Estratto da

IL MANUALE DEL LAGUNANTE

guida pratica per l'operatore professionale ed il diportista

Venezia e la sua laguna sono uniche al mondo per tante ragioni: per l'arte, per la storia, per l'influsso che hanno esercitato ed esercitano ancora sullla fantasia dei popoli di tutto il mondo. Ma soprattutto Venezia e la sua laguna sono uniche anche perché tutto quanto altrove si muove, si trasporta e si diverte sull'asfalto, qui è invece sull'acqua. Vogliamo tutti muoverci trasportare e divertirci, ma qui, facendolo senza ritegno, distruggiamo quanto di bello ci sta d'attorno.

Senza il conoscere e senza il sapere, distruggiamo qualcosa che deve poter appartenere anche ai nostri figli e nipoti, ma soprattutto una realtà che è la ricchezza storica e materiale di questa città unica al mondo, e dei cittadini che ci vivono e ci lavorano. Qualcosa che il resto del mondo ci invidia, per non saperne abbastanza viene distrutto. Il sapere permette invece di apprezzare anche di più questa città e questa laguna, tanto diverse dal resto del mondo, ed esserne più orgogliosi e gelosi custodi.

Il Commissario delegato al traffico acqueo nella laguna di Venezia non poteva quindi non apprezzare le iniziative della Provincia e del Comune di Venezia, hanno da tempo avviato azioni per contribuire, nell'ambito dei suoi compiti istituzionali, a sviluppare una maggiore consapevolezza del ruolo che ogni cittadino deve avere per il proprio territorio.

Far conoscere ad operatori professionali, semplici diportisti ed appassionati che questi sono luoghi speciali, che la loro fragilità va rispettata, che le loro qualità nascoste vanno evidenziate e non saccheggiate: questo è lo scopo del 'Manuale del lagunante' di cui questo estratto raccoglie alcune parti.

Il Commissario delegato del Governo per il traffico acqueo nella Laguna di Venezia ha quindi sostenuto questa ed altre iniziative, contribuendo a pubblicare un estratto del "Manuale per la Navigazione Lagunare" che è stato messo a punto con questo preciso obiettivo: un manuale che non può certamente risolvere tutti i problemi della Laguna, ma dare positivo contributo per aumentare la consapevolezza delle scelte da parte sia dell'operatore professionale, che in Laguna di Venezia ed in Venezia vive quotidianamente, sia del diportista.

Dare un po' di maggior conoscenza, insomma, di quanto i cattivi comportamenti del singolo possono danneggiare l'ambiente ed il proprio prossimo, e di come la tutela della laguna non sia qualcosa a cui devono pensare solo gli amministratori pubblici.

Il vero problema resta quello di adattare le esigenze della vita moderna, di giorno in giorno più minacciose, alla unicità della Laguna e della città di Venezia: riuscirci è possibile anche diffondendo anche semplici informazioni, ma soprattutto rafforzando la convinzione generale che la loro tutela è un problema che coinvolge tutti.

Prof. Paolo Costa

Commissario del Governo Delegato al
Traffico Acqueo nella Laguna di Venezia e
Sindaco di Venezia

Anche se fosse un semplice strumento culturale meriterebbe un posto nella nostra personale biblioteca: perché aiuta a "leggere" la laguna come realtà geo-morfologica particolare, la sua storia evolutiva dalle origini ai nostri giorni, la meteorologia, la toponomastica, la rete dei canali navigabili; il regime della navigazione lagunare, del moto ondoso, delle carene, delle propulsioni e delle regole pratiche della navigazione in acque limitate.

Ma, oltre a questo, è un formidabile strumento di lavoro, di cui, io credo, non solo gli operatori ma anche i diportisti occasionali avvertivano ed avvertono il bisogno, quanto meno perché raccoglie e sistemizza in un unico volume un lavoro finora sparso in mille rivoli, non facilmente rintracciabili.

Quanto più cresce in noi la coscienza dell'inderogabile necessità di difendere la nostra terra, che deve fare i conti anche con gli effetti deleteri e non solo positivi dello sviluppo econimoc, tanto più si avverte la necessità di trattare con crescente delicatezza il bene prezioso della natura e di ambienti singolari come la laguna.

Rispettare al massimo quanto abbiamo ricevuto in eredità e dobbiamo lasciare alle future generazioni, anche oltre lo spirito della norma o degli accordi internazionali(Summit di Rio de Janeiro, di Johannesburg etc.) in alcuni casi è istintivo, ma come spesso capita ed è storia nelle umane vicende occorre stabilire delle regole certe e farle rispettare anche attraverso sanzioni, per impedire che un bene di tutti sia compromesso dall'ignoranza, dall'incuria o peggio ancora dalla prepotenza di taluni.

Certo, in uno Stato civile e democratico non basta la semplice affermazione che le leggi per definizione non ammettono ignoranza e quindi vanno rispettate, occorre anche svolgere una straordinaria e continua opera di informazione ed educazione alla legalità ed alle tematiche che la legalità tratta o dovrebbe trattare, come il rispetto dell'ambiente, della salute, degli altri, etc.

A questo compito le Pubbliche Amministrazioni devono adempiere e quando non vi riescono devono porsi interrogativi enormi da far passare notti insonni.

L'Amministrazione Provinciale, in collaborazione con il Comune di Venezia, ha ipotizzato, voluto e sostenuto la realizzazione dell'opera, che certamente come ogni cosa umana è perfettibile ed anzi si sottopone al giudizio dei lettori ed operatori anche per ricevere consigli non tanto e

non solo per migliorare un'eventuale seconda stesura, quanto e soprattutto per evidenziare e contribuire, gradatamente e tutti insieme, ad eliminare incertezze e risolvere contraddizioni legislative e regolamentari ancora presenti nelle relative problematiche, nonostante i tentativi di sistemazione della materia operati dalla Provincia di Venezia dal 1998 a partire dall'approvazione del Regolamento per la Navigazione nella Laguna Veneta.

E' già motivo di orgoglio non solo per le Amministrazioni, ma anche per gli autori dell'opera aver constatato che anche il Commissario Straordinario al moto ondoso abbia ritenuto il lavoro degno di plauso e di sostegno finanziario.

Renato Gorgoni

Assessore Prov.le alla Mobilità e Territorio.

Commissario del Governo
Delegato al Traffico Acqueo
nella Laguna di Venezia

Moto Ondoso

PROVINCIA DI VENEZIA
Settore Mobilità e Trasporti

COMUNE DI VENEZIA

Estratto a cura dell'Ufficio del Commissario di Governo dal "Manuale del lagunante – Guida pratica del diportista e dell'operatore professionale ", del Settore Trasporti e Mobilità della Provincia di Venezia.

sommario dell'estratto da

IL MANUALE DEL LAGUNANTE

guida pratica per l'operatore professionale ed il diportista

REGOLE E SEGNALI PER NAVIGARE IN LAGUNA **9**

REGOLE PRATICHE DI NAVIGAZIONE LAGUNARE 10

NO ALL'INQUINAMENTO 10

INQUINAMENTO DI ACQUA E ARIA 10

INQUINAMENTO DA RUMORE 11

INQUINAMENTO DA EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE 11

NORME DI NAVIGAZIONE 11

DOMANDE E RISPOSTE 20

I NUOVI SEGNALI INTRODOTTI DALLA PROVINCIA DI VENEZIA 26

INFORMAZIONI UTILI 41

LA LAGUNA ED IL MOTO ONDOSO **43**

CENNI STORICI E MORFOLOGICI SULLA LAGUNA 45

LA RETE DEI CANALI NAVIGABILI 49

BACINO DI LIDO 56

BACINO DI MALAMOCCO 57

BACINO DI CHIOGGIA 58

IL PROBLEMA DEL MOTO ONDOSO IN GENERALE 60

MOTO ONDOSO NATURALE E ARTIFICIALE 62
MOTO ONDOSO IN ACQUE PROFONDE ED IN ACQUE BASSE 63
MOTO ONDOSO IN ACQUE CONFINATE 66
MOTO ONDOSO PRODOTTO DALLA NAVIGAZIONE 67
EFFETTI DEL MOTO ONDOSO SULL'AMBIENTE 71
RESISTENZA D'ONDA E VELOCITÀ CRITICA 76
INTERFERENZA TRA SCAFO E FONDALI LIMITATI 82
LA VELOCITÀ CRITICA NEI CANALI LAGUNARI 83
LO SQUATTING 86
INTERFERENZA TRA SCAFO E SPONDE DEI CANALI 88
LA VELOCITÀ DI SATURAZIONE NEI CANALI URBANI 91
MISURE AL VERO E SU MODELLO 94

REGOLE E SEGNALI PER NAVIGARE IN LAGUNA

Regole pratiche di navigazione lagunare

Per familiarizzare con le principali regole di navigazione nella laguna veneta, in qualche caso differenti dalla normativa generale valida per la navigazione in mare, la Provincia di Venezia ha prodotto nel 1999 un estratto del proprio regolamento intitolato "***SCOPRI CON BRICCOLINO LE NUOVE REGOLE PER NAVIGARE BENE***", che è stato distribuito gratuitamente alle istituzioni pubbliche (istituti scolastici, etc.), organizzazioni (associazioni diportistiche, professionali, sindacali, di categoria, etc.) e imprese (scuole nautiche, agenzie di pratiche nautiche, imprese di trasporto lagunare di persone e cose, cantieri e marine, etc.) che svolgono attività strettamente connesse alla pratica della navigazione lagunare, e anche a chiunque lo avesse richiesto alla Provincia.

Viene riportato di seguito un estratto aggiornato del ***Briccolino***, mentre nel capitolo successivo sono proposte una serie di *domande e risposte* su argomenti di utilità pratica per gli operatori della navigazione.

No all'inquinamento: motori puliti, manutenzione periodica e niente spargimenti in acqua.

La legge speciale per Venezia prevede che alle barche a motore che navigano nella laguna si applichino le norme antinquinamento valide per gli autoveicoli.

Inquinamento di acqua e aria

È essenziale contenere al massimo l'emissione d'inquinanti sia nell'aria che nell'acqua, in particolare da carburante, da scarico della combustione, da oli lubrificanti, per chi usa barche a motore: quindi bisogna mantenere sempre

in perfetta efficienza i motori, e fare molta attenzione nelle fasi di rifornimento e manutenzione.

Inquinamento da rumore

Viene indicato un limite massimo per il rumore di 72 dB(A) da misurare con una metodologia definita.

Inquinamento da emissioni elettromagnetiche

I radar devono essere disattivati o posti in stand-by mentre si transita nei canali cittadini, e quando non si naviga.

Rispettare la segnaletica proprio come sulle strade

Nel 2001 è stata elaborata una segnaletica specifica per la navigazione lagunare, ormai in corso di installazione. Ad oggi quindi non sono più utilizzati i vecchi cartelli segnaletici, analoghi a quelli stradali. Possono essere usati anche i semafori.

In particolare, ***i limiti di velocità sono espressi in chilometri all'ora***, non in nodi o miglia all'ora, come espressamente indicato.

I canali lagunari sono segnalati lateralmente da pali di legno o calcestruzzo singoli (***mede***) o a gruppi (generalmente costituiti da tre pali), della stessa lunghezza. Le imboccature dei canali sono segnalate da gruppi di pali d'ugual lunghezza con il palo centrale più lungo (***dame***). I pali o i gruppi prendono in generale il nome di ***briccole***. Il regolamento provinciale codifica le indicazioni da apporre su pali e briccole che delimitano i canali lagunari: una targa bianca posta sul lato della navigazione, targhe rosse (sulla sinistra) e verdi (sulla destra) sulle dame che ne segnano l'imboccatura, unitamente a riflettori radar per migliorarne l'identificazione in tempo di nebbia.

Sono previste anche fasce riflettenti bianche sulle boe.

I pali e i gruppi portano quindi un rettangolo colorato (bianco, rosso o verde) con i seguenti significati:

- ***rettangolo bianco***: navigare tenendo presente che il canale si trova sul lato del palo verso cui è spostato il rettangolo rispetto al centro del palo stesso, mentre nel caso di gruppo il rettangolo viene applicato al palo che delimita l'interno del canale – tenersi ove possibile ad almeno tre metri di distanza dal palo;
- ***rettangolo verde***: navigare tenendo il palo sulla destra;
- ***rettangolo rosso***: navigare tenendo il palo sulla sinistra.

La stessa regola dei colori vale in caso di segnalazioni di passaggi sotto arcate di ponte o altri passaggi multipli e stretti.

Non sovraccaricare la barca, il trasporto di cose altrui deve essere autorizzato

Le barche da trasporto per conto terzi devono essere iscritte nel registro dell'Ispettorato di Porto (sigla 6V) e devono essere autorizzate dal Comune, che rilascia una targa rettangolare gialla con lo stemma e il numero progressivo dell'autorizzazione. Le barche non vanno mai sovraccaricate, e comunque va lasciato sempre un bordo libero di almeno trenta centimetri, misurato dal trincarino.

Navigando nei canali cittadini, le barche da trasporto merci non devono creare problemi al traffico in relazione al carico e alle basse o alte maree, restando in secca o bloccati dai ponti.

Non si possono inoltre fare trasbordi di materiali tra barche se ciò comporta problemi al transito nel canale, o se si tratta di merci pericolose o rifiuti e di materiali sfusi, in questo caso a meno di stendere un telo impermeabile per evitare che parte del carico possa disperdersi in acqua.

Rispettare i limiti di velocità! per limitare il moto ondoso e non prendere multe

In laguna esistono precisi limiti di velocità, sia generali per tutte le barche, sia particolari per determinati tipi[1]. Il limite di velocità, dove è segnalato, è indicato in ***chilometri all'ora***, non in nodi o miglia orarie, e deve essere rispettato da tutte le barche, esclusi eventualmente i battelli di linea.

Il ***limite generale e assoluto***, per tutte le barche, anche per i battelli di linea, in tutta la laguna è fissato in ***20 km/h***, anche ove non esista specifica indicazione.

In alcuni canali lagunari esiste un limite di ***11 km/h***: il canale che costeggia tutta Venezia a nord dallo sbocco del Canale di Cannaregio sino all'estremità dell'Arsenale, il canale che costeggia tutta l'isola di Sant'Erasmo dalla Torre Massimiliana al Capannone sino alla Punta a Nord.;

Nella maggioranza dei canali lagunari che passano attraverso le barene o nei tratti che costeggiano isole minori il limite è di ***7 km/h***;

In alcuni canali lagunari minori a nord di Torcello il limite è ulteriormente ridotto a ***5 km/h***, per problemi di conservazione ambientale;

A Venezia, nei canali interni principali (Canal Grande, Canale di Cannaregio) il limite è di ***7 km/h***, negli altri canali della città e delle isole della Giudecca e del Lido il limite è di ***5 km/h***;

A Murano, nel principale canale interno (Canal Grande) il limite è di ***7 km/h***, negli altri canali interni è di ***5 km/h***: nei canali esterni circostanti il limite è di ***7 km/h***;

A Burano, il limite nei canali esterni è di ***7 km/h***, tranne il tratto tra Torcello

---

[1] *In alcuni casi i battelli in regolare servizio di linea (Linee ACTV, linee Alilaguna Aeroporto-Murano-Lido-Arsenale-S.Marco-Zattere e Tessera-Fondamenta Nuove, linea Fusina-Zattere, linea Fusina-Alberoni) sono autorizzati a navigare con velocità superiori.*

e Burano in cui il limite è di ***11 km/h***, nei canali interni il limite è di ***5 km/h***.

La violazione dei limiti di velocità è sanzionata piuttosto pesantemente, e prevede anche il fermo amministrativo dell'imbarcazione.

Inoltre è possibile incorrere nella violazione generica della sicurezza della navigazione: Art. 1231 Cod. Nav: Inosservanza di norme sulla sicurezza della navigazione: *"Chiunque non osserva una disposizione di legge o di regolamento ovvero un provvedimento legalmente dato dall'autorità competente in materia di sicurezza della navigazione è punito, se il fatto non costituisce un più grave reato, con l'arresto fino a tre mesi ovvero con l'ammenda fino a euro 206."*

Navigare nella posizione corretta nei canali! …non intralciare il passaggio e rispettare le barche a remi

Quando si naviga nelle acque lagunari bisogna fare molta attenzione nel rispettare la corretta posizione da tenere, perché questa varia a seconda del tipo di canale percorso. Questa è una disposizione importante che pochi conoscono e pochissimi rispettano.

Quando si tiene la destra:

Nei canali lagunari la regola generale per le ***barche a motore*** è di navigare nella ***parte centrale*** del canale, almeno a tre metri di distanza da briccole e sponde, mantenendosi ***alla destra della linea di mezzo***, e tenendo sempre la destra in caso di incrocio con altre barche; le ***barche a remi*** navigano tenendosi ai lati, e possono tenere ***la destra o la sinistra*** per godere delle ***condizioni di voga più favorevoli***.

Solo nei tre canali urbani principali, interni alla città, le regole sono le stesse: nel Canal Grande di Venezia, nel Canale di Cannaregio e nel Canal Grande

di Murano le barche a motore navigano nella parte centrale del canale, tenendo sempre la destra in caso di incrocio con altre barche; le barche a remi navigano tenendosi ai lati, e possono tenere la destra o la sinistra per godere delle condizioni di voga più favorevoli.

A destra si naviga anche nei canali che, pur essendo interni al perimetro urbano, sono soggetti all'Autorità Portuale: il Canale Scomenzera e il Canale dei Lavraneri tra la Giudecca e Sacca Fisola.

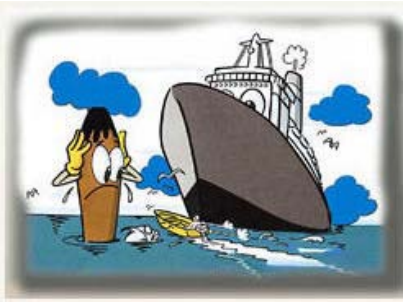
Quando si tiene la sinistra:

In tutti gli altri canali urbani interni, più stretti, la regola generale è che ***tutte le barche***, sia a motore che a remi, devono navigare ai lati tenendo ***la sinistra***. È una regola poco rispettata, in quanto introdotta a metà anni '90 dopo un lunghissimo periodo in cui la navigazione è stata regolata a destra per le sole barche a motore, tranne che in Rio Nuovo, in cui le barche hanno sempre tenuto la sinistra.

