di rotta prima in un senso e poi nell'altro; la velocità nave si ottiene come media delle velocità così ottenute.

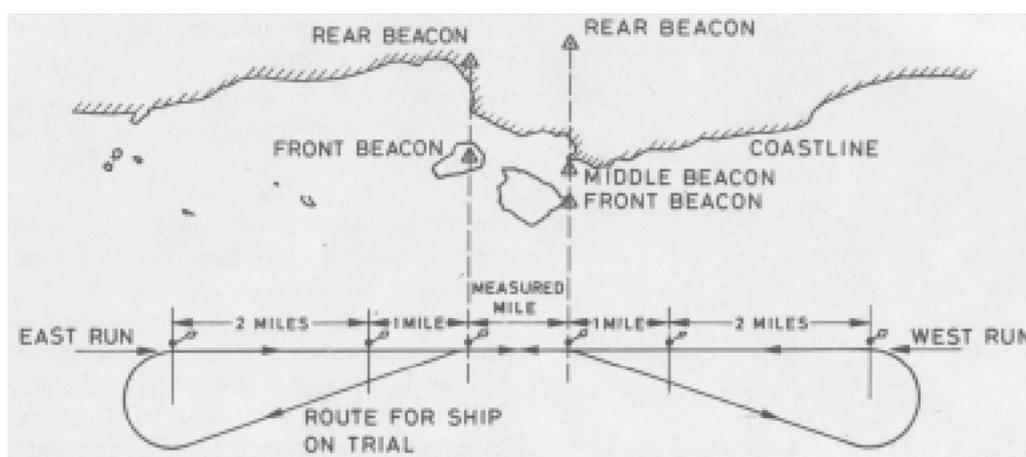


Fig. 1 – Esempio di rotta per la misura della velocità nave

La prima considerazione va fatta sulle condizioni del mare alle prove; a differenza delle prove in vasca, ove le misurazioni si effettuano una volta che l'eventuale moto ondoso si sia completamente smorzato, nelle prove al vero il pelo libero del mare è generalmente perturbato e, soprattutto in alcuni periodi dell'anno, non è possibile attendere il verificarsi di condizioni di calma piatta.

Nella comune prassi si può accettare quindi la prova per stati del mare fino a forza 3, salvo poi effettuare delle correzioni più o meno adeguate a seconda dell'esperienza e del database posseduto.

Questo tipo di procedura, generalmente applicata per le imbarcazioni maggiori, è sicuramente non adatta alle imbarcazioni da diporto. Agli autori non risulta che ci siano degli standard, per cui la valutazione delle condizioni del mare è lasciata al buon senso degli sperimentatori.

Per le imbarcazioni da diporto non è solo lo stato del mare o la corrente a rappresentare un elemento di disturbo della misura ma può avere una certa influenza anche l'effetto del vento, dato che spesso le imbarcazioni da diporto sono dotate di una ampia sovrastruttura. Sul problema dell'effetto del vento su alcune tipologie di imbarcazioni non c'è una ampia letteratura, non essendo molte le imbarcazioni per le quali siano disponibili oltre ai dati delle prove in vasca anche quelli in galleria del vento. Inoltre va sottolineato come nelle prove in mare la direzione del vento possa essere contraria a quella della corrente, rendendo le misurazioni particolarmente difficili da interpretare.

Inoltre, essendo la dipendenza della resistenza dipendente dal quadrato della velocità del vento, non è corretto mediare i risultati ottenuti in andata ed in ritorno.

Generalmente durante la prova di velocità si cerca, se non di eliminare, almeno di limitare al massimo le correzioni di rotta per evitare che queste influenzino, negativamente, la resistenza al moto dell'imbarcazione. Non c'è opinione comune sull'entità di questa influenza ma questo problema diventa molto sensibile per le imbarcazioni, ad esempio i catamarani, dotate di una

intrinseca instabilità di rotta, peraltro esaltata dalla presenza di onde, anche non molto alte. Nella figura che segue si riporta il tracciato della velocità di un catamarano di 40 metri, in cui si può notare come le variazioni della velocità (curva superiore) non si possano tutte attribuire alla variazione della rotta (curva inferiore). Si nota altresì la difficoltà di mantenere una rotta stabile per questo tipo di imbarcazioni.

