

Corso di  
REGIME E PROTEZIONE DEI LITORALI

**ESERCITAZIONE N°1**

**(A. A. 2014-2015)**

**CALCOLO DELLE ONDE ESTREME PER LA SCELTA DELL'ONDA DI PROGETTO DI  
UN ASSEGNATO PARAGGIO**

Da una ricostruzione del clima ondoso al largo di Capo Carbonara nel periodo 1993-2002, è stata estratta la serie limitata inferiormente delle tempeste riferite al settore  $100\div 200^\circ N$ . In particolare la Tab.1 contiene i valori di altezza significativa dei picchi di tempesta il cui limite inferiore è pari a  $H_{s0} = 2.2 m$  con riferimento al paraggio della spiaggia di La Playa nel comune di Cagliari.

Nel paraggio suddetto si deve realizzare un'infrastruttura rigida per la protezione di una spiaggia che, secondo le Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Frangiflutti consigliate dal Ministero delle Infrastrutture, è definibile di *uso specifico*, con *livello di sicurezza 1*, nelle ipotesi di *danneggiamento incipiente*, *ripercussione economica media* e *rischio per la vita umana limitato*.

Utilizzando la serie limitata inferiormente, determinare l'altezza significativa da adottare per la progettazione dell'infrastruttura. Nell'analisi dell'evento estremo del calcolo dell'altezza significativa di progetto è richiesta l'adozione della distribuzione di Gumbel. Infine, calcolare l'intervallo di confidenza dei risultati ottenuti relativi ai livelli di confidenza del 90% e del 95%.

**Tabella I:** Serie limitata inferiormente delle altezze d'onda significative non inferiori a 2.2 m.

$H_{s0} (m)$	MWD ( $^\circ N$ )
2,3	140
2,6	137
5,0	135
2,8	136
2,8	132
3,1	123
3,2	140
3,4	128
4,1	136
3,5	127
4,0	145
4,1	147
3,3	159
3,8	141
3,5	143
2,5	143

La media  $\bar{H}_{s0}$  è calcolata con la formula:

$$\bar{H}_{s0} = \frac{1}{38} \sum_{j=1}^{38} H_{s0j}$$

La deviazione standard  $s$  è calcolata con la formula:

$$s = \sqrt{\frac{1}{37} \sum_{j=1}^{38} (H_{sj} - \bar{H}_{s0})^2}$$

Il coefficiente di asimmetria  $\hat{\gamma}_1$  è calcolato applicando la formula:

$$\hat{\gamma}_1 = \frac{38 \times \sqrt{37} \sum_{j=1}^{38} (H_{sj} - \bar{H}_{s0})^3}{36 \left[ \sum_{j=1}^{38} (H_{sj} - \bar{H}_{s0})^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

### **Schema di soluzione**

Conviene, in primo luogo valutare il periodo di ritorno dell'onda significativa da adottare come onda estrema per la determinazione dell'onda di progetto. La Tab. IV allegata, riguardante la vita minima di progetto in anni, per il livello di sicurezza 1 e per una struttura di uso specifico fornisce la vita di progetto di  $V_p = 15$  anni. La Tab. V, per la condizione di danneggiamento incipiente, ripercussione economica media e rischio per la vita umana limitato fornisce la probabilità  $P(T_R, V_p) = 0.3$  che l'evento si verifichi durante la vita di progetto dell'opera.

La probabilità, o rischio, che l'evento accada almeno una volta nell'arco della vita di progetto è dato dalla relazione:

$$P(T_R, V_p) = 1 - \exp\left(-\frac{V_p}{T_R}\right),$$

da cui si ricava:

$$T_R = \frac{V_p}{-\ln[1 - P(T_R, V_p)]}$$

La distribuzione di Gumbel ha la forma:

$$P(H_{s0}) = \exp - [\exp - \alpha(H_{s0} - \beta)]$$

ove  $\alpha$  e  $\beta$  devono determinarsi in base alla assegnata serie limitata inferiormente. Secondo il metodo dei momenti, i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  valgono rispettivamente:

$$\alpha = \frac{1.2825}{s}$$

$$\beta = \bar{H}_{s0} - 0.45s$$

*Nel caso di una serie finita, il valore del fattore di frequenza per la distribuzione di Gumbel si può ottenere dalla Tab. II, interpolando linearmente tra la numerosità dei dati e dei tempi di ritorno disponibili.*

