

CONFRONTO DI METODI E ANALISI DI DATI RELATIVI AD EVENTI ESTREMI DI MAREA IN ALTO ADRIATICO

Sara Morucci¹, Marco Cordella¹, Franco Crosato¹, Maurizio Ferla¹

(1) Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) Dipartimento Tutela Acque Interne e Marine, Servizio Laguna di Venezia, Castello 4665, 30124 Venezia (I); tel. 0415235895; e-mail:venezia@isprambiente.it

ASPETTI CHIAVE

- Direttiva 2007/60 e aggiornamento degli scenari di pericolosità delle inondazioni marine
- Eventi estremi di marea e distribuzioni probabilistiche GEV, POT, JPM
- Variazione del livello medio del mare

1 INTRODUZIONE

La Direttiva 2007/60/UE relativa alla gestione del rischio alluvioni prevede la definizione di scenari di rischio che includono le inondazioni marine. E ciò sia nella fase di redazione delle mappe della pericolosità e del rischio ultimata nel 2013, sia per l'individuazione delle misure da adottare nel primo ciclo di implementazione dei piani approvati nel 2016 e che dovranno essere aggiornati alla scadenza del dicembre 2021. Nel caso del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali le mappe di pericolosità e del rischio che corredano il Piano di Gestione (PGRA-AO), sono state elaborate secondo la sequenza logica **sorgente → trasferimento → ricettore** indicata dall'approccio metodologico proposto nell'ambito del progetto FloodSITE (Fragola G. et al., 2014). Le grandezze fisiche che generano le condizioni di pericolosità (sorgente) sono quelle che concorrono a determinare il livello massimo totale H_{tot} di risalita di una mareggiata lungo un tratto di litorale in esame e che, dipendendo da processi non stazionari originati da cause diverse vengono per semplicità analizzati separatamente

$$H_{tot} = L_{MM} + H_{astr} + H_{surge} + W_{up} + R_{up} \quad (1)$$

dove L_{MM} rappresenta il livello medio mare, H_{astr} l'altezza relativa alla marea astronomica, H_{surge} il sovrizzo di marea (differenza tra marea osservata e altezza di marea astronomica), W_{up} il set-up costiero dovuto al frangimento delle onde sottocosta e R_{up} il livello massimo di risalita dell'onda lungo profilo di spiaggia emersa.

I primi tre termini $L_{MM} + H_{astr} + H_{surge}$, possono essere dedotti e calcolati direttamente attraverso i dati delle registrazioni puntuali dei livelli di marea qualora si disponga di una rete di stazioni ben distribuita lungo il litorale o all'interno di lagune e foci di interesse. Il quarto e il quinto termine $W_{up} + R_{up}$, riconducibili all'effetto impulsivo del moto ondoso sul litorale, non sono deducibili direttamente da monitoraggi in continuo lungo il litorale ma possono essere stimati con appositi algoritmi una volta note le caratteristiche del moto ondoso al largo, le caratteristiche di propagazione verso costa, la batimetria dei fondali, la morfologia della spiaggia (emersa e sommersa). Tuttavia, nel caso del Nord Adriatico, i primi tre termini sono quelli che, per varie ragioni, danno il contributo maggiore nella valutazione del livello massimo totale H_{tot} . Qui infatti le escursioni di marea in condizioni normali raggiungono valori di circa 1 m e risultano tra le più elevate nel Mediterraneo. Inoltre, a causa della conformazione semichiusa del bacino e della relativamente bassa profondità dei fondali (circa 20 m) nella parte medio alta, i sovrizzi di marea innescati da effetti meteorologici possono superare anche il metro in dipendenza dei gradienti barici negativi che, in presenza di circolazione ciclonica, possono instaurarsi tra il Golfo di Venezia e il Canale d'Otranto.