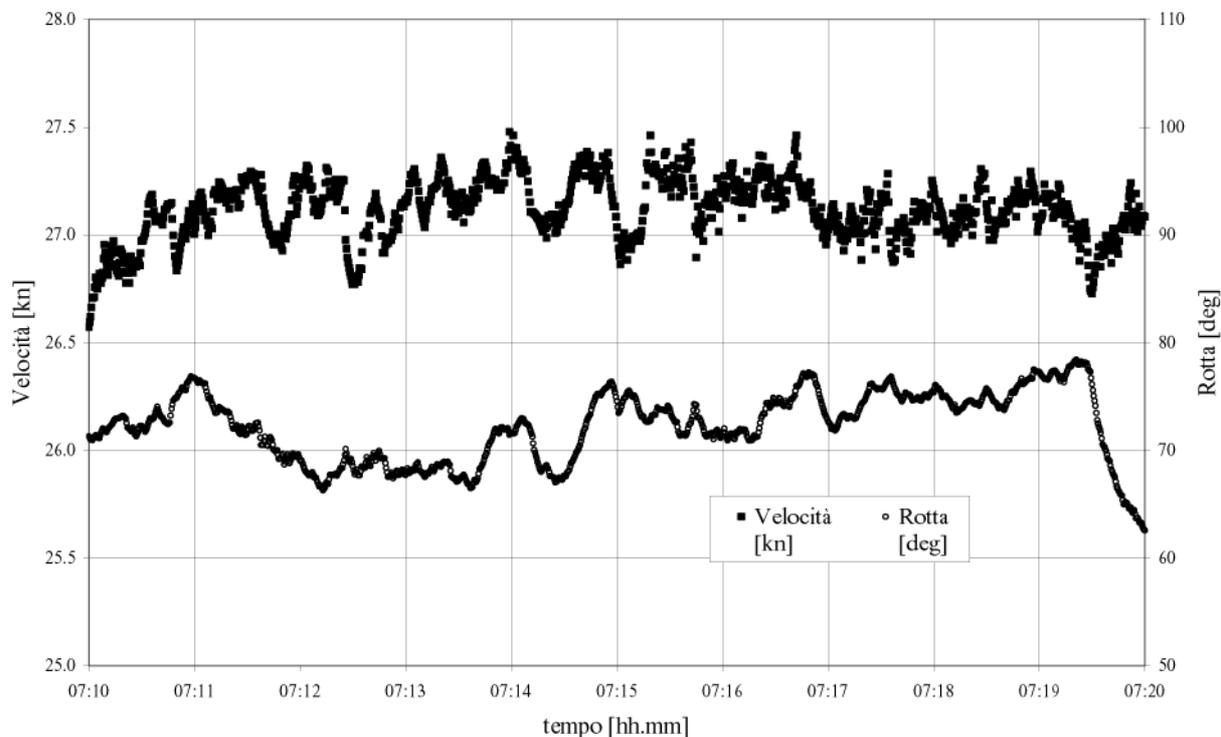


Fig. 2 – Tracciato di velocità e rotta

È chiaro che solo con i moderni sistemi di acquisizione dati è possibile osservare in dettaglio la misura ed ottenere utili indicazioni sulla sua qualità.

3. LA VALUTAZIONE DEL DISLOCAMENTO

Ai fini di una corretta correlazione con i dati vasca è necessario determinare il dislocamento dell'imbarcazione alle prove in mare. Nel caso delle imbarcazioni mercantili generalmente non si riesce ad ottenere alle prove il dislocamento di progetto (la quantità di merce che la nave poi dovrà trasportare non è generalmente disponibile all'atto delle prove), per cui è necessario disporre delle prove in vasca al dislocamento di progetto e procedere per estrapolazione.

Per le navi si rilevano le quote delle marche di immersione; ciò viene fatto in porto, con acqua possibilmente calma e l'errore di valutazione dell'immersione che si commette è dell'ordine del centimetro. Stante le grosse dimensioni della nave questa incertezza non conduce ad un grosso errore sul valore del dislocamento, comunque non tale da influenzare in maniera significativa la valutazione della resistenza al moto.

Per le imbarcazioni da diporto la determinazione del dislocamento effettivo pone problemi maggiori; generalmente le marche di immersione non sono presenti, a meno di non trovarsi di fronte a barche di una certa dimensione. D'altro canto, anche se fossero presenti, l'errore che si viene a commettere sarebbe comunque considerevole date le dimensioni minori dell'imbarcazione (la quale, proprio in ragione delle ridotte dimensioni, oscilla maggiormente sommando i propri moti alle variazioni del pelo libero).

