



REGIONE SICILIANA

Assessorato del Territorio e dell'Ambiente

IL PRESENTE DOCUMENTO COSTITUISCE ALLEGATO 6

AL D. A. N° 1729/92 DEL 6 NOV. 1992

L'ASSESSORE

SALINA

LIPARI

VULCANO

COMUNE DI S. AGATA MILITELLO (ME)

Il presente elaborato è stato adottato con
delibera C.C. n° 50 del 14.3.90.-

IL SEGRETARIO GENERALE

IL SINDACO



REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE
CONSIGLIO REGIONALE DELL'URBANISTICA

VISTO: CON RIFERIMENTO AL PROPRIO VOTO

N. 417 del 17-4-91 C. CALAVA

IL SEGRETARIO

CAPO d'ORLANDO

PATTI

S. AGATA di MILITELLO

CEFALU

FINALE

S. STEFANO di CAMASTRA

CARONIA

ASSESSORATO REGIONALE TERRITORIO E AMBIENTE

COMUNE DI S. AGATA DI MILITELLO

PROVINCIA DI MESSINA

PIANO REGOLATORE GENERALE DEL

PORTO DI 2ª CATEGORIA IVª CLASSE

Allegato:

6

Scala:

IL SINDACO

Disegnato il:

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Francesco Bufta

n. 2150

RELAZIONE

IDRAULICO-MARITTIMA

PREMESSE	Pag.	1
<u>CAPITOLO 1</u> - STUDIO ANEMOLOGICO	"	2
" 1.1 - IL REGIME DEI VENTI	"	3
" 1.2 - ESAME STATISTICO DEI DATI ANEMOMETRICI	"	6
" 1.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	9
<u>CAPITOLO 2</u> - PREVISIONI DEL MOTO ONDOSO	"	11
" 2.1 - LA VALUTAZIONE DEI "FETCHES" EFFETTIVI	"	12
" 2.2 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO	"	16
" 2.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	19
<u>CAPITOLO 3</u> - STUDIO DELLA RIFRAZIONE	"	23
" 3.1 - IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA	"	24
" 3.2 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA RIFRAZIONE	"	27
" 3.3 - LA RAPPRESENTAZIONE SINTETICA	"	30
" 3.4 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	33
<u>CAPITOLO 4</u> - STUDIO DEL FRANGIMENTO	"	35
" 4.1 - GENERALITA'	"	36
" 4.2 - IL MODELLO MATEMATICO DEL FRANGIMENTO	"	40
" 4.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	45
<u>CAPITOLO 5</u> - STUDIO DELLA DIFFRAZIONE	"	48
" 5.1 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA DIFFRAZIONE	"	49
" 5.2 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	"	52
<u>CAPITOLO 6</u> - CONCLUSIONI	"	54

1. Premesse

Ad Ovest dell'abitato di S. Agata di Militello è prevista la ubicazione di un porto di 2° categoria IV° classe.

Scopo del presente allegato risulta la valutazione delle caratteristiche del moto ondoso al largo e sottocosta, lo studio del fenomeno di frangimento e di diffrazione nell'avamposto e nello specchio acqueo del dispositivo portuale.

A tal fine lo studio idraulico-marittimo, prendendo le mosse dall'esame statistico della climatologia marittima locale, perviene, attraverso il rigore di adeguati modelli matematici, alla determinazione della giacitura delle opere foranee in funzione delle condizioni di sicurezza ed agibilità del dispositivo portuale.

CAPITOLO 1
STUDIO ANEMOLOGICO

1.1 - IL REGIME DEI VENTI

Per la valutazione delle caratteristiche cinematiche delle onde al largo occorre conoscere il regime dei venti sul mare.

A tale scopo si sono presi in esame i dati anemometrici della stazione di Ustica (400 A.M.) che certamente, si trova all'interno della zona ove ha sede lo scambio di energia dal vento al mare; si sono pertanto considerate le osservazioni triorarie per la suddetta stazione per i ventuno anni che vanno dal 1951 al 1973 per un totale di 67.160 dati.

A tale proposito si osservi che la regolare fornitura di dati da parte dell'Aeronautica Militare si ferma, appunto, al 1973.

Le osservazioni della velocità del vento sono espresse in nodi interi pre le trentasei direzioni di dieci gradi in dieci gradi a partire dal Nord geografico.

L'analisi e l'elaborazione di una messe così elevata di dati possono essere condotte solo mediante la utilizzazione di un elaboratore elettronico.

E' stato così possibile, per le otto direzioni fondamentali, valutare le frequenze medie mensili ed annue di apparizione del vento per una suddivisione del vento stesso nelle seguenti quattro classi: 1-30 nodi; 31-40 nodi; 41-50 nodi; >50 nodi.

Il frutto di tali elaborazioni è riportato nelle allegate tabelle da 1 a 13.

L'indagine in parola, pur consentendo una buona conoscenza del regime anemometrico al largo del paraggio in esame, nulla dice sulla distribuzione degli eventi e, in particolare, sui tempi di ritorno con cui tenderebbero a manifestarsi gli eventi stessi. Tale argomento è oggetto del prossimo paragrafo.

Dall'esame dei suddetti dati si osserva che, per le direzioni ricadenti all'interno del settore di traversia (NW-N-NE), si manifestano, nel periodo Ottobre-Aprile, frequenze di apparizione dell'ordine dello 0,1 - 0,2% di eventi caratterizzati da velocità maggiori di 50 nodi.

Per velocità comprese fra i 41 e i 50 nodi, le frequen-

ze raggiungono valori dello 0,5%; la frequenza sale al valore di 1,8% per velocità di 31-40 nodi; per velocità minori di 30 nodi si hanno, infine, frequenze dello ordine del 20%.

1.2 ESAME STATISTICO DEI DATI ANEMOMETRICI

Il vento, come peraltro tutti gli eventi metereologici, rappresenta la sintesi di una serie così grande di cause governate da leggi poco note, da indurre a considerarlo come un fenomeno stocastico.

Gli eventi si ipotizzano, allora, come indipendenti e, quindi, elaborabili con i metodi suggeriti dal calcolo delle probabilità; anche se tali criteri sono, a rigore, utilizzabili solo per farsi un'idea della regolarità della distribuzione di un gruppo di osservazioni.

I metodi di calcolo probabilistico applicati agli eventi anemologici dovrebbero, in linea di principio, limitarsi a verificare la distribuzione degli eventi storici, se con procedimenti idonei non fosse possibile passare dalla distribuzione delle frequenze di una serie storica alla distribuzione probabile di periodi più lunghi di quello originario.

Il campo delle osservazioni deve, pertanto, essere esteso artificialmente così da ottenere un numero di eventi sufficientemente grande da potere ritenere la frequenza di un certo evento come un valore ap-

prossimato della sua probabilità.

Gli stessi risultati possono raggiungersi attraverso la ricerca di uno schema teorico di probabilità che, dopo essere stato verificato sperimentalmente, possa rappresentare la distribuzione della serie storica.

