



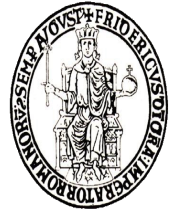
Carichi da onde estreme sulle strutture navali

M. Acanfora, E. Fasano

*Università degli Studi di Napoli 'Federico II',
Dipartimento di Ingegneria Industriale DII*



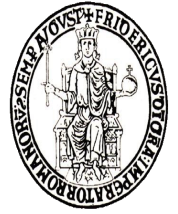
Indice



- **Definizione di carico d'onda**
- **Sollecitazioni agenti sul trave nave**
- **Mare Irregolare (approccio regolamentare corrente)**
- **Concetto di onde estreme**
- **Carichi da onde estreme per navi e strutture off-shore**
- **Conclusioni**



Definizione di carico d'onda (1)



Carichi

- variabili nel tempo,
- valori (massimi) la cui entità dipende da:
 - i parametri che descrivono lo stato del mare nella zona attraversata (altezza significativa, periodo medio, distribuzione in frequenza, direzione prevalente onde...
 - I parametri geometrici ed operativi della nave (rotta, velocità, condizione di carico, geometria della carena,...)

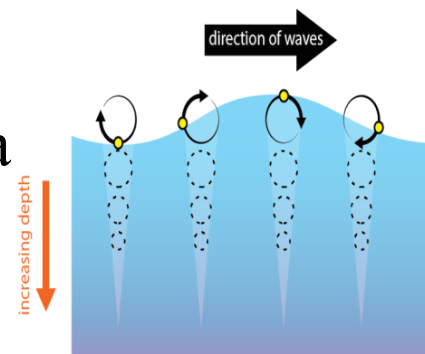




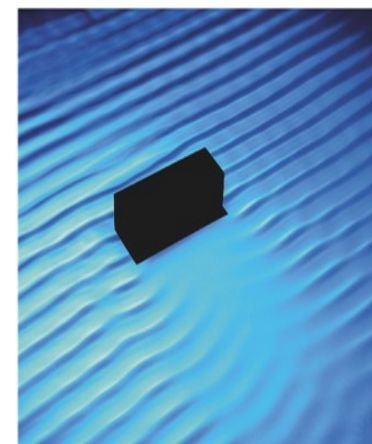
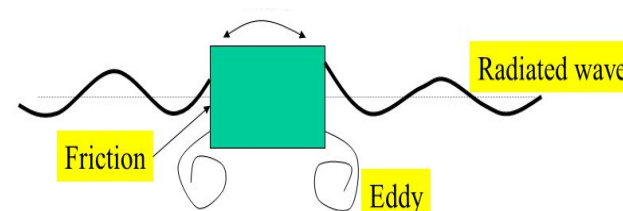
Definizione di carico d'onda (2)



- Azioni dovute alla pressione d'onda “indisturbata”: FROUDE KRYLOV
- Azioni dovute alle pressioni d'onda generate dalla nave che oscilla: MASSA AGGIUNTA E SMORZAMENTO
- Azioni che tengono conto della modifica della forma dell'onda per la presenza della nave: DIFFRAZIONE
- Forze inerziali dovute ai moti della nave



