

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



Tesi di laurea in Ingegneria Marittima

INDICE SPEDITIVO PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DELLE MAREGGIATE NEL MAR LIGURE

Laureando:
Luca Donini

Relatore:
Giovanni Besio

anno accademico 2014 - 2015

PERICOLOSITA' DELLE MAREGGIATE



Spettacolari ma distruttive

Danni a:

- porti e dighe
- strade e ferrovie costiere
- infrastrutture



SCOPO DELLA TESI

definire un metodo speditivo per la valutazione del livello di pericolosità dovuto ai fenomeni marini che si abbattano sulle coste liguri

METODO SPEDITIVO

- è una tipologia di analisi dotata di grande rapidità di risposta e facilità d'impiego
- fornisce una valutazione abbastanza precisa degli effetti in base ad ipotesi semplificate sul fenomeno in esame ed a poche grandezze significative
- la sua valutazione può essere semplicemente espressa mediante una formula

SVILUPPO DEL LAVORO

- 1) Reperimento informazioni sui parametri del moto ondoso
- 2) Ricerca delle informazioni sui danni delle mareggiate più significative
- 3) Sviluppo dell'indice di pericolosità
- 4) Validazione dell'indice mediante mareggiate storiche

1 - PARAMETRI DEL MOTO ONDOSO

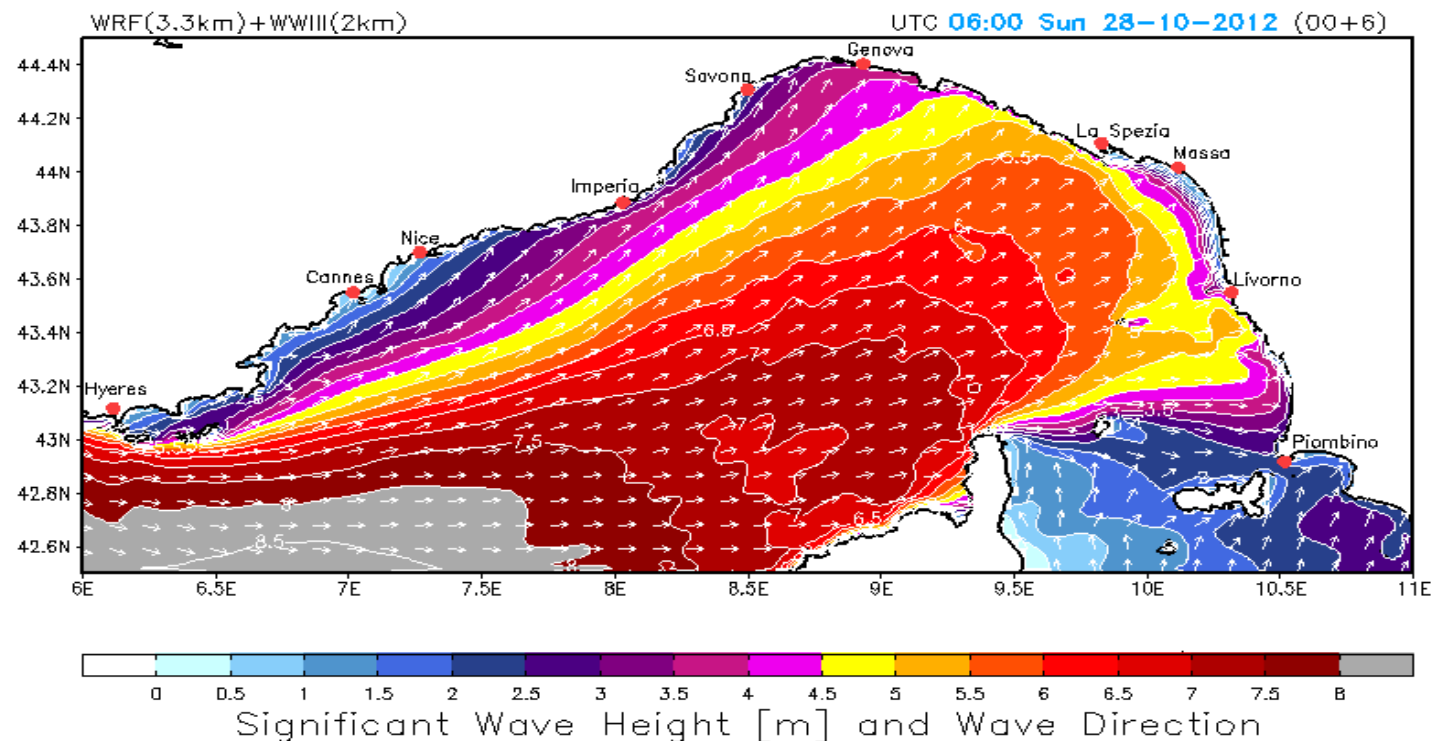
1. *Altezza (H)* distanza verticale tra il punto più alto(cresta) e quello più basso (cavo o gola) dell'onda
2. *Lunghezza (L)* distanza orizzontale tra due creste consecutive
3. *Periodo (T)* tempo impiegato dall'onda per percorrere lo spazio di una lunghezza d'onda
4. *Celerità ($c = L/T$)* velocità di propagazione dell'onda
5. *Ripidità ($\delta = H/L$)*, esso caratterizza il profilo e la stabilità dell'onda stessa.