Si ritiene opportuno ricordare che l'evento, la cui frequenza probabile risulti $1/n$, non va inteso come quello che si manifesterà fra n anni o una sola volta negli n anni futuri, bensì come l'evento che per più serie di osservazioni di n anni ciascuna, si manifesta una sola volta per serie; ciò comporta che, ad esempio, l'evento possa presentarsi consecutivamente per due anni e mai nella prossima serie.

Un evento può essere concepito come l'evento che, mediamente, si presenta una volta nel periodo di n anni oppure come l'evento raggiunto e superato m volte nello stesso periodo.

L'evento pertanto, può interpretarsi come quello cui compete la probabilità di presentarsi m volte, in n anni; o di essere eguagliato e superato m volte (sempre in n anni).

Nelle elaborazioni statistiche di dati metereologici interessa riferirsi all'evento mediamente eguagliato e superato nel periodo.

1.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I criteri esposti al precedente paragrafo consentono la regolarizzazione dei dati della velocità del vento. L'indagine è stata condotta per durate, variabili di tre ore in tre ore, fino ad un massimo di novanta ore, con riferimento alle otto direzioni fondamentali relativamente alla stazione di Ustica.

Per snellire il presente elaborato si riportano solo le curve di estrapolazione nelle Figg. da 1 a 50. Prefissata, pertanto, la direzione, si sono eseguiti lo spoglio e la raccolta di tutti gli eventi caratterizzati da una assegnata durata; ciò ha consentito di individuare, accanto ai massimi annuali di ogni serie, anche il numero d'ordine degli eventi e il loro valore medio.

I diagrammi in parola riportano, quindi, in ascisse il logaritmo decimale della variabile normale definita dal rapporto fra il generico valore dell'evento e la media di tutti gli eventi appartenuti ad una stessa serie; in ordinate si è indicato il valore della variabile stocastica che compete alla frequenza probabile corrispondente

al numero d'ordine dell'evento prescelto.

E' stato così possibile ricavare l'equazione della retta che meglio interpola i dati relativi ad ogni direzione nel piano semilogaritmo dianzi definito.

Prefissata, allora, una gamma di valori del tempo di ritorno t_r da tre a cento anni, con la scansione indicata nelle tabelle di cui appresso, è stato possibile ricavare il valore della corrispondente variabile stocastica e, quindi, la velocità dell'evento cui compete l'assegnato intervallo di ricorrenza.

Le Tabb. 14a , 20 riportano, in funzione della velocità del vento e del tempo di ritorno, il valore della durata per le sei direzioni foranee (N, NNE, NE, W, WNW, NW, NNW) ottenute dall'elaborazione dei dati anemometrici rilevati nella stazione di Ustica.

Si osservi fin da ora come possa lecitamente assumersi una corrispondenza fra il regime e la distribuzione dei venti e le caratteristiche del moto ondoso.

La ricerca dei legami funzionali esistenti fra le due serie di grandezze metereologiche saranno argomento del prossimo capitolo.

PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO

CAPITOLO 2

2.1 - LA VALUTAZIONE DEI FETCHES EFFETTIVI

Risulta ormai accertato, attraverso l'esame di rilievi fotografici e strumentali, come le onde che si muovono nell'area di generazioni varino di direzione, rispetto al vento, nel loro propagarsi.

Una tale circostanza era stata messa in evidenza da Arthur fin dal 1949 (*); sulla scorta degli studi condotti l'A. su citato ha ricavato che per un angolo tra la direzione di propagazione del moto ondoso e quello del vento pari a 45° , l'altezza delle onde può raggiungere il 75% dell'altezza di quelle che si muovono nella stessa direzione del vento.

La fenomenologia in parola è da ricondurre alla capacità del vento di trasmettere la propria energia, non solo secondo la direzione di propagazione del treno d'onde generato, ma anche secondo direzioni prossime alla precedente.

Le caratteristiche del moto ondoso in un prefissato paraggio risultano pertanto funzione sia delle componenti

(*) ARTHUR R. S. - Variability in direction of wave travel.

N. J. Acad. Sci. - 1949

generate nella direzione del vento, sia di quelle che con questa formano un certo angolo.

Ai fini di una corretta previsione del moto ondoso bisogna, quindi, conoscere, accanto alla lunghezza del fetch secondo la direzione del vento, anche quelle secondo direzioni vicine.

Il Saville (*), proprio per tenere in conto il sudetto effetto di apporti generici laterali al treno d'onde principale che viaggia con la stessa direzione del vento, ha introdotto il concetto di fetch effettivo.

Noto il punto in cui si vuole eseguire la previsione del moto ondoso, si indichi con F la lunghezza del fetch nella direzione prescelta; alla generazione del moto ondoso, per i motivi di cui sopra, contribuiscono anche componenti energetiche provenienti da direzioni comprese in un settore simmetrico di apertura angolare pari ad α da entrambi i lati della direzione prescelta e da cui spira il vento.

Il sudetto settore, di apertura complessiva pari a 2α , deve essere suddiviso in un certo numero di

(*) SAVILLE T. - The effect of fetch width on wave generation - BEB n°70 - 1954.

settori parziali di eguale apertura angolare $\Delta \alpha$, arbitraria, ma, in ogni caso, compresa fra 5° e 10° . Per la valutazione della lunghezza del fetch effettivo, con riferimento al calcolo delle caratteristiche del moto ondoso, è necessario conoscere il valore dell'angolo α oltre il quale il vento non risulta più idoneo a trasmettere la sua energia al mare; sulla scorta di studi sia teorici sia sperimentali si è dimostrato che il processo di trasferimento dal vento alla superficie marina si attua secondo tutte le direzioni che, con quella del vento stesso, formano un angolo $\alpha \leq 45^\circ$.

Si osservi, inoltre, che le componenti energetiche trasmesse dal vento variano, con la direzione, in modo proporzionale al coseno dell'angolo α_i .

Suddiviso pertanto l'angolo $2\alpha = 90^\circ$ come detto, ed indicata con f_i la lunghezza del generico fetch corrispondente all'angolo α_i proiettata secondo la direzione del vento, la lunghezza del fetch effettivo

$F_{\text{eff.}}$, è fornita dalla seguente relazione:

$$F_{\text{eff.}} = \frac{\sum f_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Nella Fig. 51 si è riportato il diagramma delle distanze di mare libero per il paraggio in esame;; la Fig. 52 indica il diagramma dei fetches effettivi corrispondenti.