A A wave in deep water



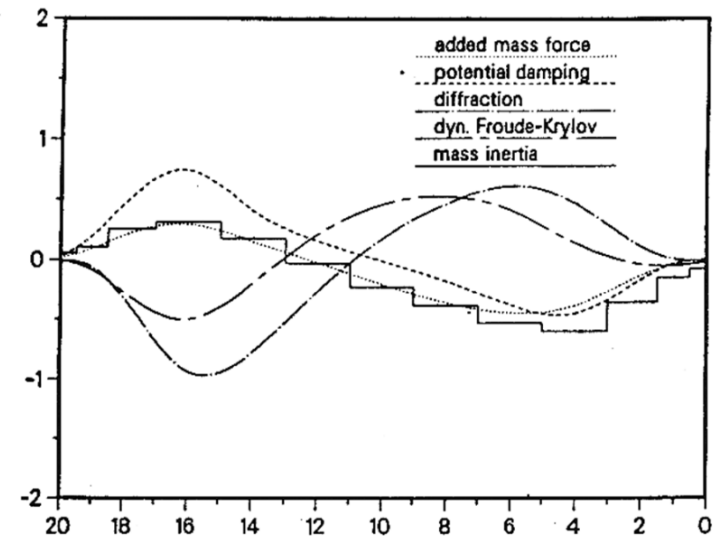
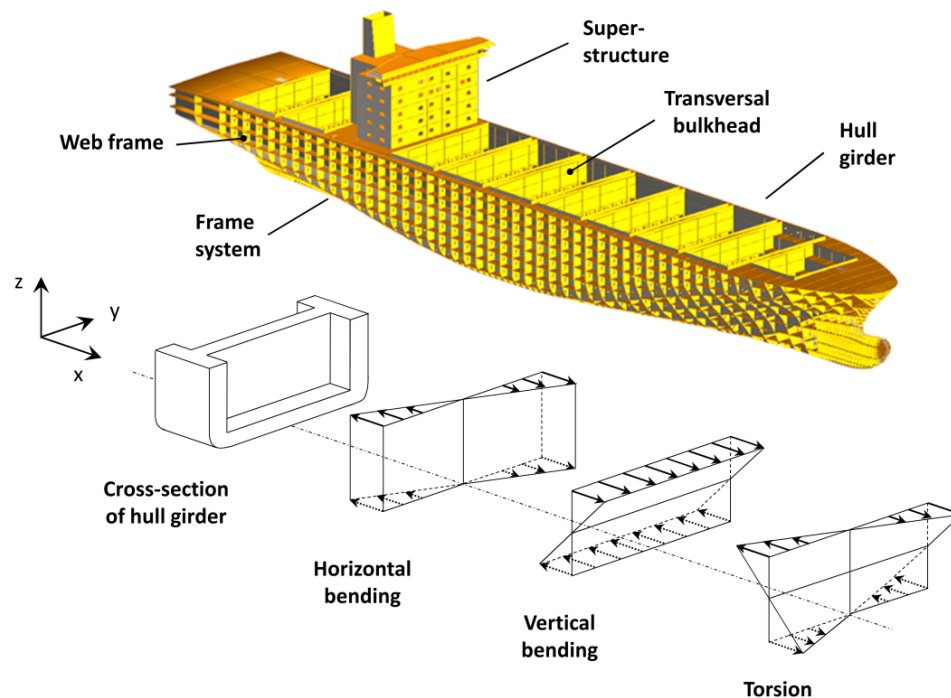


Sollecitazioni agenti sul trave nave



Sollecitazioni presenti

- taglio e momento flettente verticale
- taglio e momento flettente orizzontale
- momento torcente