Deroghe ai sensi unici e ai divieti di transito a motore

Le barche a remi possono anche navigare contromano nei canali a senso unico; le barche a motore possono navigare nei canali riservati alle barche a remi solo se hanno una concessione di spazio acqueo in quel canale.

Dare sempre la precedenza!...per evitare gli abbordi usare sempre la massima prudenza



La regola generale prevede la precedenza a destra. Tuttavia la barca che si immette lateralmente in un canale deve dare sempre la precedenza alle barche che vi navigano, e tutte le barche devono comunque dare la precedenza alle navi marittime in movimento negli ambiti portuali. Nei canali e negli ambiti portuali le barche che li attraversano devono dare la precedenza alle barche che vi navigano.

Tutte le barche devono dare la precedenza ai battelli del servizio di linea e

non devono attraversarne la rotta o intralciare le manovre di approdo. In Canal Grande, la precedenza assoluta su qualsiasi barca, compresi i battelli in servizio di linea, l'hanno le gondole dei servizi di traghetto.

Segnalare i sorpassi e se sorpassati rallentare ed agevolare il passaggio

Il sorpasso, dove è possibile per la visibilità e ove non provengano barche in senso opposto che possano creare intralcio alla manovra, deve essere segnalato con un colpo di clacson (sorpasso a destra) o due colpi di clacson (sorpasso a sinistra). Il conducente della barca sorpassata non deve ostacolare la manovra di sorpasso, anzi deve rallentare per agevolarla.

Attenzione agli incroci nei canali cittadini… moderare la velocità e segnalare

C'è l'obbligo generale, anche per chi ha la precedenza, di avvicinarsi agli incroci con la massima prudenza, particolarmente all'interno della città, dove la visibilità è molto ridotta per la presenza di edifici. In ogni caso in cui ci sia poca visuale libera, segnalare la propria presenza con la voce, con il clacson o, di notte, con i fanali.

Luci e fanali sempre in ordine…subito accesi con poca luce o nebbia

I fanali e le luci vanno accesi al tramonto e possono essere spenti all'alba. Le luci previste sono quelle indicate dal regolamento per prevenire gli abbordi in mare, in particolare le barche a remi devono portare una luce bianca visibile da tutti i lati. Le barche a motore devono portare le luci regolamentari se possono superare i 7 nodi di velocità massima.

Segnalare i cambi di direzione!…avvisare per tempo le barche che seguono

In barca, non disponendo di segnalazioni specifiche per il cambio di direzione o il rallentamento, si deve segnalare con gesti le proprie intenzione di cambiare rotta o velocità. I rematori che si avvicinano a un incrocio in città devono gridare "*a stagando*" per indicare l'intenzione di svoltare a destra, "*a premando*" per svoltare a sinistra, "*de longo*" per proseguire diritti.

Limitare sempre i rumori ed evitare quelli inutili! spegnere subito il motore nelle soste cittadine

Non è permesso tenere acceso il motore delle barche finché sostano nei canali interni, a meno che il motore stesso non serva per azionare particolari macchinari imbarcati (gru, etc.)

È anche vietato emettere segnali acustici con clacson od altro, a meno che non sia necessario (incroci, manovre, nebbia, etc.) o in caso di pericolo.

Attenzione alle fermate e alle soste! …solo dove è consentito e senza intralciare il transito.

Non ci si deve fermare dove è espressamente indicato il divieto, ma anche in tutti i casi in cui si può intralciare il traffico (ponti, curve, incroci) o la fermata e la sosta dei legittimi utilizzatori dell'approdo o dello spazio acqueo (servizi pubblici, concessionari di approdi, etc.). È possibile fermarsi e sostare solo nei canali urbani, mentre è vietato nei canali esterni. Quando la barca è attraccata, è responsabilità del conducente di assicurarsi che non possa essere slegata o usata da altri.

La sicurezza in primo luogo! …specie nel trasporto di merci pericolose o nocive.

Il trasporto di materiali pericolosi va eseguito seguendo le prescrizioni delle autorità competenti: questo vale in particolare per i materiali altamente inquinanti, esplosivi o infiammabili.

Speciale attenzione con la nebbia! …più prudenza e meno velocità

La nebbia riduce la visibilità, quindi, per sicurezza, la navigazione viene sospesa nei canali urbani. Le gondole in servizio di traghetto, che possono continuare a navigare, devono esporre luci e catarifrangenti per evitare pericolo di scontri con i battelli del servizio di linea, che continuano a navigare anch'essi.

Nei canali lagunari e portuali, con la nebbia è vietato navigare a remi, a vela, e a motore per quelle barche che non possiedono fanali fendinebbia: le barche che non possono navigare devono fermarsi e ormeggiarsi, e quando sentono avvicinarsi un'altra barca devono emettere segnali sonori. Le barche a motore che possono continuare a navigare devono comunque ridurre la velocità sotto ***8 km/h***, e devono tenersi il più possibile vicino a sponde o briccole. Solo i battelli in servizio di linea conradar possono attraversare il canale dal Lido al Bacino di San Marco sino a tutto il Canale della Giudecca.

Domande e risposte.

In quali casi è necessario ridurre la velocità anche al di sotto dei limiti consentiti?

La velocità va limitata ulteriormente quando per qualunque motivo si possono verificare situazioni di pericolo o comunque di forte disturbo a persone o cose, ad esempio:

- quando si incrociano altre imbarcazioni, in particolare a remi
- in presenza di traffico intenso, con elevata produzione di moto ondoso
- in prossimità di natanti all'ormeggio, ad es. per carico/scarico di persone
- in presenza di nebbia o acqua alta.

Il moto ondoso prodotto dalle imbarcazioni a motore è dannoso anche nei canali della laguna aperta ?

Sì, sia in prossimità di terre emerse o barene, che di velme e zone a basso fondale.

Specialmente a velocità elevate, il moto ondoso generato, infatti, erode argini e barene e solleva e sospende i sedimenti nelle zone a basso fondale adiacenti ai canali, con deposito degli stessi nel fondo dei canali, che vengono lentamente interrati.

Il rispetto dei limiti di velocità è sufficiente per non incorrere in sanzioni in caso di controllo?

No, è necessario non produrre un eccessivo modo ondoso navigando in condizioni non ottimali, ad esempio in regime di semiplanata con forti carichi e assetto molto appoppato, con creazione di onde ripide di poppa che possono creare pericoli anche per le altre barche incrociate: esiste anche un apposito segnale.

Che problemi può comportare l'eccessiva velocità nei canali ristretti del centro storico ?

L'eccessiva velocità può portare a fenomeni pericolosi non solo per l'ambiente, ma anche per la sicurezza dell'imbarcazione. In particolare si segnalano i seguenti:

- una accentuazione del fenomeno dello "squatting" (abbassamento della carena), che in certi casi può portare la barca a strisciare sul fondo
- il raggiungimento della *velocità di saturazione* per la quale si crea un'onda ripida a poppa, che dissipa gran parte dell'ulteriore incremento di potenza del motore; la velocità di fatto non aumenta più, mentre spesso si innescano fenomeni di cavitazione con perdita di governo della imbarcazione.

Che problemi comporta il passaggio alla condizione planante?

Il passaggio comporta per l'imbarcazione l'attraversamento della condizione di velocità critica, per portarsi in condizioni supercritiche.

La fase di passaggio è caratterizzata inizialmente da un abbassamento della poppa con crescita della resistenza al moto e della formazione ondosa. Questa raggiunge il suo picco massimo (con valori molto più grandi di quelli normali). Entrando nella condizione supercritica la barca si solleva e riassume un assetto quasi orizzontale, con riduzione significativa della resistenza d'onda.

Il passaggio alla condizione planante può essere fatto alle seguenti condizioni:

- che si navighi nei canali principali della laguna aperta;
- che il passaggio venga fatto con rapidità e sicurezza, evitando i luoghi ambientalmente sensibili;
- che il passaggio venga fatto una sola volta o, comunque, il minor numero possibile di volte in relazione ad eventuali rallentamenti necessari o d'obbligo.

Quali effetti può produrre un eccessivo impiego di potenza durante la navigazione?

Ricorda che tutta la potenza erogata dal motore di una imbarcazione si trasferisce all'acqua (sotto forma di onde, correnti, vortici ecc.) e da questa all'ambiente generando degrado. Pertanto naviga a velocità contenuta ed evita il più possibile manovre brusche (curve, accelerazioni, frenate, ecc.).

Utilizzare minore potenza vuol dire rispettare la città di Venezia e la laguna e nello stesso tempo risparmiare carburante.

Come si fa per conoscere o comprendere al meglio le capacità evolutive e la distanza di arresto del proprio mezzo?

Per la sicurezza propria e altrui è necessario in qualunque situazione conoscere le capacità evolutive e soprattutto la distanza di arresto del proprio mezzo. Esse in generale sono precisate nei manuali tecnici. Per migliorare la conoscenza di queste capacità, il conduttore può anche fare delle prove in zone e canali in assenza di rischi per persone o cose. Va tenuto presente che le capacità del mezzo dipendono anche dalla condizione di carico dello stesso.

Esegui prove di frenata dalla velocità consentita di crociera del tuo mezzo navigando in parallelo e in prossimità di briccole, per renderti conto di quanta distanza percorri prima di essere assolutamente fermo, dal momento che ti accorgi di un ostacolo o inizi la fase di frenata!

In caso di alta marea, come si fa ad individuare nel centro storico un percorso agibile per raggiungere con una barca un certo obiettivo?

Occorre conoscere la previsione di marea (telefonando al Centro Maree) e poi consultare le cartine di questo manuale, dove sono riportati, per vari livelli di marea, i ponti non transitabili per una data altezza di barca. Per una situazione di marea intermedia si po' fare una semplice stima per proporzione, e naturalmente tener conto della altezza della propria barca.

Come funziona il regime di navigazione promiscua?

Nella laguna circolano sia navi della navigazione marittima che interna. Cia-

scuna imbarcazione può circolare seguendo le proprie regole originarie, pur essendo tutte soggette agli organi di vigilanza della navigazione marittima. I canali interni ai centri storici sono dati in consegna ai Comuni e sono controllati dai vigili urbani.

Che differenza c'è tra l'impiego di una barca per uso privato o per diporto?

La differenza consiste nella normativa, che considera l'uso privato per lo spostamento personale (come con l'automobile) e il diporto per finalità di divertimento. Il problema si pone soprattutto per chi vive e lavora nella laguna, perché per usare correttamente una barca per uso privato (ad esempio un piccolo trasloco o l'accompagnamento di persone) occorrerebbe iscriverla negli appositi registri e dotarla di licenza di navigazione, nonché pagare la tassa di stazionamento. Men che meno un natante non immatricolato potrebbe essere usato per trasporto di merci.

Cosa è la marcatura CE per le barche da diporto?

È un marchio di qualità che garantisce che la barca corrisponda ai criteri di progettazione, costruzione ed immissione in commercio previsti dalla direttiva 94/95/CE. Sono i costruttori che devono ottenere questo marchio attraverso società autorizzate dalla stessa Comunità Europea. Oltre al RINA, ad esempio la società UDICER-NAUTITEST, ed altre ancora, sono autorizzate a verificare il rispetto della conformità agli standard fissati da detta normativa.

È opportuno che chi acquista una barca nuova, si accerti che essa abbia questo marchio di qualità.

La polizia marittima è competente su tutta la laguna? Quali altri organi di polizia si possono incontrare in laguna?

La polizia marittima ha poteri di vigilanza e controllo su tutta la laguna, ad eccezione dei canali dei centri storici che sono dati in consegna ai Comuni e sono controllati dai vigili urbani. Altri organi di vigilanza che si possono incontrare in laguna, sono il personale del Magistrato alle Acque, oltre ovviamente a Carabinieri, Polizia e Guardia di Finanza.

Quali sono le principali caratteristiche delle correnti di marea alle bocche di porto?

Il flusso e riflusso delle maree genera correnti significative alle bocche di porto. Ad esempio un'escursione di marea astronomica di circa 90 cm può generare alla bocca di Lido una velocità di corrente con un valore massimo di circa 1 m/s, cioè 3,6 km/h. A questo si aggiungono poi gli eventuali contributi meteorologici.

I valori massimi complessivi della corrente possono raggiungere i 5 km/h alla bocca di Lido ed i 7 km/h alle bocche di Malamocco e Chioggia.

Quanto al posizionamento temporale di tali massimi, si può dire che essi anticipano di circa tre ore i massimi e minimi di marea in laguna. In particolare il massimo della velocità di corrente entrante si verifica circa tre ore prima del massimo livello di marea in laguna, mentre il massimo di velocità di corrente uscente si verifica circa tre ore prima del minimo di marea in laguna.

Le correnti di marea possono influenzare la navigazione?

Sì, in particolare quella a vela, come evidenziato dai valori riportati al punto precedente. Le barche a vela, ad esempio possono avere difficoltà ad uscire dalle bocche di porto, quando la corrente di marea entrante è vicina al suo massimo e viceversa ad entrare quando la corrente di marea uscente è vicina al suo massimo.

Un'influenza sulla navigazione a vela si può avere anche in alcuni canali della laguna, non distanti dalle bocche di porto.

Quali sono i canali della laguna da considerare come navigabili?

I "canali navigabili" sono definiti come segue: canale chiaramente individuabile per la presenza di sponde naturali o artificiali, oppure attraverso la presenza di briccole, pali in genere, o altri elementi atti a fornire una chiara segnalazione.

Quindi, in particolare per le imbarcazioni a motore, la maggior parte dei canali minori è da considerare come non navigabile.

Quali barche da diporto possono navigare nei canali del Centro storico?

Solo quelle di proprietà dei residenti a Venezia Centro Storico o Isole o con concessione di spazio acqueo in Centro Storico o Giudecca, e con una stazza

lorda inferiore a 5 tonnellate.

Ogni quanti anni le barche da diporto devono rinnovare il certificato di sicurezza?

Per le imbarcazioni da diporto a motore di lunghezza maggiore di 7,5 m e quelle a vela di lunghezza maggiore di 10 m, il primo certificato di sicurezza, rilasciato dall'Autorità Marittima o dalla Navigazione Interna, ha validità 8 anni; poi deve essere rinnovato ogni 5 anni.

Il certificato può essere rinnovato dal RINA, dal DNV oppure dalla UDICERNAUTITEST. Per informazioni complete e dettagliate sulla materia si veda il D.M. n. 478 del 5/10/1999 Regolamento recante norme di sicurezza per la navigazione da diporto.

Quante persone possono imbarcare su un natante da diporto?

Il numero di persone che può imbarcare su un natante di serie - omologato - è indicato sul certificato di omologazione, mentre per i natanti non omologati, assai numerosi nel diporto lagunare, c'è la seguente regola basata sulla sola lunghezza fuori tutto: 3 persone fino a 3,5 m, 4 persone fino a 4,5 m, 5 persone fino a 6 m, 6 persone fino a 7,5 m, 7 persone oltre.

E' possibile o prevedibile l'utilizzo di nuove carene per le barche a motore lagunari?

Certamente sì. Nella laguna di Venezia dovranno necessariamente coesistere tradizione ed innovazione. Un esempio della tradizione che continua è la costruzione di scafi in legno. Ma l'innovazione potrà introdurre nuove forme e nuovi tipi di carena. Per i battelli che navigano prevalentemente nel Centro storico, sono ipotizzabili miglioramenti delle carene, sempre nell'ambito di monoscafi dislocanti.

I nuovi segnali introdotti dalla Provincia di Venezia

Le tavole seguenti riproducono l'allegato al regolamento provinciale contenente la nuova segnaletica approvata.

È necessario comunque sottolineare che, a differenza che nella circolazione stradale, la segnaletica della navigazione lagunare non sostituisce le ordinanze e i regolamenti emanati per disciplinare la navigazione stessa dalle diverse autorità competenti, e che pertanto i conducenti hanno l'obbligo di osservare tutte le prescrizioni in esse contenute, anche se non sono riportate puntualmente con le segnalazioni previste. È quindi necessario che ogni navigante le conosca e le rispetti, senza che l'assenza di segnali possa essere invocata a scusante di eventuali violazioni.

