

# COMUNE DI SANTA MARINA SALINA

(MESSINA)

## FATTIBILITA', AGGIORNAMENTO E MODIFICA DEL PIANO REGOLATORE DEL PORTO

È COPIA conforme a quello adottato con delibera  
consiliare n. 46 del 19-4-1985 approvata dalla C.P.C.  
nella seduta del 24-6-1985 n. 44164/43569 gr. 8.

S. MARINA SALINA, 25-3-1986

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

All. 1.1 - Studio idraulico-marittimo. Relazione

Palermo, 6 FEB 1986

REGIONE SICILIANA  
Assessorato del Territorio e dell'Ambiente  
IL PRESENTE DOCUMENTO COSTITUISCE ALLEGATO  
AL D. A. N.° 606/87 DEL 17/4/87  
L'ASSESSORE

Redatto da:

Ing. M. Napolitano

IL SINDACO



REGIONE SICILIANA

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

VISTO: CON RIFERIMENTO AL PROPRIO VOTO

N. 821 del 28-11-86

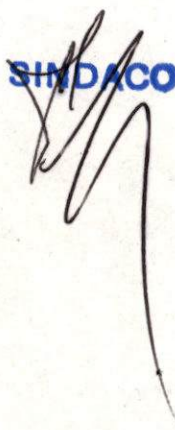
IL SEGRETARIO





RELAZIONE

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



INDICE DELLA RELAZIONE

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





# PREMESSE

Pag. P.1

## CAPITOLO 1 - STUDIO ANEMOLOGICO

- |     |  |   |      |
|-----|--|---|------|
| 1.1 | - CONDIZIONI ANEMOLOGICHE GENERALI       | " | 1.1  |
| 1.2 | - IL REGIME DEI VENTI                    | " | 1.2  |
| 1.3 | - ESAME STATISTICO DEI DATI ANEMOMETRICI | " | 1.8  |
| 1.4 | - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE              | " | 1.11 |
|     |  | " | 1.20 |

## CAPITOLO 2 - PREVISIONE DEL MOTO ONDOSI

- |     |  |   |      |
|-----|--|---|------|
| 2.1 | - LA VALUTAZIONE DEI "FETCHES" EFFETTIVI                 | " | 2.1  |
| 2.2 | - IL FENOMENO DI GENERAZIONE DEL MOTO ONDOSI             | " | 2.2  |
| 2.3 | - IL MODELLO MATEMATICO DELLA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSI | " | 2.7  |
| 2.4 | - LA DISTRIBUZIONE DELLE AMPIEZZE DI ONDA                | " | 2.21 |
| 2.5 | - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE                              | " | 2.30 |
|     |  | " | 2.43 |

## CAPITOLO 3 - STUDIO DELLA RIFRAZIONE

- |     |  |   |      |
|-----|--|---|------|
| 3.1 | - IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA              | " | 3.1  |
| 3.2 | - IL MODELLO MATEMATICO DELLA RIFRAZIONE | " | 3.2  |
| 3.3 | - LA RAPPRESENTAZIONE CLASSICA           | " | 3.5  |
| 3.4 | - LA RAPPRESENTAZIONE SINTETICA          | " | 3.11 |
| 3.5 | - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE              | " | 3.14 |
|     |  | " | 3.17 |

## CAPITOLO 4 - STUDIO DEL FRANGIMENTO

- |     |   |   |      |
|-----|---|---|------|
| 4.1 | - GENERALITA'                           | " | 4.1  |
| 4.2 | - TIPOLOGIA DEL FRANGIMENTO             | " | 4.2  |
| 4.3 | - CRITERI DI STABILITA'                 | " | 4.6  |
| 4.4 | - IL MODELLO MATEMATICO DEL FRANGIMENTO | " | 4.16 |
| 4.5 | - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE             | " | 4.18 |
|     |   | " | 4.24 |

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*

P R E M E S S E

  
SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





- PREMESSE

Il disciplinare, stipulato fra l'Amministrazione Comunale di Santa Marina Salina (ME) ed il sottoscritto, Dott. Ing. Michelangelo Napolitano, per il conferimento dell'incarico relativo alla redazione del piano regolatore del porto di Santa Marina Salina, prevede, all'Art. 3:

- Messa a punto di adeguati modelli matematici per la valutazione delle caratteristiche del moto ondoso al largo; studio sui fenomeni della rifrazione, frangimento e diffrazione.
- Studio della giacitura delle opere foranee mettendo a confronto disposizioni diverse per orientamento e lunghezza dei moli e localizzazione per le strutture interne a mezzo di prove su modello matematico per almeno tre direzioni e tre valori del periodo; tracciamento delle curve di isoaltezza per effetto della diffrazione; modifica ed aggiornamento del piano regolatore portuale.

