COMUNE DI BORDIGHERA

REGIONE LIGURIA

INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DELLA SPIAGGIA: CELLE LITORALI SANT'AMPELIO - NEW PALOMA E KURSAAL - SAN MARCO (4° LOTTO - 2° STRALCIO)

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONI TECNICHE SPECIALISTICHE MARITTIME

FASCICOLO N.

4

data
Dicembre 2013

A	PRIMA STESURA	Dicembre 2013
B		
C		
D		
E		

STUDIO SIRITO
Savona

ing. Giorgio Sirito
ing. Roberto Sirito

INDICE

LE ONDE AL LARGO

1- analisi delle fonti di dati pag. 1

1.1- Dati Atlante delle onde e del vento nel Mediterraneo (ISMAR) pag. 2
1.2- Omissis pag. 3
1.3- Dati boa Côte d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE) pag. 3
1.3.1- Composizione dei dati della boa Côte d'Azur con i dati CEP pag. 4
1.4- Omissis pag. 6
1.5- Dati KNMI pag. 6
1.6.1- Dati visuali pag. 7
1.6.2–Boe pag. 7
1.6.3-Conclusioni pag. 7

2- Distribuzione settoriale del moto ondoso pag. 7

3- conclusioni pag. 8

4- Periodi d'onda pag. 8

CALCOLO DEL MASSO DI MANTELLATA DELLE ISOLE SOMMERSE

Premessa pag. 1

1) Altezza d'onda massima che investe l' isola sommersa pag. 1
2) Dimensionamento del masso di mantellata della scogliera con il metodo di Van Der Mer pag. 3
3) Masso di mantellata di progetto

RELAZIONE GEOTECNICA

- Calcolo della capacità portante ammissibile (qamm) del fondale marino pag. 1
- Cedimenti pag. 3

LE ONDE AL LARGO

LE ONDE AL LARGO

1- ANALISI DELLE FONTI DI DATI

Ai fini del presente progetto lo studio è unicamente finalizzato al calcolo del masso di mantellata delle nuove scogliere ed anche qui è inteso solo appurare il valore dell'onda al largo ai fini di stabilire le profondità di frangimento, trovandosi le mantellate in un basso fondale. Il calcolo non è finalizzato a studi sul ripascimento, trattandosi il ripascimento di progetto di un intervento di piccola entità, di manutenzione di due celle litorali. Inoltre le decisioni sulla spiaggia di Bordighera, dopo anni di lavoro, possono ormai essere prese sulla base delle osservazioni di comportamento e dei monitoraggi successivi intercorsi, senza più ricorrere a procedimenti teorici.



Figura 1 - Ubicazione geografica dell'area di studio e fonti di dati analizzate

Nel caso specifico abbiamo potuto analizzare tre distinte fonti di dati di clima meteo marino.
Le tre fonti di dati di clima sono le seguenti:

- ***Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo (ISMAR)***
- ***Dati composizione boa Cote d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE)***
- ***Dati visuali KNMI***

Il punto di riferimento ISMAR, il posizionamento del PUNTO BOA e l'estensione dell' area dei dati KNMI sono riportati in **Figura 1**.
Nei paragrafi successivi sono rappresentate le rose del moto ondoso annuale per ciascuna delle tre fonti.

1.1- Dati Atlante delle onde e del vento nel Mediterraneo (ISMAR)

"L'Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo", sviluppato a cura di un consorzio di sei istituti di ricerca localizzati in Francia, Italia e Grecia, viene fornito gratuitametne dagli istituti sviluppatori. Detto Atlante fornisce per il Mediterraneo i valori integrati delle seguenti variabili: velocità e direzione del vento, altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione di provenienza del moto ondoso.
I dati dell'Atlante vengono calcolati in base ai risultati del modello atmosferico del ECMWF che vengono inseriti come forzanti nel codice di calcolo di generazione delle onde da vento (WAM). Successivamente viene effettuata una calibrazione attraverso le variabili altezza d'onda significativa e velocità del vento, telerilevate entrambe da satellite (Topex e ERS 1-2).
In **Figura 2** è riportata la rosa annuale dello stato del mare per il punto di coordinate 44ºN 9ºE, punto più vicino alla zona di studio. Come si osserva dal grafico, il modello non riporta nessun valore di temporali provenienti da SE (Scirocco), mentre la boa di misurazione dei dati presente nell'area ed i dati KNMI riportano che lo stato del mare proveniente dal settore di Scirocco è si meno frequente ed intenso che quello proveniente da Libeccio, pero`decisamente non trascurabile soprattutto in termini di altezza d'onda, e cio' è ben noto universalmente.