A. SEGNALI DI DIVIETO

A.1 Divieto di passaggio (segnale generale)

A.2 Divieto per le unità a motore

A.3 Divieto per le unità a motore specifiche (con pannello integrativo)

A.4 Divieto per le unità di lunghezza maggiore di quella indicata

A.5 Divieto per le moto d'acqua

A.6 Divieto per lo sci nautico

A.7 Divieto per le unità a vela

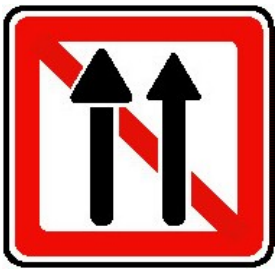
A.8 Divieto per le tavole a vela

A.9 Divieto per le unità a remi nei canali urbani di Venezia

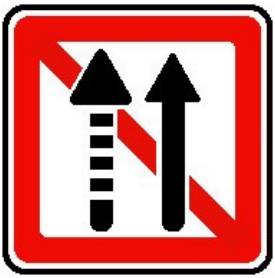
A.10 Divieto per le unità a remi negli altri canali

A.11 Divieto di rimorchio

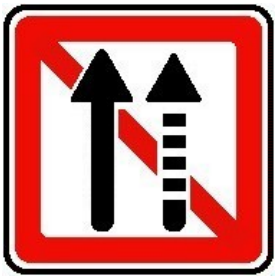
A.12 Divieto di sorpasso



A.13 Divieto di affiancamento (nei canali con navigazione a destra)



A.14 Divieto di affiancamento (nei canali con navigazione a sinistra)



A.15 Divieto di evoluzione

A.16 Divieto di stazionamento (ormeggio o ancoraggio)

A.17 Divieto di stazionamento (ormeggio o ancoraggio) e di fermata

A.18 Divieto di ormeggio

A.19 Divieto di ancoraggio

A.20 Divieto di produrre moto ondoso o restia

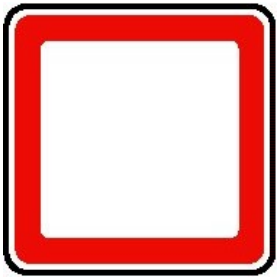
A.21 Divieto di segnalazioni acustiche

A.22 Divieto di pesca

A.23 Divieto di spargimento di sostanze inquinanti

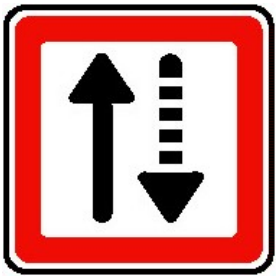
B. SEGNALI DI OBBLIGO

B.1 Obbligo di osservare limitazioni e prescrizioni particolari (con pannello integrativo)



B.2 Obbligo di tenere la mano destra nei canali urbani principali (solo per le unità a motore)

B.3 Obbligo di tenere la mano sinistra nei canali urbani



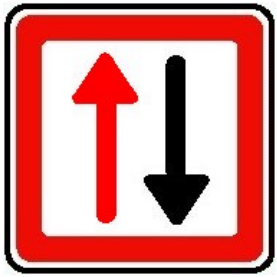
B.4 Obbligo di tenere la mano destra nei canali lagunari e marittimi

B.5 Obbligo di tenere i gruppi o i pali a destra nei canali segnalati da un lato solo

B.6 Obbligo di tenere i gruppi o i pali a sinistra nei canali segnalati da un lato solo

B.7 Obbligo di dare la precedenza nei passi stretti a senso unico alternato nei canali in cui si tiene la mano destra

B.8 Obbligo di dare la precedenza nei passi stretti a senso unico alternato nei canali in cui si tiene la mano sinistra



B.9 Obbligo di seguire la direzione indicata (diritto)

B.10 Obbligo di seguire la direzione indicata (a destra)

B.11 Obbligo di seguire la direzione indicata (a sinistra)

B.12 Obbligo di svoltare nella direzione indicata (a destra)

B.13 Obbligo di svoltare nella direzione indicata dalla freccia (a sinistra)

B.14 Obbligo di navigare alla distanza minima indicata dal lato del canale

B.15 Obbligo di osservare una prudenza particolare in avvicinamento a tratti a senso unico alternato

B.16 Obbligo di fermarsi nelle condizioni previste (ponti mobili o chiuse)

B.17 Obbligo di rispettare il limite di velocità indicato in chilometri orari (km/h)

B.18 Obbligo di collegamento radiotelefonico sul canale indicato

B.19 Obbligo di osservare una prudenza particolare attraversando il canale principale

B.20 Obbligo di non immettersi nel canale principale

C. SEGNALI DI LIMITAZIONE

C.1 Altezza del passaggio limitata (sul livello medio del mare)

C.2 Transito limitato alle unità di larghezza non superiore a quella indicata

C.3 Profondità dell'acqua limitata (dal livello medio del mare)

D. SEGNALI DI INDICAZIONE

D.1 Permesso di passaggio (segnale generale)

D.2 Permesso di stazionamento (ormeggio o ancoraggio)

D.3 Permesso di ormeggio

D.4 Permesso di ancoraggio

D.5 Permesso per le moto d'acqua

D.6 Permesso per lo sci nautico

D.7 Permesso per le unità a vela

D.8 Permesso per le tavole a vela

D.9 Transito riservato alle unità a remi nei canali urbani di Venezia

D.10 Transito riservato alle unità a remi negli altri canali

D.11 Permesso di mettere in acqua le unità e di toglierle

D.12 Transito consentito in affiancamento ad un numero massimo di gondole indicato nel pannello integrativo (Canal Grande)

D.13 Area di evoluzione

D.14 Fine di un divieto o di un obbligo

D.15 Direzione raccomandata (diritto)

D.16 Direzione raccomandata (a destra)

D.17 Direzione raccomandata (a sinistra)

D.18 Svolta nella direzione raccomandata (a destra)

D.19 Svolta nella direzione raccomandata (a sinistra)

D.20 Senso unico (verso destra)

D.21 Senso unico (verso sinistra)

D.22 Distributore di carburante

D.23 Officina nautica

D.24 Attraversamento di una linea elettrica ad alta tensione

D.25 Scarico autorizzato di materiali di risulta (sacca)

E. SEGNALI DI PERICOLO

E.1 Lavori in corso

E.2 Canale o passo stretto

E.3 Ostacolo isolato e direzione di aggiramento (a sinistra)

E.4 Ostacolo isolato e direzione di aggiramento (a destra)

E.5 Pericolo generico (con pannello integrativo)

F. SEGNALI DI PRECEDENZA

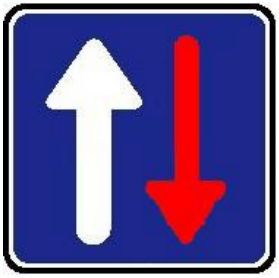
F.1 Diritto di precedenza

F.2 Fine del diritto di precedenza

F.3 Obbligo di dare la precedenza all'incrocio o confluenza

F.4 Diritto di precedenza nei passi stretti a senso unico alternato nei canali in cui si tiene la mano destra

F.5 Diritto di precedenza nei passi stretti a senso unico alternato nei canali in cui si tiene la mano sinistra



F.6 Incrocio con diritto di precedenza nel canale segnalato

F.7 Confluenza a destra con diritto di precedenza

F.8 Confluenza a sinistra con diritto di precedenza

F.9 Confluenza a T a destra con diritto di precedenza

F.10 Confluenza a T a sinistra con diritto di precedenza

F.11 Presegnalazione di un incrocio con precedenza regolata da un semaforo

G. SEGNALI DI INDICAZIONE DELLA GIURISDIZIONE SULLA NAVIGAZIONE E DEL TERRITORIO

G.1 Acque sotto la giurisdizione dell' Autorità Marittima indicata (regolamentazione della navigazione marittima)

G.2 Acque sotto la giurisdizione del Magistrato alle Acque di Venezia (regolamentazione della navigazione interna)

G.3 Acque sotto la giurisdizione del Comune indicato (regolamentazione della navigazione interna)

G.4 Confine della laguna veneta (con terminazione lagunare)

G.5 Confine del territorio del Comune indicato

G.6 Segnale di denominazione di canale marittimo o lagunare

H. PANNELLI INTEGRATIVI

I segnali possono essere integrati con

H.1 Pannelli indicanti la distanza a partire dalla quale va osservata la prescrizione o la particolarità indicata, disposti sopra il segnale

Esempio: a 1000 m obbligo di non superare 11 km/h

H.2 Frecce indicanti la direzione del settore al quale si applica la prescrizione indicata

Esempio: permesso di stazionamento

H.3 Pannelli recanti spiegazioni e indicazioni complementari, disposti sotto il segnale

Esempio: approdi riservati alle unità in servizio di linea

INFORMAZIONI UTILI

Informazioni utili alla navigazione in laguna

Polizia Municipale

Oltre a controllare l'osservanza delle leggi statali di competenza dei Comuni[2], la P.M. controlla e disciplina la circolazione stradale e la navigazione. Essa è garante del rispetto di tutti i regolamenti comunali e delle ordinanze del Sindaco.

Il Comando di Polizia Municipale ha sede a Ca' Farsetti, San Marco 4136, tel. 041 2747070 (tutti i giorni dalle ore 7.00 alle ore 20.00)[3].

L'Ufficio del Comando "Sezione canali" è a Venezia, San Marco 4091, tel. 041 2748764 (tutti i giorni dalle ore 7.00 alle ore 20.00).

Centro previsioni e segnalazioni maree

Si occupa dell'informazione alla cittadinanza dell'andamento del livello di marea sia in città che in tutta la laguna. Il centro Previsioni e segnalazioni maree ha sede a Palazzo Cavalli, San Marco 4090. Le informazioni sulle maree e le previsioni sui fenomeni di acqua alta fino a 48 ore sono costantemente aggiornate con servizio telefonico dalle 8.00 alle 14.00 (tel: 041 2748787) e segreterie telefoniche, attive 24 ore su 24, con messaggio registrato (aggiornato almeno due volte al giorno o più spesso durante le maree eccezionali) ai tel. 199 165 165 e 041 2411996, accessibili con 120 linee a Ricerca Automatica.

L'attivazione delle sirene segnala i fenomeni di marea molto sostenuta (> 110 cm) oppure, se ripetuta, di marea eccezionale (> 140 cm).[4]

---

[2] *Controlla anche le norme del Codice Penale e del testo unico di Pubblica Sicurezza aventi attinenza con le competenze del Comune*

[3] *I piantoni sono presenti 24 ore su 24 (tel. 041 2748200)*

[4] *Sono anche esposti quotidianamente dei bollettini grafici (da settembre a maggio) nei principali pontili Actv e vengono inviati per la pubblicazione ai quotidiani locali.*

LA LAGUNA ED IL MOTO ONDOSO

Cenni storici e morfologici sulla laguna

Una laguna è un ambiente di transizione tra terra e mare, in stato di perenne instabilità, in quanto sottoposta all'azione di forze sia naturali sia antropiche fra loro contrastanti.

Figura 1 - Vista della Laguna Veneta dal satellite

Essa, da un lato, riceve le acque dai fiumi del bacino scolante, e dall'altro, comunica con il mare attraverso varchi o bocche di porto.

L'evoluzione morfologica di una laguna dipende principalmente dal bilancio complessivo degli apporti di materiali solidi, che riceve dal mare e dai fiumi che vi sfociano.

Se prevalgono gli apporti, si ha un progressivo interrimento; se prevale l'erosione, la laguna tende a trasformarsi in un braccio di mare. Quella di Venezia è la più estesa laguna italiana e il residuo più importante dell'arco di lagune che, fino ad epoche non remote, si estendeva sulla costa nord-adriatica, da Ravenna a Monfalcone.

La Laguna di Venezia si estende dalla foce del Sile a quella del Brenta ed è compresa fra il mare e la terraferma, con una lunghezza di circa 50 km ed una larghezza media di 12 km. Ha una superficie totale di 550 kmq, di cui 418 (inclusi i 47 di barene) aperti alle escursioni di marea, 40 di terre emerse (isole, litorali e "casse di colmata") e 92 di valli da pesca, escluse alle espan-

sioni di marea.

La profondità media della laguna è di 1,2 metri.

Ambienti mutevoli, sempre diversi, si susseguono dalla terraferma al mare, e caratterizzano la complessa e articolata morfologia della Laguna di Venezia, fatta di canali, bassifondi, barene, velme, ghebi e chiari.

Fino a circa 2500 anni fa, all'inizio del cosiddetto Periodo Sub-Atlantico, la laguna si presentava come una palude d'acqua dolce e salmastra, con periodiche oscillazioni di salinità, e dalla morfologia variabile, secondo il prevalere delle forze erosive marine o dell'apporto sabbioso-limoso dei fiumi. Dal punto di vista storico, le isole della laguna veneta si popolarono di gente in fuga dalle antiche città Romane del Veneto, invase dai barbari[5].

A quel tempo la laguna appariva come un'immensa palude intersecata dai fiumi, che vi scorrevano prima di raggiungere il mare aperto. Alcune isole già emergevano dall'acqua, per formazione alluvionale, e queste furono le prime ad essere abitate. Le alluvioni portavano nuova terra, trasformando lentamente le paludi in canneti e barene, e l'impegno primo delle popolazioni venete fu quello di bonifica e rassodamento per renderle abitabili.

Poiché nell'entroterra le invasioni barbariche si succedevano frequenti e rovinose, le popolazioni venete s'insediarono stabilmente nelle isole della laguna, sviluppando quella prima comunità, il cui ordinamento giuridico non poteva che derivare da quello romano. I primi insediamenti in Laguna avvennero, per scelta tattica di difesa, nelle isole periferiche all'attuale centro storico della Città di Venezia, e solo nell'anno 810, durante il dogado del *Nobiluomo Agnello Partecipazio*, la sede ducale fu trasferita nella zona centrale di *Rivo Alto*, in cui iniziò la caratteristica e fiorente attività commerciale dei mercanti veneziani.

Infatti, in quel periodo, la zona attorno a Rialto, per effetto della confluenza d'alcuni fiumi, quali Brenta, Musone e Marzenego, aveva visto la formazione di un nucleo d'isole. In questa zona, centrale e favorevole, di confluenza di tali fiumi e prospiciente la Bocca di San Nicolò, nacque e si consolidò il primo nucleo di Venezia, grande emporio fluviale e marittimo. Molti dalle isole periferiche si trasferirono nella zona centrale di Rialto, che si allargò per effetto di bonifica e sopraelevazione con materiale delle escavazioni e delle alluvioni.

---

5 Non è possibile dichiarare con certezza il secolo al quale ricondurre tali invasioni. Orientativamente il periodo risale al V-VI secolo dopo Cristo. Probabilmente la fondazione della città di Venezia è precedente, come indicano gli studi di W. Dorigo, e lo sviluppo iniziò piuttosto nel VI-VII secolo.

Attorno all'anno 1000, la Laguna Veneta, compresa tra il fiume Adige a sud ed il fiume Piave a nord, presentava otto bocche a mare, attraverso le quali avveniva il periodico ricambio di marea. Iniziò allora la lunga fase dello splendore e della potenza di Venezia, mentre le isole lontane da Rialto decaddero e i loro edifici furono demoliti per ricavarne il marmo e la pietra.

Dal punto di vista morfologico, in quel periodo, per secoli, la tendenza evolutiva della laguna è stata quella del progressivo interrimento. L'invadenza dei fiumi si faceva però sempre più pericolosa per la città di Venezia, che vedeva prossima la compromissione della funzionalità dei canali, del regime idraulico del sistema, nonché delle qualità igienico-sanitarie dell'ambiente (malaria). Si prospettò quindi la necessità di contenere l'azione dei fiumi che sfociavano alle spalle della città. Quest'esigenza si concretizzò con interventi tesi alla separazione delle acque dolci fluviali da quelle salse marine. Di conseguenza, i Veneziani intrapresero una serie di poderosi interventi per la difesa dell'ambiente lagunare, fonte di sicurezza, ricchezza e potenza, con i suoi porti e canali navigabili e le sue isole, abitate e coltivate.

Basti pensare ai lavori per portare a sfociare fuori della laguna il Brenta, il Piave ed il Sile, e soprattutto per allontanare le foci del Po, con la grandiosa opera del Taglio di Porto Viro, terminato nel 1609, che creò le premesse per la formazione dell'attuale delta. Si delineò inoltre la possibilità di intervenire mediante la costruzione di argini, alzati in senso ortogonale al corso dei fiumi che sfociavano in laguna.

Risolto il problema delle acque provenienti dalla Terraferma, dal 1700 in avanti si affrontò il problema del mare, sempre più minacciante gli esili Lidi, in alcuni tratti sempre più soggetti alla forza erosiva. Nel 1738 la Repubblica di Venezia rivolse i suoi sforzi di gestione delle acque iniziando la costruzione delle poderose "difese a mare", denominate Murazzi, lungo i litorali di Malamocco, Pellestrina e Sottomarina. Parallelamente ci fu una costante attività nel tempo d'accurata manutenzione e la precisa definizione di norme, regole e comportamenti in difesa di Venezia e della laguna.

Purtroppo le opere effettuate più recentemente, principalmente tra la seconda metà del 1800 e la prima metà del 1900, hanno condotto ad uno squilibrio del sistema lagunare in senso opposto. La costruzione dei moli foranei, volta a garantire l'accesso al porto delle grandi navi moderne, ha avuto come conseguenza la quasi totale interruzione del trasporto di sabbia dal mare in laguna, che si è sommata all'interruzione dell'apporto di sedimenti dovuto alla deviazione dei fiumi.

Il 1900 ha visto inoltre numerosi altri interventi che, pur se funzionali ad un certo sviluppo economico e sociale, in particolare della terraferma, non hanno avuto la dovuta attenzione verso l'equilibrio e la salvaguardia

dell'ambiente lagunare nel suo complesso: fra questi, lo scavo dei canali navigabili, le valli da pesca, le casse di colmata, i vasti interramenti in vista dell'ampliamento della zona industriale, poi non effettuato. Infine, l'emungimento delle falde acquifere dovuto alle attività industriali ha contribuito in modo rilevante al fenomeno della subsidenza di Venezia e della laguna, rendendo più drammatico il fenomeno dell'acqua alta.

Inoltre, la presenza di un grande agglomerato industriale, quale quello di Marghera, ai margini della laguna, ha aggravato la situazione d'inquinamento delle acque e dei fondali. In conclusione, oggi la laguna perde sedimenti verso il mare, con la conseguenza di una progressiva erosione sia dei fondali sia dei cordoni litoranei.

Si assiste così ad una graduale sparizione delle barene (dai 90 kmq del 1901 agli attuali 47), delle velme e dei ghebi, e a un graduale approfondimento medio e a un livellamento dei fondali. Aumenta così anche il moto ondoso, che a sua volta aumenta l'erosione: la laguna tende a diventare qualcosa di simile ad una baia o ad un braccio di mare.

Per questo, attualmente e per il prossimo futuro, sono previsti interventi per il riequilibrio morfologico: primo fra tutti, quello di evitare di portare fuori, in mare, i sedimenti derivanti da opere di scavo dentro la laguna, ad esempio per il dragaggio dei canali.

La rete dei canali navigabili

La laguna vive sull'equilibrio dinamico fra terra e mare. L'ossatura che permette questo equilibrio è la rete dei canali lagunari attraverso i quali avviene lo scambio di flussi. La terra scambia attraverso i fiumi interni al bacino scolante, il mare attraverso le tre bocche di porto.

L'invaso attuale della laguna è diviso in 3 sottobacini (Lido, Malamocco e Chioggia) da 2 spartiacque idraulici, posti in direzione circa Est-Ovest, e racchiude una superficie di 550 km^2.

La distribuzione attuale delle superfici risulta pari a:

6,4 %	isole;
1,6%	argini;
80,1%	velme e barene;
11,9%	rete dei canali.

I punti principali di entrata/uscita che collegano la Laguna Veneta con il Mare o con l'entroterra veneto sono otto:

- quattro accessi connettono la laguna con l'entroterra (Dese-Sile, Mestre-Canal Salso, Fusina-Marghera e Mira-Campagna Lupia).
- tre accessi la mettono in collegamento con il Mare Adriatico (le bocche di Lido, Malamocco e Chioggia).
- una direttrice ibrida (Litoranea Veneta), che mette in comunicazione la laguna con il mare attraverso la foce del Sile a Cavallino ma, poiché la penisola del Cavallino fa parte della terraferma, costituisce anche un collegamento con l'entroterra.