Gli autori hanno ottenuto una minore incertezza effettuando la lettura con una videocamera, in maniera da apprezzare la lettura con maggiore tranquillità avendo inoltre la possibilità di visionare

più volte la stessa sequenza.

Quando le marche non sono presenti la determinazione può essere fatta valutando la distanza dall'acqua di alcuni punti fissi disposti sulla murata, al cui posizione deve essere comunque attentamente valutata all'atto della costruzione o con barca a secco.

La limitata grandezza delle imbarcazioni rende però percorribile la via più diretta alla determinazione del peso di una imbarcazione, cioè l'utilizzo di gru dotate di cella di carico; esistono cantieri dotati di gru in grado di sollevare e misurare il peso di imbarcazioni fino a 500 tonnellate.

La misura del peso rappresenta un problema centrale nella valutazione delle prestazioni delle imbarcazioni da diporto; spesso infatti le modifiche e le dotazioni extra inserite durante la costruzione determinano un incremento di peso il cui effetto è il mancato raggiungimento delle prestazioni attese anche con carene ben disegnate e ben progettate.

4. LA MISURA DELL'ASSETTO

Per le imbarcazioni da diporto, che nella maggioranza dei casi sono a parziale o totale sostentamento idrodinamico, riveste grande importanza la misura dell'assetto longitudinale assunto dall'imbarcazione alla velocità di regime. Infatti l'assetto che generalmente si misura in mare è generalmente maggiore, per fattori di diversa natura, di quello che si rileva nelle corrispondenti prove in vasca. Tale misura, che si effettua con inclinometri basati su vari principi di funzionamento, non pone particolari problemi se lo strumento viene posizionato in zone esenti da vibrazioni. È inoltre preferibile che l'imbarcazione non sia affetta da moti di rollio o beccheggio, che possono avere una certa influenza sulla misura ed aumentare la sua incertezza.

5. LA MISURA DELLA POTENZA

Per completare il quadro delle misure relative alle prestazioni idrodinamiche è necessario rilevare la potenza assorbita dal propulsore. Questa è certamente la più complessa tra le principali misure effettuabili a bordo di una imbarcazione, sia perché richiede l'utilizzo di una strumentazione di non banale installazione, sia perché si tratta di una misura derivata.

Proprio a causa di queste caratteristiche molto spesso si risale alla potenza erogata dal motore a partire dai suoi parametri di funzionamento, quali temperature dei gas di scarico, temperatura e pressione dell'aria, numero di giri delle turbine, posizione delle pompe del combustibile ed eventualmente consumi. Una volta rilevati questi dati li si confronta con quelli delle prove al banco. Tale procedura presenta il vantaggio di essere molto semplice e di non richiedere altra strumentazione al di fuori di quella generalmente installata sui motori. Va però sottolineato che essa fornisce una valutazione molto grossolana della potenza. Tale misura, pur essendo comunque molto utile per stabilire che il sistema motore-elica lavori in un campo di funzionamento accettabile, assolutamente non fornisce un valore di potenza sufficientemente accurato per effettuare considerazioni di tipo idrodinamico.

Infatti le prove al banco sono condotte secondo standard che sono quelli ottimali per il funzionamento di un motore, ma sono raramente riproducibili a bordo di una imbarcazione.

Per esempio, la temperatura e l'umidità dell'aria di alimentazione che il motore incontra a bordo saranno certamente diverse da quelle (che rispondono a precisi standard) che si realizzano in cella di prova.

Inoltre non sempre è disponibile l'intero piano quotato del motore, ma di solito i punti di prova sono individuati secondo una curva di potenza cubica tracciata teoricamente a partire dalla potenza di progetto. Poiché molto spesso i parametri del motore relativi al reale punto di funzionamento in prova non sono coincidenti con quelli delle prove al banco, si ricorre ad interpolazioni che abbassano ulteriormente la qualità della valutazione.

Per avere dati di potenza che consentano di effettuare significative correlazioni vasca-mare risulta quindi necessario procedere ad una misurazione diretta della potenza.

È ben noto come la potenza sia fornita dal prodotto della coppia per il numero di giri.

Quest'ultimo è rilevabile utilizzando dei pick-up magnetici affacciati su risalti realizzati sull'asse di propulsione. Tali sensori sono dispositivi economici e di facile installazione. In alternativa è

possibile effettuare la misura anche utilizzando sensori di tipo ottico. La precisione di queste misurazioni dipende dalla scheda counter utilizzata per l'acquisizione ed in particolare dalla frequenza del clock installatovi.