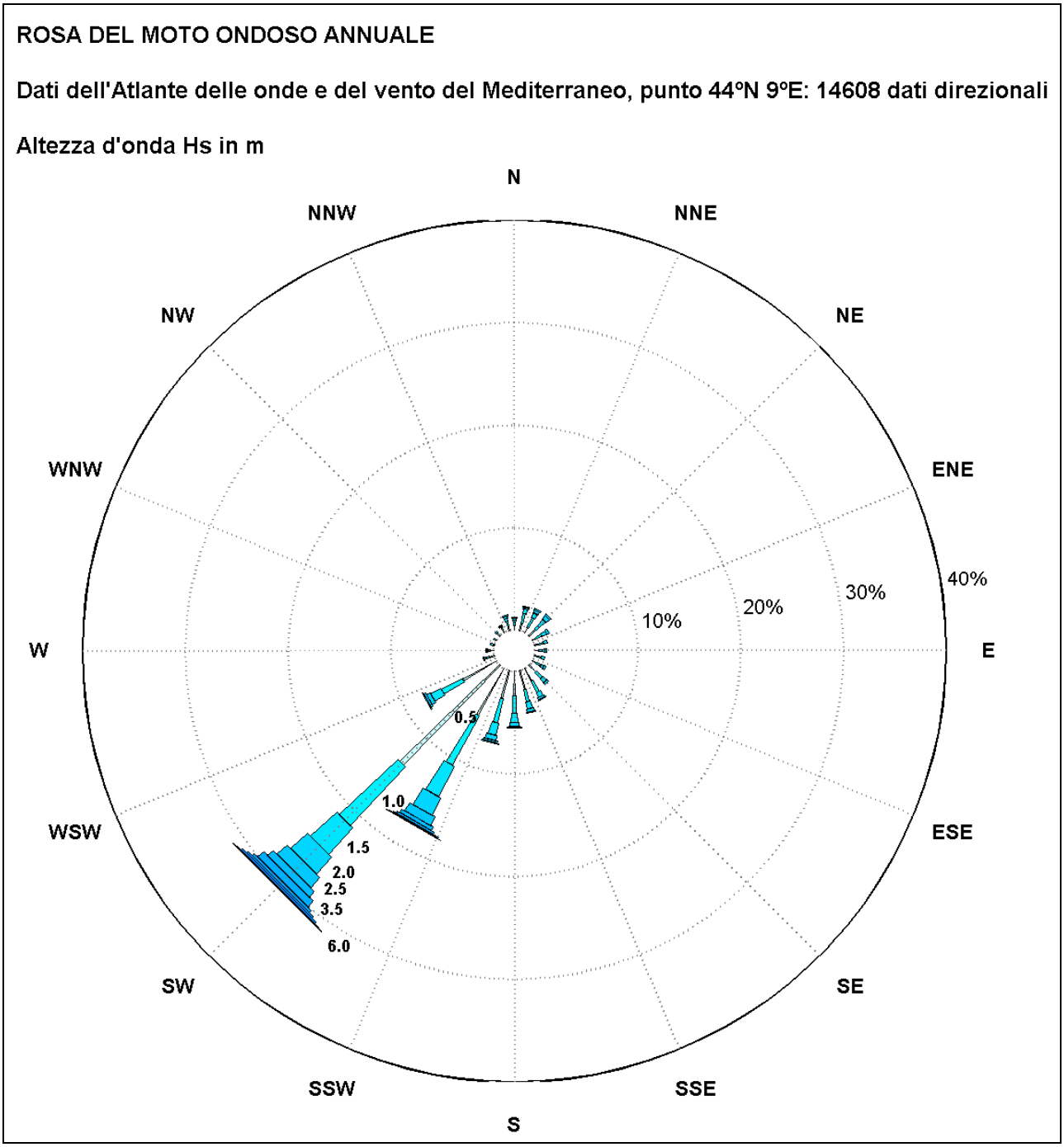


Figura 2 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati Atlante delle onde e del vento del Mediterraneo

1.2- Omissis

1.3- Dati boa Côte d'Azur e nodo modello CEP (METEO FRANCE)

L'insieme dei dati forniti dalla Meteo France è costituito da dati strumentali registrati dalla Boa "Cote d'Azur" ubicata al largo di Sanremo e dai dati di tipo hindcast del modello CEP (Meteo France).

La boa scalare della Cote d'Azur è situata in un punto di coordinate 43.4º N di latitudine e 7.8º E di longitudine, con profondità 2300m (**Figura 1**).
Il punto utilizzato dal modello CEP è posto accanto alla boa della Cote d'Azur, con coordinate geografiche 43,5º N di latitudine e 8º E di longitudine, e quindi in acque profonde. Il periodo di registrazione considerato in questo studio è compreso tra il 17 Marzo 1999 al 31 Marzo 2004, corrispondente ad un intervallo di tempo pari a 5 anni.
I dati hindcast (cioè di tipo predittivo a posteriori) sono stati ottenuti dal Dipartimento di Clima Meteomarino della Meteo France mediante un modello di predizione del moto ondoso (CEP).
I dati strumentali dalla boa hanno una maggior precisione sulle misure ottenute con altri metodi, ma la registrazione non è continua, a causa di vuoti (o intervalli di tempo senza registrazione) di notevole importanza, ed inoltre non contengono informazione sulla direzione di provenienza delle onde.
I dati del modello CEP, invece, presentano un insieme temporalmente continuo di valori, malgrado la affidabilità degli stessi dipenda dalla bontà del modello predittivo e, a sua volta, quest'ultimo dipenda dall'affidabilità dei dati di vento disponibili.

1.3.1- Composizione dei dati della boa Côte d'Azur con i dati CEP

Dal momento che i dati della boa non contengono informazioni sulla direzione del moto ondoso e che i dati CEP sono poco precisi sui valori di altezza d'onda e periodo, esistono diverse metodologie che consentono di ottenere un campione di dati in acque profonde con informazione direzionale.

Tra le possibili metodologie, la maggior parte basate sulla ricerca di una correlazione tra i valori di altezza d'onda sperimentali con valori del moto ondoso che devono essere corretti (fonti di dati direzionali), si evidenziano le seguenti:

- Informazioni raccolte nella letteratura scientifica (es.: Cartwright, 1964; Jardin, 1979; Nordenstrom, 1984).
- Correlazione diretta (simultanea) tra le variabili.
- Confronto del regime medio scalare di ciascuna delle variabili.

Di questi tre metodi, il secondo ed il terzo sono soliti fornire risultati migliori. L'ultimo è il più comune, dal momento che per stabilire una correlazione diretta (simultanea) è necessario disporre di registri di dati temporalmente simultanei. Inoltre, per poter ottenere una correlazione con massima flessibilità è necessario che entrambe le fonti di dati si trovino spazialmente vicine, cosa non sempre possibile a causa del fatto che la rete di boe è piuttosto limitata.
In questo caso, poichè la boa scalare della Côte d'Azur ed il nodo CEP sono situati a poca distanza l'una dall'altro e le loro registrazioni sono simultanee in un dato intervallo di tempo, è stato possibile effettuare un'analisi dei valori di altezza d'onda "ora per ora" di entrambe le fonti di informazione.
Mediante la composizione dei dati di entrambe le fonti per intervalli di tempo simultanei, è stato ottenuto un insieme con dati della boa (Hs e Tp) ed informazioni direzionali ricavate dal nodo CEP. A partire da questo nuovo campione è stato quindi definito il regime di moto ondoso in acque profonde, come se si trattasse di una boa direzionale reale.

La distribuzione per settori del moto ondoso annuale a partire dai dati ottenuti dalla composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP è rappresentata in **Figura 3**.