*A rigore, sempre per una serie finita, il fattore di frequenza dovrebbe essere calcolato a partire dalla serie della variabile ridotta costruita disponendo, in ordine decrescente con numero d'ordine  $m$ , i dati della serie limitata inferiormente di Tab.I e calcolando l' $m$ -esimo termine secondo la relazione:*

$$y_m = -\ln\left(-\ln\frac{n+1-m}{n+1}\right)$$

*Il fattore di frequenza assume il valore:*

$$(K_T)_{Gumbel} = \frac{y_T - \bar{y}_m}{s_y}$$

*Con  $y_T$  il valore della variabile ridotta calcolata per il tempo di ritorno assegnato e  $\bar{y}_m$  e  $s_y$  la media e la deviazione standard della serie ridotta.*

*L'errore standard risulta:*

$$S_T = \left[1 - 1.1396(K_T)_{Gumbel} + 1.1000(K_T)_{Gumbel}^2\right]^{1/2} \frac{s}{\sqrt{n}},$$

*essendo  $n$  il numero degli elementi della serie limitata inferiormente.*

*Il valore reale dell'altezza d'onda significativa di periodo di ritorno  $T_R$  risulta dunque compreso tra i due estremi:*

$$(H_{s_{T_R}})_{Gumbel} \pm tS_T,$$

*essendo  $t$  il frattile della distribuzione normale standardizzata che esiste tabellato e si ricava una volta stabilito il livello di confidenza richiesto. Per il livello di confidenza pari al 90%, ossia per una eccedenza della confidenza del 10%, deve intendersi che il 5% dei valori di  $H_s$  estremi sono inferiori al valore stimato e il 5% sono superiori. Dunque si deve assumere il frattile corrispondente al 95% del valore della funzione di ripartizione che risulta pari a:*

$$t = 1.645.$$

*Analogamente, per il frattile corrispondente al 97.5% della funzione ripartizione si ha il valore:*

$$t = 1.960.$$

**Tabella II:** Fattore di frequenza  $K_T$  per la distribuzione estrema tipo I (Gumbel)

$n$	PERIODO DI RITORNO (ANNI)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
10	-0.1355	1.0580	1.8483	2.6063	3.5874	4.3227	5.0553	6.0217	6.7522
15	-0.1434	0.9672	1.7025	2.4078	3.3208	4.0049	4.6866	5.5859	6.2655
20	-0.1478	0.9187	1.6247	2.3020	3.1787	3.8356	4.4902	5.3537	6.0064
25	-0.1506	0.8879	1.5754	2.2350	3.0886	3.7283	4.3657	5.2066	5.8422
30	-0.1526	0.8664	1.5410	2.1881	3.0257	3.6534	4.2788	5.1038	5.7274
35	-0.1540	0.8504	1.5153	2.1532	2.9789	3.5976	4.2141	5.0274	5.6421
40	-0.1552	0.8379	1.4954	2.1261	2.9425	3.5543	4.1638	4.9679	5.5757
45	-0.1561	0.8279	1.4794	2.1044	2.9133	3.5194	4.1234	4.9202	5.5224
50	-0.1568	0.8197	1.4663	2.0864	2.8892	3.4908	4.0901	4.8809	5.4785
55	-0.1575	0.8128	1.4552	2.0714	2.8690	3.4667	4.0622	4.8479	5.4417
60	-0.1580	0.8069	1.4458	2.0586	2.8518	3.4461	4.0384	4.8197	5.4102
65	-0.1584	0.8018	1.4376	2.0474	2.8368	3.4284	4.0177	4.7953	5.3830
70	-0.1588	0.7974	1.4305	2.0377	2.8238	3.4128	3.9997	4.7740	5.3591
75	-0.1592	0.7934	1.4242	2.0291	2.8122	3.3991	3.9837	4.7551	5.3381
80	-0.1595	0.7899	1.4185	2.0215	2.8020	3.3868	3.9695	4.7383	5.3194
85	-0.1597	0.7868	1.4135	2.0146	2.7927	3.3758	3.9568	4.7232	5.3025
90	-0.1600	0.7840	1.4089	2.0084	2.7844	3.3659	3.9453	4.7096	5.2873
95	-0.1602	0.7814	1.4048	2.0028	2.7769	3.3569	3.9348	4.6973	5.2735
100	-0.1604	0.7791	1.4010	1.9977	2.7700	3.3487	3.9253	4.6860	5.2609