Il contributo dei termini $W_{up} + R_{up}$, resta invece nell'ordine di alcune decine di centimetri secondo le stime adottate per il dimensionamento di opere di difesa costiera realizzate negli scorsi decenni lungo alcuni tratti dei litorali veneziani. E ciò in dipendenza dell'effetto dissipativo prodotto da superfici emerse e sommerse di spiaggia che degradano verso il largo con pendenze molto dolci.

E' quindi evidente che l'analisi statistica dei dati di livelli estremi di marea è già stato un passaggio cruciale per la definizione degli scenari di inondazioni marine nell'area Nord Adriatica mentre il loro aggiornamento sarà assai utile anche nelle prospettive di crescita del l.m.m. inteso come possibile effetto dei cambiamenti climatici. A questo proposito, alcuni Autori hanno proposto confronti fra risultati derivanti da

procedure di adattamento di diverse leggi di distribuzione probabilistica ad appositi campioni di dati mareografici raccolti nell'area mediterranea al fine di individuare i livelli massimi da associare a fissati valori del tempo di ritorno. Tra questi il più esteso è stato il contributo di Pirazzoli et al. (2008) che hanno proposto l'applicazione della Joint Probability Distribution (JPD) per vari campioni di dati provenienti da serie storiche di dati mareografici raccolti presso stazioni distribuite lungo le due sponde dell'Adriatico. Il metodo, raccomandato da Pugh (1996) per la stima delle probabilità da associare a serie di dati relativi a livelli marini, parte dal presupposto che il livello di marea in un punto possa essere determinato dalla sovrapposizione di fenomeni fisici che, per comodità e sotto certe ipotesi, possono essere considerati ed analizzati in modo indipendente: il livello medio del mare, la componente astronomica e la componente meteorologica. Il vantaggio è quello di utilizzare tutti i dati della serie storica e non, ad esempio, soltanto il sottocampione dei massimi annuali, garantendo una maggiore numerosità campionaria anche in presenza di serie non molto estese.

2 LA METODOLOGIA

Il presente lavoro propone un aggiornamento delle analisi dei dati relativi ad eventi estremi di marea in Alto Adriatico provenienti da campioni di dati provenienti da ultradecennali serie storiche provenienti da 6 stazioni di riferimento della Rete Mareografica della Laguna di Venezia a dell'Alto Adriatico (RMLV) gestita da ISPRA (Figura 3.1). La metodologia è quella adottata da Pirazzoli et al. per l'applicazione della JPM. Inoltre, su ciascuno dei campioni relativi alle medesime 6 stazioni, sono state adattate alcune delle più note leggi probabilistiche come la GEV (Generalized Extreme Values) e il metodo GPD-POT (Peak Over Threshold) per la stima dei livelli estremi associati a prefissati valori del tempo di ritorno. I risultati della JPM sono stati confrontati con quelli provenienti dalle applicazioni della GEV e del metodo GPD-POT. Le tre diverse metodologie sono state realizzate in R, attraverso l'ausilio dei più recenti e avanzati pacchetti specifici per le distribuzioni generalizzate e per l'analisi armonica (OCE, EVIR, ISMEV).

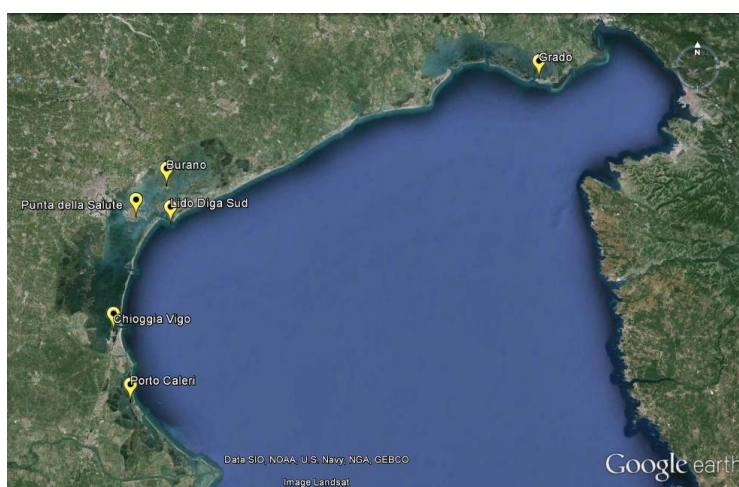


Figura 3.1. Stazioni mareografiche di riferimento della RMLV utilizzate per la valutazione degli estremi di marea