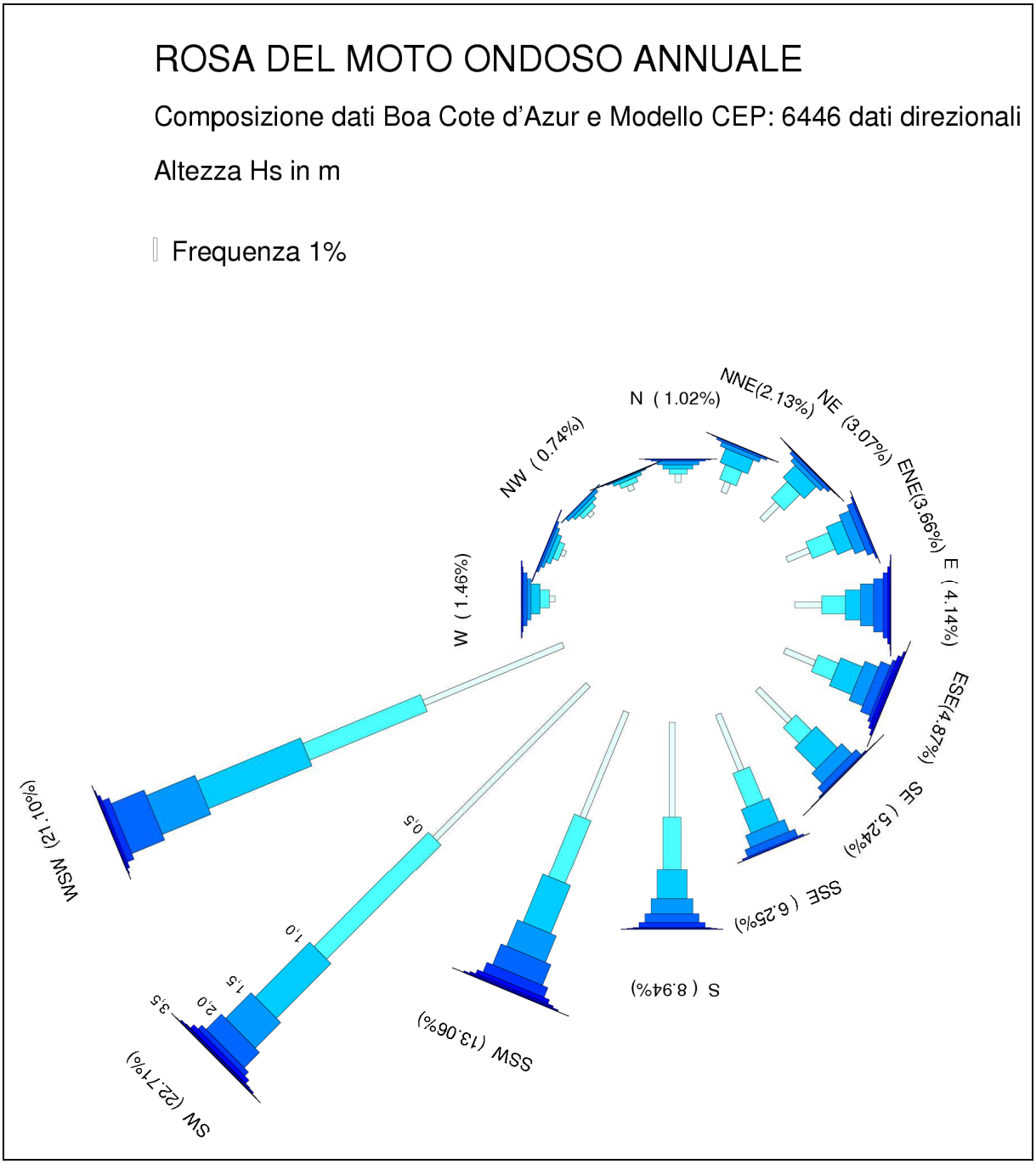


Figura 3 - Rosa del moto ondoso annuale. Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP. Periodo dal 17 Marzo 1999 al 31 Marzo 2004.

1.4- Omissis

1.5- Dati KNMI

I dati di clima meteomarino forniti dalla KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorogisch Institut) sono dati di tipo visuale raccolti dalle navi in transito nel Mar Mediterraneo per un periodo di 30 anni, dal 1961 al 1980. L'area di raccolta dati considerata per questo studio si estende dal punto di coordinate 43,0º N – 7.0º E al punto di coordinate 43.9º N – 9.9º E.

La distribuzione per settori (limitatamente ai settori di interesse per l'area di studio, dall'E al WSW) del moto ondoso annuale a partire dai dati KNMI è rappresentata in **Figura 4**.