Il presente rapporto provvisorio si riferisce ai risultati di particolare rilievo acquisiti durante gli studi via via effettuati, come previsto dall'Art. 4 del citato disciplinare.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

CAPITOLO 1  
STUDIO ANEMOLOGICO

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



## 1.1 - CONDIZIONI ANEMOLOGICHE GENERALI

La parola clima, originariamente sinonimo della inclinazione di una località rispetto al sole, è venuta, man mano, ad indicare le condizioni meteorologiche medie della località in contrapposizione alla parola tempo che si riferisce a condizioni meteorologiche istantanee.

Gli elementi meteorologici di maggiore importanza per la definizione climatica di un luogo sono: temperatura, piovosità, umidità, ventosità.

Nell'ambito del presente lavoro ci si riferisce prevalentemente a quest'ultimo elemento la cui analisi è fondamentale per la definizione delle condizioni meteorologiche marine di un paraggio.

La mobilità delle depressioni è certamente l'elemento principe di condizionamento nell'andamento del tempo lungo le latitudini temperate che comprendono il Mediterraneo; a ciò vanno aggiunti fattori, detti accessori, come l'orografia, l'esposizione, la presenza di agglomerati urbani o industriali etc., i cui effetti risultano tanto maggiori quanto più incisiva è l'influenza dei fattori stessi sulla tendenza evolutiva delle aree cicloniche.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized capital 'R' followed by a flourish.

L'influenza di tali fattori accidentali appare manifesta ove si pongano a confronto le condizioni meteorologiche delle isole britanniche con quelle del Mediterraneo.

Nel primo caso, infatti, le perturbazioni, a partire dal fronte polare, attraversano l'Atlantico senza subire particolare alterazione.

Nel secondo caso, la perturbazione, prima ancora di raggiungere la configurazione orografica particolarmente complessa che cinge da E a W il bacino mediterraneo, ha subito una notevole trasformazione per effetto delle masse continentali.

Le notevoli differenze sia di temperatura sia di attrito che il flusso di aeriforme incontra nel passare dalle masse oceaniche alla terraferma, sono infatti già capaci di alterare profondamente il moto delle depressioni.

Ciò comporta, sul Mediterraneo, non solo una varietà di situazioni climatiche di gran lunga più vasta rispetto al precedente caso, ma anche estremamente variabile in tempi brevi.

I complessi e rilevanti sistemi montuosi che fanno da corona al Mediterraneo contribuiscono, poi, come accennato, ad introdurre ulteriori elementi di variabilità nel

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



la definizione delle condizioni meteorologiche generali.

Sono proprio tali catene montuose che, con la sola eccezione del Mezzogiorno, condizionano, distorcendone il moto, il regime dei venti del primo e quarto quadrante e che pervengono al Mediterraneo attraverso le strozzature rappresentate da Gibilterra, dalla valle della Garonna, dalla valle del Rodano, dalla porta di Trieste, per citare solo le principali.

Nei versanti mediterranei sottovento si generano, pertanto, delle zone di bassa pressione capaci di portare ad una ciclogenese del tipo, ad esempio, presente nel mar Ligure.

I venti del secondo e terzo quadrante risentono invece degli effetti di instabilizzazione conseguenti agli effetti delle grosse sorgenti termiche costituite dai deserti libici e dal Sahara.

L'insieme di tali cennati effetti, di cui si sono ricordati solo i maggiori, fa sì che le condizioni climatiche mediterranee, pur generate dagli stessi processi termodinamici che interessano l'arcipelago britannico, abbiano caratteristiche peculiari tali da definire una condizione specifica detta, appunto, mediterranea.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

Gli elementi caratterizzanti la situazione barica responsabile del clima mediterraneo debbono individuarsi negli anticicloni delle Azzorre e della Siberia e nelle depressioni islandese ed africana; in inverno, il Mediterraneo diviene una sella limitata nella direzione SW-NE dagli anticicloni e in quella NW-SE dalle depressioni.

In linea di massima può dirsi che, con maggiore frequenza, si presentano eventi da Ovest e Nord-Ovest; questi ultimi, in particolare, portano sul Mediterraneo masse di aria che, prima di giungere sul mare, si sono raffreddate sul continente.

Allorquando la prevalenza compete all'anticiclone siberiano che si spinge fin sui Balcani, si verifica il movimento di masse d'aria provenienti da Nord-Est che colpiscono in maniera particolarmente violenta il Mediterraneo occidentale e centrale.

In alcuni casi la depressione africana giunge, dalle regioni interne tunisine e algerine, fin sulla costa generando una estrema mobilità meteorologica.

Se, invece, si ha la prevalenza del promontorio delle Azzorre il tempo, anche nella stagione invernale, si presenta con temperature miti ed assenza di vento e piogge.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





La stagione estiva (da Maggio a Settembre), è contraddistinta, appunto, dal prevalere dell'anticiclone delle Azzorre; in tal caso si manifesta un regime di brezze estive.