La morfologia della laguna e della rete dei suoi canali dipende strettamente dal rapporto della laguna stessa con le sue condizioni al contorno. Non a caso, quasi tutte le volte in cui l'uomo è intervenuto nell'equilibrio lagunare fra terra e mare, ha modificato le condizioni al contorno, deviando il corso di alcuni fiumi che sfociavano in laguna, diminuendo il numero delle bocche di porto, o modificando la forma dei moli foranei che le delimitano.

Per analizzare la rete dei canali lagunari è quindi necessario descriverne brevemente la condizioni al contorno, cioè i punti di contatto con terra e mare.

Laguna e Mare Adriatico sono in comunicazione tramite le tre **bocche di porto** (Tabella 1-) e scambiano costantemente materia (acqua, sedimenti e nutrienti) ed energia, grazie al flusso e riflusso delle maree. Dopo la costruzio-

ne dei moli alle bocche [6], la configurazione delle sezioni delle tre bocche è a

ndata evolvendo sino a raggiungere l'attuale condizione ormai stabile:

Bocca di porto di:		**Lido**	**Malamocco**	**Chioggia**	Totale
Velocità corrente[7]		fino a 3 nodi	fino a 4 nodi	fino a 4 nodi	
Profondità fondale		12 m sotto il l.m.m	16 m sotto il l.m.m	8,5 m sotto il l.m.m.	
Larghezza		890 m	460 m	540 m	1.890 m
Lunghezza	nord	3.100 m	2.850 m	1.860 m	
	sud	3.600 m	1.670 m	1.950 m	
Lunghezze dighe	nord	460 m	880 m	1.040 m	7.540 m
	sud	2.600 m	1.210 m	1.350 m	

Tabella 1 – Caratteristiche principali delle tre bocche di porto della Laguna di Venezia

La costruzione dei moli alle bocche ha ridotto di molto gli apporti di sedimenti dal mare alla Laguna.

Durante un ciclo di marea i flussi che la laguna scambia con il mare attraverso le tre bocche di porto sono, comunque, dello stesso ordine di grandezza del volume totale della laguna:

593 milioni di m^3 è il volume della laguna

385 milioni di m^3 è il volume scambiato

Quindi il ricambio giornaliero potenziale è del 65%, mentre quello reale è leggermente inferiore, in quanto parte delle acque lagunari uscita con un ciclo di marea rientra con il ciclo successivo.

[6] *1839÷1872 per la bocca di Malamocco; 1882÷1925 per la bocca di Lido; 1911÷1934 per la bocca di Chioggia.*

[7] *Velocità dovuta alla marea.*

Il bacino scolante, porzione di territorio che raccoglie e convoglia le acque che dall'entroterra raggiungono la laguna in situazione di tempo secco [8], si estende su di una superficie [9] di circa 1850 km^2. È delimitato a Sud dal canale Gorzone (parallelo all'Adige) ad Ovest dalla linea dei Colli Euganei e delle Prealpi Asolane, e a Nord dal fiume Sile[10].

Il bacino scolante è caratterizzato da tre sottosistemi idrografici:

- *la rete idrografica vera e propria*, quella fluviale, regolata ed arginata, comprendente Piave, Brenta e Bacchiglione, oltre al bacino del Sile. Il Piave è oggi separato dal sistema lagunare e le sue acque defluiscono al mare. Il Sile, fiume di risorgiva che fino al 1683 aveva la sua foce principale in laguna, ha mantenuto un collegamento regolato con essa attraverso i nodi di Businello e di Trezze, gli antichi rami del Silone e del Siloncello, e le opere di navigazione del Cavallino. Il Brenta è stato estromesso definitivamente dalla laguna nel 1900, e scorrendo lungo il marginamento meridionale della laguna, sfocia in mare insieme al Bacchiglione ed al Gorzone, pur destinando parte dei sui deflussi in laguna attraverso il Muson, i nodi di Strà e di Battaglia [11].
- *la rete delle acque alte minori*, che consente il libero deflusso delle acque stesse in laguna, in mare e nel sottosistema precedente. Comprende i fiumi Vallio, Meolo, Zero, Dese, Marzenego, Muson, Vecchio-Novissimo, gli scoli Tergola-Pionca-Serraglio-Naviglio inferiore, Lusore, Menegon e Muson dei Sassi.
- *la rete delle acque basse*, posta sotto il medio livello marino, a cui

---

[8] *Rientrano inoltre nel bacino scolante anche le zone di origine delle acque di risorgiva che alimentano i corsi d'acqua più settentrionali.*

[9] *Oggi la superficie del bacino scolante è inferiore a quella relativa agli inizi del secolo e raggiunge soltanto il 40% dell'estensione del 1324, quando vi fluivano i fiumi Brenta, Bacchiglione e Sile.*

[10] *Definito nel Piano Direttore della Regione Veneto (Regione Veneto, 1991; 1998) e descritto nel volume del Comune di Venezia "Ripristino Conservazione e uso dell'ecosistema lagunare veneziano" (Avanzi* et al.*, 1984).*

[11] *A.Rusconi, "La difesa idraulica della Laguna", Forum per la Laguna.*

non è assicurato il libero e naturale scolo [12].

I punti di immissione principali delle acque in laguna, sono in totale ventisette.

Tra questi, i punti più significativi sono i seguenti:

- Fiume Dese, Canale Silone, Canale Marzenego-Osellino, in laguna Nord;
- Canale Naviglio Brenta, Canale di Lova, in laguna Centrale;
- Canale Taglio Novissimo, Canale Montalbano, Canale delle Trezze, in laguna Sud.

Campagne di misure e studi hanno permesso di valutare la portata media annua rilasciata dai fiumi in laguna in 32,1 m^3/s.

[12] *Le acque debbono essere sollevate meccanicamente e sversate in laguna, mare o altre reti.*

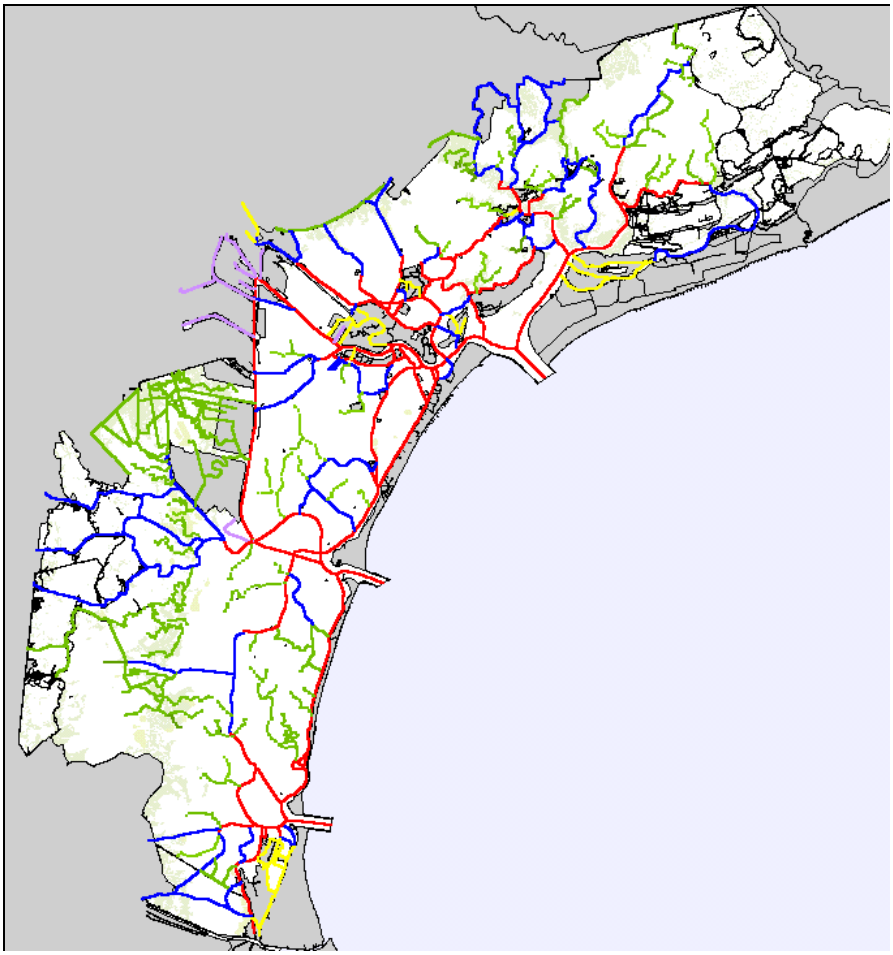


Figura -2- La rete di canali della Laguna di Venezia.

Nel bacino lagunare si distingue una fitta rete di canali (Figura -2) che si sviluppa per una lunghezza di oltre 700 km. All'interno di questa rete è individuabile un'ossatura formata dai canali **principali** e **secondari**. Da questa si dirama un numero elevatissimo di canali minori e meandriformi, detti **ghebi**, che si addentrano nelle **barene**, e terminano nei **chiari**, specchi d'acqua piovani o salmastri racchiusi dalle barene. Ai lati dei canali si estendono le **velme**, che in particolari condizioni di bassa marea sono emerse.

Osservata dal punto di vista della navigazione, la viabilità acquea della lagu-

na veneta si presenta come una fitta rete di canali formata dalla somma di tre reti più piccole, una per ogni sottobacino lagunare. Ognuna di queste reti minori si sviluppa a partire dal canale principale, che nasce dalla bocca di porto relativa al sottobacino. Prendono le forme tipiche di un albero, con diramazioni sempre più sottili che di volta in volta avvolgono valli e isole edificate, oppure penetrano all'interno di basse zone barenose.

Per descrivere la rete dei canali lagunari se ne è proposta una classificazione secondo le seguenti caratterizzazioni.

- **Canale principale**: canale navigabile, con profondità in mezzeria sempre maggiore di **3 m**. Facilmente identificabile per la presenza continua di briccole (almeno su un lato). Mai chiuso, è collegato da entrambi le parti con canali principali o secondari.
- **Canale portuale**: canale navigabile, con profondità in mezzeria sempre maggiore di **7 m**, e larghezza maggiore di **70 m**. Sempre cieco e terminante in una zona adibita a porto.
- **Canale secondario**: canale navigabile, con profondità in mezzeria maggiore di **1,5 m**. Non sempre segnalato dalla presenza di briccole. Chiuso ad un estremità solo se finisce in una darsena od un porto.
- **Canale minore**: canale non sempre navigabile, di difficile individuazione, con profondità intorno al metro. Può essere chiuso ad un'estremità.
- **Canale cieco e ghebo**: canale stretto e poco profondo, con variazioni improvvise di profondità, di larghezza o direzione.
- **Canale urbano principale**: canale navigabile, di profondità maggiore di **3 m,** di larghezza maggiore di **20 m**, con fondamenta edificate da ambo i lati. Le altezze dei ponti sono maggiori di **4 m**.
- **Canale urbano secondario**: canale navigabile, stretto e di profondità **intorno ai 2 m**, con fondamenta edificate da ambo i lati. Possibili difficoltà di passaggio sotto i ponti.

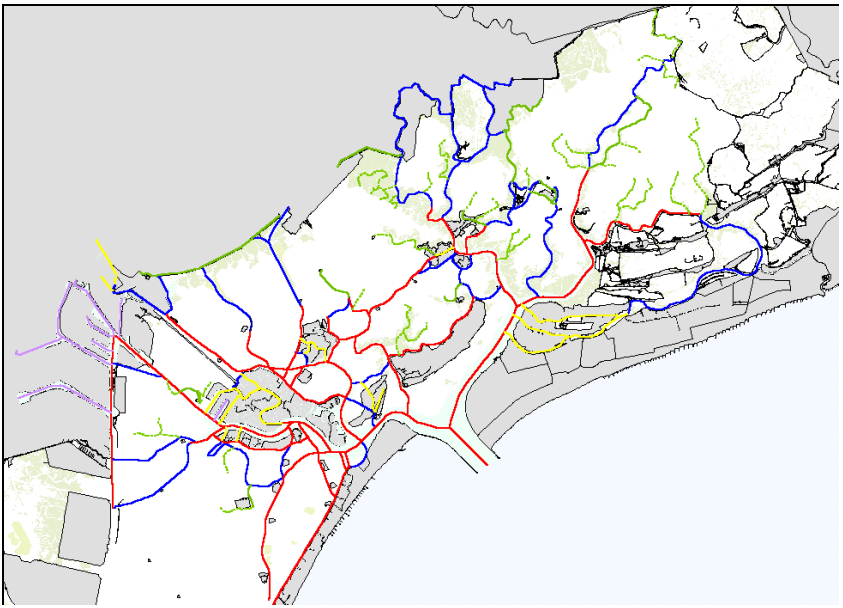
La classificazione, appena descritta, estesa a tutta la laguna, fornisce la seguente fotografia della rete dei canali lagunari.

Tipologia canale	Lunghezza (km)	Superficie (km^2)
Canali principali:	171,4	35,4
Canali portuali:	18,69	2,7
Canali secondari:	165,61	10,7
Canali minori:	109,88	3,7
Canali ciechi e ghebi:	140,07	8,3
Canali urbani principali:	46,27	1,8
Canali urbani secondari:	67	1,51
Totale	718	64,21

Tabella -2 - Dati di sviluppo della rete di canali della Laguna

La precedente classificazione ha tenuto in considerazione, dai canali ai ghebi, solo di quelle entità di dimensioni tali da consentirne una facile identificazione. Tuttavia la superficie totale di questi elementi classificati, pari a 64,21 km^2, è molto prossima a quella riportata in bibliografia all'inizio del capitolo relativamente all'insieme di tutti gli elementi "canali" sulla superficie totale della laguna, pari all'11,9% di 550 km^2 (ossia 71 km^2). La differenza fra i due risultati, (7,4 km^2, ovvero circa il 10% dell'insieme) costituisce la superficie totale degli elementi più piccoli della rete dei canali lagunari, non rientranti nella classificazione proposta.

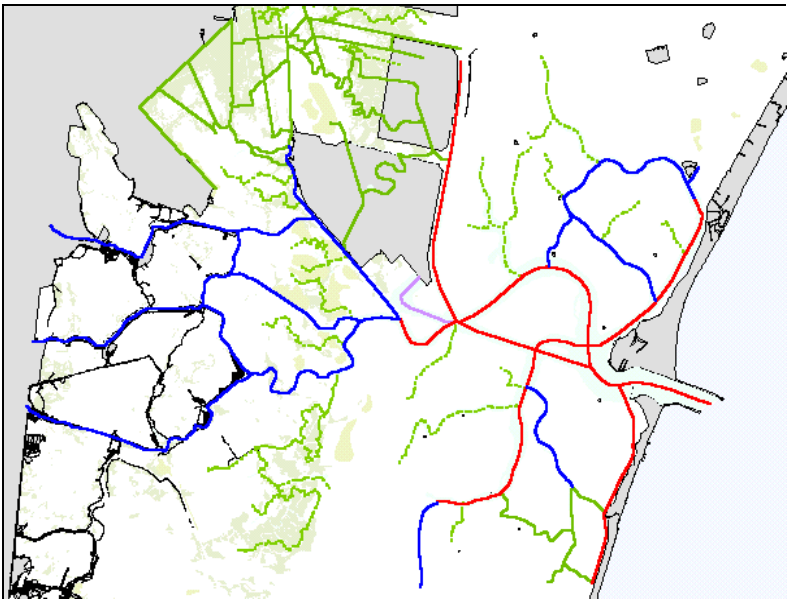
La classificazione della rete dei canali lagunari attraverso i tre sottobacini si caratterizza come meglio descritto nelle pagine seguenti.



Bacino di Lido

Tipologia canale	Lunghezza (km)	Superficie (km^2)
Canali principali:	105,8	19,8
Canali portuali:	16,54	2,2
Canali secondari:	87,76	4,5
Canali minori:	25,128	0,8
Canali ciechi e ghebi:	46,44	2,1
Canali urbani principali:	27,06	1,2
Canali urbani secondari:	circa 61	circa 1,4
Totale	**367**	**32**

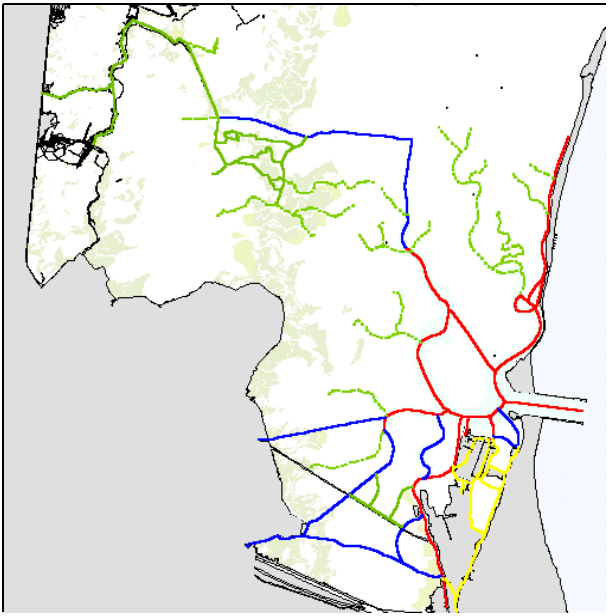
Tabella -3 - Dati di sviluppo della rete di canali del bacino di Lido



Bacino di Malamocco

tipologia canale	Lunghezza (km)	Superficie (km^2)
Canali principali:	35,80	9,3
Canali portuali:	2,15	0,5
Canali secondari:	51,75	4,1
Canali minori:	60,74	1,9
Canali ciechi e ghebi:	58,94	3,6
Canali urbani principali:	-	-
Canali urbani secondari:	4,5	0,08
Totale	**213,88**	**19,5**

Tabella -4 - Dati di sviluppo della rete di canali del bacino di Malamocco



Bacino di Chioggia

tipologia canale	Lunghezza (km)	Superficie (km^2)
Canali principali:	29,80	6,3
Canali portuali:	-	-
Canali secondari:	26,10	2,1
Canali minori:	24,02	1
Canali ciechi e ghebi:	34,69	2,6
Canali urbani principali:	12,95	0,6
Canali urbani secondari:	1,77	0,03
Totale	**129,33**	**12,63**

Tabella -5 - Dati di sviluppo della rete di canali del bacino di Chioggia

La rete dei canali lagunari non è una struttura invariabile nel tempo: molte modificazioni si sono verificate, nel corso dei secoli.