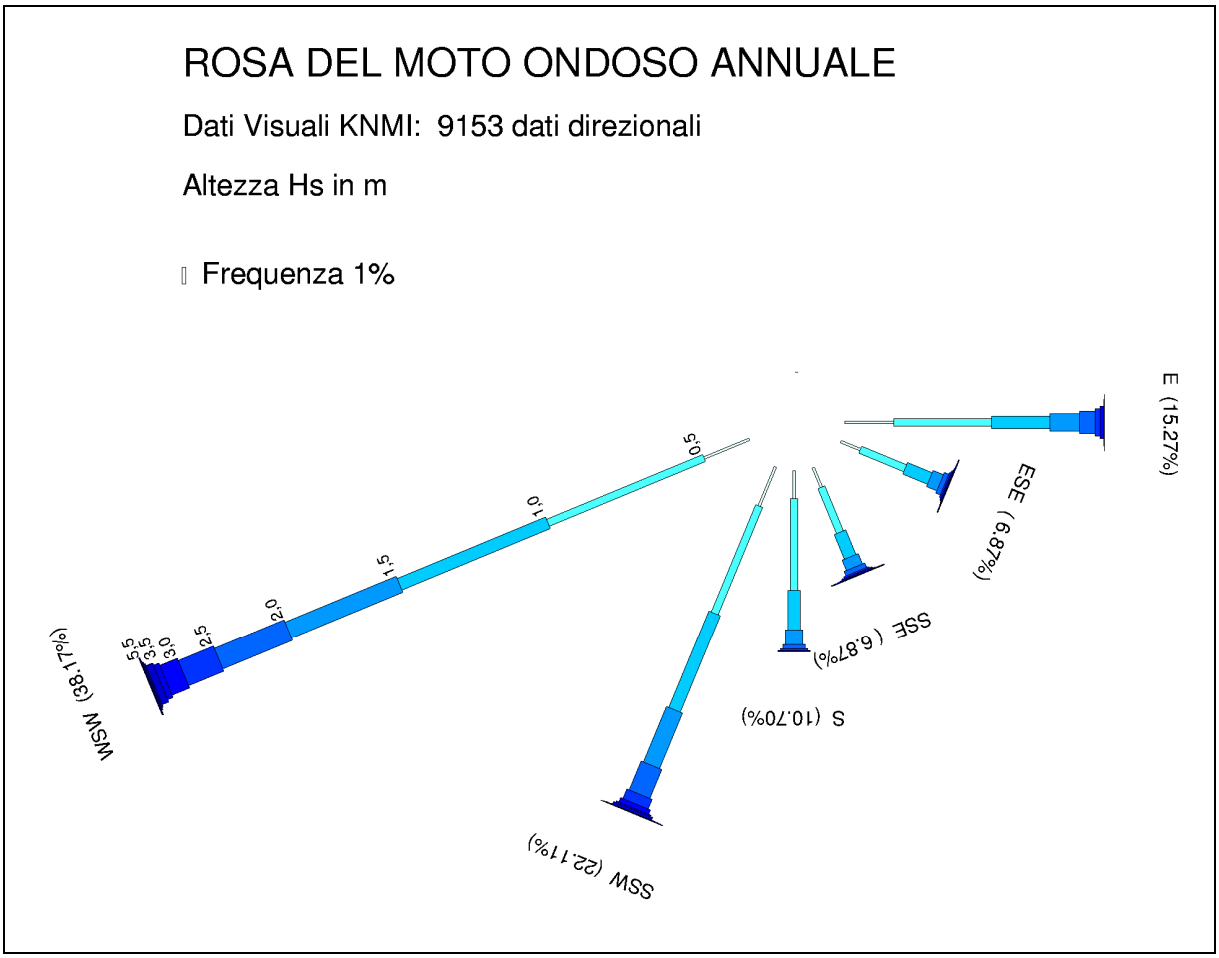


Figura 4 - Rosa del moto ondoso annuale. Dati visuali KNMI. Periodo dal 1961 al 1980.

1.6- Analisi critica delle fonti di dati

I principali vantaggi e svantaggi delle distinte fonti di informazione del moto ondoso sono i seguenti.

1.6.1- Dati visuali

Vantaggi: informazioni del moto ondoso presenti in tutte le aree del mondo; dispone, generalmente, di un lungo periodo di registrazioni (più di 25 anni); presenta informazione direzionale.
Svantaggi: informazione soggettiva, è molto difficile stabilire una relazione tra i valori di altezza d'onda e di periodo visuali con i parametri del moto ondoso Hs e Tp, necessari per caratterizzare la dinamica litorale; i dati visuali coprono un'area molto estesa, ma limitata alle principali rotte marittime; l'informazione non è valida per l'analisi estrema, poichè i dati visuali durante le mareggiate sono scarsi (le navi evitano di viaggiare in queste condizioni climatiche) o poco affidabili.

1.6.2–Boe

Vantaggi: è l'informazione più affidabile del moto ondoso.
Svantaggi: le registrazioni delle boe sono generalmente di breve periodo, per cui possono servire per l'analisi del regime medio (ad es.: per studi di dinamica litorale), però sono insufficienti per definire il regime estremo (ad es.: per definire il moto ondoso per il calcolo di una diga in acque profonde); la mancanza di informazione direzionale, se la boa è scalare; la possibile lontananza della boa dalla zona di interesse.

1.6.3-Conclusioni

L' analisi critica generale sulle fonti di informazione del moto ondoso tende a non utilizzare metodi basati o su osservazioni affette da errore umano o metodi di determinazione indiretta se si hanno a disposizione dati diretti certi, come sono quelli derivati da una boa ondametrica.
Pertanto la boa Cote d'Azur della METEO FRANCE è la fonte piu' appropriata e viene scelta per i nostri studi meteo marini.

2- DISTRIBUZIONE SETTORIALE DEL MOTO ONDOSO

La distribuzione settoriale del moto ondoso, in settori di 22.5º, è rappresentata graficamente nella corrispondente rosa del moto ondoso (**Figura 3**) costruita a partire dall'insieme dei dati. In **Tabella 1** è riportato, invece, il numero di osservazioni classificate per settori di incidenza del moto ondoso e per valori di altezza d'onda significativa Hs.

Hs (m)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	%	TOTALE
Settore													
N	23	14	12	10	4	2	1	0	0	0	0	1.02	**66**
NNE	31	43	42	13	6	1	1	0	0	0	0	2.13	**137**
NE	62	63	47	13	10	1	1	1	0	0	0	3.07	**198**
ENE	67	68	46	31	18	5	1	0	0	0	0	3.66	**236**
E	75	65	42	37	26	13	6	1	2	0	0	4.14	**267**
ESE	91	61	66	41	29	9	10	6	0	1	0	4.87	**314**
SE	126	62	84	40	20	4	0	1	0	1	0	5.24	**338**
SSE	168	101	71	36	21	5	1	0	0	0	0	6.25	**403**
S	263	146	82	42	24	14	2	2	1	0	0	8.94	**576**
SSW	317	189	144	79	62	29	12	5	4	0	1	13.06	**842**
SW	603	450	214	100	60	15	13	2	5	1	1	22.71	**1464**
WSW	419	354	311	146	99	20	7	3	1	0	0	21.10	**1360**
W	16	26	25	11	11	3	2	0	0	0	0	1.46	**94**
WNW	12	16	13	9	6	0	2	0	0	0	0	0.90	**58**
NW	12	14	10	10	2	0	0	0	0	0	0	0.74	**48**
NNW	16	14	9	3	1	1	1	0	0	0	0	0.70	**45**
%	35.70	26.16	18.90	9.63	6.19	1.89	0.93	0.33	0.20	0.05	0.03	100	
TOTALE	**2301**	**1686**	**1218**	**621**	**399**	**122**	**60**	**21**	**13**	**3**	**2**		**6446**

Tabella 1. Tabella della presentazione settoriale del moto ondoso (annuale). Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP.

Le frequenze di presentazione settoriale del moto ondoso in acque profonde, definite come la percentuale di presentazione dei dati par ciascuno dei settori, sono raccolte nella **Tabella 2**.

Settore	%
N	1.02
NNE	2.13
NE	3.07
ENE	3.66
E	4.14
ESE	4.87
SE	5.24
SSE	6.25

Settore	%
S	8.94
SSW	13.06
SW	22.71
WSW	21.10
W	1.46
WNW	0.90
NW	0.74
NNW	0.70

Tabella 2. Frequenze di presentazione settoriale del moto ondoso (in %).