Il lento moto d'insieme dell'atmosfera si sviluppa allora, in direzione della penisola arabica e dell'India settentrionale secondo la direttrice Ovest-Est.

La Fig.1.1.1 riporta il tracciato dei principali movimenti dell'aeriforme che interessano il Mediterraneo; in Fig.1.1.2 sono rappresentati i più noti venti tipici.

Ad integrazione delle indicazioni di cui sopra la Fig. 1.1.3 riporta la distribuzione, sul bacino del Mediterraneo, della frequenza percentuale media annua dei venti con forza Beaufort maggiore o uguale al sesto grado, corrispondente, com'è noto, alle seguenti condizioni:

- a terra: agitazione dei rami grossi; fili metallici che sibilano; difficoltà nell'uso dell'ombrello
- sulla costa: le imbarcazioni prendono due mani di terzo, roli alla vela di maestro
- al largo: cominciano a formarsi onde abbastanza grandi; le creste di spuma bianca sono ovunque estese e, di solito, con qualche spruzzo.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

La Fig. 1.1.4, analoga alla precedente, si riferisce alla distribuzione della frequenza percentuale di vento superiore o uguale all'ottavo grado della forza Beaufort, cui competono le caratteristiche dappresso riportate:

- a terra: rottura di rami di alberi; impossibilità quasi assoluta a camminare contro vento
- sulla costa: tutte le imbarcazioni dirigono in porto
- al largo: onde di media altezza e ragguardevole lunghezza, la cresta dell'onda comincia a rompersi in spruzzi vorticosi risucchiati dal vento; la schiuma viene spinta in vistose strisce che si distendono nel verso del vento.

L'esame di tale ultima figura mostra come, lungo la costa tirrenica della Sicilia, si raggiungano valori di circa 1,5% in frequenza media annua di burrasche maggiori o uguali all'ottavo grado Beaufort.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





## 1.2 - 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 Stromboli (416 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 tritorarie per la suddetta stazione per i ventuno anni che vanno dal 1953 al 1973 per un totale di 45.491 dati.

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

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

Considerando, quindi, accanto alle velocità la variabile relativa alla direzione, si è elaborato un totale di 90.982 dati.

L'analisi e l'elaborazione di una messe così elevata

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

di dati possono essere condotte solo mediante l'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 1.2.1 a 1.2.13.

Inoltre, si è condotta una classificazione dei venti riportandone la direzione, la velocità e la frequenza nei diagrammi polari rappresentati nelle Figg. da 1.2.1a 1.2.13.

Dall'esame delle tabelle e delle figure di cui sopra si deduce quanto segue:

Nel campo dei venti animati da velocità fino a 30 nodi, i massimi di frequenza si presentano sempre dalla direzione Nord-ovest; il più alto di tali valori si riscontra nel mese di Luglio e vale 35,7%; il più piccolo nel mese di Ottobre e vale 14,7%.

Per venti la cui velocità risulta compresa fra 31 e 40 nodi, il massimo di frequenza si presenta dalla direzione Est nei mesi di Marzo e Dicembre, dalla direzione Sud-est nei mesi di Gennaio, Ottobre e Novembre, dalla direzion

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



ne Ovest nel mese di Febbraio.

I venti che spirano con velocità comprese fra 41 e 50 nodi presentano il massimo di frequenza nel mese di Dicembre per la direzione Sud-Est.

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.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

### 1.3 - ESAME STATISTICO DEI DATI ANEMOMETRICI

Il vento, come peraltro tutti gli eventi meteorologici, 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.

Il fenomeno ventoso, infatti, si manifesta in termini così complessi non solo da non poter pervenire alla definizione dei campi nei quali si manifestano le variazioni ma neppure di potere valutare l'interdipendenza degli eventi.

I metodi del 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 quel

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



lo 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 approssimato 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.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

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 meteorologici interessa riferirsi all'evento mediamente eguagliato e superato nel periodo.

Allorquando da una serie di  $n$  osservazioni si passa ad una serie più vasta, è necessario definire la frequenza probabile da assegnare, nella nuova serie, ad un evento di cui era nota la frequenza storica nella serie originaria.

Tale nuova frequenza, detta appunto probabile per sottolineare che si riferisce ad una nuova serie fittizia più vasta di quella originaria, sarà diversa a secondo che l'evento osservato sia da considerare il minimo, il massimo o il mediano fra gli eventi simili che si presenterebbero nella nuova serie.