2.2 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO

In base a considerazioni di carattere energetico,

Svérdrup e Munk (*) hanno fornito le seguenti due equazioni differenziali che legano la rapidità dell'onda $\gamma = H/L$ (H =altezza d'onda, L =lunghezza d'onda) all'età dell'onda $\beta = c/u$ (c =velocità dell'onda, u =velocità del vento):

1) per il regime transitorio:

$$\frac{d\beta}{dt} = AgU^{-1} \beta^{-2} \frac{1+B(1-\beta)^2}{5+\frac{2\beta}{\gamma} \frac{d\beta}{d\gamma}}$$

2) per il regime stazionario:

$$\frac{d\beta}{dx} = 2AgU^{-2} \beta^{-3} \frac{1+B(1-\beta)^2}{5+\frac{2\beta}{\gamma} \frac{d\beta}{d\gamma}}$$

dove:

$$A = 5,2 \cdot 10^{-3} p_a / p$$

(p_a = densità dell'acqua, p = densità dell'aria)

$$B = \frac{1}{58,83} \text{ a secondo che } \beta \leq 1$$

La relazione fra β e γ risulta la seguente:

a) per $0 < \beta \leq 0,35$

$$\gamma = \gamma_0 \exp m\beta$$

(*) SVEDRUP e MUNK : "Wind sea and swell; theory of relations for forecasting". U. S. Navy Hydro. Off. 1947

b) per $0,35 < \beta \leq 1$

$$\gamma = \gamma_1 \exp \left\{ -\frac{1+B}{4r} \frac{1-\beta}{\beta} - \frac{1+\beta}{8r} \ln [2-\beta] + \frac{3B+20r-1}{8r} \ln \frac{1}{\beta} \right\}$$

c) per $1 < \beta \leq 1,37$

$$\gamma = \gamma_1 \exp \left\{ -\frac{B+10r-1}{4r} \ln \beta - \frac{1-\beta}{8r} \frac{1 + (\beta-1)^2}{1 + (\beta-1)^2} - \frac{1+B}{4r} \operatorname{tg}^{-1}(\beta-1) \right\}$$

con:

$$\gamma_0 = 0,0537$$

$$m = 1,627$$

$$\gamma_1 = 0,038$$

$$r = 0,58$$

Tenuto conto di quest'ultima relazione fra β e γ , di cui è stata fornita l'espressione nei diversi campi di valori di β , l'integrazione delle precedenti equazioni differenziali porge:

1) per il regime transitorio:

$$\frac{gt}{U} = \psi_t(\beta)$$

2) per il regime stazionario:

$$\frac{gF}{U^2} = \psi(\beta)$$

da cui, noto u , è possibile ricavare $\beta = c/u$ e quindi, c ; ricordando poi che $c = gT/2\pi$ può conoscersi il periodo.

Per ricavare l'altezza d'onda significativa si utilizza la seguente relazione:

$$gH/U^2 = 2\pi\gamma\beta^2$$

Le precedenti equazioni risultano tutte implicite rispetto alle incognite H e T, è pertanto necessario utilizzare un modello matematico di previsione del moto ondoso da impiegare con un elaboratore elettronico; a tale scopo risultano particolarmente utili le espressioni del Tosi. (*).

(*) TOSI R.: "Ricerche sulla previsione del moto ondoso".

2.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Utilizzando il modello matematico della previsione del moto ondoso è possibile ricavare l'altezza e il periodo significativi definiti nel precedente paragrafo per ogni prefissata terna di valori F_{eff} , U e T ; la velocità del vento, U , e la durata, t , risultano legate da una relazione definita precedentemente (equazione del vento), in funzione del tempo di ritorno, per ognuna delle direzioni foranee ed il valore di F_{eff} può essere tratto dalla Fig. 52

A seguito delle considerazioni fatte nel precedente capitolo sull'esposizione del paraggio in esame, si sono prese in considerazione le seguenti sei direzioni di provenienza al largo: N, NNE, NE, W, WNW, NW, NNW. Si osservi come le massime condizioni di sviluppo delle caratteristiche del mare non è detto a priori che debbano presentarsi, per ogni prefissata direzione, in concomitanza delle massime velocità del vento: ciò perchè al crescere della velocità del vento, diminuisce la sua durata ed è, ovviamente, il più condizionante

dei due parametri a limitare lo sviluppo del fenomeno.

Per ognuna delle sei sudette direzioni, pertanto, si sono prefissati dieci valori del tempo di ritorno, variabili da tre a cento anni; si sono quindi assunti otto valori della velocità del vento, per ogni direzione prescelta e per ogni valore del tempo di ritorno prefissato.

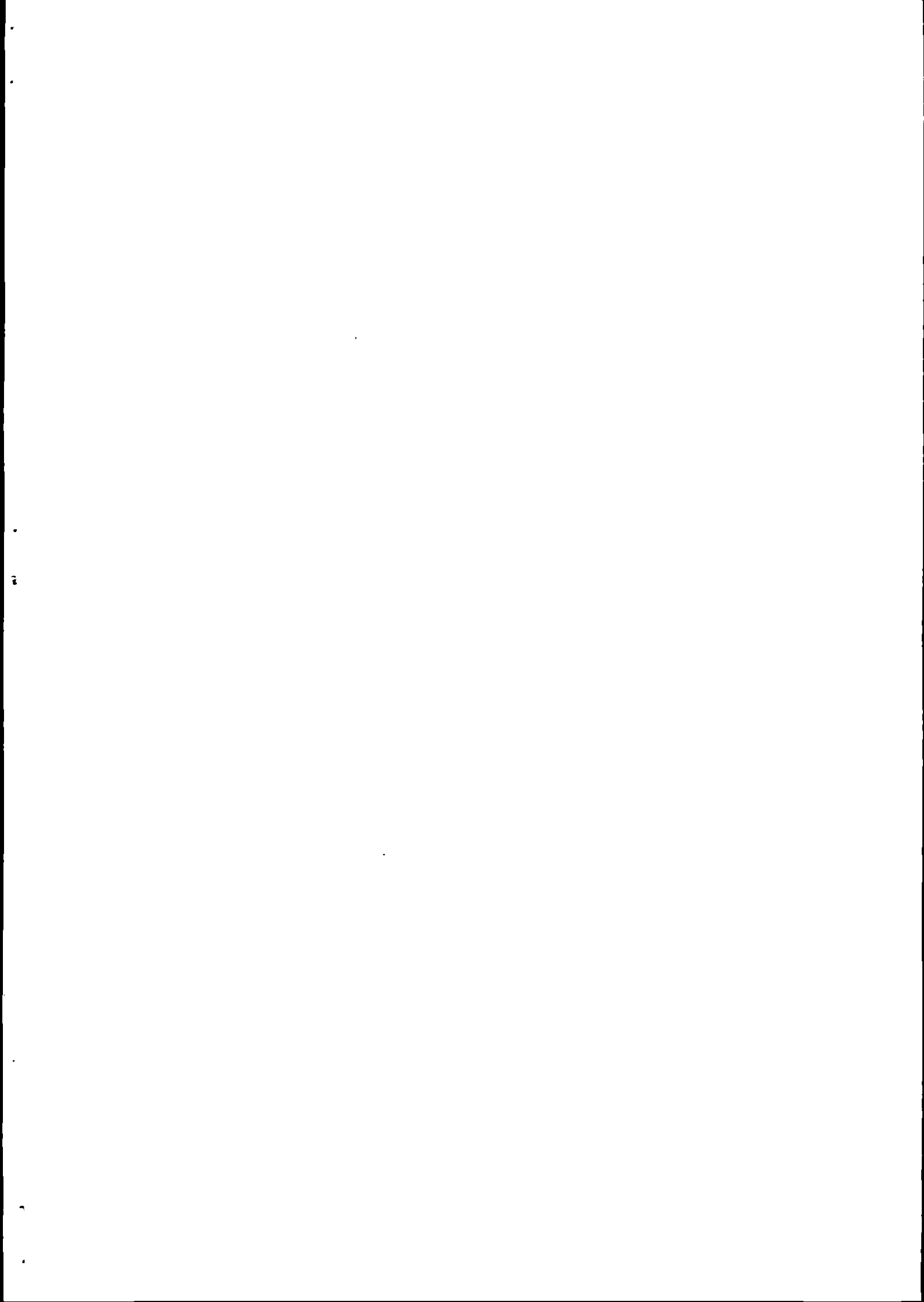
Il valore della durata corrispondente ad ognuno dei quattrocento casi individuati è stato ricavato dalle Tabb. da 14 a 20 .