• Sagging condition



• Hogging condition

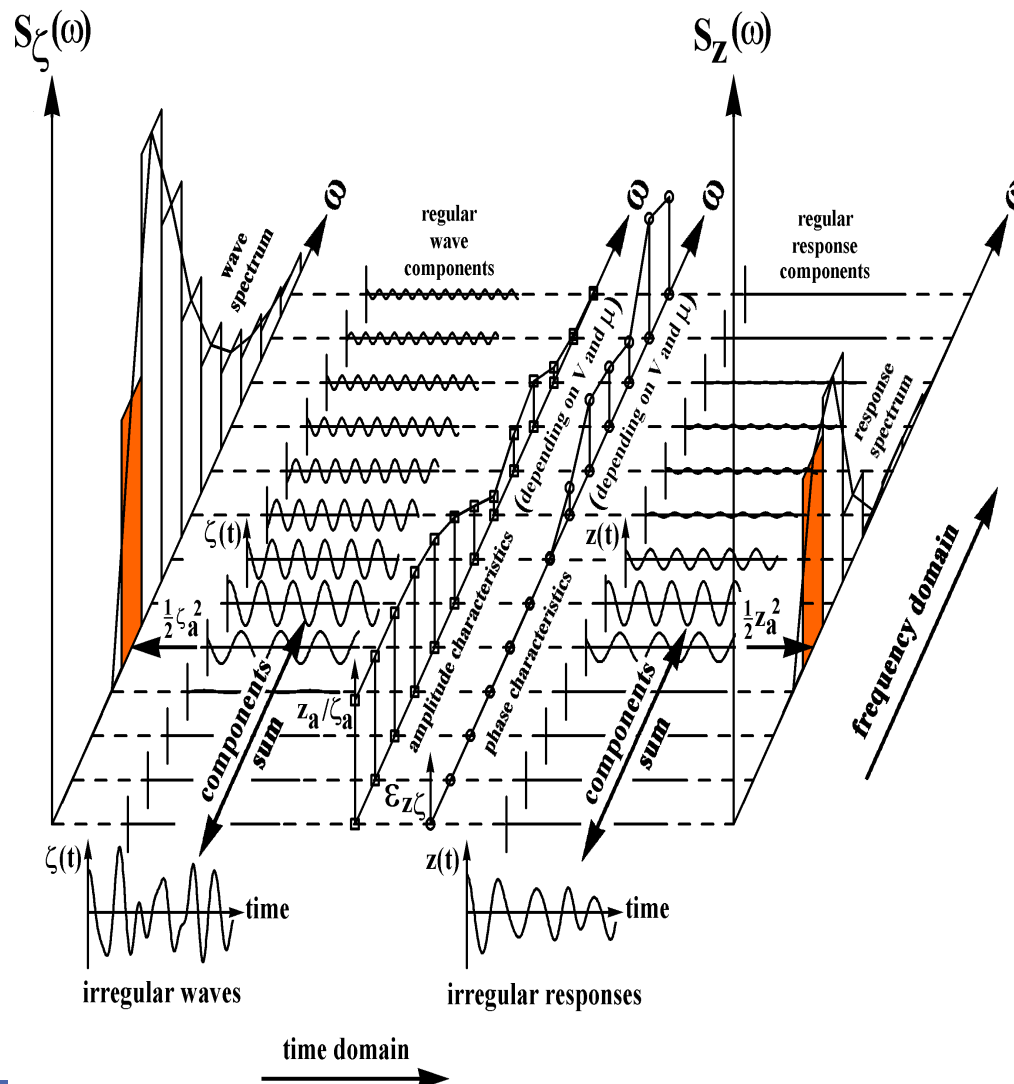




Mare irregolare ed analisi spettrale



SHORT TERM ANALYSIS



Operatore di risposta lineare

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{A(\omega)}$$

Ampiezza risposta

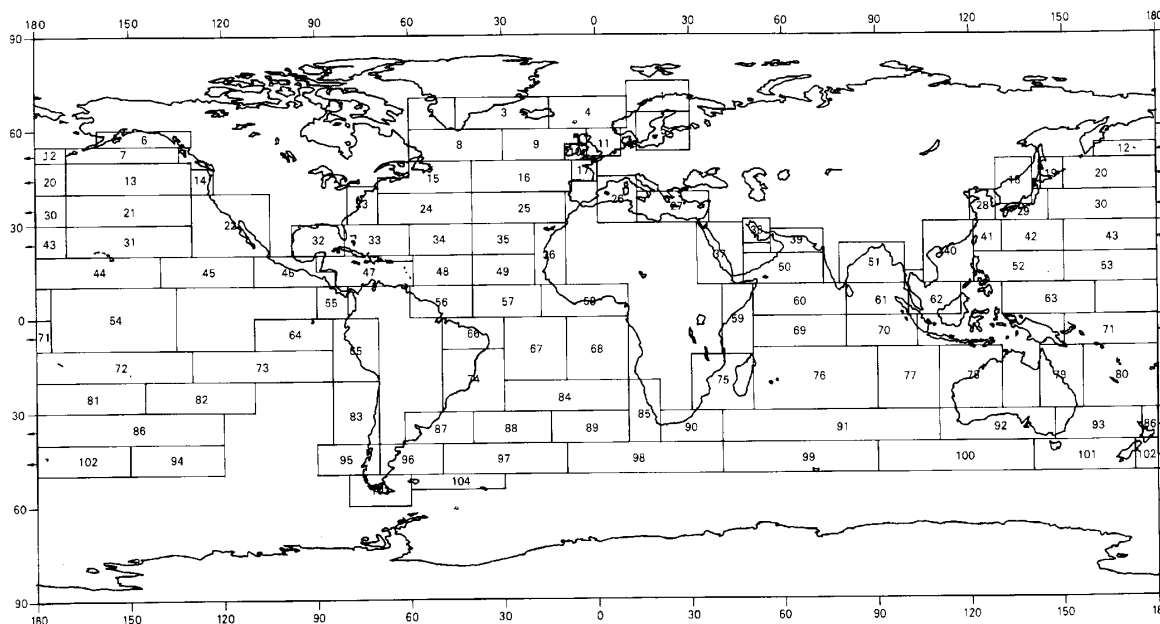
Ampiezza onda

- Per ciascuna onda regolare, identificata dalla frequenza, conosciamo tutte le risposte della nave (es. momento flettente d'onda verticale massimo).
- Fissata la frequenza, il legame tra ampiezza d'onda ed ampiezza della risposta è lineare.
- Il mare irregolare può essere ottenuto come somma di onde regolari. Per la linearità, la risposta in mare irregolare è la somma delle singole risposte ottenute con le onde regolari