In generale può dirsi che la frequenza probabile  $P(m)$  in percento del tempo, di un evento di ordine  $m$  di una serie di  $n$  eventi è fornita dalla:

$$P(m) = 100 \frac{2m-1}{2n}$$

(1.3.1)

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



se l'evento si ipotizza come mediano;

$$P(m) = 100 \frac{m}{n} \quad (1.3.2)$$

se l'evento si ipotizza come minimo;

$$P(m) = 100 \frac{m-1}{n} \quad (1.3.3)$$

se l'evento si ipotizza come massimo.

L'intervallo di ricorrenza o tempo di ritorno può essere ricavato dalle precedenti espressioni, avendosi:

$$t_r = \frac{2n}{2m-1} \quad (\text{mediano}) \quad (1.3.4)$$

$$t_r = \frac{n}{m} \quad (\text{minimo}) \quad (1.3.5)$$

$$t_r = \frac{n}{m-1} \quad (\text{massimo}) \quad (1.3.6)$$

Nell'ipotesi che trattasi di eventi incompatibili, è lecito ammettere l'esistenza di una funzione di densità di probabilità  $p(x)$  atta a rappresentare la probabilità che la variabile stocastica  $x$  risulti compresa fra  $x$  e  $x + dx$ ; la certezza matematica vale:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1 \quad (1.3.7)$$

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*R*

La probabilità che si presenti un evento uguale o minore ad  $x$  è fornita dalla:

$$P(x) = \int_{-\infty}^x p(x) dx = 1 \quad (1.3.8)$$

e che si verifichi un evento uguale o maggiore ad  $x$  dalla:

$$1 - P(x) = \int_x^{\infty} p(x) dx \quad (1.3.9)$$

Trattandosi di distribuzione simmetrica rispetto all'origine si ha:

$$p(x) = p(-x) \quad (1.3.10)$$

e quindi:

$$p(-x) = 1 - P(x) \quad (1.3.11)$$

La più nota espressione di  $p(x)$  è quella normale o di Gauss che si scrive:

$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2 x^2) \quad (1.3.12)$$

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized 'R' followed by a flourish.



essendo  $h$  la precisione legata alla varianza  $\sigma^2$  dalla:

$$h = \frac{1}{\sigma \sqrt{2}} \quad (1.3.13)$$

dove:

$$\sigma^2 = 2 \int_0^{\infty} x^2 p(x) dx \quad (1.3.14)$$

A tale proposito giova ricordare che la suddetta equazione normale di Gauss è valida quando si verificano le seguenti ipotesi:

- 1) le cause che intervengono sul fenomeno risultano numerose
- 2) l'influenza della variazione di una sola causa è piccola in confronto alla variazione totale
- 3) la variazione di una sola causa non è dipendente dal valore assunto dalla variabile aleatoria.

Dall'elaborazione sperimentale dei dati anemometrici difficilmente si riscontra la condizione di distribuzione simmetrica che, com'è noto, rappresenta una condizione essenziale per l'applicabilità della legge normale di Gauss.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

In base alla legge dell'effetto proporzionale, la legge normale viene seguita, anziché dalla variabile stocastica, dal logaritmo di quest'ultima.

La variabile stocastica delle seguenti espressioni:

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^z \exp(-z^2) dz \quad (1.3.15)$$

$$1 - P(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} \exp(-z^2) dz \quad (1.3.16)$$

risulta quindi definita come segue:

$$z = A \log(x - x_0) + B \quad (1.3.17)$$

dove A, B ed  $x_0$  sono parametri da determinare.

Ad ogni valore della variabile aleatoria  $x$  corrisponde, pertanto, un valore di  $z$  ottenuto dalla precedente formula ed a questa un valore della probabilità totale  $P(z)$ .

Per la distribuzione delle probabilità logaritmiche valgono le seguenti espressioni:

a) mediana M

$$M = x_0 + \frac{B}{A} \quad (1.3.18)$$

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*



b) norma N

$$N = x_0 + 10^{-\left(\frac{1}{2A^2 \log e} - \frac{B}{A}\right)} \quad (1.3.19)$$

c) media aritmetica M'

$$M' = x_0 + 10^{-\left(\frac{1}{4A^4 \log e} - \frac{B}{A}\right)} \quad (1.3.20)$$

Le tre caratteristiche anzi definite non risultano indipendenti, ma legate dall'espressione:

$$(M - x_0)^3 = (N - x_0)(M' - x_0)^2 \quad (1.3.21)$$

Assunto, pertanto, un sistema ortogonale logaritmico di riferimento, si pongano in ascisse i valori di  $\log(x-x_0)$  ed in ordinate le  $z$  valutate in funzione dell'ordine dell'evento. Così operando è possibile ricavare le costanti A e B; la terza costante  $x_0$ , detta di aggiustamento, si è posta uguale a zero.

Si osservi che il parametro A può essere assunto a stima della variabilità della distribuzione; al crescere di quest'ultima, infatti, il valore di A tende a diminuire.