2.1 Il metodo GPD-POT

La Generalized Pareto Distribution consente di stimare la distribuzione di probabilità degli eventi massimi indipendenti sopra una certa soglia (POT). La procedura presuppone quindi che i massimi sopra soglia siano indipendenti tra loro. In questo studio, come previsto dalla letteratura, la soglia è stata scelta in modo da fornire un sottocampione di dati sufficientemente ampio e tra loro separati da un periodo di almeno 78 ore, sufficiente per garantire l'indipendenza dei massimi (Masina M., Ciavola P., 2011). A questi dati è stata applicata la GPD (Pugh, D., 2004) che attraverso il metodo dei minimi quadrati stima i migliori parametri per la distribuzione dei dati osservati; il parametro di forma, di scala e di posizione. Al variare dei parametri si ottengono le diverse distribuzioni. L'adattamento della GPD ai campioni utilizzati appare soddisfacente anche in considerazione degli elevati indici di correlazione calcolati in tutti e 6 casi analizzati. La stima dei livelli massimi in corrispondenza di prefissati tempi di ritorno variabili da 1 a 50 anni è riportata

nella tabella sintetica rappresentativa per tutte le stazioni di interesse (Tabella 3.1).

2.2 Il metodo GEV

Il metodo della GEV utilizza una distribuzione generalizzata per i dati massimi annuali ed è caratterizzata da due parametri: il parametro di forma (x) e il parametro di scala. Al variare del parametro di forma si ottengono diversi tipi di distribuzioni: $x=0$, $x>0$ e $x<0$, corrispondono rispettivamente ad una Gumbel, Fréchet e Weibull. Il metodo in questo caso prevede una prima selezione in tutta la serie temporale dei massimi annuali. Questi sono stati estratti dai dati osservati sottratti anno per anno della propria media annuale al fine di renderli indipendenti dalle variazioni del livello medio mare. Anche in questo caso si è potuto osservare un buon adattamento della GEV applicata al campione di massimi annuali delle sei stazioni considerate. Come nel caso precedente, i livelli massimi associabili ai tempi di ritorno estremi considerati sono stati riassunti nella Tabella 3.1 (Pugh, D., 2004).

2.3 La JPM

Come descritto nei casi precedenti, le distribuzioni di probabilità generalizzate devono essere applicate a dati massimi indipendenti tra loro, in un caso selezionati tenendo conto anche di un livello di soglia, nell'altro solo di una soglia temporale. Un metodo alternativo di stimare la probabilità (e i tempi di ritorno) degli estremi di livello del mare è di calcolare le distribuzioni separatamente della componente meteorologica e della componente astronomica e successivamente la probabilità congiunta delle due (Pugh, D., 2004). L'assunzione fondamentale è di considerare la sola interazione lineare tra le due componenti, ritenute indipendenti. Queste sono distinte attraverso l'impiego dell'analisi armonica applicata alle serie orarie e utilizzando, in questo caso, 69 costanti armoniche di Doodson. La metodologia è stata realizzata in R attraverso l'uso del pacchetto OCE e la funzione *tidem*. La JPM applicata alle sei stazioni considerate mostra valori dei livelli di ritorno superiori rispetto a quanto previsto dagli altri metodi, allineati tra loro (Pirazzoli P.A., Tomasin A, 2008-2009).