Non è sufficiente, quindi, navigare in laguna da molti anni per poter dire di conoscere le caratteristiche e le dimensioni dei canali, perché queste sono molto disomogenee e variano nel brevissimo periodo (secondo il flusso di marea) come nel lungo periodo (secondo le variazioni antropiche e morfologiche di tutta la laguna). La Tabella -6- [13], ad esempio, descrive alcuni fra i principali canali del bacino Malamocco ed evidenzia notevoli variazioni in 60 anni.

N.	Canale	Sezione liquida (m^2)				profondità	larghezza
		1930	*1970*	*1985*	*1990*		
17	Spignon	1660	1899	1880	1875	-	•
18	Fisolo	3110	3727	3560	3084	-	- -
19	Rocchetta		1821		1886	+	-
20	Melison	1300	1685	1250	1247	- -	- -
21	Piovego		1205		1005		
22	Molini	1500	994	600	616	- -	- -
23	Del Rischio		315		205	- -	- -
24	Lussariol		201		153	-	- -
25	Malamocco		1775		1799	•	+
26	Poveglia	800	567	550	476	- -	-
27	Freganzorzi	700	399	400	319	- -	- -
28	Freganzorzi		233		204	- -	-
29	S. Angelo		478		414		
30	Nuovo di Fusina		237		182		
31	S. Spirito		123		149	++	++

Tabella -6 - Evoluzione di alcuni canali della Laguna di Venezia nel periodo 1930-1990.

molto aumentato	aumentato	valori simili	diminuito	molto diminuito
++	+	•	-	- -

[13] *Fonte: Parere della Commissione di valutazione di Impatto Ambientale sul progetto per la regolazione dei flussi di marea alle bocche lagunari. Ministero dell'ambiente, PARTE II, pag. 51.*

Il problema del moto ondoso in generale

È ben nota l'importanza che il moto ondoso riveste nel mare aperto e negli oceani, in quanto da sempre ha costituito un problema ed un pericolo per la navigazione. Altrettanto è noto che lo stesso moto ondoso può dar luogo a violente mareggiate sotto costa.

Da circa mezzo secolo, con l'avvio dell'attività d'estrazione degli idrocarburi dai fondali marini, l'uomo ha imparato a concepire ed installare strutture ed impianti in mare aperto, capaci di resistere alle onde del mare anche le più imponenti. Basti pensare che l'onda massima di progetto, la cosiddetta onda dei cento anni, nel Mare del Nord può raggiungere i 30 m d'altezza. Eppure queste grandi strutture, le piattaforme petrolifere, costruite in acciaio o in cemento armato, hanno raggiunto un notevole grado di sicurezza ed affidabilità, tanto che ospitano a bordo permanentemente non solo impianti sofisticati per l'estrazione ed il trattamento del greggio, ma anche presidi umani di decine ed a volte centinaia di persone.

Se dal Mare del Nord passiamo ad una situazione più vicina a noi quale quella del nostro Mare Adriatico, certamente l'onda massima (dei cento anni) assunta per la progettazione delle piattaforme è più piccola, ma non così piccola come si potrebbe credere, in quanto essa può raggiungere i 14 metri d'altezza.

Fortunatamente, simili onde non possono raggiungere la laguna di Venezia. Esse, avvicinandosi alla costa, subiscono profonde modifiche, vengono deviate dai fondali, dissipano la loro energia, si riducono di dimensioni, frangono, etc. Inoltre le bocche di porto, unici accessi dal mare verso la laguna, non consentono l'ingresso delle onde del mare, se non in misura molto ridotta e limitatamente alle zone adiacenti alle bocche.

Onde da vento possono anche crearsi all'interno della laguna ma, per effetto sia della scarsa profondità, sia della piccola distanza che il vento ha per agire sulla superficie libera dell'acqua (*fetch*), esse non possono che essere d'altezza molto modesta, sebbene talvolta in grado di arrecare danno alle barene e alle strutture arginali delle valli da pesca.

Tornando alle piattaforme petrolifere, è interessante notare che non è solo l'onda massima che può pregiudicare la resistenza e la stabilità di una struttura, ma anche il fenomeno di fatica o la combinazione corrosione-fatica. Onde di piccole dimensioni, che investono una struttura in grandissimo numero e in tempi lunghi, possono provocare cricche e rotture, anche in manufatti d'acciaio di notevoli spessori e dimensioni.

Questo è un argomento che deve fare riflettere, perché qualcosa di simile può accadere in Laguna, dove esistono tante onde "piccole", sia per effetto del vento sia, soprattutto, delle imbarcazioni a motore, che possono provocare effetti a lungo termine, su strutture naturali o artificiali delicate.

Se ci si limita ai canali del centro storico di Venezia (ma lo stesso si può dire per gli altri centri abitati lagunari), le misure effettuate in Canal Grande confermano che non esistono praticamente onde da vento, ma solo onde dovute a traffico acqueo motorizzato. In considerazione del progressivo aumento di traffico, è da queste onde che occorre difendere la città, le sue rive, le sue fondamenta, i suoi monumenti, in quanto esse non sono state concepite né costruite per sostenere questo tipo di sollecitazioni.

Chiunque può osservare, nelle fondazioni e nelle parti murarie più basse, a contatto con l'acqua, degli splendidi palazzi sulle rive del Canal Grande o d'altri rii, zone sconnesse dal moto ondoso; a chiunque può capitare di vedere una gondola dondolare pericolosamente al passaggio di un motoscafo a velocità sostenuta. Ma, come si dirà più avanti, anche i canali, le rive e gli stessi fondali della laguna aperta possono essere danneggiati dal continuo passaggio a velocità sostenute di tante imbarcazioni.

Questi sono solo esempi, ma danno un'idea dell'importanza del problema del moto ondoso generato dal traffico acqueo motorizzato e della necessità ormai indilazionabile di intervenire con un insieme combinato di misure, atto a controllare il fenomeno ed a contenerlo entro limiti compatibili con la città. Tra queste misure c'è, prima di tutto, un'esigenza informativa di base, in particolare per gli attori della navigazione, che questa pubblicazione mira a soddisfare.

Moto ondoso naturale e artificiale

Una superficie d'acqua, inizialmente in quiete, comincia ad incresparsi sotto l'azione del vento. Le increspature sono inizialmente piccole, ma al persistere del vento si rinforzano e si propagano, dando luogo alle onde vere e proprie. Esse aumentano progressivamente, sia d'ampiezza, sia di lunghezza, in relazione alla profondità dell'acqua, alla persistenza dell'azione del vento ed all'estensione della superficie dello specchio liquido sulla quale l'azione stessa si esplica (*fetch*).

Dal punto di vista fisico, le onde si generano per effetto della gravità, che tende a riportare la superficie libera allo stato di quiete iniziale. Nel fenomeno ondoso si verifica un continua, alterna trasformazione di energia cinetica in energia potenziale, e viceversa, della massa d'acqua in movimento, fra le creste ed i cavi. Anche cause diverse dal vento possono generare onde, come ostacoli immersi, investiti dalla corrente, o imbarcazioni in movimento sull'acqua. In quest'ultimo caso, una parte dell'energia del propulsore è trasferita ai sistemi d'onde caratteristici, che si creano a prua e poppa, e che si muovono solidali con il natante, costituendo spesso una frazione significativa della sua complessiva resistenza al moto.

Figura 3 - Motoscafo Actv in un canale (Foto di G. Faraguna).

Moto ondoso naturale in acque profonde ed in acque basse

In questo paragrafo sono definite le principali caratteristiche di un treno d'onda, con riferimento sia ad acque profonde sia a fondali limitati.

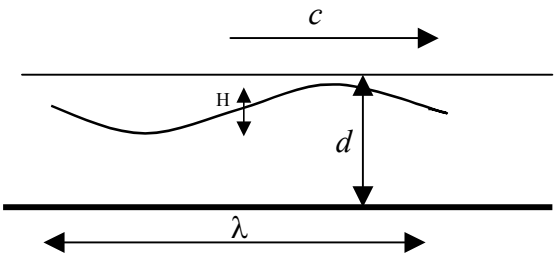


Figura -4 - Caratteristiche di un'onda elementare.

Definizioni e simboli:

H	altezza d'onda (distanza verticale fra cavo e cresta)
d	profondità del fondale
λ	lunghezza d'onda (distanza fra due creste successive)
T	periodo d'onda (intervallo di tempo tra i passaggi di due creste successive)
$c = \lambda/T$	celerità dell'onda (velocità con cui l'onda viaggia sulla superficie del fluido).

Le equazioni che descrivono il fenomeno nel caso generale sono piuttosto complesse e di non agevole soluzione. Si formulano perciò due ipotesi semplificative:

- la prima ipotesi è quella di fluido perfetto, considerando trascurabili le forze viscose in relazioni a quelle d'inerzia e gravità;
- la seconda è quella d'onde di piccola ampiezza in rapporto alla lunghezza d'onda, che permette di linearizzare il problema.

Visto lo scopo di questa pubblicazione, le equazioni del moto non sono riportate.

Nelle ipotesi dette, tali equazioni ammettono per la superficie libera di un'onda progressiva, che si propaghi in una direzione (onda bidimensionale o a fronte rettilineo), un andamento sinusoidale della superficie rispetto allo spazio ed al tempo.

La teoria lineare dà, rispettivamente in acque basse ed in acque profonde, per alcuni parametri significativi, i valori riportati in Tabella 7:

	Acque Basse	Acque Profonde	Unità di misura
Campo di validità	$d/\lambda < 1/20$	$d/\lambda > 1/2$	-
Lunghezza d'onda	$\lambda = T\sqrt{gd}$	$\lambda = gT^2/2\pi$	m
Celerità d'onda	$c = \sqrt{gd}$	$c = gT/2\pi = \sqrt{g\lambda/2\pi}$	m/s
Densità d'energia media sull'unità di superficie orizzontale	$E = 1/8\ \rho g H^2$	$E = 1/8\ \rho g H^2$	J/m^2
Flusso d'energia (potenza per unità di larghezza di cresta)	$P = Ec$	$P = 1/2\ Ec$	W/m

Tabella 7 - Espressione delle grandezze principali, ottenute dalla teoria lineare, in acque basse e profonde (g = accelerazione di gravità; ρ = densità dell'acqua)

Il fatto che l'energia media connessa con un sistema ondoso dipenda dal quadrato dell'altezza d'onda, dà subito un'idea dell'importanza di questo parametro nell'azione di degrado di rive, sponde ecc.

Per i canali della Laguna di Venezia, le profondità sono generalmente comprese fra 2 e 10 m e, poiché le onde generate dal vento o dai natanti hanno periodi compresi fra 2 e 10 secondi, essa rispondono principalmente al caso d'acque profonde o a quello d'acque intermedie. Le onde che si propagano in canali ancora meno profondi, ad es. nelle situazioni di bassa marea, o nelle zone di laguna a basso fondale, minore di 1 m, sono in genere onde in acque basse.

Poiché in acque profonde la celerità dipende dalla lunghezza d'onda, onde con qualche differenza nella lunghezza d'onda tendono in certi casi a som-

marsi, in altri a sottrarsi, secondo la fase. Per questo si osservano nel mare alternarsi situazioni con moto ondoso più intenso a situazioni di relativa calma. Ciò non avviene in acque basse, dove la celerità è costante per una data profondità.

È infine utile dare un cenno sull'orbita descritta dalle particelle fluide. In base alla teoria lineare, al passaggio di un'onda le particelle fluide descrivono

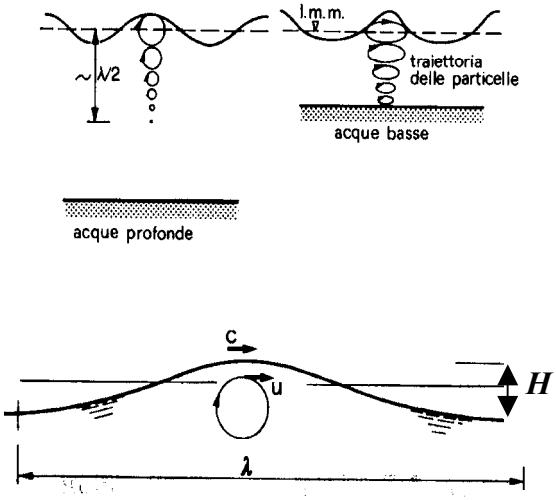


Figura 5 - Traiettoria di una particella in acque profonde ed in acque basse

delle orbite ellittiche chiuse i cui semiassi si riducono progressivamente con l'avvicinarsi dalla superficie al fondo. La figura superiore evidenzia che le orbite sono circonferenze, per acque profonde, ed ellissi sempre più schiacciate verso il fondo, per acque basse.

Quando la velocità delle particelle, che si spostano in prossimità della cresta, supera la celerità dell'onda, per effetto sia di un eventuale aumento dell'altezza d'onda sia della diminuzione della celerità che si verifica per attrito al diminuire del fondale, esse fuoriescono dal profilo 'normale' dell'onda e quest'ultima si frange.

E' il caso dell' onda che si infrange su una spiaggia.

Moto ondoso in acque confinate o in presenza di ostacoli

Le onde, siano esse naturali o artificiali, quando si propagano risentono della presenza d'eventuali ostacoli immersi nel campo di moto o delle condizioni al contorno.

La presenza di un ostacolo, di dimensioni paragonabili con la lunghezza d'onda, modifica il campo ondoso nella zona circostante per effetto della diffrazione. Inoltre, quando si avvicinano ad una riva con fondali progressivamente decrescenti, le onde subiscono un fenomeno di rifrazione, dovuto alla diminuzione della velocità di propagazione al diminuire del fondale, che, a parte i possibili frangimenti, fanno orientare la cresta d'onda in modo parallelo alla linea di spiaggia. Un ulteriore effetto prodotto dalla rifrazione e dalla diffrazione è che l'energia tende a concentrarsi nell'intorno d'eventuali punte che si protendono dalla costa, in prossimità delle quali si notano spesso onde più alte, rispetto alle zone circostanti.

Ancora per diffrazione, le onde possono propagarsi in bacini, parzialmente chiusi da moli o da pennelli, che ad un primo esame potrebbero sembrare protetti rispetto al moto ondoso.

Nel caso di moto ondoso generato nei canali contornati da pareti verticali o subverticali riflettenti, si hanno alle pareti fenomeni di riflessione totale o parziale, perpendicolari od obliqui, secondo l'angolo d'arrivo dell'onda incidente, che possono concentrare l'energia del moto ondoso in zone apparentemente immuni da tali disturbi, proprio come specchi concentratori.

Infine, è da segnalare il tipico caso di un canale lagunare relativamente profondo, con ai fianchi ampie distese d'acque molto basse. Le onde generate da un'imbarcazione che transita nel canale a velocità sostenuta si propagano nelle acque basse come onde progressive anche a distanze considerevoli, risollevando i sedimenti e danneggiando l'ambiente lagunare (velme, barene, ecc.).

Moto ondoso prodotto dalla navigazione: i principali sistemi ondosi generati da uno scafo in movimento

La teoria del moto ondoso, generato dalle imbarcazioni, fu sviluppata a fine '800 da Lord Kelvin, il quale descrisse le formazioni ondose generate da una perturbazione di pressione puntiforme che si muove sulla superficie di un fluido profondo ed idealmente perfetto, inizialmente in quiete.

Il sistema ondoso si compone di due sottosistemi, formati da componenti trasversali e divergenti (Figura 6) che si spostano il primo sulla scia della perturbazione, propagandosi nella stessa direzione, e il secondo obliquamente verso l'esterno rispetto alla direzione d'avanzamento. I due treni d'onda, propagandosi, si compongono formando una serie di cuspidi allineate su una linea che si congiunge al punto di pressione formando con la linea d'avanzamento un angolo α di circa 19°, che in acque profonde è costante al variare della velocità d'avanzamento.

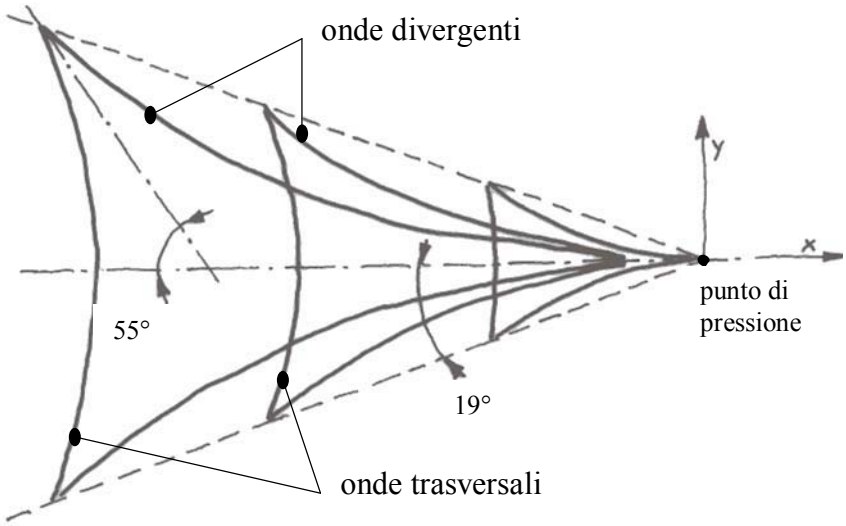


Figura 6 - Onde generate da un punto di pressione in movimento

Nei punti di cuspide, i due sistemi ondosi ammettono tangenti comuni che formano un angolo di circa 55° con la stessa linea d'avanzamento.

Se *V* è la velocità del punto, la celerità delle onde trasversali sarà ovviamente $c = V$, mentre quella delle onde divergenti sarà $c' = V\cos\theta$, dove θ è

l'angolo fra la direzione di propagazione delle onde divergenti e la direzione del moto del punto.