Nota l'equazione in parola è possibile, per ogni

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

prefissato valore del tempo di ritorno, conoscere la  $z$   
e, quindi, il valore della variabile aleatoria corrispon\_  
dente all'assegnato valore del tempo di ritorno.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*R*



#### 1.4 - 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 Stromboli.

Per snellire il presente elaborato si riportano solo le curve di regolarizzazione generale nelle Figg. da 1.4.1 a 1.4.8.

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 appartenenti ad una stessa serie; in ordinate si è indicato il valore della variabile stocastica che compete alla frequenza probabile corrispondente al numero

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

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 semilogaritmico 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. da 1.4.1 a 1.4.6 riportano, in funzione della velocità del vento e del tempo di ritorno, il valore della durata per le sei direzioni fondamentali foranee (NNE; NE; ENE; E; ESE; S) di S. Marina Salina ottenute dall'elaborazione dei dati anemometrici rilevati nella stazione di Stromboli.

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

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

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





CAPITOLO 2

LA PREVISIONE DEL MOTO ONDOSO

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



## 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 generazione variano 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. succitato ha ricavato che per un angolo tra la direzione di propagazione del moto ondoso e quello del vento pari a  $45^\circ$ , 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.Y.Acad.Sci. - 1949.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



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 se condo direzioni vicine.

Il Saville (\*), proprio per tenere in conto il suddetto effetto di apporti energetici 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 previsio ne 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  $\alpha$  da entrambi i lati della direzione prescelta e da cui spira il vento.

Il suddetto settore, di apertura complessiva pari a  $2\alpha$ , deve essere suddiviso in un certo numero di setto

---

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

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

ri parziali di eguale apertura angolare  $\Delta\alpha$ , arbitraria, ma, in ogni caso, compresa fra  $5^\circ$  e  $10^\circ$ .

Per la valutazione della lunghezza del fetch effettivo, con riferimento al calcolo delle caratteristiche del moto ondoso, è necessario conoscere il valore dell'angolo  $\alpha$  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  $\alpha_i$ .

Suddiviso pertanto l'angolo  $2\alpha = 90^\circ$  come detto, ed indicata con  $f_i$  la lunghezza del generico fetch corrispondente all'angolo  $\alpha_i$  proiettata secondo la direzione del vento, la lunghezza del fetch effettivo  $F_{eff.}$ , è fornita dalla seguente relazione:

$$F_{eff.} = \frac{\sum f_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.1.1)$$

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



Indicando con  $F_i$  la lunghezza del fetch nella generica direzione  $\alpha_i$  si ha:

$$f_i = F_i \cos \alpha_i \quad (2.1.2)$$

e quindi:

$$F_{\text{eff.}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.1.3)$$

E' opportuno notare che, per configurazioni geometriche dell'area di trasmissione di energia dal vento al mare di forma qualunque, la lunghezza del fetch effettivo, calcolata con la procedura di cui sopra, può essere maggiore, minore, o uguale a quella schematicamente assunta come coincidente con la distesa di mare libero.

Da quanto precedentemente esposto, si evince che il moto ondoso di un determinato paraggio può essere generato anche da venti esterni al settore di traversia fino a  $45^\circ$  rispetto ad uno degli estremi del settore stesso.

Occorre inoltre precisare che, indicando con  $b$  la larghezza del fetch, per la generica direzione formante un angolo  $\alpha_i$  con quella del vento, la lunghezza  $F_i$  del fetch stesso da introdurre nella precedente som-

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

A handwritten signature in dark ink, consisting of a stylized 'R' followed by a flourish.

matoria non può superare il seguente valore, funzione di  $\alpha_i$ :

$$\frac{b}{2F_i \cos \alpha_i} = \operatorname{tg} \alpha_i \quad (2.1.4)$$

Nell'applicazione del presente metodo, pertanto, poichè nel Mar Mediterraneo si ha mediamente  $b = 400 \text{ km} = 216 \text{ m.m. (*)}$ , il valore di  $F_i$ , secondo la generica direzione  $\alpha_i$ , coinciderà con la distanza di mare libero nella stessa direzione solo se questa risulta inferiore a:

$$F_i = \frac{216}{2 \operatorname{sen} \alpha_i} \quad (2.1.5)$$

diversamente, coincide con quest'ultimo valore.

Nella Fig.2.1.2 si è riportato il diagramma delle distanze di mare libero per il paraggio in esame (Fig. 2.1.2); la Fig.2.1.3 indica il diagramma dei fetches effettivi corrispondenti.

---

(\*) MILANO V: "Sulle lunghezze del fetch effettivo nel Mar Mediterraneo".  
Giornale del Genio Civile, 1978.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'R' followed by a flourish.