1 - PARAMETRI DEL MOTO ONDOSO

Dati forniti dal DICCA attraverso una modellistica di previsione e di reanalisi (www.dicca.unige.it/meteocean):

- coprono un arco temporale che va dal 1979 al 2010
- hanno cadenza oraria
- sono riferiti a quattro località: Ventimiglia, Savona, Genova e La Spezia



2 - INFORMAZIONI SUI DANNI DELLE MAREGGIATE



Onda gigante oltre la diga sconvolto il porto di Savona



2 - INFORMAZIONI SUI DANNI DELLE MAREGGIATE

Date delle mareggiate più significative:

1 gennaio 1979

25/26 febbraio 1989

27 febbraio 1990

2 ottobre 1993

28 dicembre 1999

6 novembre 2000

8/9 dicembre 2006

3 dicembre 2007

21 marzo 2008

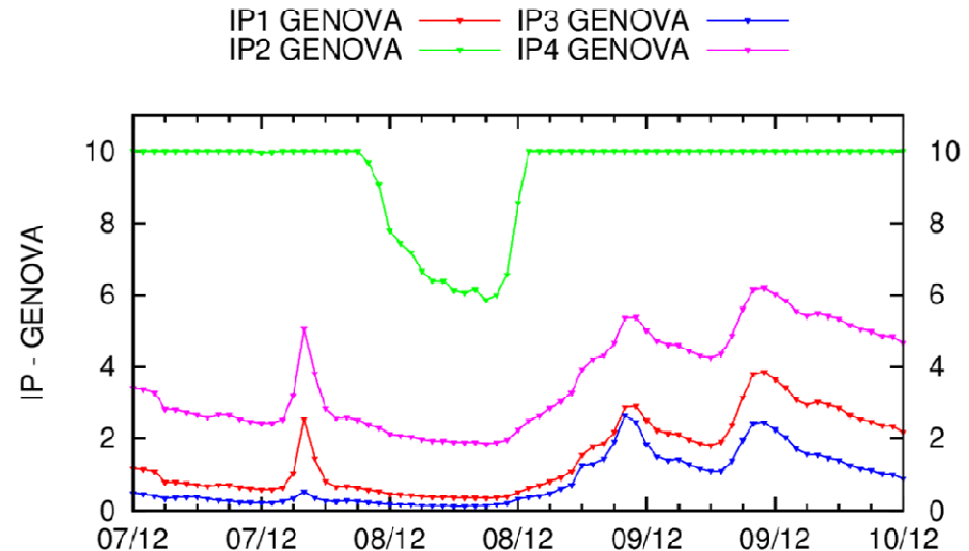
30 ottobre 2008

1/2 gennaio 2010

3 – SVILUPPO DELL'INDICE DI PERICOLOSITA'

Definizione dell'indice IP funzione di H_s , L_p e T_p

- $IP_1 = 10 \cdot \frac{H_s \cdot L_p}{H_{max} \cdot L_{max}}$
- $IP_2 = 10 \cdot \frac{H_s \cdot T_p}{H_{max} \cdot T_{max}}$
- $IP_3 = 10 \cdot \frac{H_s^2 \cdot L_p}{H_{max}^2 \cdot L_{max}}$
- $IP_4 = 10 \cdot \frac{\sqrt{H \cdot L}}{\sqrt{H_{max} \cdot L_{max}}}$