La misurazione della coppia pone invece problemi un po' più complessi; essa va ottenuta misurando la deformazione torsionale dell'asse tramite estensimetri. Il segnale rilevato dal condizionatore del ponte estensimetrico, che ruota con l'asse, deve essere trasmesso al sistema di acquisizione fisso. Per far ciò si utilizza un sistema di trasmissione in modulazione di frequenza. Dato che gli assi delle imbarcazioni da diporto hanno velocità di rotazione di circa 1000 rpm, l'elettronica è soggetta a forti sollecitazioni meccaniche, che vengono ridotte diminuendo le dimensioni degli strumenti. Esistono in commercio misuratori di coppia molto compatti e di costo relativamente contenuto che ben si prestano all'installazione sugli assi di piccolo diametro caratteristici di questa tipologia di imbarcazioni.



Fig. 3 – Moderno torsionmetro

L'incollaggio dell'estensimetro necessita di particolare cura, dato che l'allineamento della rosetta influenza la misura della deformazione; anche la saldatura dei connettori richiede una certa perizia per evitare che la prova fallisca per il distacco di un filo.

La principale incertezza nelle misure di coppia è però rappresentata dalla difficoltà di determinare il modulo di elasticità trasversale dell'asse G .

È noto infatti che tale valore è la costante di proporzionalità tra il momento torcente e la deformazione dell'asse e dipende sia dal modulo di elasticità E che dal modulo di Poisson ν secondo la relazione

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Sfortunatamente non per tutti i tipi di acciai impiegati nella costruzione degli assi navali è disponibile un valore sufficientemente accurato di G , dato che le case produttrici non sempre lo forniscono. Nei casi in cui è perlomeno nota la composizione metallografica del materiale si può utilizzare il valore del modulo dell'acciaio più simile. Allo scopo di mostrare l'influenza che la tipologia di materiale ha sui valori delle caratteristiche elastiche, nel seguito è mostrata una tabella (ovviamente molto limitata) con i valori di E , ν e G di alcuni tipi di acciai di comune impiego per la realizzazione di assi di imbarcazioni da diporto.

Tab. 1 – Caratteristiche di alcuni acciai di impiego navale

Tipo Acciaio	E [Mpa]	ν	G [Mpa]
Aquamet 17	200600	0.291	77700
Aquamet 18	199200	0.290	78500
Aquamet 19	199949	0.295	76140
Aquamet 22	199000	0.312	72900

Si può notare come la variazione del modulo di elasticità tangenziale **G** fra i tipi di acciaio riportato in tabella sia abbastanza rilevante, nell'ordine del 7 %.

In realtà il valore di **G** non dipende solo dalle caratteristiche fisiche del materiale, ma in qualche misura anche dai processi di lavorazione che esso ha subito.

Il posizionamento dell'estensimetro ha una certa importanza: è noto infatti che l'andamento delle linee di forza è influenzato dalle discontinuità geometriche dell'asse. La teoria consiglia di sistemare il punto di misura ad una distanza pari ad almeno due diametri dalla discontinuità.

La figura che segue è relativa ad una sistemazione abbastanza agevole della strumentazione per la misura di coppia e giri su uno dei due assi di una imbarcazione di circa 23 metri. Si notano in particolare a sinistra il pick-up per la misurazione dei giri, a destra quello per la rilevazione del segnale radio dal torsiometro.



Fig. 4 – Installazione di un sistema di misura della potenza

Sfortunatamente non sempre è possibile disporre dello spazio necessario a sistemare l'estensimetro ad una distanza sufficientemente grande dalle discontinuità. Nella figura che segue si nota come la ridotta porzione di asse disponibile tra l'accoppiatoio e la tenuta di un idrogetto non consente di sistemare il punto di misura secondo quanto consiglia la teoria.



Figura 5 – Installazione di un estensimetro in spazi ristretti

In questi casi, per ridurre l'incertezza, si potrebbero realizzare dei calcoli FEM per valutare l'entità perlomeno qualitativa dell'errore commesso.

La soluzione ideale per migliorare la qualità delle misure di coppia sarebbe quella di eseguire una prova statica sull'asse in esame o per lo meno su un campione di dimensioni minori dello stesso materiale (e dalla stessa forma) nel caso le dimensioni rendessero tale prova problematica. Per far ciò è necessario dotarsi di un dispositivo in grado di realizzare staticamente la coppia voluta tramite martinetti idraulici con celle di carico interposte, facendo però attenzione a non generare sforzi di flessione nell'asse.