Per le lunghezze d'onda si ha :

componente trasversale $\lambda = 2\pi \frac{c^2}{g}$ con *g* accelerazione di gravità

componente divergente $\lambda' = 2\pi \frac{c^2}{g} \cos^2 \vartheta \quad < \lambda$

Il periodo dell'onda *T* può essere calcolato come rapporto fra la lunghezza d'onda e la celerità *c*. L'altezza delle onde trasversali decresce con la distanza dal punto di pressione più rapidamente rispetto a quella delle onde divergenti. Allontanandosi dal punto, le onde divergenti (con la loro energia ed effetti sull'ambiente) diventano preminenti rispetto a quelle trasversali.

La configurazione del sistema d'onde, generato da un natante in movimento, non si discosta sostanzialmente da quelle del punto di pressione, a parte il fatto che nel caso del natante al sistema d'onde generato a prua si sovrappone un secondo sistema, generato a poppa. (Figura -7).

Più precisamente, una carena in moto produce una formazione ondosa composta di:

- un sistema d'onde trasversali e d'onde divergenti di prua;
- un sistema d'onde trasversali e d'onde divergenti di poppa.

Tutto intorno alla carena, si realizza un campo di pressioni, che sostiene complessivamente l'imbarcazione. Tale campo di pressioni è modulato dall'onda che è generata dalla stessa carena. Nel caso di Figura -7 - la lunghezza d'onda λ è pari a metà di L, lunghezza della superficie bagnata di carena al galleggiamento.

All'aumentare della velocità della nave, aumenta la lunghezza delle onde generate e quindi si riduce il numero di creste e cavi (o frazioni di essi) presenti lungo la lunghezza della carena, con modifica del campo di pressioni attorno alla carena stessa.

Questi fenomeni, di cui si parlerà più diffusamente al capitolo successivo, spiegano come la resistenza d'onda non cresca in modo continuo con la velo-

cità ma possa avere dei massimi a determinate velocità per poi, in una certa misura, diminuire. Alcune imbarcazioni possono passare da un regime dislocante ad uno planante.

Oltre al sistema di onde di Kelvin, sopra descritto, le carene in movimento possono generare altri fenomeni ondosi, tra cui l'onda di Bernoulli e le onde interne.

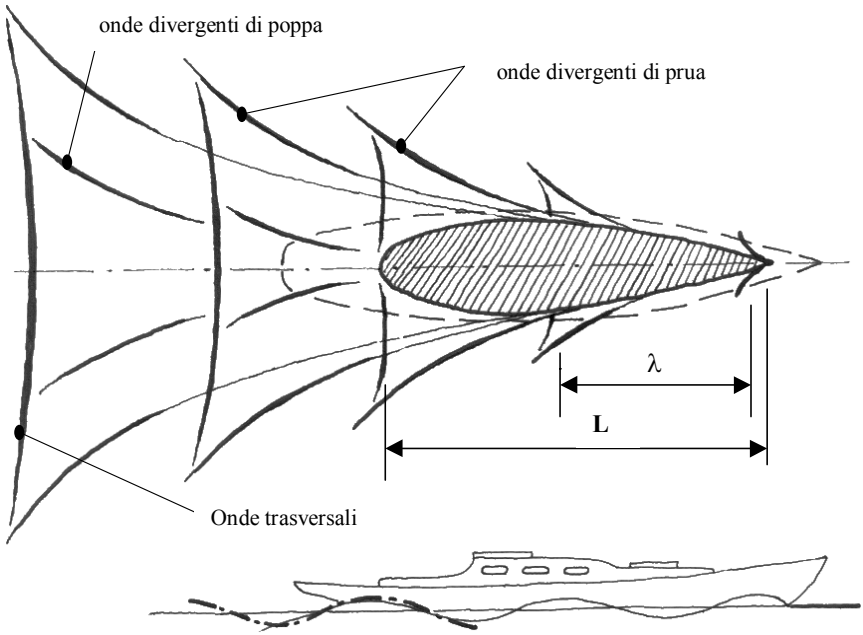


Figura -7 - Sistema d'onde generate da un natante

L'onda di Bernoulli (Figura -8-) è una particolare ondulazione assimilabile ad una singola onda stazionaria che viaggia solidale con l'imbarcazione; è visibile per velocità sostenute ed è più pronunciata per gli scafi con bulbo a prua.

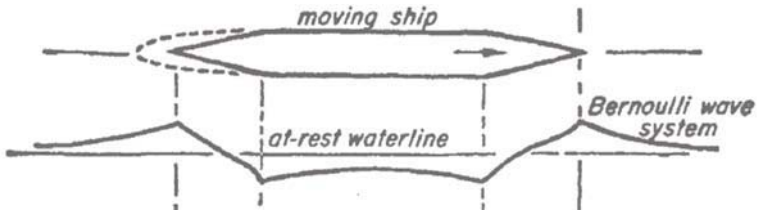


Figura -8 - Onda di Bernouilli (Fonte : Vasca Navale SSPA di Gotheborg, SVEZIA)

Essa è determinata dal sollevamento del livello dell'acqua nei punti di prua e di poppa causato dal rallentamento del moto relativo e conseguente aumento di pressione[14] del fluido, e dall'abbassamento dello stesso lungo la superficie della carena per effetto dall'accelerazione che il fluido subisce longitudinalmente per permettere l'avanzamento dello scafo. Il fenomeno è assimilabile a quello che si verifica nel campo di pressioni in un tubo Venturi o intorno ad un profilo alare, in questo caso limitatamente alla parte inferiore.

Le ***onde interne*** [15] sono infine originate da uno scafo in movimento su un liquido a due strati di diversa densità. La differente densità può essere dovuta a differenti temperature o salinità (ad es. strati di acqua dolce che scorrono su acqua salata). Il movimento del natante genera un'ondulazione all'interfaccia fra gli strati, di ampiezza e lunghezza d'onda generalmente più grandi di quelle di superficie. L'imbarcazione è per cosi dire "catturata" e obbligata a procedere più lentamente e con un maggior dispendio di potenza.

---

[14] *Si ricorda il teorema di Bernouilli.*

[15] *G. Faraguna. Inquinamento da moto ondoso nella laguna veneta.*

Effetti del moto ondoso sull'ambiente: energia scaricata e degrado

La principale quota d'energia che un natante in movimento trasmette alla massa d'acqua e che poi si scarica sulle sponde dei canali è quella connessa ai treni d'onda generata e che, come già detto, è misurata attraverso il parametro ***resistenza residua***. L'energia fornita all'acqua da un natante a motore in navigazione in acque ristrette comprende anche le perturbazioni connesse al moto dell'elica.

L'elica, come noto, presenta rendimenti della trasmissione energetica relativa al moto decisamente bassi, e normalmente inferiori al 55-60%. Essa genera getti d'acqua, vortici e turbolenze, variazioni di pressione, con formazione di correnti anche rilevanti nella massa d'acqua circostante interessata. Si può affermare che in pratica tutta l'energia, sviluppata dal motore di un natante in transito in moto uniforme in un canale, si trasmette all'acqua, e che parte di essa produce danni alle sponde a varie quote o sul fondale, in misura tanto maggiore quanto meno spazio libero ha l'onda per dissipare la sua energia per attrito interno al fluido.

Ovviamente, all'energia trasmessa all'acqua per il mantenimento del moto uniforme del natante, va aggiunta quella relativa alle fasi d'accelerazione, frenata e manovre varie quali inversione di rotta, tenendo presente che, a differenza del moto terrestre, la frenata del natante avviene invertendo la rotazione dell'elica e quindi ancora con notevole consumo d'energia meccanica.

Prima di passare all'esame dei meccanismi di degrado è opportuno un richiamo alla struttura del sistema delle sponde e delle fondazioni presenti nel centro storico.

La città di Venezia si sviluppò in un ambiente lagunare generato e mantenuto dall'afflusso dei corsi d'acqua e di fanghi portati da alcuni fiumi e canali. La particolare natura del suolo ha imposto ai costruttori della città la realizzazione di fondazioni lungo i corsi d'acqua fatta con le tecniche e le arti del tempo e con i materiali disponibili o reperibili localmente. Le fondazioni furono realizzate su palificate di costipamento, collocate per contrastare i fenomeni di rifluimento del terreno ed impostate alla quota del fondo del canale in cui l'alveo naturale presenta lo strato d'argilla più consistente. Mediamente tale quota si riscontra attorno ai due metri sotto l'attuale livello medio del mare. Una fitta rete di "fognoli", costruita nel sottosuolo, integrata con il sistema delle fondazioni, consente lo scarico dei reflui nei rii, i

quali quindi hanno un ruolo fondamentale per la manutenzione igienica della città. Sulle palificazioni di legno trovano supporto tavolati di rovere e larice, su cui sono realizzate le basi murarie di fondazione per le rive e gli edifici cittadini.

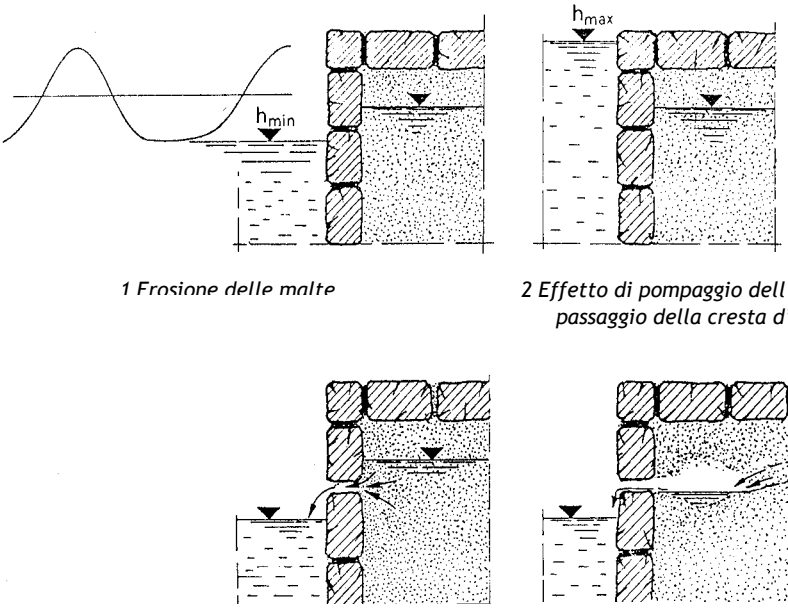
Per poter ben funzionare questo complesso sistema deve risultare integro, efficiente ed essere regolarmente mantenuto, cioè i rii devono avere il battente d'acqua naturale e il fango non deve ostruire lo sbocco delle condutture.

In realtà, molti sono i fattori aggressivi che possono innescare incrinature nell'integrità dei manufatti, dall'attacco chimico-fisico dell'ambiente, all'urto di natanti in manovra ed all'azione dei getti vorticosi delle loro eliche, e come noto, le sponde dei canali e le fondazioni di Venezia non sono state concepite per sostenere il moto ondoso del traffico motorizzato.

Figura -9 - Danno da moto ondoso sulle fondamenta (Fonte: INSULA SpA).

Le rive dei canali di Venezia sono generalmente costituite da muri a sponde verticali, che riflettono totalmente le onde incidenti, generando un'onda stazionaria d'ampiezza doppia di quella incidente, se la direzione di propaga-

zione è perpendicolare alle pareti. Se invece i fronti d'onda si presentano obliqui rispetto alla riva, il sistema delle onde riflesse si propaga simmetricamente a quello incidente rispetto alla perpendicolare alla parete. Le onde incidenti sulla parete generano delle forze di pressione di tipo dinamico, ossia variabili e oscillanti nel tempo. Se queste forze agiscono su un manufatto marino costruito e mantenuto a regola d'arte e progettato per contenere le forze d'onde di una determinata altezza massima, l'opera può rimanere integra.



1 Erosione delle malte

2 Effetto di pompaggio dell'acqua al passaggio della cresta d'onda

3 Suzione irreversibile del substrato incoerente da parte dell'acqua al passaggio del cavo d'onda o bassa marea

4 Evacuazione del substrato e collasso della struttura

Figura 10 - Azione di degrado prodotta dalle onde sulle sponde dei canali

Ciò accentua il fenomeno erosivo dell'interstizio e il progressivo dilavamento irreversibile della frazione fine del terreno retrostante il corpo murario. Il fenomeno culmina con il collasso della fondazione, della muratura o del camminamento, secondo i casi, osservati in vari lavori di intervento sulle strutture veneziane. Si evidenzia come la presenza di erosioni iniziate ester-

namente, con l'asportazione della malta negli interstizi tra pietre o mattoni, sia successivamente accentuata non appena nel manufatto si creino fessurazioni che mettono in comunicazione l'ambiente esterno (acqua) e la massa di materiale incoerente della soletta di fondazione (sabbia o argilla).

E' noto anche che il fenomeno erosivo può innescarsi all'interno di una condotta di scarico reflui, per effetto delle accentuate pulsazioni di pressione prodotte dal moto ondoso.

Un'altra insidia all'integrità delle sponde è costituita dalla mancata pulizia dei canali (ovvero il mancato escavo dei rii). Essa produce una serie di inconvenienti tra cui:

- riduzione della profondità d'acqua con conseguente aumento della generazione ondosa;
- riduzione della sezione di passaggio dell'acqua con conseguente aumento delle velocità di corrente, sia quelle di marea che quelle connesse al passaggio di imbarcazioni, e aumento degli effetti di erosione;
- occlusione dello sbocco dei condotti fognari, con conseguente innesco di rotture delle pareti, che vengono aggravate dalle sollecitazioni dovute al moto ondoso.

Processi di degrado si verificano anche nei canali della laguna aperta.

L'interrimento di molte vie navigabili che, per essere tenute in efficienza, devono essere spesso dragate, è strettamente connesso con il moto ondoso dei battelli che le percorrono. Come si è detto in precedenza, le onde, agendo sulle sponde e sulle zone a basso fondale adiacenti alle vie d'acqua e spesso frangendo su di esse, facilitano la messa in sospensione del sedimento di fondo, che rifluisce poi trascinato dalle correnti di ritorno prodotte dal natante, depositandosi nelle zone più profonde del canale.

Questo fenomeno è particolarmente rilevante per i grandi canali lagunari (Malamocco-Marghera e Vittorio Emanuele) percorsi da grandi navi, i quali, come noto, necessitano di frequenti dragaggi. Ma il fenomeno è significativo anche per i canali di media grandezza, come hanno dimostrato le prove di risospensione condotte da CNV nel 1992 nel canale Dese, al passaggio di imbarcazioni da diporto.

Si può dire che sulla problematica del moto ondoso nella laguna molte conoscenze sono state consolidate e molti dati acquisiti. Le campagne di monitoraggio del traffico acqueo di questi ultimi anni hanno inoltre consentito di quantificare l'entità del traffico nei punti più critici ed anche di valutare il tasso di crescita dello stesso. Tuttavia, per la pianificazione dell'uso futuro

della rete navigabile, sono necessari ulteriori studi e monitoraggi atti a quantificare l'energia scaricata dal traffico nelle acque dei canali ed a correlarla:

- ai diversi segmenti del traffico acqueo (asporto rifiuti, distribuzione merci, taxi, ecc.);
- alle tipologie dei natanti e delle carene;
- alle fasi di manovra dei natanti (navigazione uniforme, accelerazione, frenata, accosto, urto, ecc.)

Resistenza d'onda e velocità critica

Uno dei problemi fondamentale del progetto navale consiste nel determinare la potenza necessaria per far raggiungere alla nave una prestabilita velocità in determinate condizioni. Occorre quindi studiare gli elementi da cui la resistenza dipende e primo fra tutti, la resistenza di carena. La resistenza di carena è la risultante delle forze passive che si oppongono al moto della carena. Sulla base dei dati forniti dall'esperienza si è constatato che conviene scomporre la resistenza nelle seguenti componenti:

- ***Resistenza d'attrito***, ossia allo scorrimento del fluido lungo la superficie di carena, dovuta alla viscosità del fluido.
- ***Resistenza d'onda***, dovuta alla formazione ondosa creata dalla carena in movimento.
- ***Resistenza di forma e vortici***, dovuta all'influenza della forma della carena sulla resistenza d'attrito e all'esistenza di vortici di scia prodotti dalla presenza di discontinuità o brusche curvature della superficie di carena.

La seconda e terza componente costituiscono la cosiddetta ***resistenza residua***, di cui la parte preponderante è normalmente la resistenza d'onda.

La resistenza d'attrito si calcola con formule empiriche, nelle quali si usa un coefficiente d'attrito determinato con esperienze su lastre piane.

La resistenza residua si determina con prove su modelli, applicando fra nave e modello la similitudine dinamica attraverso il numero di Froude:

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

con

v velocità (m/s)

L lunghezza al galleggiamento della carena (m)

g accelerazione di gravità (= 9.81 m/s^2).

Una caratteristica molto importante della resistenza d'onda è che essa, in generale, aumenta fortemente all'aumentare della velocità del natante, cosa imputabile principalmente, come già accennato, alla resistenza residua, di cui la resistenza d'onda è componente fondamentale. Non si assiste ad un

aumento uniforme, perché il fenomeno è abbastanza complesso.

Si osserva che, all'aumentare della velocità, aumenta anche la lunghezza delle onde generate, e quindi varia il profilo dell'onda lungo la carena e di conseguenza il campo di pressioni. Conseguenza è che anche l'equilibrio verticale viene alterato, e l'immersione media della carena e il suo angolo d'assetto tendono a modificarsi, fattori che a loro volta incidono sulla resistenza d'onda.

Una situazione particolare si verifica quando la lunghezza λ dell'onda trasversale generata è uguale alla lunghezza bagnata di carena *L* alla linea di galleggiamento, condizione alla quale la velocità della nave è uguale alla celerità dell'onda trasversale *c*. In questa condizione, che si definisce di ***velocità critica***, si può affermare che la nave viaggia su una propria singola onda (una cresta a prua, una cresta a poppa, ed un cavo nella zona mediana).