Mare irregolare valori estremi

LONG TERM ANALYSIS



- Prevede l'utilizzo degli atlanti del mare
- La zona di navigazione di progetto è il Mare del Nord
- Dalle distribuzioni di probabilità di lungo termine si ottengono le distribuzioni dei valori estremi, tra cui quelli di taglio e momento flettente d'onda di progetto

Table 1, Probability of sea-states in the North Atlantic described as occurrence per 100000 observations.
Derived from BMT's Global Wave Statistics

Hs/Tz	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	SUM
0.5	0.0	0.0	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	36.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3050
1.5	0.0	0.0	0.0	29.3	986.0	4976.0	7738.0	5569.7	2375.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	22575
2.5	0.0	0.0	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.5	4860.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0	23810
3.5	0.0	0.0	0.0	0.2	34.9	605.5	3226.5	5675.0	5099.1	2838.0	1114.1	337.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0	19128
4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	196.1	1354.3	3288.5	3857.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0	13289
5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2372.7	2008.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1	8328
6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1257.9	1268.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1	4806
7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1	2586
8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	350.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1	1309
9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1	626
10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1	285
11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1	124
12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0	51
13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0	21
14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	8
15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	3
16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1
SUM:	0	0	1	165	2091	9280	19922	24879	20870	12898	6245	2479	837	247	66	16	3	1	100000



Carico d'onda di progetto



- Per taglio e momento flettente verticale d'onda, la normativa di riferimento è la **IACS UR S11**.
- Si considera come valore di progetto quello corrispondente all'onda peggiore nella vita nave (periodo di ritorno di 25 anni ovvero probabilità di superamento pari a 10^{-8})

**QUESTO APPROCCIO NON TIENE CONTO
DEL VERIFICARSI DI ONDE ESTREME
(ANOMALE) DURANTE LA VITA DELLA
NAVE**



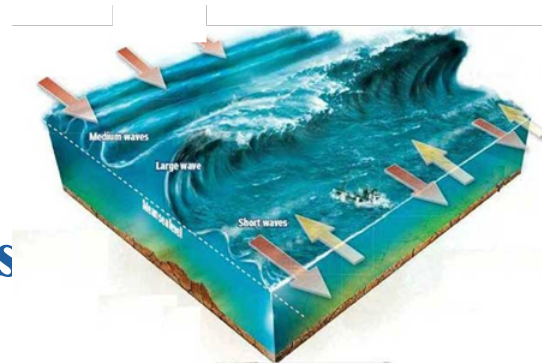


Concetto di onda estrema come onda anomala



Extreme waves...