In ultima analisi si sono effettuate dieci classi di previsioni per ogni direzione foranea prescelta come contenuto nelle allegate Tabb. da 21 a 34

Dall'esame delle sudette Tabb. si osserva che per i più bassi valori della velocità del vento lo stato del mare diviene rapidamente stazionario e, quindi, indipendente dalla durata, a sua volta funzione del tempo di ritorno.

In tali condizioni, le caratteristiche cinematiche del moto ondoso vengono limitate, nel loro svilupparsi, dal valore del fetch effettivo.

Si osservi inoltre che, per ogni direzione, prefissato il tempo di ritorno, le caratteristiche del moto ondoso variano



al variare della velocità; i più elevati valori di H e T saranno da assumersi come quelli corrispondenti alla più pericolosa mareggiata proveniente dalla direzione prescelta con l'assegnato valore del tempo di ritorno.

Tutte le previsioni di cui sopra pervengono alla valutazione dell'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$, che, non è altro che uno dei diversi valori medi ottenibili con i procedimenti statistici con i quali vengono affrontati i problemi di moto ondoso irregolare in termini di processi stocastici.

Se si considera, infatti, il fenomeno nel suo insieme, ci si può riferire al valore medio di tutte le onde presenti nel treno (\overline{H}) o del solo decimo più alto ($H_{1/10}$). Appare manifesto che la scelta del valore dell'altezza d'onda da utilizzare dipende dal tipo di studi che si intende condurre, dalla modalità di elaborazione dei dati di partenza e dalla attendibilità degli stessi.

In linea di massima, l'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$ è usualmente adottata solo per il dimensionamento di difese del tipo a scogliera, il cui crollo avviene in modo progressivo; per strutture del tipo

composto con parete verticale è opportuno assumere $H_{1/10}$.

Per opere particolarmente delicate, come, ad esempio le

strutture offshore, ci si riferisce talvolta anche a $H_{1/100}$.

Ma vi è, come è logico, una notevole differenza fra i criteri atti all'analisi di una struttura e di un processo costiero; per quest'ultimo, infatti, è opportuno fare riferimento a grandezze medie per il moto ondoso ($H_{1/2}$).

Si osservi, nel concludere, che l'onda più alta al largo, per un intervallo di ricorrenza di 30 anni, si presenta dalla direzione N con $H = 8,63$ m e $T = 11,65$ s, tale onda risulta generata da un vento con velocità all'anemografo di 80 nodi.

Per un tempo di ritorno di dieci e cinque anni, l'altezza d'onda si riduce, per i due casi, a 6,06m ed a 4,68 m ed il periodo a 9,74 e 8,64 s dalla direzione di N e NW; il vento generatore ha una velocità strumentale di 70 e 50 nodi.

Ovviamente, non è detto a priori che tali condizioni si mantengono anche sottocosta poichè interviene, com'è noto, il fenomeno della rifrazione.

C A P I T O L O 3

STUDIO DELLA RIFRAZIONE

3.1 - IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA

Un treno d'onde che provenga da una qualunque direzione avanza, com'è noto, con altezza e celerità

$C_0 = gT^2/2\pi$ costanti fino ad una profondità h_0 pari alla metà della lunghezza d'onda L_0 .

In acque di profondità illimitata, e cioè fino al raggiungimento del sudetto limite, la celerità dell'onda dipende, pertanto, solamente dal periodo T , notoriamente costante con la profondità.

Tutti i punti di un fronte viaggiano quindi alla stessa velocità; il fronte si mantiene allora parallelo a se stesso ed agli altri fronti.

Al diminuire della profondità h al di sotto del sudetto limite, la celerità sarà invece espressa dalla nota relazione di Airy:

$$C = C_0 \operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L}$$

Se, pertanto, il fondo marino si presenta gradualmente acclive man mano che ci si approssimi alla riva, la celerità dell'onda decresce con gradualità dal valore:

$$C_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}}$$

assunto in profondità illimitata, fino al valore:

$$C = \sqrt{gh}$$

che si raggiunge in acqua bassa ($h \leq L/20$).

I punti di uno stesso fronte sono allora animati da diverse celerità, tanto minori quanto sono le profondità.

I fronti d'onda subiranno pertanto una deformazione ed una rotazione progressiva man mano che si approssimano alla linea di riva; il risultato finale di tale fenomeno è quello di una tendenza dei fronti stessi a disporsi parallelamente all'andamento delle batimetriche.

Il fenomeno sudetto prende il nome di rifrazione in analogia a quello ben noto dell'ottica.

Nella rifrazione si individuano due aspetti tipici: il primo, di matrice geometrica, è connesso alla variazione della celerità; il secondo, di natura energetica, comporta una variazione di altezza d'onda.

L'altezza d'onda H in corrispondenza della generica profondità h può essere ricavata scrivendo, fra due ortogonali contigue fra loro, un bilancio fra il flusso

energetico entrante al largo e quello uscente alla profondità h stessa.

In tal caso è possibile legare la ricercata altezza d'onda H a quella al largo H_0 , mediante la seguente relazione:

$$H = K_S K_R H_0$$

dove K_S è il coefficiente di shoaling definito dalla:

$$K_S = \sqrt{\frac{C_0}{2nC}}$$

con:

$$n = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh 2\pi h/L} \right\}$$

Il coefficiente di rifrazione K_R è definito dalla radice del rapporto fra la distanza di due ortogonali al largo b_0 e sottocosta b :

$$K_R = \sqrt{b_0/b}$$

In base a questi soli elementi sarebbe già possibile ricavare le altezze d'onda H , mediante metodi grafici come ad esempio quello dei cerchi di Huyghens.