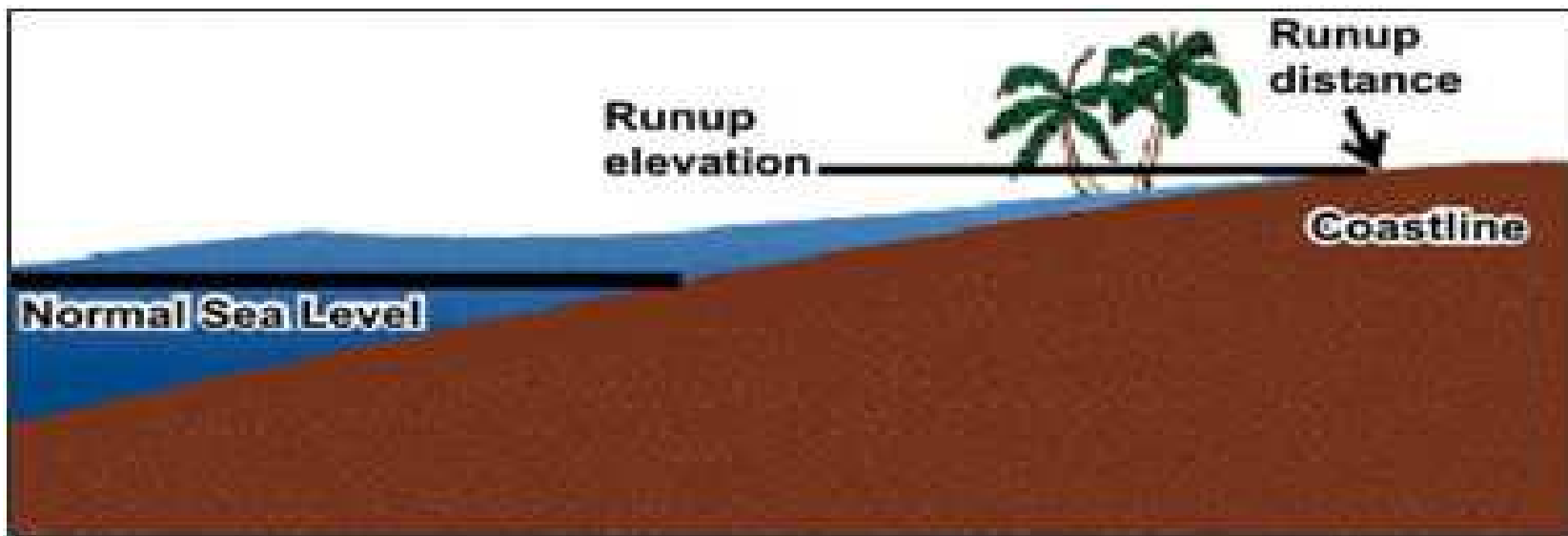
Danni riscontrati per la mareggiata del 8/12/2006 a Genova:

- Abbattimento di muri e frane
- Travolti stabilimenti balneari
- Sassi e terriccio invadono la statale Aurelia che viene interrotta
- affondamento di alcune imbarcazioni

3 - SELEZIONE DI IP4

$$IP4 = \sqrt{H \cdot L} \cdot S_{IP}$$

$Run-up \propto \sqrt{H \cdot L}$ è la quota di risalita dell'onda:
maggiore è la quota di risalita dalla lama d'acqua
maggiori saranno i danni arrecati alle strutture e/o persone



$$S_{IP} = \frac{10}{\sqrt{H_{max} \cdot L_{max}}}$$

S_{IP} è il fattore di scala nel campo 0-10

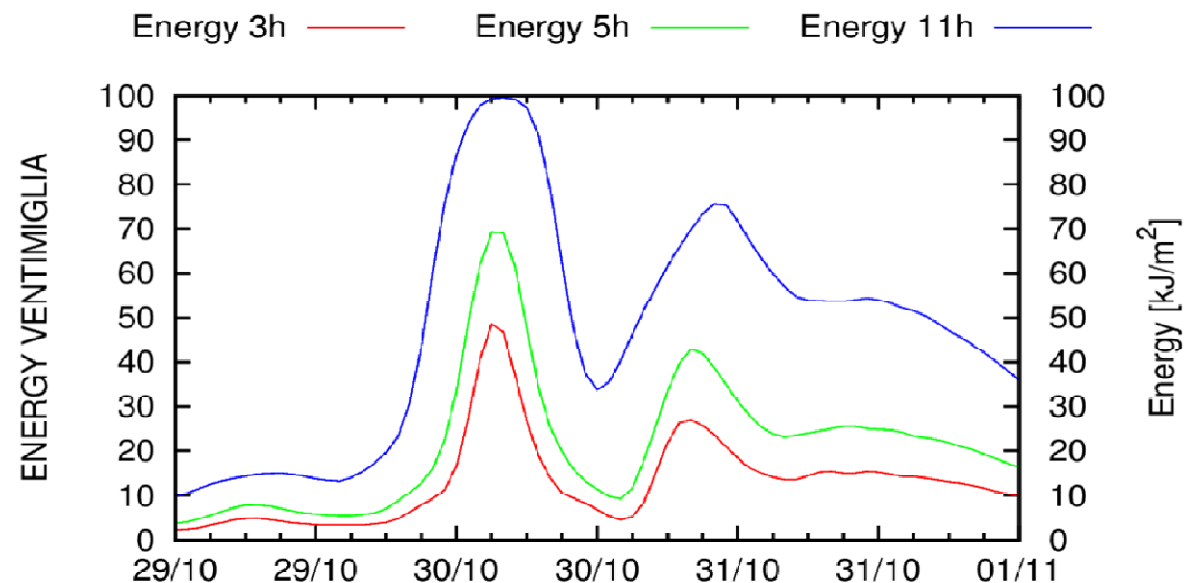
$$H_{max}=4.0m \text{ e } L_{max}=190m$$