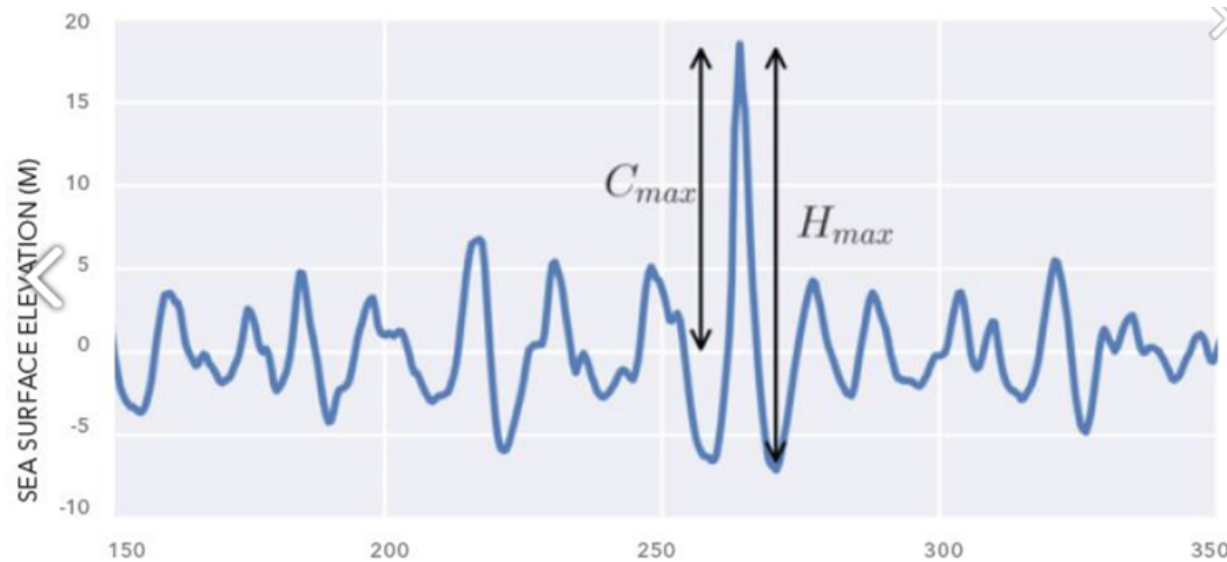
Rogue, freak, abnormal, or giant waves



- Si intendono onde con una pendenza nettamente superiore rispetto alle onde circostanti.
- Attualmente, le eq. non-lineari di Schrodinger sono ritenute le più efficaci e popolari nel modellare le onde anomale. N. K. Vitanov, A. Chabchoub, and N. Hoffmann, “**Deep-water waves: On the nonlinear Schrödinger equation and its solutions,**” pp. 1–11, 2013
- Sono caratterizzate da un comportamento anomalo nella distribuzione delle ampiezze d’onda che devia dal tipo Gaussiano (tipicamente utilizzato per le onde marine) M. Onorato, S. Residori, U. Bortolozzo, A. Montina, and F. T. Arecchi, “**Rogue waves and their generating mechanisms in different physical contexts,**” *Phys. Rep.*, vol. 528, no. 2, pp. 47–89, 2013.
- Attualmente gli effetti da onde anomale non sono esplicitamente incluse nelle attuali normative IMO ne per navi ne per strutture off-shore. E. Bitner-Gregersen ,DNV GL, “**Rethinking rogue waves,**” 2017.



Definizione di Rogue wave



The New Year wave recorded at the Draupner platform, 1st January 1995. The maximum crest and wave height are indicated

$$\frac{H_{max}}{H_S} > 2$$

And/Or

$$\frac{C_{max}}{H_S} > 1.25$$

- H_{max} è l'altezza d'onda di zero-crossing
- C_{max} è l'ampiezza riferita alla cresta dell'onda,
- H_S è l'altezza d'onda significativa calcolata su una misurazione della sopraelevazione del pelo libero della durata di 20 minuti



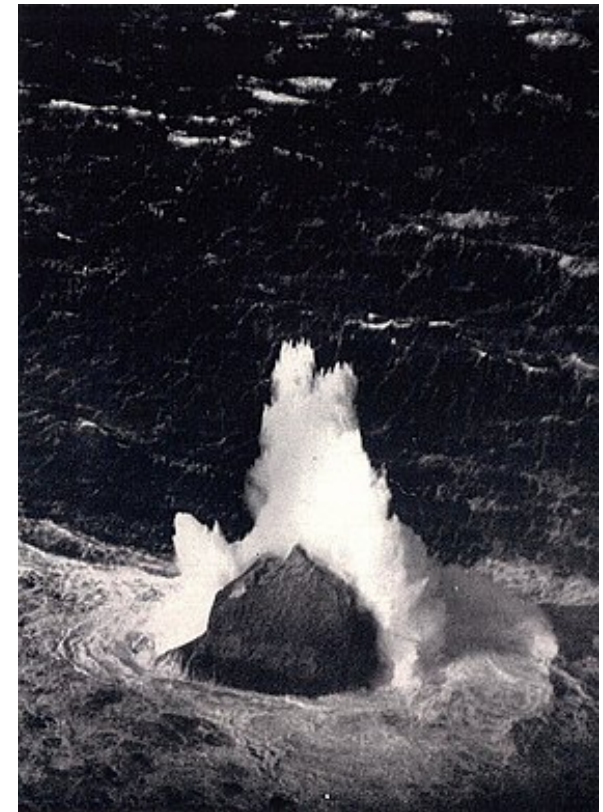
Onde anomale: strutture off- shore



Le piattaforme fisse, rispetto ad una nave (galleggiante ed in navigazione), hanno una maggiore probabilità di essere interessate da onde di elevata altezza.

Pertanto gli standard internazionali per le strutture off-shore hanno un approccio diverso dalle strutture navali.

- ❖ Le strutture off-shore sono progettate per un periodo di ritorno di 100 anni (ULS check)
- ❖ Inoltre considerano un periodo di 10000 anni per verifiche accidentali (ALS check)
- ❖ La verifica di stato limite accidentale ha come scopo quello di garantire l'integrità strutturale anche in caso di condizioni meteomarine particolarmente severe.
- ❖ Tuttavia nemmeno la verifica ALS nella sua forma attuale tiene conto in maniera esplicita degli effetti da onda anomala.