3.2 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA RIFRAZIONE

I metodi grafici tradizionali per il tracciamento dei fronti d'onda e delle relative ortogonali comportano, per la loro esecuzione, tempi così lunghi da renderne praticamente impossibile l'applicazione ad una elevata casistica di direzioni e periodi.

Per tale motivo, oltre che per la precisione di gran lunga maggiore derivante dal calcolo analitico rispetto a quello grafico, si è preferito fare ricorso ad un programma di calcolo (*)

La seguente equazione differenziale della linea ortogonale al fronte è infatti del secondo ordine di coefficienti non costanti:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} + p \frac{d\beta}{dt} + q\beta = 0$$

essendo $\frac{-1}{\beta^2} = K_R$, p e q quelle funzioni dipendenti dalle derivate parziali prime e seconde della celerità.

La risoluzione della sudetta equazione può essere affrontata con il metodo delle differenze finite, esprimendo in forma ricorrente le grandezze del punto generico della

(*) BENASSAI E.: " Un metodo di calcolo numerico per

lo studio del moto ondoso". Giornale del Genio Civile, 1966.

ortogonale stessa in funzione di parametri relativi ai punti che precedono quello in esame.

A tale scopo conviene adottare, nelle equazioni differenziali, la variabile tempo utilizzando come passo di integrazione Δt costante.

I dati necessari al tracciamento delle ortogonali (Wave rays) e al calcolo dell'altezza d'onda in ciascun punto di esse sono forniti dalla topografia del fondale, dal periodo, dalla direzione dell'onda incidente al largo (input).

I dati, in uscita (output) sono costituiti da: le coordinate (x e y) che consentono di individuare un qualunque generico punto, la corrispondente profondità (depth), la lunghezza d'onda, la direzione dell'onda in quel punto, il coefficiente di rifrazione, il coefficiente di shoaling, il prodotto di questi ultimi due che, a sua volta moltiplicato per l'altezza d'onda al largo, consente di valutare quella sotto costa, come detto precedentemente.

Il risultato dei calcoli è riportato nella allegate tabelle. Seguendo la metodologia esposta è possibile calcolare gli andamenti delle ortogonali aventi al largo le direzioni ed i periodi indicati nel paragrafo 2, 2, che rappresentano con sufficiente generalità le prevalenti dire-

zioni di incidenza del moto ondoso al largo nel paraggio in esame.

L'esigenza di estendere l'indagine ad una intera gamma di periodi nasce dalla circostanza che il fenomeno della rifrazione risulta, com'è noto, fortemente influenzato dal periodo.

Per eseguire un'indagine sufficientemente accurata del fenomeno è necessario, pertanto, conoscere non soltanto il valore del coefficiente di altezza d'onda corrispondente al periodo significativo, ma anche quello che compete ad ogni valore della serie di periodi compresi nella banda caratterizzante lo spettro in cui ogni processo stocastico, fenomenologia cui certamente appartiene il moto ondoso, può essere scomposto.

3.3 - LA RAPPRESENTAZIONE SINTETICA

La rappresentazione di cui al precedente punto, pur possedendo i requisiti ed i vantaggi di una incisiva visualizzazione del fenomeno, comporta, nella generalità dei casi, un procedimento di interpolazione.

A ciò va aggiunto che, volendo considerare con dettaglio l'influenza della variazione della direzione e del periodo, bisogna tracciare un numero elevatissimo di ortogonali, sulle quali operare il procedimento di interpolazione sudetto.

Si adotta, pertanto, una sintetica forma di rappresentazione, in aggiunta alla precedente, atta a fornire il valore del coefficiente d'altezza $K_S K_R$ nel prefissato punto sottocosta, per un qualunque valore del periodo di un treno d'onde proveniente da qualsivoglia direzione compresa nel settore di traversia effettivo(*).

In un diagramma polare che abbia per anomalia la direzione di provenienza al largo e come modulo il

(*) CATALDO P., MALLANDRINO G., NAPOLITANO M.:

" Una proposta per una rapida valutazione delle caratteristiche del moto ondoso sottocosta "Cavi di Lavagna - 18-19/5/1979.

periodo dell'onda, si sono tracciate delle curve aventi per parametro il coefficiente di altezza.

Tale rappresentazione sintattica consente di concentrare in un unico elaborato di rapida consultazione i risultati dei calcoli relativi ad un numero elevatissimo di periodi e direzioni.

Il relativo diagramma è stato tracciato, per circa 700 coppie di valori del periodo e della direzione al largo, secondo la seguente metodologia:

- 1) Si prefissa un generico valore della direzione del moto ondoso sottocosta e del periodo T .
- 2) Per i sudetti prefissati valori di ϑ e T si costruisce a ritroso, e cioè da riva verso il largo, l'ortogonale passante per il punto prescelto.
- 3) Se l'ortogonale interseca la terraferma, l'ortogonale stessa viene scartata poichè cade al di fuori del settore di traversia effettivo. Se invece prosegue fino a raggiungere un punto P_0 di profondità illimitata $h_0 = L_0/2$, corrispondente all'assegnato valore del periodo, si memorizza il valore della direzione al largo.
- 4) Si esegue nuovamente l'ortogonale dal largo verso la riva. Si è così in grado di conoscere il coefficiente di

rifrazione per ogni coppia di valori della direzione al largo ϑ_0 e del periodo T_0 .

Nella Fig. 53 è riportato il diagramma di rifrazione relativo al caso in esame.

In Fig. 54 è rappresentato il diagramma di rotazione che riporta, anch'esso in coordinate polari aventi per anomalia l'angolo di provenienza delle onde al largo e per raggio vettore il periodo, la deviazione Δ_{ϑ} definita dalla differenza fra l'angolo di incidenza al largo e quello sottocosta.

3.4 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'ambito del presente lavoro si sono prese in esame le seguenti direzioni: NNE, NE, W, WNW, NW, NNW, N.

A tale scopo, dai sudetti tabulati si sono estratti i valori del coefficiente di variazione dell'altezza d'onda, valutati nello specchio liquido antistante il dispositivo di S. Agata di Militello allo studio; si sono, quindi, riportati nelle allegate tabelle riassuntive 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 i valori dell'altezza d'onda sottocosta.

Il grafico di Fig. 53 consente, invece, sia di ricavare l'ampiezza del settore di traversia effettivo, sia di conoscere il valore del coefficiente di variazione dell'altezza d'onda (K_{SR}) per qualunque altra coppia di valori del periodo e della direzione di provenienza al largo che non sia stata compresa fra quelle combinazioni più significative.

Il grafico di Fig. 54 consente di valutare la rotazione subita dalle ortogonali d'onda e, quindi, l'incidenza del moto ondoso sottocosta.

Le Tabb. da 42 a 48 riportano, per diversi valori della velocità del vento e del tempo di ritorno, l'incidenza sottocosta dell'onda significativa avente al largo le stesse direzioni di cui sopra.