## 2.2 - IL FENOMENO DI GENERAZIONE DEL MOTO ONDOSO

La più antica trattazione rigorosa del fenomeno di trasmissione di energia dal vento al mare è dovuta a Kelvin (1887) ed Helmholtz (1888). Gli Autori si posero il problema di determinare le oscillazioni cui è soggetta la superficie di separazione di due fluidi, privi di viscosità, animati da differenti velocità orizzontali e uniformi.

Mettendo in conto la tensione superficiale (onde di capillarità), gli Autori giunsero alla conclusione che la superficie diviene instabile se la velocità del vento supera i 23 cm/sec e che tale instabilità si manifesta in un progressivo aumento dell'altezza d'onda.

A tale velocità critica del vento corrisponde una lunghezza d'onda di 1,7 cm ed un periodo di 0,073 sec.

Lo stesso Kelvin si rese conto, come fu poi sperimentalmente dimostrato, che le ipotesi fatte non riproducevano il fenomeno con sufficiente realismo e suggerì di mettere in conto gli effetti della viscosità come fecero più tardi Wuest (1949) e Lock (1954).

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'R' followed by a loop.

Molti Autori sostengono, infatti, che una tale velocità critica, se esiste, debba avere un valore considerevolmente più basso di quello ricavato per via teorica.

Si è ormai accertato che il modello matematico di Helmholtz e Kelvin è in grado di spiegare solo l'inizio del fenomeno per velocità del vento molto basse. Quando infatti, al crescere della velocità del vento, l'altezza d'onda raggiunge il limite di instabilità, si frange diminuendo d'ampiezza; poi, gradualmente, ritorna ad ingrossarsi ma si frange nuovamente e così via.

Un tale progressivo succedersi di frangimenti porta una notevole turbolenza nella massa d'aria immediatamente sovrastante il pelo libero; viene così a mancare una delle ipotesi fondamentali ed il fenomeno segue un altro schema.

La massa d'aria a contatto con la superficie del mare non è mai caratterizzata da una distribuzione uniforme della pressione nè, tantomeno, è animata da una velocità costante.

I movimenti delle masse d'aria sotto forma di

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



vento sono infatti definiti da una elevatissima turbolenza su larga scala dovuta all'alternanza di zone ad alta e a bassa pressione.

L'atmosfera è cioè sede di una serie discontinua di raffiche, seguite da intervalli di calma con distribuzione assolutamente casuale che portano alla formazione di un insieme estremamente disordinato di vortici le cui dimensioni planimetriche possono variare da qualche centimetro alle centinaia di metri.

Charnock, Francis e Sheppard hanno dimostrato che la componente verticale della velocità di fluttuazione dei vortici è di uno o due ordini di grandezza inferiore alla componente orizzontale.

Tali vortici traslano, inoltre, ad una velocità, detta velocità convettiva, che varia con le dimensioni dei vortici nel senso che i più piccoli si muovono con la velocità che compete al vento in corrispondenza della superficie del mare, mentre le più grandi, traslano alla velocità del vento a qualche metro di altezza, notoriamente maggiore.

La vita media di tali vortici è di pochi minuti, nel loro moto assolutamente casuale vengono, infatti,

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

a contatto fra loro, così che alcuni si distruggono mentre, di nuovi, se ne formano a quote sempre differenti.

Appare evidente che, se le variazioni di pressione e di velocità dovute ai vortici seguono un andamento stocastico variando nell'intorno di certi valori medi, un andamento analogo avranno le onde ripide e spumose che ne nascono e le cui dimensioni possono essere notevoli anche se le differenze di pressione che le generano sono modeste.

Si formeranno pertanto gruppi di onde in numero variabile da cinque a dieci per gruppo, differenti in altezza e periodo, che tenderanno successivamente ad uniformarsi man mano che si allontanano dalla zona di generazione.

Solo un'analisi di tipo stocastico può, estraendo dal caos apparente gli elementi significativi, dare una esauriente spiegazione del complesso fenomeno di trasmissione di energia dal vento al mare.

Eckart (1953) ha, per primo, osservato che una delle cause principali nella formazione delle onde è la fluttuazione della pressione atmosferica in seguito ai suddetti vortici irregolari, che l'A. ha assunto

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*



traslanti ad una velocità costante pari alla velocità del vento e con una vita media compresa fra uno e due minuti.

L'A. ha considerato una distribuzione statistica di tali vortici, e quindi delle variazioni di pressione, indipendente dalle onde nel contempo generate, ammettendo cioè che i vortici siano la causa dello stato di agitazione del mare ma, che quest'ultimo non possa avere alcuna influenza sull'atmosfera.

Trascurando, oltre che gli effetti di riparo definiti da Jeffreys (1924), anche gli sforzi tangenziali, Eckart ha risolto il problema sia per l'area interna alla zona di generazione (storm area) sia per quella esterna.

Al centro dell'area di generazione si ha una situazione estremamente confusa e le onde si propagano in diverse direzioni.