3- CONCLUSIONI

Per la determinazione dell'altezza dell'onda al largo da introdurre nel calcolo della profondità di frangenza, si evince dalla rosa del moto ondoso annuale Boa Côte d' Azzur e modello CEP DI METEO France che le onde di altezza superiore a m. 3.5 sono rare e non vengono riportate nella rosa.

Scendendo più nel dettaglio, dalla Tabella1 si ha che onde superiori ai 6 metri non sono mai state osservate ed onde di 5,50 ÷ 6,00 metri una sola volta in cinque anni.

Su 6.446 osservazioni complessive della provenienza del mare dominante di SW, sono state osservate 5 volte onde di 4,00 ÷ 4,50 metri.

Per cui riteniamo assolutamente prudenziale assumere nel calcolo, l'onda al largo di 5 metri di altezza.

4- PERIODI D'ONDA

Un'analisi completa del clima meteomarino deve comprendere anche la caratterizzazione di altri parametri del moto ondoso, come il periodo d'onda, al fine di determinare i periodi che devono essere utilizzati nella propagazione del moto ondoso nella zona di interesse.

Mediante tale analisi sono stati ottenuti risultati grafici che rappresentano la dispersione delle variabili altezza d'onda significativa (Hs) e periodo di picco (Tp) del moto ondoso, ottenute dagli spettri del moto ondoso. In questo modo, a partire dai dati boa e nodo modello CEP è stato ottenuto un diagramma corrispondente alla totalità dei dati considerati ed ai settori considerati.

Nella **Tabella 3** sono riportati i valori dell'altezza d'onda Hs, in intervalli di 0.5m, e del periodo di picco Tp, in intervalli di 2s, relativi all'insieme di dati considerato.

Tp-Hs	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	5-5.5	TOTAL
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
4	71	148	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**220**
6	1136	1626	638	360	24	0	0	0	0	0	0	**3784**
8	463	421	344	383	287	173	39	12	1	0	1	**2124**
10	66	13	68	44	25	11	19	11	10	5	1	**273**
12	21	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	**23**
14	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**6**
16	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**5**
18	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**3**
20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
26	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**3**
28	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**2**
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**
TOTAL	**1778**	**2209**	**1052**	**787**	**337**	**184**	**58**	**23**	**11**	**5**	**2**	**6446**

Tabella 3. Tabella di corrispondenza Hs-Tp. Composizione boa scalare della Cote d'Azur e nodo modello CEP.

CALCOLO DEL MASSO DI MANTELLATA DELLE ISOLE SOMMERSE

CALCOLO DEL MASSO DI MANTELLATA DELLE ISOLE SOMMERSE

PREMESSA

Si effettua il calcolo per l'isola "Sport Nautico" poiché il piede della mantellata raggiunge una profondità maggiore del piede dell'isola "Lido".

1) Altezza d'onda massima che investe l' isola sommersa

Dati di progetto:
Onda al largo non rifratta: Ho' = 5,00 m, T = 10 sec
La lunghezza d'onda corrispondente si ricava con la formula (2-7a) a pag.2-9 Vol I del S.P.M. 1984:

$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9{,}81}{2\pi}T^2 = 1{,}56T^2$, con To = 10sec si ha: Lo=1,56x10^2 =156m

Isola di progetto: profondità piede isola: h 3,80 m
pendenza fondale al piede dell'isola: 7,5%

Per calcolare l'onda massima di progetto, occorre innanzitutto verificare se l'onda frange prima di raggiungere l'opera di difesa.
L'altezza d'onda di frangimento e la profondità alla quale si verifica il frangimento si possono calcolare utilizzando il metodo proposto da Weggel, riportato sullo S.P.M. 1984 vol. I alla pag. 2-130:

$$\frac{Ho'}{gT^2} = \frac{5{,}00}{9{,}81x10^2} = \frac{5{,}00}{9{,}81x100} = 0{,}0051$$

Entrando nel grafico di Figura 2-72 S.P.M. '84, per i valori di pendenza del fondale nella zona di 1° frangimento m = 0.028 e di $\frac{Ho'}{gT^2} = 0{,}0051$, si ottiene: $\frac{Hb}{Ho'} = 1{,}13$
Da cui l'altezza d'onda di frangimento risulta: Hb = 1,13 x 5,00 = 5,65 m

Dal grafico della figura 2-73 per m = 0,028 e Hb/gT^2 = 5,65 / (9,81 x 10^2) = 0,0058 si ottiene:
$\frac{db}{Hb} = 1{,}14$ e quindi la profondità di frangimento pari a:

db = 1,14 x 5,65 m = 6,4 m.

Valore pressoché identico al risultato del calcolo con la formula empirica di Iribarren:
db = 1,3H = 1,3 x 5,00 = 6,50m.

L'onda di progetto frange quindi ad una profondità di 6,4 m, al largo delle isole di progetto, per cui il valore di altezza d'onda di frangimento H_b = 5,65 m sopradeterminato non può essere assunto per il dimensionamento dei massi della scogliera.
Occorre quindi determinare l'altezza d'onda che, a seguito di successivi frangimenti, si verifica alla profondità d_b = 3,80 m in prossimità del piede dell'isola di progetto.

1° metodo: si utilizzano le stesse equazioni e gli stessi grafici visti sopra, assumendo la seguente profondità di frangimento:
db = profondità di calcolo dinanzi all'opera, pari alla profondità del fondale rispetto al medio mare, maggiorata della sopraelevazione di marea e della sopraelevazione dovuta al mare in movimento:

db = h + η + Sh = 3,80+0,15+0,25=4,20 m, dove:

h = 3,80 m profondità fondale in corrispondenza del piede dell'isola di progetto
η = 0,15 m sopraelevazione del livello medio del mare dovuto alla marea
Sh = $\frac{\pi Ho^2}{2L_o} = \frac{3{,}14x5{,}00^2}{2x156} = 0{,}25m$ sopraelevazione del "livello medio del mare in movimento"
dalle equazioni (2-92), (2-93), (2-94) di pag. 2-130 di S.P.M. '84 si ottiene:
$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b - \frac{aHb}{gT^2}} = 0{,}90$ [Eq. 2-92]
Dove i coefficienti a e b sono stati ricavati dalle seguenti equazioni:
a = 43,75 (1-e^{-19m}) = 33,2 [Eq. 2-93]

b = 1,56/(1+$e^{-19,5m}$) = 1,27 [Eq. 2-94]

m = 0,075 pendenza fondale al piede dell'isola

Essendo db = 4,20 m, si ottiene l'altezza dell'onda frangente sulla struttura:
Hb = db/0,90 = 4,20/0,90 = 4,65 m