Dall'esame delle tabelle sopra riportate si deduce, che le onde più gravose provengono, per un tempo di ritorno pari a 30 anni, dalla direzione di largo 360° N; la loro altezza vale circa 7,81 m per un periodo pari a 11,65 s; per un intervallo di ricorrenza pari a dieci anni l'altezza d'onda massima sottocosta vale 5,24 m per $T = 9,74$ s.

Tali onde presentano una incidenza sottocosta, rispettivamente, di $345,68^{\circ}$ N e $346,73^{\circ}$ N come si evince dalle tabelle precedenti.

Ai fini di una immediata percezione dell'andamento dei fronti di onda nel propagarsi dal largo verso la costa, nelle figure 55 a 66 sono state riportate le ortogonali ai fronti d'onda per i periodi significativi.

C A P I T O L O 4

STUDIO DEL FRANGIMENTO

4.1 - GENRALITA'

Un treno d'onde che si propaga su un fondale a profondità decrescente subisce il fenomeno del frangimento che costituisce uno dei più interessanti e, nel contempo, uno dei più complessi fenomeni nel campo dell'idraulica marittima.

Se infatti, da un lato, risulta di grande importanza, sotto l'aspetto applicativo riuscire a predire le trasformazioni delle onde conseguenti al suddetto fenomeno, dall'altro, i diversi modelli matematici sviluppati nell'ipotesi di acque profonde ed intermedie, perdono, in prossimità del frangimento su forti pendenze, gran parte della loro validità.

Da studi sperimentali condotti da Mason, risulta che il movimento orbitale delle onde può considerarsi indisturbato dal frangente fino ad una sezione che dista $\frac{L}{8}$ verso il largo dal punto di rottura.

Pertanto, le teorie sulle onde periodiche possono al più essere applicate fino alla suddetta sezione.

Nè, per altro, esiste alcuna teoria matematica generale ed esatta idonea a predire la trasformazione

delle onde che si propagano in acque a profondità variabile, sebbene molte teorie siano state formulate, ciascuna con un limitato campo di validità e per piccole pendenze del fondo.

Un'analisi matematica rigorosa del fenomeno del frangimento è resa molto più complessa dalla impossibilità di linearizzare le equazioni che entrano in gioco.

Il modello linearizzato del moto ondoso si limita infatti a prevedere una tendenza teorica della rapidità dell'onda a crescere indefinitamente; il che, ovviamente, risulta assurdo sotto l'aspetto fisico.

A ciò va aggiunto che il profilo delle onde si deforma gradualmente mano a mano che esse si avvicinano alla riva.

Tale dissimetria, dovuta ad una inclinazione in avanti della cresta, risulta estremamente contenuta nel caso di modestissime pendenze (fino al 3-4%), mentre, diventa sempre più vistosa al crescere della pendenza.

Nel caso di fondali a piccola acclività appare giustificato ricercare la forma limite dell'onda come se questa, mantenendosi simmetrica, evolvesse su una profondità costante pari a quella in corrispondenza

della quale si realizza il frangimento.

Ciò perchè alla trascurabilità della variazione della profondità dell'acqua farà riscontro una altrettanto trascurabile variazione della lunghezza d'onda.

Si osservi inoltre che, per acclività modeste, la resistenza per attrito con il fondo non può essere trascurata, dal momento che lo sviluppo della corsa del frangente su fondale a piccola pendenza sarà alquanto lungo.

Allorquando, di contro, il cambiamento di velocità è molto rapido perfino nella distanza di una lunghezza d'onda, le equazioni per i fondali orizzontali non sono assolutamente valide.

La resistenza di attrito con il fondo può, di contro, essere trascurata dato che la lunghezza dello sviluppo della corsa risulta alquanto breve; tuttavia, una considerevole porzione dell'energia dell'onda viene riflessa in aliquota sempre più grande mano a mano che la pendenza del fondo diventa maggiore.

E' chiaro quindi che lo studio del frangimento delle onde in acque decrescenti deve essere trattato in due casi distinti, uno per piccole pendenze ed un altro per le forti pendenze.

Esiste un numero elevato di modelli matematici per le onde che si propagano su fondali poco acclivi; in questa sede ci si limiterà a considerare solo quelli ritenuti più validi e significativi, scartando gli altri che, seppur dotati di un valore concettuale notevole di discostano non poco dalla realtà fisica.

Per fondali molto acclivi l'approccio puramente teorico è pressochè impossibile; in tal caso, verranno esaminati quei criteri sperimentali che consentono di quantizzare il fenomeno.

4.2 - IL MODELLO MATEMATICO DEL FRANGIMENTO

Passando a considerare il fenomeno di frangimento di onde oblique rispetto alla linea di riva, si consideri un'onda di oscillazione monocromatica proveniente dal largo con celerità:

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{gT}{2\pi}$$

il cui fronte sia inclinato rispetto alla linea di riva dell'angolo α_0 .

Non appena l'onda supera la zona delle profondità illimitate ($\frac{h}{L} > 0,5$) raggiungendo il fondale h_i , il suo fronte tende a formare con la linea di riva un angolo $\alpha_i < \alpha_0$, tale che sia verificata, per la legge di rifrazione di Descartes, la relazione:

$$\frac{\text{sen} \alpha_i}{C_i} = \frac{\text{sen} \alpha_0}{C_0}$$

essendo la celerità di propagazione in corrispondenza della profondità h_i fornita dalla relazione di Airy:

$$C_i = \frac{L_i}{T} = \frac{gT}{2\pi} \text{ th } \frac{2\pi h_i}{L_i}$$

Analogamente tra le celerità C_i , e C_f relative alle batimetriche h_i e h_f , per la quale si determina il frangimento, sussiste la relazione:

$$\frac{\text{sen} \alpha_i}{C_i} = \frac{\text{sen} \alpha_f}{C_f} = \text{cost.}$$

La precedente equazione non dipende dalla pendenza del fondo, purchè questa sia sufficientemente lieve; ciò semprechè non si sovrapponga al fenomeno di rifrazione quello della riflessione.

D'altra parte, dalla sudetta equazione si ricava:

$$\frac{C_f}{C_0} = \frac{L_f}{L_0}$$

ove L_f è la lunghezza d'onda (o meglio pseudo-lunghezza d'onda) in condizioni di frangimento:

Le due precedenti relazioni forniscono:

$$\text{sen} \alpha_f = \text{sen} \alpha_0 \frac{L_f}{L_0}$$

essendo:

$$\frac{L_f}{L_0} = \text{th} \frac{2\pi h}{L_f}$$

ove h è il fondale in corrispondenza della zona dei frangenti.

Si considerino ora due tra le ortogonali al fronte dell'onda che procede verso riva, e sia l_0 la distanza tra esse allorchè l'onda procede in profondità infinita.

In corrispondenza della profondità di frangimento tale distanza, l_f , diventa maggiore di l_0 e risulta però legata alla l_f dall'equazione di continuità:

$$\frac{l_0}{\cos \alpha_0} = \frac{l_f}{\cos \alpha_f}$$

che esprime l'uguaglianza dei segmenti che due qualsiasi ortogonali determinano con una parallela alla linea di riva.