Ma quando ci si allontana dal centro si comincia a manifestare una direzione di propagazione predominante.

All'esterno della zona di generazione il problema si presenta più semplice per la mancanza di fenomeni impulsivi.

L'A. ha osservato che, in tal caso, le onde

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

prodotte formano un angolo molto piccolo con la direzione in cui si muovono le raffiche. Una tale teoria, però, pur conservando il pregio della semplicità, offre solo un modello qualitativamente esatto porgendo, per l'altezza d'onda, valori fino a 10 volte inferiori a quelli registrati nell'oceano.

Tale disaccordo è da ricercare, principalmente, nell'aver trascurato gli effetti di riparo, approssimazione accettabile solo finchè le onde sono piuttosto piccole; quando, infatti, le onde cominciano a gonfiarsi, il trasferimento di energia cinetica dal vento al mare, che dipende dalla ripidità e dall'altezza dell'onda, comincia a divenire predominante.

Phillips nel 1957, introducendo il concetto di risonanza ha sviluppato una teoria che prevede onde con lo stesso ordine di grandezza di quelle osservate nell'oceano. L'A. infatti, introducendo una rappresentazione maggiormente realistica del vento avanza l'ipotesi che la durata e le dimensioni dei vortici siano rappresentabili tramite uno spettro.

Si avrà pertanto una sovrapposizione di fluttuazioni sinusoidali di pressione di ampiezza diversa

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



e fra loro sfasate cui fanno seguito, secondo un meccanismo cosiddetto di risonanza, dei treni d'onda, anche essi rappresentabili tramite uno spettro.

Il Phillips osserva che: ".....appare chiaro che le onde si sviluppano molto più rapidamente grazie al fenomeno della risonanza che si verifica quando la distribuzione delle pressioni sulla superficie libera si muove con la stessa velocità alla quale si muovono le onde prodotte.....".

Le entità delle depressioni prodotte dai vortici non sono mai molto grandi, anche se le onde che ne nascono possono avere dimensioni notevoli.

L'asserzione di Phillips ed il concetto di risonanza possono essere verificati sperimentalmente in laboratorio soffiando, con un boccaglio mobile, aria in pressione su dell'acqua inizialmente in quiete in un canale.

Al di sotto del boccaglio si formerà un abbassamento cui corrisponde una cresta per ciascun lato e, di conseguenza, due treni d'onda simmetrici, la cui lunghezza dipende dall'intensità del getto, propagantisi in direzione opposta.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*

Le onde prodotte si propagheranno ad una celerità dipendente oltre che dalla lunghezza d'onda anche dalla profondità dell'acqua.

Se il boccaglio si muove ad una velocità pari alla celerità di propagazione, le onde continuano a crescere in altezza.

Se il boccaglio è animato, invece, da una velocità diversa dalla celerità, al di sotto del getto si troveranno ora cavi, ora ventri, così che le onde verranno in certi istanti esaltate, in altri attenuate. Tali fluttuazioni di pressione generano pertanto delle oscillazioni forzate sulla superficie.

Un fenomeno analogo, anche se complicato dalla presenza di un numero indefinito di vortici, si verifica in natura.

Se, infatti, la distribuzione di pressione connessa all'esistenza dei vortici ha una frequenza che, almeno per taluni periodi di tempo, si trova in concordanza di fase con le corrispondenti onde, si genera un fenomeno di risonanza che tende a trasferire sempre nuove energie dal vento al mare e ad esaltare le intumescenze.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



Sono quindi proprio tali variazioni di pressione sopra la superficie del mare la causa principale dell'ingrossarsi di gruppi di onde che risultano variabili in un campo piuttosto ampio sia con riferimento al numero sia alla frequenza non solo in un punto al trascorrere del tempo, ma in uno stesso istante da punto a punto. Dalle misure effettuate da Roschke (1954) si deduce che tali pressioni variano nel tempo, nell'intorno del valor medio con una legge di distribuzione gaussiana.

Phillips fa così l'ipotesi che in un certo istante sulla superficie del mare inizialmente in quiete, inizi a soffiare un vento turbolento cui è associata una variazione di pressione esprimibile tramite una funzione stocastica stazionaria dello spazio e del tempo.

L'Autore, invero, ritiene che lo sviluppo delle onde si realizzi in due fasi. Phillips afferma infatti: ".....In una fase iniziale di sviluppo si manifesta attraverso delle increspature la cui lunghezza d'onda corrisponde alla velocità minima di propagazione delle onde di capillarità."