2° metodo: il metodo utilizzato è quello riportato sul SPM 1984 vol. II alle pagg. 7-8 e 7-9. Anche con questo 2° metodo si calcola la massima altezza dell'onda frangente che può raggiungere la struttura per una data profondità del piede della scogliera e per una determinata pendenza del fondale in corrispondenza del piede della struttura:

dati di progetto
h = 3,80 m profondità al piede dell'isola di progetto
T = 10 s periodo dell'onda
m = 0,075 pendenza fondale al piede dell'isola

Si determina innanzitutto la profondità al piede dell'isola maggiorata con le sopraelevazioni dovute alla marea e del "livello mare in movimento":

ds = h + η + Sh = 3,80 + 0,15 + 0,25 = 4,20 m, dove:
h = 3,80 m profondità fondale in corrispondenza del piede del pennello di progetto
η = 0,15 m sopraelevazione del livello medio del mare dovuto alla marea
Sh = $\frac{\pi H o^2}{2L_o} = 0{,}25m$ sopraelevazione del "livello medio del mare in movimento"
Si entra nel grafico della figura 7-4 di pag. 7-10 S.P.M. '84, Vol II con i seguenti valori:
$\frac{ds}{gT^2} = \frac{4{,}20}{9{,}81x10^2} = 0{,}0043$ e pendenza del fondale m = 0,075, determinando:
$\frac{Hb}{ds}$ = 1,44 da cui:
Hb = 1,44 x ds = 1,44 x 4,20 = 6,05 m

Dal confronto dei due metodi, si può concludere che l'altezza d'onda frangente Hb è maggiore calcolata con il 2° metodo, ma un'onda di m 6,05 non può comunque verificarsi perché superiore al valore dell'onda al largo, adottato in m 5. Tenuto poi conto delle riduzioni per rifrazione, si sceglie il risultato ottenuto con il 1° metodo e ***si adotta l'altezza d'onda di calcolo h = 4,65m***.

2) Dimensionamento del masso di mantellata della scogliera con il metodo di Van Der Mer

Il metodo utilizzato per dimensionare la mantellata della scogliera delle isole è quello proposto da Van Der Meer.
La metodologia proposta da Van Der Meer (1988-1991) per frangiflutti non tracimabili, sviluppata a partire da una serie di prove sperimentali in un canale per il moto ondoso, fornisce il valore del parametro di stabilità *Ns*, definito come segue:

$$Ns = \frac{Hs}{(\frac{\rho_{scogliera}}{\rho_w} - 1)D_{n,50}} \qquad (1)$$

dove $D_{n,50} = \sqrt[3]{\frac{W_{50}}{\rho_{scogliera}}}$ è il diametro nominale medio,e W_{50} è il peso medio del masso di scogliera.

Tale parametro è funzione della permeabilità P, del livello di danneggiamento considerato S, del numero di onde di temporale N, dell'angolo della scarpata α e del numero di Iribarren ξ.
L'espressione proposta per il parametro di stabilità varia a seconda dei diversi tipi di rottura dei fronti d'onda sulla scarpata, che possiamo classificare in funzione del numero di Iribarren:

$$\xi = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_z^2}}}$$

$$Ns = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi^{-0.5} \qquad \text{Plunging waves } \xi < \xi_{transizione}$$

$$Ns = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi^{P} \sqrt{\cot\alpha} \qquad \text{Surging waves } \xi > \xi_{transizione}$$

dove $\xi_{transizione} = (6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan\alpha})^{1/(P+0.5)}$

Per i periodi alti, la rottura è di tipo “surging” e per i periodi bassi la rottura è di tipo “plunging”. Per il valore di transizione del parametro di Iribarren, $\xi_{transizione}$ si ottiene il minimo del suddetto numero di stabilità, Ns.

E’ necessario sottolineare che la validità della formulazione suddetta si limita a scarpate con pendenza compresa tra 1/1.5 e 1/6, intervallo di valori per cui sono state realizzate le prove sperimentali sulle quali si basa l’equazione. *La pendenza della scarpata considerata in questo caso è 1/3 (cotα = 3).*

Il fattore di riduzione, introdotto per contemplare la tracimazione del frangiflutto, si applica al diametro nominale D_{50} ed è espresso nella seguente forma:

$$F = \left(\frac{1}{1.25 - 4.8 R_p^*}\right) \qquad 0 < R_p^* < 0.052 \quad (2)$$

$$R_p^* = \frac{R_c \sqrt{S_{op}}}{H_s \sqrt{2\pi}}$$

dove $S_{op} = H / L_0$ è la ripidità del moto ondoso in acqua profonda, calcolata con il periodo di picco, ed Rc è il franco bordo della scogliera.

La formula non risulta valida quando la (2) fornisce un valore di F>1 (che equivale alla condizione $0 < R_p^* < 0.052$) perchè darebbe luogo a dimensioni dei massi maggiori di quelle che si hanno per sommità dei moli piu’ elevate.

Dalla formula (1) è possibile ricavare il peso medio del masso della scogliera, W_{50} :

$$W_{50} = \rho_{sc} \left[\frac{H_s}{N_s \left(\frac{\rho_{sc}}{\rho_w} - 1 \right)} \right]^3 F^3 \qquad (3)$$

I parametri di calcolo associati al moto ondoso sono i seguenti:

- Altezza d'onda frangente di calcolo, Hs = 4,65m
- Periodo di picco, Tp = 10s
- Periodo medio, Tz = Tp/1.15 = 8,7s
- Incidenza perpendicolare del fronte d'onda
- Durata del temporale 5-6ore, N = 2.000 onde

I parametri del terreno e del frangiflutti sono:

- Profondità, h = 3,80m
- Sopraelevazione del livello medio mare, LMM=0,4m
- Pendenza della scarpata, cotα = 3
- Quota di coronamento della scogliera, Rc = 0,0m
- Grado di permeabilità della scogliera, P = 0.4

L'analisi di stabilità ha considerato i seguenti livelli di danneggiamento, definiti in funzione del parametro di danno, S:

- **A**: Inizio danno, S = 2
- **B**: Danno intermedio, S = 6
- **C**: Inizio distruzione, S = 10

I risultati ottenuti per il peso medio del masso della scogliera, calcolati con la formula (3), sono presentati nella **Tabella 2** alla pagina seguente e riassunti nella tabella qui di seguito (**Tabella 1**).