Tenendo conto dell'espressione della celerità d'onda in acque profonde (v. Tabella 7-), si ricava il valore della velocità critica, per $\lambda = L$:

$$v_c = c_{\max} = \sqrt{gL/2\pi}$$

Il numero di Froude [16] per questa condizione critica risulta pertanto:

$$N_{Fc} = \frac{v_c}{\sqrt{gL}} = \frac{\sqrt{gL/2\pi}}{\sqrt{gL}} \cong 0{,}4$$

Più in generale quindi si può esprimere il numero di Froude come:

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{v}{c_{\max}}$$

Il numero di Froude, apparentemente empirico, ha pertanto in questa applicazione un significato fisico importante, ossia di essere proporzionale al rap-

[16] *Il numero di Froude può essere interpretato come il rapporto tra la velocità con cui si muove una corrente a pelo libero e la velocità di un'onda che si muove sulla superficie.*

porto tra la velocità relativa del corpo (la nave) sorgente di disturbo della superficie in quiete del fluido e la massima velocità di propagazione delle onde che essa può generare, in funzione della sua dimensione nel senso del moto (la lunghezza)[17].

Si vedrà al paragrafo seguente che tale significato è generale e valido anche in acqua bassa, a meno del fattore di proporzionalità.

Aumentando la velocità oltre il valore critico, aumenta la lunghezza dell'onda ed il cavo viene a trovarsi in corrispondenza della poppa. Si assiste quindi ad un abbassamento pronunciato della poppa con variazione dell'angolo d'assetto longitudinale e con un abbassamento complessivo della carena (squatting), rispetto alla linea normale di galleggiamento.

Se si aumenta ulteriormente la velocità, comincia a verificarsi un effetto nuovo, di sollevamento dinamico a prua. È questa la fase di passaggio da un regime dislocante a quello semidislocante e poi planante. Il campo di pressione attorno alla carena si modifica ulteriormente e la componente di pressione, che si genera a prua, comincia a generare una portanza[18] che solleva parzialmente la carena dall'acqua. Il peso della nave è sostenuto quindi in parte dalla spinta idrostatica dell'acqua ed in parte dalla portanza indotta dal moto. In questa condizione, il minor volume immerso genera una formazione ondosa più contenuta. Il passaggio dal regime dislocante a quello planante è caratterizzato da una fase in cui la generazione della formazione ondosa e quindi la resistenza d'onda raggiungono un valore massimo.

In termini dimensionali, tale condizione critica si verifica quando la relazione fra velocità del natante V_s e la lunghezza bagnata di carena L è data da:

$$\frac{V_s}{\sqrt{L}} = 1{,}34 \quad \text{con } V_s \text{ in nodi e } L \text{ in piedi (feet)}$$

ovvero

$$\frac{V_s}{\sqrt{L}} = 1{,}25 \quad \text{con } V_s \text{ in m/s e } L \text{ in m}$$

---

[17] *Si ricorda che la velocità di propagazione delle onde trasversali è maggiore di quella delle onde divergenti nel sistema di onde generate dal moto del natante.*

[18] *Portanza è una forza perpendicolare al moto relativo tra nave e fluido, non più dovuta alla spinta idrostatica, ma alla deviazione, verso il basso in questo caso, delle particelle fluide per effetto del moto della nave.*

Facendo alcuni esempi: per un motoscafo tipo taxi, avente lunghezza bagnata di carena di 8 m tale condizione critica teorica si verifica per una velocità di circa 13 km/ora[19], mentre per un natante tipo barchino, avente lunghezza bagnata di carena di 5 m, per una velocità di circa 10 km/ora.

Per ottenere la condizione di planata completamente sviluppata, in cui la resistenza residua e quindi la formazione ondosa è ridotta rispetto a velocità inferiori, occorre tuttavia superare abbondantemente la velocità critica, di una quantità variabile in dipendenza della conformazione e del peso della barca.

Si può stimare che la planata sia completamente sviluppata quando la relazione fra la velocità del natante V_s e la lunghezza bagnata di carena L assume valori compresi tra 2,5 e 3,1 con unità di misura nodi e piedi, e tra 2,3 e 2,9 con unità di misura m/s e m, con i valori inferiori per barche leggere a fondo piatto e quelli superiori per barche pesanti e con carena a V profondo. Continuando con gli esempi, si può stimare che si possa avere una planata completa per un motoscafo tipo taxi attorno ai 30 km/h, per un natante tipo barchino attorno ai 20 km/h.

Va anche detto che non è semplice individuare il momento in cui la planata si può considerare completamente sviluppata, ad esempio alcuni indicatori sono:

- lo specchio di poppa resta asciutto;
- l'angolo di assetto della barca, dopo essere aumentato continuamente nella fase di passaggio dalla condizione di dislocamento alla semiplanata, fino a valori anche di 7 – 10 gradi, ritorna a diminuire;
- dopo aver aumentato la potenza del motore per superare la fase di semiplanata, è necessario ridurla leggermente, per mantenere la stessa velocità.

Attualmente, in molte aree della laguna i limiti di velocità sono di 20 Km/h, ma in questa logica in alcune di esse potrebbe essere consentito, per certe imbarcazioni di lunghezza limitata, con carene adatte e in determinate condizioni favorevoli (traffico ridotto, acqua calma, poco vento, etc.) superare tale velocità sino a raggiungere la condizione di planata completamente sviluppata, sviluppando così meno moto ondoso che nel rispetto dei limiti generali.

Non tutti gli scafi hanno caratteristiche idonee alla planata, occorre infatti una forma di carena che presenti ampie superfici di appoggio sull'acqua verso

[19] *1 km/h = 3,6 m/s*

poppa, con la sezione trasversale più ampia corrispondente allo specchio di poppa, e una linea del fondo il più possibile orizzontale, mantenuta con un'accurata distribuzione del carico, oltre a un peso complessivamente contenuto, in ragione della lunghezza.

È tuttavia da tener presente che:

- per raggiungere la condizione planante occorre superare abbondantemente la velocità critica, che non è un dato puntuale, ma un intervallo di valori di velocità attorno al valore critico teorico[20], e che nel passaggio tra le due condizioni, dislocante e planante, si sviluppa il massimo di resistenza d'onda e quindi di moto ondoso;
- la potenza richiesta per superare la velocità critica e raggiungere la planata è assai elevata;
- non è semplice mantenere la velocità di planata, in cui la formazione di moto ondoso è minima, perché essa corrisponde a una situazione di equilibrio instabile tra la resistenza totale e la potenza erogata dal motore;
- una volta superata la velocità di planata completamente sviluppata e di minima resistenza d'onda, un ulteriore aumento di velocità comporta un nuovo aumento di resistenza d'onda e quindi di generazione di moto ondoso;
- la maggior parte delle imbarcazioni lagunari non ha carene adeguate e, se forzate con l'intento di superare la velocità critica, continuano in pratica a navigare a velocità eguali o poco superiori, con grande ed inutile dispendio di potenza e carburante e con una esagerata e dannosa generazione di moto ondoso.

---

[20] *Tale valore viene calcolato con la lunghezza al galleggiamento, ma la lunghezza bagnata varia con la velocità portando già per questo a delle variazioni non riducibili ad una formula semplice.*

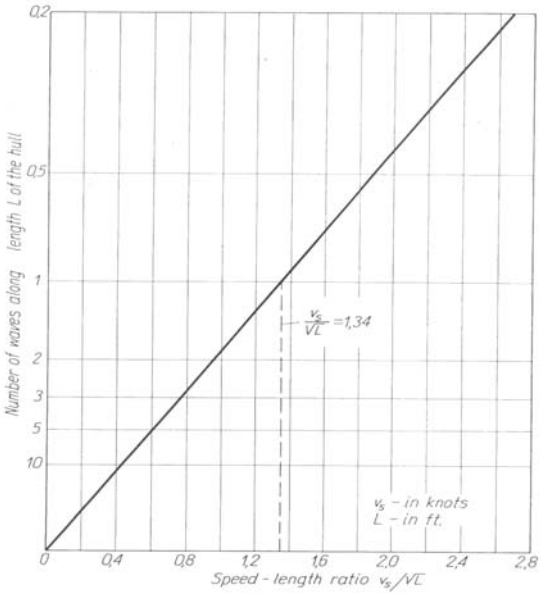


Figura 11 - Numero di onde lungo la carena in funzione del rapporto velocità - lunghezza.

(Fonte: Marchaj - Sailing theory and practice).

Interferenza tra scafo e fondali limitati

In queste pagine sono illustrati i problemi che si creano per il moto ondoso generato da natanti in acque basse, non tenendo conto ancora dell'effetto delle sponde di canali ristretti, che sarà visto successivamente.

Le considerazioni che seguono, oltre che a campi lateralmente non confinati, si applicano anche a canali abbastanza larghi. Infatti le caratteristiche del sistema d'onde, non subiscono modifiche in presenza di un confinamento laterale quando la larghezza *b* del canale è sufficientemente grande rispetto a quella *B* del natante ($b/B > 5$).

In acque basse si ha infatti :

celerità dell'onda: $c = \sqrt{gd}$

numero di Froude $F = \dfrac{v}{\sqrt{gd}} = \dfrac{v}{c}$

Ciò significa che *c* è costante per una data profondità, indipendentemente dalla lunghezza dell'onda generata dal natante, contrariamente a quanto avviene in acque profonde. Pertanto il numero di Froude *F* viene definito più convenientemente in funzione della profondità del fondale *d*, mantenendo il significato fisico di proporzionalità (in questo caso identità) tra la velocità della sorgente di disturbo e velocità di propagazione delle onde generate dalla stessa sulla superficie del fluido.

Si trattano ora con maggiore dettaglio due aspetti specifici che originano dal problema della interferenza tra scafo e fondali limitati:

- la velocità critica nei canali, di particolare interesse in quelli lagunari
- il fenomeno dello squatting, o 'effetto ventosa', su bassi fondali

La velocità critica nei canali lagunari

Le considerazioni che seguono sono valide in fondali limitati (acque basse) e si applicano ad una parte dei canali della laguna; va peraltro tenuto presente che per le situazioni più ristrette anche in senso laterale, i fenomeni diventano più complessi e per certi aspetti estremi e meritano ulteriori considerazioni che saranno fatte nel paragrafo successivo.

In acque basse, come già mostrato da Havelock, per un punto anomalo di pressione con velocità *V*, al crescere del numero di Froude oltre il valore limite di 0.6, a partire dal quale l'onda sente l'effetto fondo, aumenta l'angolo formato dalla linea delle cuspidi con l'asse di navigazione (Figura -12 a).

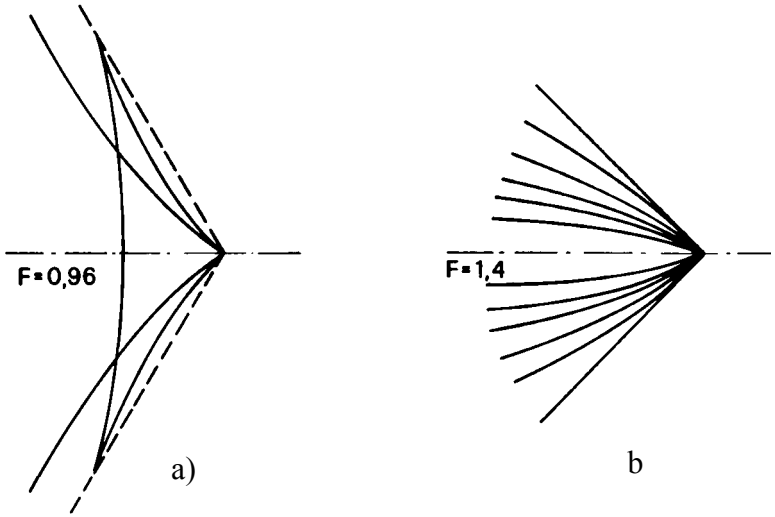


Figura -12- Disposizione planimetrica delle onde generate da un battello in acque basse

Quando $F = v/\sqrt{gd}$ tende ad 1 (e cioè quando la velocità del natante è uguale alla celerità dell'onda in acque basse) le onde divergenti e trasversali formano un unico sistema che si dispone con i fronti ortogonali alla linea di moto ed avanza alla stessa velocità del disturbo. Per *F* = 1 il sistema dà origi-

ne ad una unica "onda solitaria" a prua, ortogonale alla linea del moto e che si muove in modo solidale con l'imbarcazione. Si tratta di una situazione analoga a quella di un aereo che raggiunge la velocità di propagazione del suono nell'aria (muro del suono). Aumentando ancora la velocità, (F > 1) le onde trasversali scompaiono e le onde divergenti si dispongono all'interno di un settore che si restringe sempre più all'aumentare della velocità (Figura -12 b). Questo risultato studiato per il punto di pressione, è stato confermato anche nel caso di un natante in navigazione, in acque basse. Per fare un esempio pratico, in un fondale di 2 m questa condizione di velocità critica corrisponde ad una velocità del natante di circa 16 km/h, mentre in un fondale di 1 m ad una velocità di circa 11 km/ora.

Sempre nella condizione d'acque basse, indagini sperimentali evidenziano anche che in prossimità delle condizioni di velocità critica, l'altezza d'onda tende ad aumentare notevolmente, raggiungendo un massimo per F = 1, con un valore anche diverse volte più alto di quello normale, con una crescita parallela della resistenza d'onda.

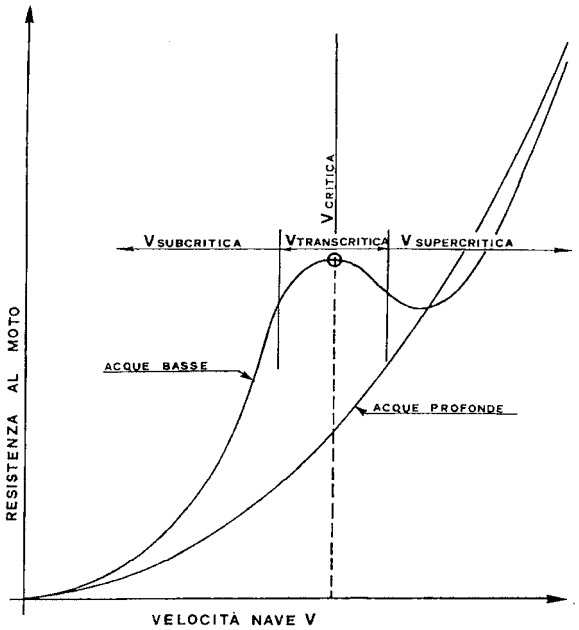


Figura -13 - Curve di resistenza al moto in basso fondale

In acque basse le imbarcazioni possono navigare nei seguenti regimi (Figura

-13):

- ***subcritico***, caratterizzato da un continuo aumento della resistenza con la velocità
- ***transcritico***, caratterizzato da un massimo della resistenza che si realizza teoricamente per $F = 1$, ma che nella pratica si evidenzia già per valori di F in un intorno di 0,9;
- ***supercritico***, caratterizzato da un minimo relativo della resistenza, la quale per $F > 1.2$ tende ad essere leggermente inferiore a quella per profondità infinita.

La resistenza qui è intesa in senso generale, ovvero sia come totale che come residua o d'onda.

Va però evidenziato che mentre per $F < 0.6$ la resistenza d'onda rappresenta circa il 20% della resistenza al moto, superato tale valore e andando verso la velocità critica, la resistenza d'onda diventa l'effetto dominante.

Vale la pena di puntualizzare che anche se altri parametri, quali la forma delle carene, possono influenzare il fenomeno ondoso, il parametro dominante e quindi maggiormente da controllare resta la velocità delle imbarcazioni.

Il passaggio attraverso il regime critico è caratterizzato da:

- un notevole incremento della generazione ondosa;
- variazioni dell'immersione e dell'assetto;
- notevoli richieste di potenza per superare il regime critico e passare a quello supercritico.

È importante quindi che l'eventuale passaggio attraverso la velocità critica sia fatto con rapidità e sicurezza.

È anche ovvio che per situazioni d'acque intermedie, la situazione di velocità critica avviene ugualmente ed i fenomeni associati hanno caratteristiche intermedie rispetto ai casi estremi qui riportati, d'acque profonde ed acque basse.

Lo squatting

Un fenomeno molto importante, di cui si è già avuto occasione di parlare, è quello delle sensibili variazioni d'immersione ed assetto del natante e che è conosciuto nella letteratura internazionale con il nome di ***squat***. (*squatting*). In italiano si chiama anche 'effetto ventosa' e consiste in un irresistibile richiamo verso il basso della carena che transita, a velocità sufficiente, non esagerata, sopra un basso fondale. Questo effetto si verifica in modo più marcato in prossimità della velocità critica del natante e particolarmente in bassi fondali e in canali ristretti. Il fenomeno è pericoloso non solo perché può produrre strisciamenti della carena sul fondo, con conseguente possibilità di generazione di falle, ma anche perché può dar luogo a movimenti trasversali che influenzano la manovrabilità e l'efficienza del timone. Molti sono i ricercatori che dai primi del '900 si sono dedicati allo studio di questi problemi: riducendosi la distanza del fondale dalla carena, si riduce la sezione di passaggio dell'acqua, aumentandone di conseguenza la velocità relativa. Questa modifica del campo di velocità, fa variare anche il campo di pressione, generando le variazioni d'immersione e d'assetto nonché l'aumento di resistenza del natante in transito.

I fenomeni sono maggiormente accentuati se si è in presenza anche di una riduzione di larghezza del canale, nel qual caso l'accelerazione della massa d'acqua si verifica anche lateralmente, in ragione del rapporto fra massima sezione trasversale immersa del natante e la sezione del canale. Un'idea dell'entità del fenomeno di "squat", per un battello di interesse per la navigazione in Laguna, si può ricavare dal grafico, ottenuto con prove su modello presso la vasca navale di Trieste. E' un fenomeno ben visibile quando si transita a 'velocità normale' su di un canale in bassa marea. Si sollevano gran fondami fangosi, la barca si appoppa oltre il normale, e sembra faticare a procedere. Ricerche approfondite sul fenomeno dello squatting sono state effettuate da Barras[21] e da Lopinot, i quali hanno definito le procedure di calcolo della sua entità, sia in acque illimitate che in canali ristretti.