**Tabella III:** Parametro  $\delta$  per il calcolo dell'errore standard della distribuzione estrema tipo I (Gumbel)

$n$	PERIODO DI RITORNO (ANNI)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
10	0.93046	1.85394	2.61992	3.38261	4.38692	5.14591	5.90527	6.91013	7.67112
15	0.92694	1.76954	2.47559	3.18141	4.11276	4.81741	5.52278	6.45660	7.16399
20	0.92500	1.72490	2.39903	3.07451	3.96698	4.64267	5.31929	6.21528	6.89413
25	0.92376	1.69676	2.35065	3.00691	3.87472	4.53204	5.19044	6.06245	6.72321
30	0.92290	1.67718	2.31693	2.95974	3.81031	4.45481	5.10047	5.95571	6.60384
35	0.92226	1.66267	2.29190	2.92469	3.76244	4.39738	5.03355	5.87633	6.51505
40	0.92176	1.65142	2.27247	2.89748	3.72524	4.35276	4.98156	5.81464	6.44604
45	0.92137	1.64241	2.25688	2.87564	3.69538	4.31693	4.93981	5.76510	6.39063
50	0.92105	1.63500	2.24407	2.85767	3.67081	4.28744	4.90544	5.72431	6.34500
55	0.92078	1.62880	2.23332	2.84259	3.65018	4.26268	4.87658	5.69006	6.30668
60	0.92055	1.62351	2.22415	2.82972	3.63258	4.24155	4.85194	5.66082	6.27397
65	0.92036	1.61894	2.21622	2.81860	3.61735	4.22327	4.83064	5.63553	6.24568
70	0.92019	1.61495	2.20929	2.80887	3.60403	4.20728	4.81199	5.61340	6.22092
75	0.92005	1.61143	2.20318	2.80028	3.59227	4.19315	4.79553	5.59385	6.19905
80	0.91992	1.60830	2.19773	2.79263	3.58179	4.18057	4.78086	5.57644	6.17956
85	0.91980	1.60549	2.19285	2.78577	3.57239	4.16929	4.76770	5.56081	6.16208
90	0.91970	1.60296	2.18844	2.77957	3.56390	4.15909	4.75581	5.54670	6.14628
95	0.91960	1.60066	2.18444	2.77395	3.55620	4.14983	4.74501	5.53388	6.13194
100	0.91952	1.59857	2.18079	2.76881	3.54916	4.14138	4.73516	5.52217	6.11884

**Tabella IV:** Vita minima di progetto (anni) per opere o strutture di carattere definitivo

Tipo di infrastruttura	Livello di sicurezza		
	1	2	3
Uso generale	25	50	100
Uso specifico	15	25	50

**Tabella V:** Massima probabilità di danneggiamento ammissibile  $P(T_R, V_P)$  nel periodo di vita operativa dell'opera

Tipo di danneggiamento	Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
		Limitato	Elevato
Danneggiamento incipiente	Bassa	0.50	0.30
	Media	0.30	0.20
	Alta	0.25	0.15
Distruzione totale	Bassa	0.20	0.15
	Media	0.15	0.10
	Alta	0.10	0.05