Inizio danno A	**Danno intermedio B**	**Inizio distruzione C**
3,2 t	1.6 t	1.2 t

Tabella 1 – Peso massi della scogliera per condizione di diga tracimabile (Formulazione di Van Der Meer, 1988, 1991)

E' importante rilevare dai risultati della tabella 2, che i valori del fattore di riduzione "F" sono inferiori al valore 1 per tutti i livelli di danneggiamento, per cui è stato possibile applicare il fattore di riduzione per "diga tracimabile".

Analisi di stabilità idrodinamica
Mantellata isola in scogliera di massi naturali

Formulazione di Van Der Meer (1988, 1991)

Progetto: Bordighera spiagge - 4° lotto

DATI IN ENTRATA		**A**	**B**	**C**
Quota coronamento isola	Rc(m)=	0,00	0,00	0,00
Profondità	d(m)=	3,80	3,80	3,80
Sopraelevazione	LMM(m)=	0,40	0,40	0,40
Altezza d'onda al largo	Ho(m)=	7,60	7,60	7,60
Altezza d'onda massima di calcolo	Hs, max(m)=	4,65	4,65	4,65
Periodo moto ondoso (s)	Tp(s)=	10,00	10,00	10,00
Lunghezza d'onda al largo	Lo=	156,21	156,21	156,21
Cotangente della scarpata	cotgα=	3,00	3,00	3,00
Peso specifico massi (kg/m3)	ρ=	2600,00	2600,00	2600,00
Peso specifico acqua del mare (kg/m3)	ρω=	1000,00	1000,00	1000,00
Numero di onde	N=	2000,00	2000,00	2000,00
Blocchi fuori posto	S=	2,00	6,00	10,00
Permeabilità (0.1, 0.5, 0,6)	P=	0,40	0,40	0,40
Ripidità del moto ondoso al largo	Sop=	0,05	0,05	0,05

CALCOLI GIUSTIFICATIVI		**A**	**B**	**C**
N° Iribarren	ξ=	1,680	1,680	1,680
N° Iribarren Transizione	ξtrans=	3,008	3,008	3,008
Ns (plunging ξ<ξtrans)	Ns-pl=	2,179	2,714	3,006
Ns critico	Ns-cr	1,628	2,028	2,247
Ns (surging ξ>ξtrans)	Ns-su=	1,290	1,607	1,780
Francobordo relativo (-)	Rp*=	0,000	0,000	0,000
Fattore di riduzione (-)	F=	0,800	0,800	0,800

Risultato: Peso Massi Scogliera

Diga non tracimabile	*W (T) =*	*6,171*	*3,192*	*2,349*
Diga tracimabile	*W (T) =*	*3,159*	*1,634*	*1,203*

Tabella 2 – Analisi della stabilità idrodinamica della scogliera-Van Der Meer.

3) Masso di mantellata di progetto

La formula di Van Der Meer, che utilizzando una vasta serie di esperienze di laboratorio che tenevano conto degli elementi trascurati da Hudson, ed in particolare della variabilità del periodo delle onde, molto forte in acque basse (d/L<0,15), risulta piu' cautelativa fornendo un valore maggiore del peso del masso di mantellata. Peraltro, in favore della stabilità, si adotta un peso del masso di mantellata di progetto intermedio fra i pesi calcolati nei due casi di diga tracimabile e non tracimabile, nell'ipotesi "A" di inizio danno:

W(T) = (6,171+3,159)/2 = 4,7 t

Infine, in accordo con i risultati e con le raccomandazioni SPM 1984 Vol.II, pag.7-205, lo strato esterno verrà composto con massi di 3°categoria di peso superiore al peso medio calcolato in 4,7 t.
Pertanto si progetta lo strato esterno della mantellata in massi di 3° categoria da 5 a 7 tonnellate, e lo strato interno in massi di 3° categoria da 3 a 5 tonnellate come indicato sulle Tavole di progetto n° 6 e 7.
Le zone piu' arretrate ed interne delle isole, indicate in rosso nelle stesse Tavole grafiche, saranno realizzate con massi di 2° categoria da 1 a 3 t.

RELAZIONE GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA

La presente relazione geotecnica interessa unicamente il terreno di fondazione delle opere fisse, cioè delle due “isole sommerse”.
Il terreno di fondazione è stato analizzato nella relazione geologico-sedimentologica di 3° lotto: le isole verranno fondate sul fondale marino attuale prima del ripascimento, fondale quindi interessato minimamente dai nuovi apporti di ripascimento e precisamente soltanto dalle “fughe” dalle piste di servizio in occasione delle mareggiate, peraltro "fughe” che si disperdono in vasta area.

Per cui è giustificato analizzare le caratteristiche del fondale nello stato attuale.
Le isole in questione sono fondate su profondità di fondali variabili da 1,40 a 3,80 metri

Il diametro delle isole è di 20 metri in sommità, con mantellate laterali a pendenza 1/3, della larghezza, in testata, di circa nove metri.

Dalla relazione geologico – sedimentologica allegata al progetto di 3° lotto, si trae che questi fondali sono di caratteristiche sabbiose, variando la granulometria da un diametro medio (Mz) di 0,13 mm a 0,18 mm (sabbia fine)
Dalla relazione geologico - sedimentologica si riportano alla pagina che segue le curve granulometriche rappresentative del materiale ghiaioso presente sulla battigia ed in corrispondenza dello step e dei sedimenti sabbiosi caratteristici dei fondali antistanti.

A questo punto siamo in grado di “classificare” il terreno secondo (Wentworth) per cui il nostro terreno di fondazione ricade tra le “sabbie fini” ed il suo comportamento è quindi correlato ai “terreni non coesivi” (la spiaggia sommersa è costituita da sabbia mentre in corrispondenza della battigia è stato campionato materiale ghiaioso)
In questo tipo di terreni non essendo possibile prelevare campioni indisturbati, ci si avvale normalmente per determinare i parametri di calcolo, di prove in sito, in particolare di prove penetrometriche.
Per cui abbiamo ritenuto di avvalerci della caratterizzazione granulometrica, per l’adozione dei dati penetrometrici di campioni granulometricamente simili di cui si conoscano quei dati, per arrivare a valutare la capacità portante ammissibile del terrenodi fondazione.