[21] *B. Barras. Predicting in ship squat.*

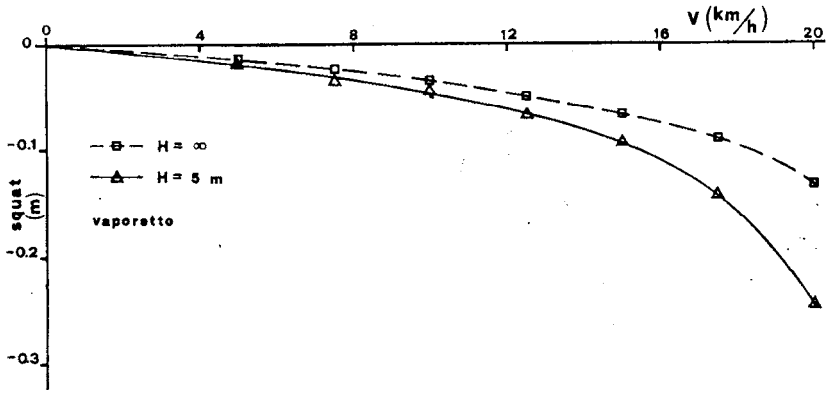
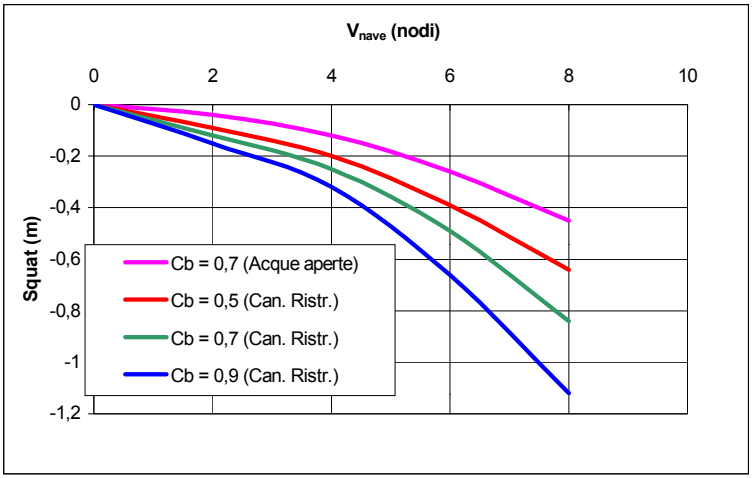


Figura -14 - Squat di uno scafo tipo vaporetto per fondale illimitato e limitato (Fonte: Univ. Di Trieste, Prof. Zotti)

Oltre che dal fondale, il fenomeno dipende dal coefficiente prismatico C_b, rapporto tra il volume immerso di carena e quello del parallelepipedo circoscritto allo stesso, e dal rapporto fra l'area della sezione maestra *U* della carena e quella della sezione trasversale *S* del canale. In figura si ha una panoramica sull'entità del fenomeno dello squatting, sia in acque aperte che in canali ristretti, come risultato degli studi di B. Barras.



Interferenza tra scafo, fondali limitati e sponde dei canali

Le caratteristiche del sistema d'onde, generate da un natante in navigazione in un campo di moto illimitato, non subiscono modifiche in presenza di un confinamento laterale quando la larghezza *b* del canale è sufficientemente grande rispetto a quella *B* del natante ($b/B > 4$).

Spesso però le dimensioni trasversali del campo, cioè del canale, sono molto ridotte, e la sezione di carena è addirittura confrontabile con la sezione liquida del canale. In questo caso i fenomeni diventano ancora più complessi, sia per la presenza di forti fenomeni di riflessione delle sponde che per la modifica dei flussi idraulici nelle sezioni confinate fra carena, sponde e fondale.

Ad esempio, il fenomeno dell'aumento della velocità relativa dell'acqua sotto lo scafo, già evidenziato in acque basse, si verifica anche lateralmente fra scafo e sponde.

Nella laguna di Venezia si presentano al riguardo alcune situazioni tipiche, che si descrivono nel seguito con maggiore dettaglio:

- canale lagunare profondo con zone laterali poco profonde (per la cui descrizione si fa riferimento principalmente ad una memoria scientifica presentata dal prof. D'Alpaos nel 1986[22]);
- la velocità di saturazione nei canali urbani.

[22] *L. D'Alpaos. Idraulica e conseguenze dei moti ondosi nei canali lagunari. Giornata di studio "A vent'anni dall'evento di marea del novembre 1966" presso l'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti.*

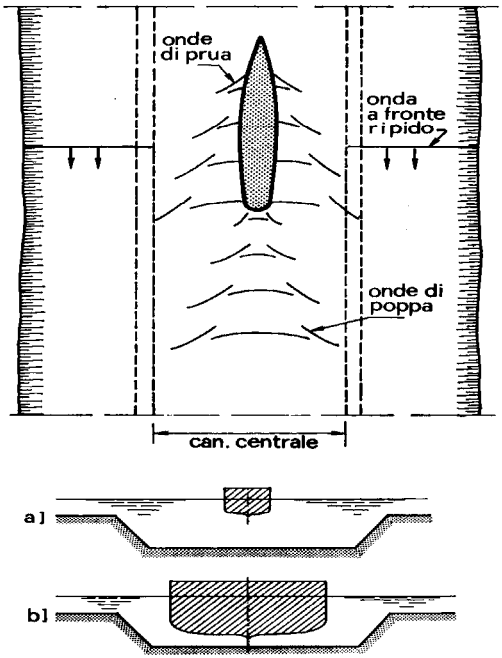


Figura -15 - Onde generate da un natante in un canale lagunare fiancheggiato da acque poco profonde (Fonte: Univ. di Padova, Prof. D'Alpaos)

Nelle vie navigabili della laguna aperta, spesso esiste un canale centrale profondo, fiancheggiato da zone d'acqua laterali estese, ma poco profonde. Il sistema d'onde che è generato è rappresentato schematicamente nella figura sovrastante.

Le onde divergenti prodotte dal natante sono in parte riflesse ed in parte trasmesse dalle sponde laterali sommerse. Le onde che si propagano tendono a diventare più ripide, e facilmente frangono. L'elevata turbolenza prodotta dal frangimento può mettere in sospensione i sedimenti di fondo che in parte sono trascinati nel canale dalle correnti di ritorno. Queste sono generate dalle masse d'acqua che si aprono di fronte alla prua, si spostano lateralmente per richiudersi a poppa cariche di materiale sospeso che lentamente si deposita sul fondo del canale centrale.

Il fenomeno si accentua bruscamente quando le dimensioni trasversali del canale centrale sono piccole, ossia confrontabili con quelle del natante. In questo caso si assiste alla formazione sulle zone laterali di vere e proprie onde a fronte ripido. La maggior parte del volume d'acqua spostato dal battello deve fluire all'indietro lungo le zone a basso fondale, dove si genera appunto il fronte ripido. Le forti correnti di ritorno causano l'erosione delle sponde e il contemporaneo interrimento del canale centrale.

L'altezza delle onde a fronte ripido in un dato canale cresce con le dimensioni del natante, e a parità di dimensioni dello stesso, con la sua velocità. Gli interrimenti riscontrati nei canali Vittorio Emanuele e Malamocco-Marghera sono in gran parte attribuibili alle navi che li solcano, e solo in misura minore alle correnti di marea ed alle onde da vento. Qualcosa di simile accade anche nei canali più piccoli dove transitano spesso imbarcazioni ad elevata velocità.

Quanto detto riconferma la criticità del traffico navale motorizzato anche per l'ambiente lagunare aperto, e l'importanza sempre decisiva del parametro velocità del natante.

La velocità di saturazione nei canali urbani

Nei canali ristretti del centro storico di Venezia, spesso si assiste al passaggio di battelli la cui sezione di carena è comparabile con la sezione liquida del canale. I fenomeni che si evidenziano, in questo caso sono:

- un aumento sensibile della velocità dell'acqua ai lati della carena, oltre che al di sotto di essa;
- un innalzamento dell'altezza d'acqua nelle zone di prua e di poppa ed un abbassamento del livello nella zona mediana del natante;
- la formazione d'onde d'ampiezza complessiva sensibilmente più elevata rispetto alla situazione di campo di moto non confinato.

Al crescere della velocità del battello, sperimentalmente si osserva un progressivo aumento della resistenza al moto. È anzi individuabile un valore limite della velocità di spostamento del battello in corrispondenza del quale, pur incrementando sensibilmente la potenza del mezzo, la velocità del natante ha sempre più difficoltà ad aumentare. Si raggiunge, in altre parole, una ***velocità di saturazione***, cui corrisponde la formazione a poppa del natante di un'onda a fronte ripido, che dissipa gran parte dell'incremento d'energia fornita dal propulsore. In questa condizione si verificano spesso importanti fenomeni di cavitazione con perdita di governo della nave.

Dal punto di vista teorico la velocità di saturazione V_{sat} in canali ristretti si può calcolare con buona approssimazione con la formula

$$V_{sat} = k\sqrt{gd}$$

con

d	profondità del canale
k	fattore di blocco

Il fattore di blocco k è definito da B. Barras in funzione del rapporto fra U (area della sezione maestra della carena) e S (area della sezione trasversale bagnata del canale).

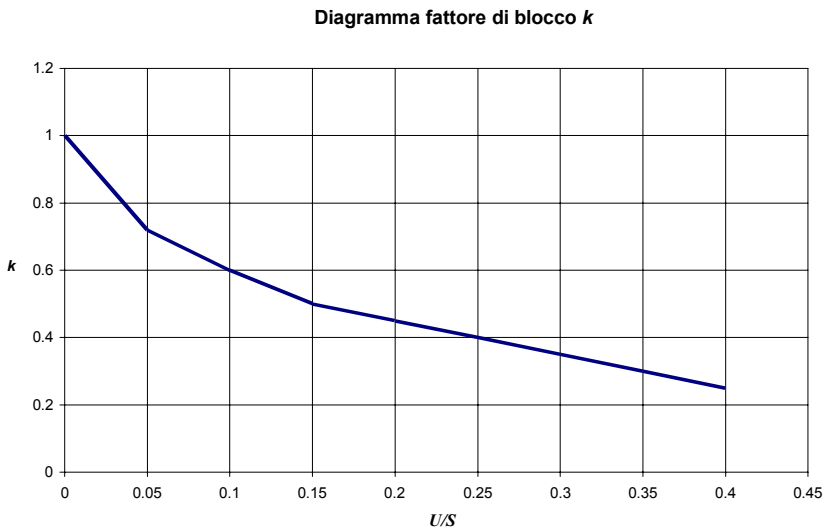


Figura -16 - Fattore di blocco k *in funzione del rapporti* U/S*(Fonte B. Barras)*

Ricordando che la celerità d'onda in acque basse è

$$c = \sqrt{gd}$$

si ottiene anche che

$$V_{sat} = kc$$

Si può quindi affermare che V_{sat} non è altro che la velocità critica definita al precedente paragrafo 0, corretta attraverso il fattore di blocco *k*, minore di 1, che tiene conto della presenza del battello in canali ristretti.

Utilizzando le formule precedenti si possono riportare degli esempi di calcolo della velocità di saturazione.

Prendendo in esame due canali entrambi profondi 2 m , larghi rispettivamente 6 e 12 m (e quindi con sezioni liquide *S* di 12 e 20 m^2) e due battelli con sezione trasversale di carena *U* di 2 e 4 m^2, si hanno i casi riportati in Tabella -8.

Caso	S (m^2)	U (m^2)	k	V_{sat} (km/h)
A1	12	2	0,47	7,5
A2	12	4	0,31	5
B1	20	2	0,60	9,6
B2	20	4	0,44	7,0

Tabella -8 - Casi esemplificativi di velocità di saturazione

Va notato che se nella stessa sezione trasversale del canale sono presenti due barche, va considerato un parametro *U* complessivo equivalente alla somma delle sezioni delle due barche; ciò ovviamente riduce ulteriormente e in modo sensibile la corrispondente velocità di saturazione.

Misure al vero e su modello

La conoscenza della resistenza al moto di una nave è sempre stata un problema fondamentale della progettazione navale. Esso è affrontato sperimentalmente effettuando misure su navi al vero durante i loro percorsi, oppure in vasca navale utilizzando dei modelli in scala.

Le sperimentazioni e misure su navi al vero richiedono un notevole impiego di mezzi e attrezzature, con alti costi e tempi lunghi. Se l'intento è quello di fare uno studio parametrico esteso, prendendo in considerazione ad esempio diverse carene e condizioni di carico, differenti profondità e larghezze dei canali, l'impresa diventa di fatto proibitiva. A questo si aggiunga il fatto che normalmente non si possono controllare le condizioni di prova, ad esempio onde e correnti naturali nella zona di prova.

Un esempio molto importante di campagna di prove e misure al vero nell'ambito lagunare è quella eseguita nel 1988 per conto della Commissione Moto Ondoso, che ha visto l'impiego di ben 25 imbarcazioni lagunari, ed i cui risultati principali sono stati riportati in questo testo.

Le prove in vasca rendono possibile ottenere in poche settimane le informazioni necessarie per verificare o migliorare il progetto di una nave, mentre sarebbero necessari anni d'osservazioni e misure su una nave al vero per avere lo stesso livello d'informazioni.

Il pioniere delle prove in vasca fu William Froude (1810-1879) che per primo munì la sua vasca di un carrello viaggiante attrezzato con apparati di misura accurati, ma soprattutto indicò il procedimento adatto per applicare la similitudine meccanica alle esperienze di rimorchio.

Il metodo suggerito da Froude, semplice ed ingegnoso, fu che la resistenza totale poteva essere considerata come somma di due componenti: la resistenza d'attrito e la resistenza residua. La resistenza residua, oggi molto in uso nella letteratura navale, indica tutte le resistenze causate da una carena ad eccezione di quelle d'attrito. Normalmente la parte preminente di essa è la resistenza d'onda.

La resistenza totale è determinata sperimentalmente sul modello in scala geometrica ridotta, mentre quella d'attrito può essere facilmente calcolata mediante formulazioni qualificate sperimentalmente con la teoria dell'attrito viscoso. Di conseguenza la resistenza residua del modello si ottiene per sottrazione.

Il passaggio dai risultati del modello a quelli dello scafo vero si attua utiliz-

zando la legge di similitudine di Froude, e cioè rapportando opportunamente le resistenze residue del modello e dello scafo vero a parità di numero di Froude; questo è dato dalla formula già riportata:

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

con

v velocità,

L lunghezza al galleggiamento della carena

g accelerazione di gravità.

I modelli delle carene da sperimentare in vasca sono eseguiti accuratamente secondo le linee del piano di costruzione. I materiali normalmente utilizzati sono la paraffina oppure il legno.

Relativamente alla problematica della navigazione lagunare ed in particolare a quella del moto ondoso generato dai natanti, numerose campagne di prove in vasca sono state effettuate sia presso la vasca navale dell'Università di Trieste che presso altre istituzioni molto note a livello internazionale, quali il MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) di Wageningen (Olanda).

A titolo di esempio, in figura si riporta il modello del vaporetto innovativo a basso moto ondoso, LIUTO, durante una prova presso la vasca navale di Napoli, nell'ambito dell'omonimo progetto europeo.

Figura -17 - Prove in vasca del modello di vaporetto Liuto (Di. Ing. Navale di Napoli)

Infine è opportuno fare un cenno al ruolo che stanno assumendo oggi i ***modelli numerici*** nella simulazione di problemi idrodinamici complessi, quali quelli che si sviluppano intorno alla carena in movimento.

Tali modelli numerici vengono impiegati principalmente dai gestori di vasche navali, ma non solo, come strumenti non sostitutivi, ma complementari rispetto alle prove fisiche condotte in vasca.

Infatti essi danno l'opportunità di fare in modo più agevole studi comparati di comportamento di vari scafi, analisi di sensibilità e studi di ottimizzazione di determinati parametri, riducendo al minimo le pur necessarie prove in vasca.

Inoltre essi consentono di ottenere la distribuzione di grandezze di interesse anche su volumi e superfici di notevole estensioni. Ad esempio la distribuzione delle pressioni sul fondo e sulle pareti di canali, che sarebbe praticamente impossibile ottenere tramite misure in vasca.

In Figura -18- si riporta, come esempio il risultato di una analisi numerica effettuata da MARIN. Nella foto di Figura -19- si ha il confronto dal vero del comportamento dei due tipi di scafo, che conferma quanto previsto dai modelli sia in vasca che numerici.

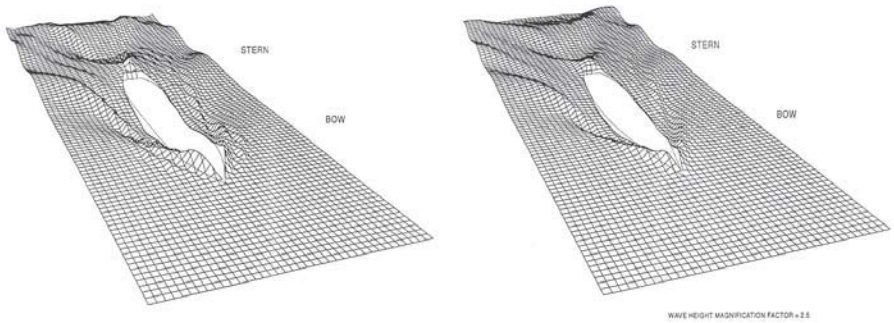


Figura -18 - Modellazione numerica del moto ondoso generato dal vaporetto LIUTO (a destra), a confronto con quello generato da un vaporetto tradizionale (a sinistra). (Onde amplificate di 2,5 volte. Fonte: MARIN, docum. progetto LIUTO).

Figura -19 - Confronto in prove reali del moto ondoso generato dal vaporetto LIUTO (in alto) alla velocità di 10,5 nodi. (Fonte: Actv, docum. progetto LIUTO)

Questo estratto è edito a cura dell'Ufficio del Commissario Delegato del Governo per il Traffico Acqueo nella Laguna di Venezia.

L'estratto riprende alcune parti del "Manuale di Navigazione Lagunare – Guida per l'operatore professionale ed il diportista" redatto a cura della Provincia di Venezia - Settore Mobilità e Trasporti, attualmente in corso di stampa.

Si ringraziano gli autori :

ing. Attilio Brighenti

ing. Roberto Di Bussolo

ing. Franco Fiorin

dr Mascia Pavon

ing. Gaetano Sebastiani

Venezia, luglio 2003

Tutti i diritti riservati

– Riproduzione vietata senza consenso e citazione della fonte-