3 - CONTRIBUTO ENERGETICO

È fondamentale introdurre anche il contributo energetico del moto ondoso poiché non è tanto la singola onda ad arrecare danni, ma la persistenza nel tempo con cui il moto ondoso continua a frangere sul litorale

Energia del moto ondoso: $E = C \cdot \int_{t_1}^{t_2} H_s^2 dt$ $C = \frac{1}{8} \rho \cdot g$

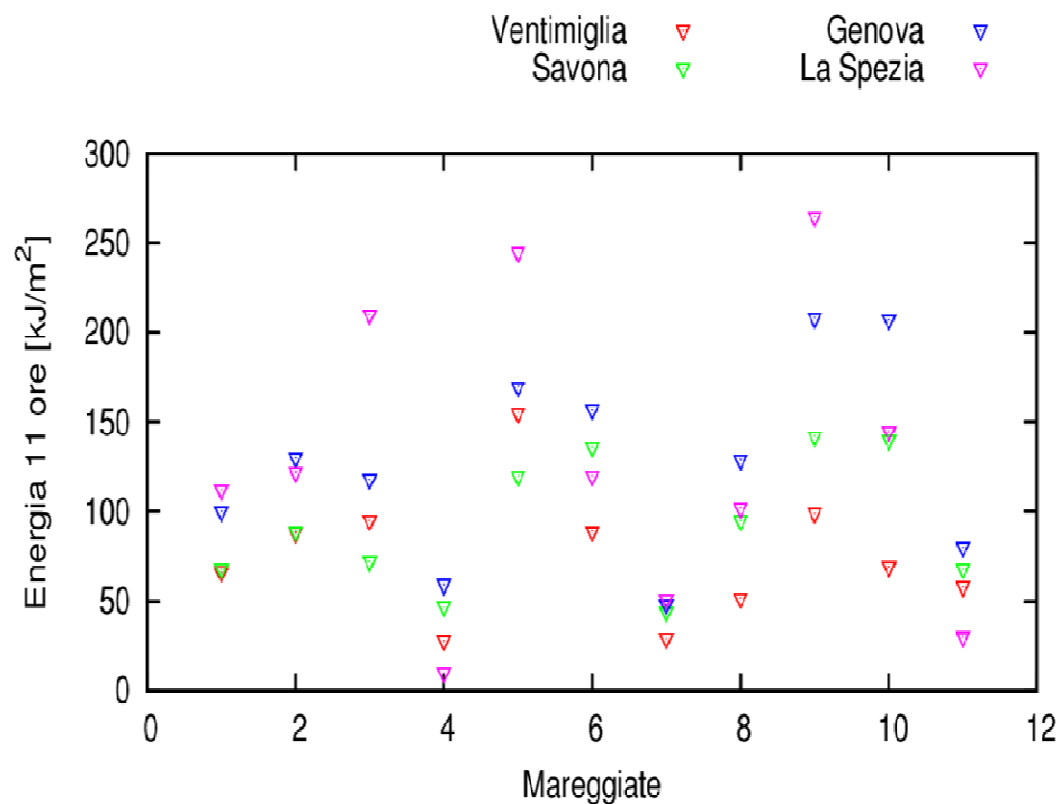
calcolata negli intervalli di tempo pari a 3, 5 e 11 ore



una mareggiata con picchi di energia elevati ma con durata relativamente breve ha un effetto meno dannoso rispetto a una mareggiata con energia minore ma prolungata nel tempo ➡ scelto intervallo 11 ore