Una prova di questo tipo veniva eseguita spesso in passato su assi di navi di dimensioni maggiori, soprattutto della marina militare, fornendo dati per la costituzione di una statistica di un certo rilievo.

Anche nella misurazione della coppia l'acquisizione di dati ad una elevata frequenza di campionamento fornisce maggiori indicazioni sullo stato tensionale dinamico dell'asse, permettendo di rilevare la presenza di oscillazioni flessionali o torsionali.

Nella figura che segue, in cui in funzione del tempo (espresso in secondi) è riportata la misura di coppia (in Nm) eseguita su un aliscafo, si può notare la presenza, soprattutto a regime, di un forte rumore.

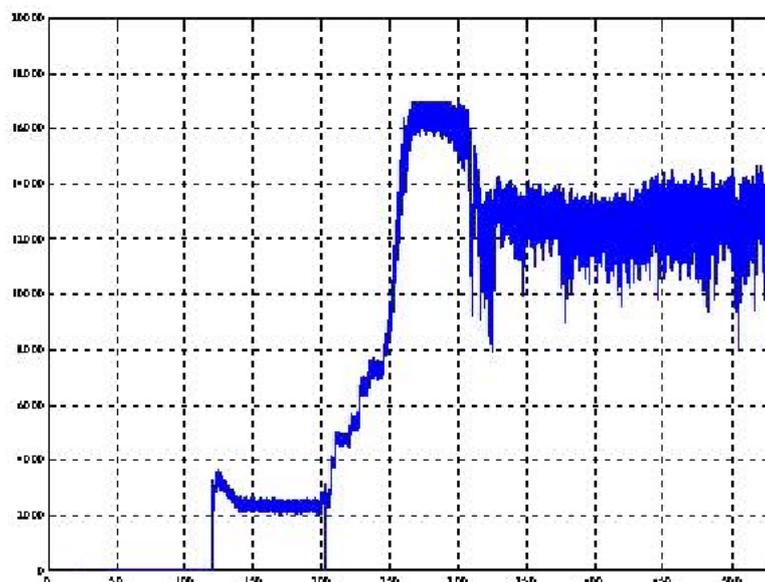


Fig. 6 – Rilievo di coppia (Nm – s)

In realtà il rumore ha componenti armoniche ben definite ed è dovuto alla presenza di vibrazioni flessionali dovute alla forte inclinazione dell'asse; nello spettrogramma che segue appaiono chiaramente i tracciati della componente fondamentale, che ha il valore del numero di giri espresso in Hz e delle armoniche successive.