Calcolo della capacità portante ammissibile (q_{amm}) del fondale marino

Qui di seguito si cercherà di valutare il carico ammissibile sul fondale marino in corrispondenza del quale dovranno essere posate le opere di difesa fisse di progetto (“isole” sommerse).

Dobbiamo sottolineare come tutte le considerazioni che seguono siano state fatte considerando una situazione di acque ferme. Ignorando quindi l’interazione della

corrente che in queste situazioni crea fenomeni di erosione al piede delle strutture che possono determinare un eccentricità del carico trasmesso.

Ai fini della valutazione della capacità portante della fondazione è stato applicato il metodo di Terzaghi (1943).
Il metodo consiste nella risoluzione della seguente relazione:

$$q_{ult} = c\, N_c\, s_c + \gamma\, D\, N_q + 0{,}5\, \gamma\, B\, N_\gamma\, s_\gamma$$

dove:

$N_q = a/[2\cos^2(45 + \varphi/2)]$

Dove:

$a = e^{0{,}75\pi - \varphi/2 \tan\varphi}$ $\quad N_c = (N_q - 1)\cot\varphi$ $\quad N_\gamma = \tan\varphi/2\,[(Kp_\gamma/\cos^2\varphi) - 1]$

dove il coefficiente Kp_γ non è mai stato spiegato chiaramente dall'autore, per cui si è utilizzata una tabella di valori forniti dall'autore stesso

- Fattori di forma **s**

sono dipendenti dalle dimensioni L (lunghezza) e B (larghezza) della fondazione:

per fondazioni nastriformi: $s_c = 1$ $\quad s_\gamma = 1$

le sabbie e le ghiaie che costituiscono i fondali allo studio sono prive di coesione (c=0)

da cui segue: $c\, N_c\, s_c = 0$

Nel nostro caso il piano di posa della fondazione si trova ad una profondità variabile di m. 1,40 verso monte, e di 3,8 metri lato mare.

Nella situazione in cui il piano di posa si trovi a profondità di 3,8 m rispetto al livello del mare avremo:

$\gamma\, D\, N_q = \gamma_w * 3{,}8 = 3{,}8$ t/mq (dove γ_w è il peso di unità di volume dell'acqua)

Valutando la condizione peggiore in riferimento alla pressione ammissibile del terreno di fondazione semplificheremo l'equazione di Terzaghi risolvendo il solo termine relativo al terreno di fondazione senza coesione ($\gamma\, D\, N_q = 0$)

$$q_{ult} = 0{,}5\, \gamma\, B\, N_\gamma$$

La falda si trova quindi all'interno del cuneo di rottura della fondazione la cui altezza è pari a: $h = 0,5\ B \tan(45 + \varphi/2)$

Considerando che il terreno di fondazione è completamente saturo utilizzeremo il peso specifico sommerso in falda (γ') che è dato dalla differenza tra il peso specifico saturo e il peso specifico dell'acqua di falda: $\gamma' = 8$ kN/mc = 0,8 t/mc

Per quanto riguarda la geometria della fondazione consideriamo una larghezza B variabile da 20 a 40 m. Considerando che la struttura di fondazione non può essere considerata solidale dal momento che è costituita da massi isolati, applicheremo a scopo cautelaivo una riduzione del 25% al valore di B. In questo modo valuteremo in 15 m la larghezza minima della fondazione.

Terzaghi ipotizza per la sua teoria un terreno molto addensato, per cui per terreni poco addensati egli consiglia di ridurre i coefficienti di capacità portante assumendo un valore di ϕ ridotto a 2/3. Per questo motivo utilizzeremo un angolo di attrito del terreno (pari a 20 [gradi].

Considerando un angolo di attrito interno pari a 20° si ottiene un valore del fattore di capacità portante secondo Terzaghi pari a 5.

$$N_\gamma = 5$$

Risolvendo il metodo sopra enunciato sulla base delle considerazioni fatte si può affermare che la capacità portante ultima di una fondazione siffatta nelle condizioni peggiorative (B= 15 m)

$$q_{ult} = 0,5\ \gamma'\ B\ N_\gamma = 0,5 * 0,8 * 15 * 5 = 30 \text{ t/mq}$$

Applicando un coefficiente di sicurezza F=3 si ottiene una capacità portante ammissibile:

$$\mathbf{q_{amm} = 10 \text{ t/mq} = 1 \text{ kg/cmq}}$$

Considerando che il carico massimo trasmesso dalla struttura nell'area di suo massimo spessore (m.2,8) è di (2.100 – 1000) x 2,8= 3.080 kg/mq = 0,31 Kg/cmq possiamo considerare l'opera in progetto compatibile con il terreno di fondazione.

Cedimenti

Anche per il calcolo dei cedimenti non si sono considerate le condizioni al contorno che soprattutto per quanto riguarda i cedimenti giocano un ruolo fondamentale.

L'entità dei cedimenti indotti dall'erosione al piede delle strutture raggiungerà senza dubbio ordini di grandezza superiori rispetto a quelli valutati di seguito. Inoltre, non trattandosi di un sistema di fondazione monoblocco in calcestruzzo, i cedimenti saranno di tipo differenziale anche se la struttura non ne risentirà in termini di funzionalità.

Per dare una misura approssimativa dei cedimenti si è utilizzato il metodo di Schmertmann (1970). Questo metodo, valido per terreni incoerenti, utilizza i parametri ricavati dalle indagini geognostiche in sito .
L'entità dei cedimenti è stata calcolata su di un intorno dei valori di carico ammissibile compreso tra 0,2 e 0,6 kg/cmq.
Il coefficiente di sottofondo (o di Winkler) è definito come il rapporto tra la pressione applicata ed il relativo cedimento del terreno di fondazione; vediamo come nel nostro caso abbia valori prossimi a 1,1.

Kg/cmq	cedimento immediato (cm)	cedimento 20 anni secondario (cm)	Coefficiente di sottofondo
0,2	0,18	0,27	1,11
0,3	0,27	0,40	1,11
0,4	0,37	0,53	1,08
0,5	0,46	0,67	1,09
0,6	0,55	0,80	1,09

Tabella 1 – Entità dei cedimenti immediati e secondari in funzione del carico ammissibile