Considerando ora che, in assenza di dissipazioni nel percorso dalla profondità infinita a quella a cui avviene il frangimento, in ciascuna sezione parallela alla linea di riva limitata tra due ortogonali, l'energia trasmessa nell'unità di tempo dall'onda sia costante, si può scrivere l'uguaglianza:

$$H_f^2 C_{Gf} l_f = H_0^2 C_{G0} l_0$$

che, tenendo conto delle precedenti relazioni, assume la forma:

$$\left(\frac{H_0}{H_f} \right) = \frac{\cos \alpha_f}{\cos \alpha_0} \operatorname{th} \frac{2 \pi h}{L_f} n_f$$

avendo posto:

$$n_f = \left\{ 1 + \frac{\frac{4\pi h}{L_f}}{\sinh \frac{4\pi h}{L_f}} \right\}$$

dove H_0 e H_f rappresentano le altezze dell'onda rispettivamente in profondità illimitata e in corrispondenza della profondità di frangimento.

A questo punto, se si introducono le condizioni per le quali l'onda si frange, secondo il criterio suggerito da Scarsi(*) si ottiene una relazione tra la ripidità

$\frac{H_f}{L_f}$ e la profondità relativa $\frac{h}{L_f}$, del tipo :

$$\gamma_f = \frac{H_f}{L_f} = \frac{0,095 \operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_A}}{1,00 - 0,324 \operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_f}}$$

Le sudette espressioni costituiscono un sistema di quattro equazioni in quattro incognite, rappresentate dalle grandezze H_f , L_f , a_f , h in funzione delle caratteristiche dell'onda in profondità infinita a_0 , H_0 , L_0 .

Per facilità di risoluzione si consideri la relazione:

$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{L_f}{H_f} \cdot \frac{H_f}{H_0} \cdot \frac{H_0}{L_0}$$

(*) SCARSI G.: " Il frangimento delle onde su profondità sensibilmente costante".

Sostituendovi le espressioni prima dette, si ottiene

l'equazione:

$$\operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_f} = \frac{1}{\gamma_f} \cdot \frac{1}{(\operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_f})^{1/2}} \cdot \frac{1}{(n_f)^{1/2}} \cdot \left(\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_f} \right)^{1/2} \cdot \frac{H_0}{L_0}$$

che si scrive anche nella forma:

$$\gamma_f (\operatorname{tgh} \frac{2\pi h}{L_f})^{3/2} = \frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_f} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{1}{n_f^{1/2}}$$

Tale espressione, una volta fissata una coppia di valori α_0 e $\frac{H_0}{L_0}$, permette di ricavare l'angolo α_f e le caratteristiche del frangimento (h, L_f e H_f).

4.3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il modello matematico precedentemente esposto consente di valutare, accanto alle caratteristiche cinematiche della onda frangente, la profondità del frangimento.

Nell'applicazione numerica al caso specifico, si è considerato un ampio tratto di litorale che si estende sia a Ovest sia a Est del paraggio in esame, per una estensione totale di circa 14 Km.

Anche in questo caso si è fatto riferimento alle stesse direzioni di provenienza al largo di marosi prevalenti dianzi considerate (NE, W, NW, N) cui competono le altezze d'onda al largo ricavate nel capitolo 2; si osservi che il modello matematico di cui al presente capitolo contiene in sé quello della rifrazione.

Le Figg. comprese da 67 a 78 riportano le posizioni della linea dei frangenti dell'onda con tempo di ritorno pari a 10, 30, 50 anni rispettivamente.

Tutte le caratteristiche dell'onda al frangimento sono, inoltre, riportate nella Tab. da 49 a 60

Dall'esame delle sudette tabelle si osserva che le onde precedentemente citate frangono, in funzione del tempo di ritorno in una fascia compresa fra le profondità riportate in Tab. 61.

Peraltro è noto che, verso riva rispetto alla zona dei frangenti di un treno d'onde progressivo, viene a crearsi un'onda, detta solitaria, caratterizzata dalla proprietà di presentare un andamento tutto al di sopra del livello di riposo ed il cui profilo, n , è esprimibile tramite la seguente relazione dovuta al Boussinesq:

$$n = H \operatorname{sech} \left\{ \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - Ct) \right\}^2$$

essendo:

H l'altezza d'onda

h la profondità

c la celerità

x l'ascissa spaziale

t il tempo.

Le consizioni di frangimento risultano allora esprimibili dalla seguente relazione dovuta a Mc_Cowon(*):

$$H = 0,78 h$$

Un tale studio risulta, inoltre, di fondamentale importanza poichè, com'è noto, le condizioni di frangimento rappresentano oltre che il raggiungimento delle condizioni di instabilità dell'onda, anche la fase in cui l'onda stessa, dissipando l'energia di cui è dotata, scava sul fondo, caricandosi di materiale solido.

Il trasporto solido ha, infatti, origine prevalentemente
(*)Mc-Cowon J.: "On the highest wave of permanent type".
London, Edimburgh and Dublin phil. Mag. and J. Sci.
Vol. 38 - 1894

dal fenomeno di frangimento delle onde marine.

Un'indagine sulle modalità mediante le quali si estrinseca l'azione del mare sui sedimenti che costituiscono il fondo porta a considerare il trasporto solido come dovuto, da un lato alla messa in sospensione del materiale, in conseguenza degli elevati valori della velocità sul fondo durante il frangimento e, dall'altro, all'azione del campo idrodinamico connesso al moto ondoso.

A ciò va aggiunto che durante il frangimento si determina la dissociazione del moto ondoso e la comparsa pressochè istantanea, sul fondo dell'onda, di una zona sede di moti vorticosi con elevata frazione di aeriforme.

STUDIO DELLA DIFFRAZIONE

5.1 - IL MODELLO MATEMATICO DELLA DIFFRAZIONE

Per lo studio dell'agibilità dell'imboccatura è necessario studiare il fenomeno della diffrazione.

L'esame teorico della diffrazione viene, come è noto, condotto con gli stessi metodi elaborati per lo studio degli analoghi fenomeni nell'ottica e nella acustica.

Nell'ipotesi di linearizzazione delle equazioni del moto ondoso, il fenomeno è retto dalla seguente nota equazione di Laplace scritta in coordinate cilindriche con origine nella testata frangiflutto:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{r^2 \partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$$

essendo ϕ la funzione potenziale, la cui espressione può scriversi:

$$\phi = \frac{H g}{2 \sigma} \frac{\operatorname{ch} K(h+z)}{\operatorname{ch} K h} \varrho(r, \theta) e^{i \beta(r, \theta)} e^{i \sigma t}$$

con:

σ = Frequenza angolare = $2 \pi / T$

K = Numero d'onda = $2 \pi / L$

h = Generico valore della profondità.