Regolamento STATOIL/NORSOK per onde anomale

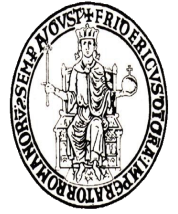


- La compagnia petrolifera STATOIL ha di recente introdotto un regolamento interno al fine di quantificare gli effetti da onde anomale sulle strutture off-shore.
- E' stato riscontrato che l'onda anomala può essere considerata una tipica realizzazione di una popolazione di onde marine rare e fortemente non-gaussiane.
- Pertanto la consapevolezza che gli incidenti dovuti ad onde anomale sono più frequenti di quelli predetti dalle statistiche standard, hanno portato l'industria off-shore a riconsiderare i criteri ULS e ALS.
- La soluzione proposta da STATOIL prevede un incremento di circa il 10% delle onde critiche di ULS e ALS.
- Questo approccio è stato di recente incluso negli standard NORSOK 2017





Onde anomale: navi



- L'industria navale sembra ancora lontana dall'introdurre requisiti progettuali che tengano conto degli effetti da onde anomale. Ciononostante la ricerca è molto attiva sull'argomento (**EXTREME SEA** project; **DNV-GL** r&d)
- Una nave interessata da onde anomale potrebbe essere sottoposta a carichi d'onda eccessivi (taglio e momento flettente d'onda) nonché a green water on deck e slamming.
- Gli effetti da green water on deck dipendono dal tipo di nave. Ad esempio, una nave con elevate sovrastrutture (es. Cruise ship) è più vulnerabile alle pressioni di onda frangente (incidente della Louis Majesty) piuttosto che ad accumuli di acqua sul ponte





Alcuni valori di altezze d'onda



Altezza d'onda di progetto per il regolamento della US Navy $H = 0.61 (L_s)^{0.5}$

Extreme Waves and Ship Design, C. B. Smith 2007

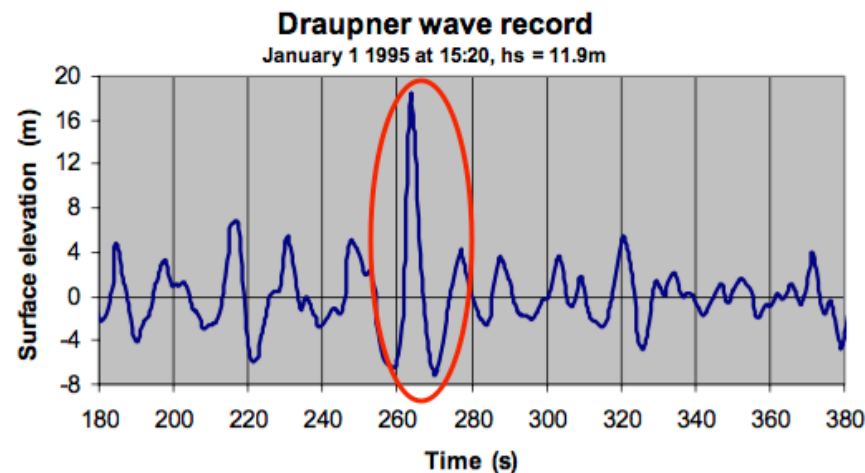
Altezza d'onda di progetto da analisi long-term (25 anni),
dipende dalle condizioni operative della nave $H = M_{WV} / RAO_{M_{WV}}$

Altezza d'onda (esplicita) di verifica per il criterio
meteorologico (ship stability) $H = 11 \text{ m}$

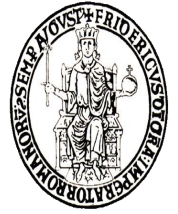
WEATHER CRITERION – QUESTIONS AND ANSWERS,
D. Vassalos, A. Jasionowski, Jakub Cichowicz, 2003

The **Draupner wave** or
New Year's wave (1995)

$H = 25.6 \text{ m}$



Conclusioni



- Ad opera dei cambiamenti climatici il verificarsi di onde anomale sta diventando più frequente
- Le teorie lineari non sono adeguate a descrivere il fenomeno delle rogue waves
- Le strutture off-shore hanno già intrapreso azioni normative per onde estreme
- In ambito navale non è prevista alcuna verifica per onde anomale