3 CONCLUSIONI

La stima dei livelli massimi per tempi di ritorno variabili da 1 a 50 anni, ottenuti con i diversi metodi considerati, sono riportati nella Tabella 3.1. A titolo di esempio è stato riportato il grafico di confronto tra diversi metodi per la sola stazione di Grado (Figura 3.1). Come possibile evidenziare dalle analisi condotte per tutte le diverse stazioni e come riscontrato in letteratura, la JPM tende a sovrastimare i livelli di ritorno rispetto alle altre metodologie che presentano risultati coerenti tra loro. Questo comportamento è da attribuire a possibili fattori stagionali e a possibili effetti di interazione non lineare tra le due componenti, astronomica e meteorologica, assunte in principio indipendenti tra loro. Opportuni coefficienti da applicare alle stime sono stati proposti per tener conto di tali effetti (Pirazzoli P.A., Tomasin A, 2008-2009). Resta comunque il fatto che per tempi di ritorno più elevati, in genere superiori ai 100 anni, le diverse leggi di distribuzione divergono sensibilmente. Inoltre i punti relativi ai primi casi storici registrati si discostano sensibilmente dalle curve che rappresentano le leggi di distribuzioni adottate, con evidenti incertezze nel definire i livelli massimi da associare agli scenari meno frequenti.

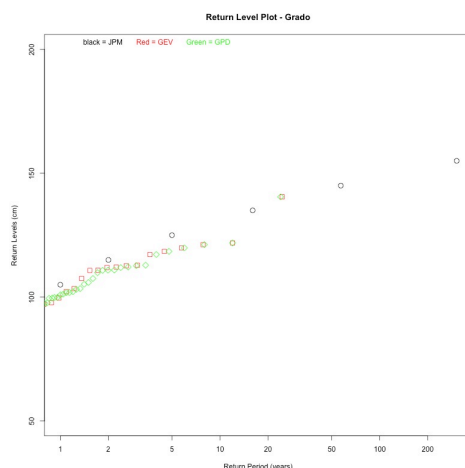


Figura 3.1. Tempi e Livelli di ritorno per la stazione di Grado calcolati con tre metodi a confronto: JPM, GEV, GPD

Tempo Ritorno	1			5			10			20			50		
	GEV	GPD	JPM	GEV	GPD	JPM	GEV	GPD	JPM	GEV	GPD	JPM	GEV	GPD	JPM
Livelli di Ritorno (cm)															
BURANO	87	87	100	107	107	113	116	115	120	124	123	126	134	133	133
PORTO CALERI	96	97	110	114	114	122	121	120	131	126	125	133	133	131	140
PUNTA DELLA SALUTE	96	94	106	113	111	122	117	117	131	121	123	137	124	129	144
GRADO	101	101	105	118	117	125	124	124	130	130	129	137	137	136	145
CHIOGGIA	92	93	106	110	112	125	119	119	133	129	126	141	142	135	152
LIDO DIGA SUD	97	97	110	117	117	126	125	125	137	133	133	145	142	142	153

Tabella 3.1. Tempi e Livelli di ritorno per tutte le stazioni calcolati con tre metodi a confronto: JPM, GEV, GPD

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Fragola G., Ferla M., Ferri M., Baruffi F., 2014. Approccio metodologico per la redazione delle mappe della pericolosità e del rischio da inondazione marina nel Distretto Idrografico delle Alpi Orientali. Atti del XXXIV Congresso Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Bari 7-10 settembre 2014. Pubblicata in data: 7 settembre 2014. Editore Politecnico Editore, pp. 453-454.

Pirazzoli P.A., Tomasin A., Extreme sea levels on Adriatic coasts: a comparison on estimation methods, Atti dell’Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Tomo CLXVII (2008-2009) – Classe scienze matematiche, fisiche e naturali, pp. 53-82.

Pugh, D., Tides, Surges and Mean Sea Level, Natural Environmental Research Council Swindon, UK, 1996.

Pugh, D., Changing Sea Level, Cambridge University Press, 2004.

Masina, M., Ciavola, P., Analisi dei livelli estremi e delle acque alte lungo il litorale ravennate, Studi Costieri, 2011, pp. 84-98.

Masina, M., Lamberti, A nonstationary analysis for the Northern Adriatic extreme sea levels, Journal of Geophysical Research 2013, OCEANS: VOL.118, 3999-4016.