In un primo tempo, che si protrae finchè non si

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

siano ancora manifestate le fluttuazioni di pressione,  
il processo segue pertanto lo schema di Kelvin-Helmholtz

La perturbazione, in conformità alla teoria del\_  
le onde di capillarità, si propaga pertanto con celeri\_  
tà C data dalla formula:

$$C = 2 \sqrt[4]{\frac{g\tau}{\rho}} \quad (2.2.1)$$

dove  $\tau$  = tensione superficiale

$\rho$  = densità dell'acqua

$g$  = accelerazione di gravità

cui corrisponde una lunghezza d'onda pari a:

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{\tau}{\rho g}} \quad (2.2.2)$$

Si può quindi ritenere che, in questa fase, l'an\_  
damento della superficie non abbia alcun effetto sulla  
distribuzione delle pressioni.

Mà, una tale condizione non dura a lungo, poichè,  
molto presto, alcune onde frangono disturbando la distri\_  
buzione verticale delle velocità e delle pressioni.

A questo fa seguito una seconda fase responsabile

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



del maggiore accrescimento. L'Autore continua infatti:  
"..... l'aumento delle dimensioni delle onde di gravi\_  
tà è in massima parte concentrato in una seconda fase,  
la principale, che dura finchè le onde non divengono  
così alte da non potersi più trascurare gli effetti non  
lineari.....".

Cioè finchè la media dei quadrati della ripidi\_  
tà sia così piccola da potere considerare lineare la  
condizione ai limiti in corrispondenza della superficie  
libera. Una tale condizione è raggiunta, ovviamente,  
dalle onde corte, ma sembra che il modello matematico  
di Phillips possa valere fin quando anche le onde più  
lunghe non raggiungano una tale condizione.

L'Autore, inoltre, trascura gli effetti della  
viscosità così che il moto risulta irrotazionale.

Dal punto di vista qualitativo è possibile af\_  
fermare che, mentre l'onda cresce, la media dei quadrati  
delle altezze d'onda è direttamente proporzionale al tem\_  
po misurato a partire dall'istante in cui il vento ha  
iniziato a soffiare (durata).

Come risulta per altro dalle osservazioni ocea\_  
nografiche di diversi Autori (Sverdrup e Munk, Bretsch\_

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

neider, Darbyshire).

Lo spettro d'onda è legato a quello delle pressioni dalla seguente relazione:

$$\overline{\eta}^2 = \frac{\overline{p}^2 t}{2 \sqrt{2 \rho^2 U_c g}} \quad (2.2.3)$$

dove  $\overline{\eta}^2$  è la media dei quadrati delle escursioni verticali,

t è la durata,

$U_c$  è la velocità convettiva con cui si muovono le

fluttuazioni di pressione sulla superficie,

$\rho$  è la densità

$\overline{p}^2$  è la media dei quadrati delle pressioni.

Per determinare l'altezza d'onda bisogna, pertanto, conoscere l'andamento delle fluttuazioni di pressione.

Ma il problema di più difficile soluzione è proprio quello di stabilire la distribuzione delle pressioni in funzione del vento. Si tratta, cioè, di individuare una relazione che consenta di determinare la media dei quadrati delle pressioni a partire dai dati disponibili sulla velocità del vento.

Il problema si presenta particolarmente complesso

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



poichè le fluttuazioni di pressione sono di due tipi; il primo, dovuto alla turbolenza propria dei vortici, è la causa di un trasferimento energetico in un campo piuttosto vasto di altezze, mentre il secondo, dovuto all'irregolarità che le onde stesse portano nel flusso d'aria sovrastante, ha un'azione selettiva di modo che certe componenti crescano con maggior rapidità.

Le fluttuazioni di pressione sono date dalla somma delle due precedenti.

Phillips ha trovato un buon accordo con la realtà ricavando  $\bar{n}^2$  dai dati sperimentali e stimando il valore di  $\bar{p}^2$  come ordine di grandezza.

Il problema della generazione delle onde sulla superficie del mare da parte del vento è notoriamente uno dei più complessi e delicati problemi di Idraulica Marittima.

Il fenomeno acquista ulteriore importanza nel più specifico campo delle Costruzioni Marittime, nel tentativo di definire un modello matematico opportuno che consenta di risalire dai dati anemometrici allo stato di agitazione del mare e, quindi, alle sollecitazioni cui sono sottoposte le strutture.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R

Nel 1956 Ursell scriveva a tale proposito:

".....lo stato attuale delle conoscenze del fenomeno è assolutamente insoddisfacente" (Surveys of Mechanics).

Una tale amara conclusione è dovuta al fatto che nessuna delle numerose forze - inerzia, gravità, tensione superficiale, viscosità - che entrano in gioco può essere trascurata, senza che il modello matematico si allontani troppo dalla realtà.

In questi ultimi anni, però, tutta una serie di lavori, in massima parte dovuti ad autori anglo-americi, ha gettato un nuovo raggio di luce sul complesso problema.

Le nuove teorie successivamente presentate hanno offerto una sempre migliore aderenza ai dati rilevati sperimentalmente in mare.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R