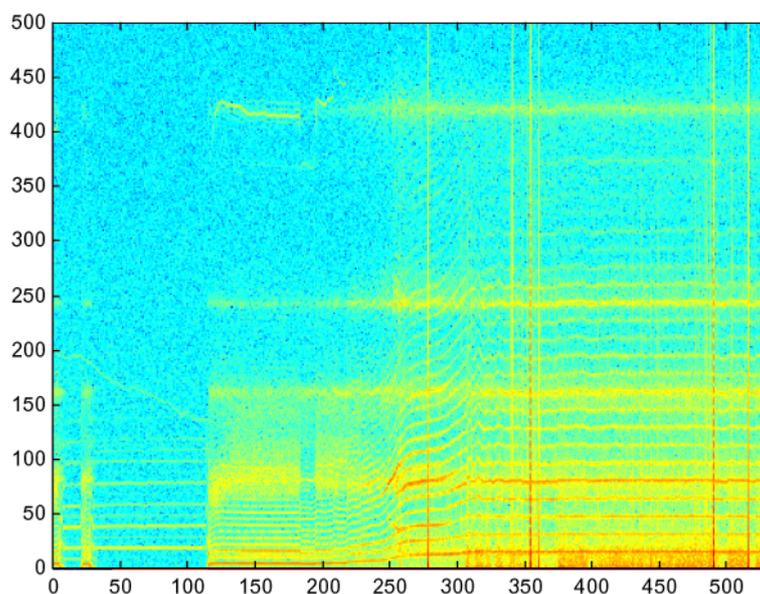


Fig. 7 – Spettrogramma del segnale precedente

6. ALTRE TIPOLOGIE DI MISURE

Accanto alla misura di velocità e potenza, che sono i dati che hanno maggiore interesse per gli architetti navali, negli ultimi anni si stanno affermando misurazioni che hanno come scopo la valutazione dei requisiti di comfort a cui gli utenti delle imbarcazioni da diporto prestano sempre maggiore attenzione. Certamente la tenuta al mare è una delle caratteristiche che più determinano il livello di comfort per i passeggeri di barche da diporto, come dimostra la tendenza attuale ad installare sistemi attivi di contenimento dei moti anche su imbarcazioni di grandezza limitata. La verifica dell'efficacia di tali sistemi, la cui applicazione oltre ad avere un certo costo può determinare anche un incremento della resistenza al moto, può essere fatta o in maniera qualitativa oppure utilizzando sensori di accelerazione e di velocità angolare, disponibili sul mercato, la cui affidabilità è oggi certificata.

È chiaro che una indagine più accurata necessita di una valutazione meno soggettiva dello stato del mare, ottenibile tramite boe ondometriche che peraltro sono installate in alcune aree.

Ulteriori misure richieste per asseverare il comfort dell'imbarcazione sono quelle di emissioni acustiche e di vibrazioni. In questo caso si utilizzano fonometri ed accelerometri; si tratta di misure molto delicate essendo molte le fonti di possibili immissioni sonore presenti a bordo delle imbarcazioni. Negli ultimi tempi si sta studiando anche il problema del rumore idrodinamico ossia di quello dovuto all'interazione tra il flusso idrodinamico sulla carena e la struttura, particolarmente evidente con le imbarcazioni veloci realizzate in alluminio.

Infine tra le misure che è possibile effettuare sulle imbarcazioni da diporto vanno annoverate quelle dei gas di scarico. Il problema delle emissioni è stato affrontato da una recente normativa europea, che però si applica ai motori al banco. L'esecuzione di prove al vero ha un certo interesse scientifico perché potrebbe servire a caratterizzare meglio l'effettivo impatto che tali emissioni hanno sull'atmosfera e contribuire al dibattito sull'opportunità o meno dell'introduzione di una tale normativa, da molti giudicata eccessivamente severa. Va detto che ancor più che nel campo terrestre la misura al vero degli inquinanti pone problemi molto seri. Analizzatori di qualità sono generalmente ingombranti e delicati, per cui si deve ricorrere a strumenti trasportabili ma meno precisi. Inoltre nei motori di taglia ridotta il condotto di scarico è raffreddato ad acqua per cui non è

possibile effettuare la misurazione. Infine l'ambiente di prova, caratterizzato da una alta umidità, altera la misura degli inquinanti, che vanno correlati alla effettiva potenza erogata. Tutto ciò rende la valutazione delle emissioni sul campo un argomento abbastanza ostico.

7. CONCLUSIONI

Da quanto esposto appare chiaro come gli autori ritengano l'esecuzione delle prove in vera grandezza un fondamentale momento per lo sviluppo e l'ampliamento della conoscenza in un settore, quello delle barche da diporto, caratterizzato da una fortissima diversificazione per tipologia di scafi, materiali di costruzione, sistemi di propulsione.

La validità di queste prove è però fortemente condizionata dalla qualità della misura.

Migliorare l'attendibilità dei dati rilevati non è oggi particolarmente oneroso. Risultati ottimi sono stati raggiunti promovendo una stretta collaborazione fra progettisti, costruttori e responsabili delle prove. In particolare è sicuramente molto importante allestire gli impianti di propulsione delle imbarcazioni di nuova costruzione realizzando piccoli accorgimenti, sicuramente non onerosi, che consentono una agevole applicazione di strumenti e la riduzione del rumore della misura.

I più attendibili risultati così ottenuti determinando un reale controllo della qualità del prodotto, assicurano ad un tempo sia prospettive di sviluppo del prodotto stesso sia una promozione dell'immagine del costruttore.

BIBLIOGRAFIA

[1] S. A. Harvald, "Resistance and Propulsion of Ships" – John Wiley & Sons, 1983

[2] "Guide for Sea Trials" – T&R Bulletin 3-47, SNAME, 1989.

[3] F. Balsamo, S. Miranda, C. Pensa, F. Quaranta, "Analysis of the operations of a catamaran in service in the Neapolitan gulf; comparison between full scale trials and towing tank tests" - Seventh International Conference On Fast Sea Transportation FAST 2003, Ischia, September 2003