Dalla sudetta equazione, ricordando che il profilo

è legato alla potenziale ϕ dalla

$$\eta = \frac{1}{g} \left[\frac{\partial \phi}{\partial t} \right]_{z=0}$$

Si ottiene che l'altezza d'onda diffratta è proporzionale a quella incidente per tramite del modulo di una funzione complessa ed è sfasata rispetto all'onda incidente di una quantità che dipende dall'argomento della funzione complessa stessa.

La soluzione della sudetta funzione complessa richiede l'uso degli integrali di Fresnel e l'introduzione di variabili ausiliare (*).

Tale coefficiente di proporzionalità, detto coefficiente di diffrazione, verrà indicato con K_D .

Nel caso in esame si è voluto però mettere in conto anche la variazione dei fondali; ciò ha comportato la utilizzazione, da parte dello scrivente, di un opportuno programma di calcolo di cui si fornisce il diagramma a blocchi in Fig. 31.

L'altezza d'onda sottocosta H , in tale migliore approssimazione, sarà legata a quella al largo H_0 dalla relazione:

$$H = K_s K_r K_D H_0$$

dove K_s è il coefficiente di shoaling, K_r il coefficiente di rifrazione e K_D è il coefficiente di diffrazione.

(*) TOSI R. : " Contributo sperimentale alla studio della diffrazione del moto ondoso intorno alla testata di un molo rettilineo". Atti Ist. Ven. di Sci. Lett. ed Arti, 1965-66.

L'analisi è stata condotta prendendo in considerazione gli stessi valori del periodo e della direzione al largo di cui al paragrafo relativo alla rifrazione.

Le Figg. da 79 a 93 riportano i grafici relativi allo studio in esame, in cui è adottato un tipo di rappresentazione a curve di isoaltezza.

Ognuna delle sudette curve viene identificata dal valore del coefficiente per il quale bisogna moltiplicare l'altezza d'onda all'esterno del porto per ottenere quella all'interno in corrispondenza della curva stessa.

5.2 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dall'esame dei tabulati si evince che le onde più alte al largo sono quelle provenienti dalla direzione 360° generate cioè da un vento di tramontana.

Si osservi come non possa dirsi a priori che tali onde, certamente le più pericolose al largo, conservino tale loro prerogativa anche sottovosta.

Una risposta quantitativamente significativa potrà darsi solo esaminando dettagliatamente il fenomeno della rifrazione.

Il grafico di Fig. 53 mette in evidenza come le onde, provenienti da una direzione al largo compresa fra 310° e 10° , risultino caratterizzate sottocosta dai maggiori valori del coefficiente d'altezza d'onda.

Dall'esame si deduce che, le onde provenienti da 360° sono le più alte sia al largo sia sottocosta .

Al fine pertanto della valutazione dell'altezza d'onda di progetto della scogliera sopraflutto è opportuno riferirsi ai valori assunti sottocosta da un treno d'onde proveniente da una direzione al largo pari appunto a 360° .

Per quanto concerne invece l'agibilità del dispositivo portuale, si è analizzato il comportamento dei treni d'onda di direzione 45°N , 360°N , 315°N , $22^{\circ},5\text{N}$ con tempi di ritorno di 3, 5, e 15 anni.

Dalla Tab. 62, che riporta le altezze d'onda al largo ed all'imboccatura, nonché quelle dello specchio acqueo interno, si rileva che per tempi di ritorno di 3 anni l'agitazione all'imboccatura si presenta con altezza d'onda variabile da un minimo di 0,30 m (315°N) ad un massimo di 0,62 m (360°N) ed all'interno del dispositivo con altezze d'onda variabili da un minimo di 0,02 m (315°N) ad un massimo di 0,32 m (45°N).

L'analogo esame condotto per tempo di ritorno di 5 anni rileva che l'agitazione si presenta all'imboccatura con altezze d'onda variabili da un minimo di 0,72 m (315°N) ad un massimo di 1,00 m ($22^{\circ},5\text{N}$), ed all'interno del dispositivo con altezze d'onda variabili da un minimo di 0,06 m (315°N) ad un massimo di 0,43 m ($22^{\circ},5\text{N}$).

C O N C L U S I O N I

6. - CONCLUSIONI

Stante quanto riportato nelle " Premesse ", circa lo scopo del presente studio idraulico-marittimo, tendente a valutare le previsioni del moto ondoso al largo e sottocosta e le condizioni di sicurezza ed agibilità dell'approdo, si perviene alle seguenti conclusioni.

Determinate le previsioni del moto ondoso attraverso adeguati modelli matematici, il dispositivo portuale è stato studiato in funzione delle condizioni di sicurezza sia dell'imboccatura durante la manovra di ingresso dei natanti, che dello specchio acqueo durante le agitazioni provocate dalle mareggiate.

Lo studio del frangimento, vedi tabulati , ha messo in evidenza che per tempi di ritorno di 10, 5 anni le onde provenienti da 45° N, 315° N, 360° N, frangono ad una profondità minore di quella prevista per l'imboccatura, consentendo così alle imbarcazioni il transito in condizioni di sicurezza lontano dai frangenti .

L'analogo esame, condotto su treni d'onda con tempi di ritorno di 30 anni, ha messo in evidenza che per direzione da NE, W, N 315° N il frangimento locale si verifica ad una quota massima del fondale di 10,24 m , minore dei 14,00 m minimi previsti per l' imboccatura .

Soltanto per la direzione 315° N il frangimento locale si presenta sulla batimetrica minima dell'avamposto con valore di circa 14,00 m.

L'idoneità del dispositivo risulta tuttavia ancora accettabile, ove si pensi che tali eventi si manifestano concentrati durante il periodo invernale, rispettivamente per la direzione 360° N per venti animati da una velocità di 80 nodi con frequenze di apparizione dello 0,2% in febbraio, 0,1% in marzo, 0,1% in aprile, 0,1% in novembre, 0,1% in dicembre e per la direzione di 315° N con frequenze di apparizione dello 0,1% in gennaio, 0,2% in febbraio, 0,1% in marzo, 0,1% in novembre, 0,2% in dicembre.

Lo studio della diffrazione ha messo in evidenza che, per tempi di ritorno di 3 e 5 anni del tutto significativi per l'esercizio dello specchio acqueo, le altezze d'onda entro il dispositivo portuale risultano comprese da un minimo di 0,02 m (315° N) ad un massimo di 0,43m ($22,5^{\circ}$ N), valori questi del tutto accettabili.

Il complesso quindi delle considerazioni conclusive tratte nei precedenti capitoli, porta alla conferma dell'idoneità delle giaciture e delle dimensioni delle opere foranee, chiamate

fra l'altro a garantire entro limiti accettabili le agitazioni del moto ondoso all'interno dello specchio acqueo.

Il disagio dell'approdo per qualche giorno l'anno, con tempo di ritorno di 3 volte nel secolo, risulta altresì accettabile tenuto conto che l'apparizione dell'evento si manifesta durante il periodo invernale, in epoca cioè di ridotta attività nautica.