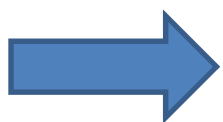
3 - ANALISI ENERGIE MAREGGIATE E DEFINIZIONE DI Emax

analisi dei valori dell'energia delle undici mareggiate storiche



Per avere l'indice nell'intervallo
0 -10 bisogna definire Emax

gli eventi più dannosi hanno
 $E(11h) > 150 \text{ kJ/m}^2$



Inizialmente posto $E_{max} = 200 \text{ kJ/m}^2$

3 - INDICE SPEDITIVO CONCLUSIVO

$$IP4E = IP4 \cdot x + (1-x) \cdot 10 \cdot \left(1 - \frac{E_{max} - E}{E_{max}}\right)$$

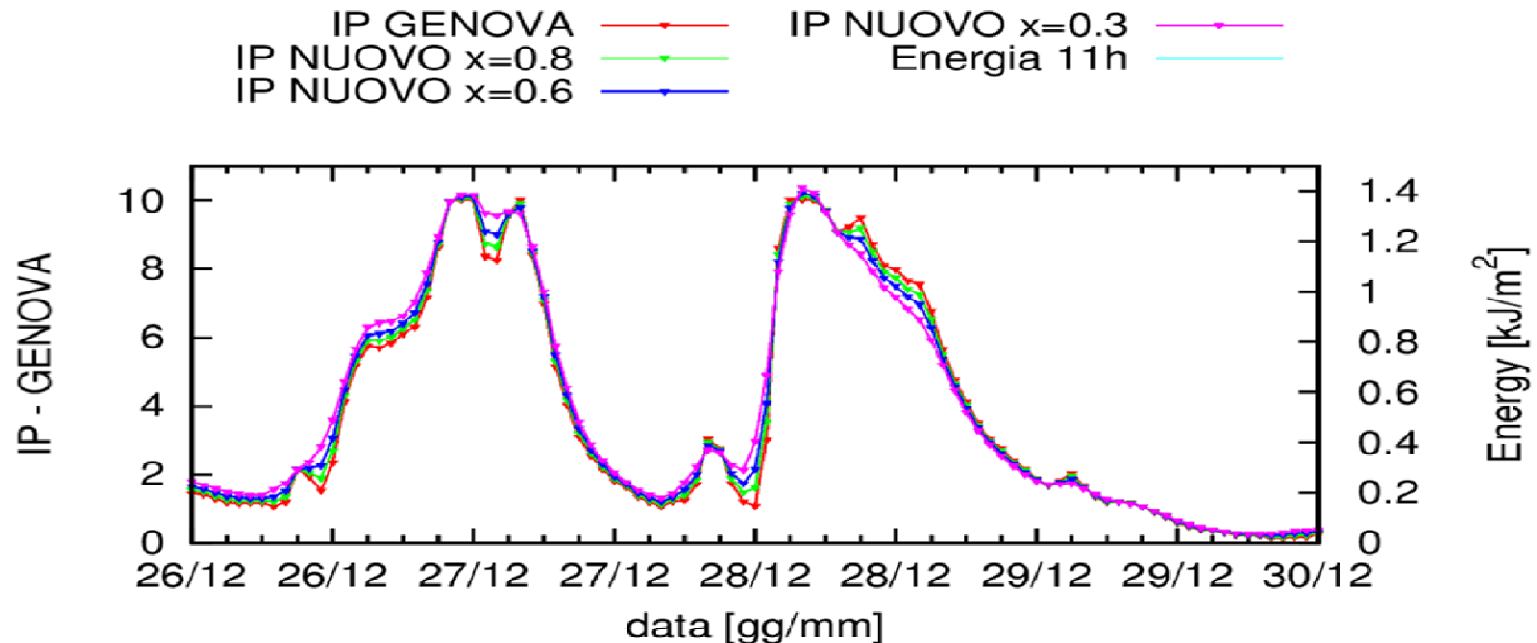
in precedenza si sono definiti



Hmax=4m

Lmax=190m

ponendo $x = 0,3$ ed $E_{max} = 160 \text{ kJ/m}^2$ si riproduce in maniera più accurata l'evoluzione della mareggiata



4 - VALIDAZIONE DELL'INDICE

Mareggiata del 28 dicembre 1999

Danni riscontrati:

- **GENOVA**

Il porto è la zona che più risente della forza delle onde, alla fine risultano inagibili sia la Capitaneria di Porto che gli esercizi pubblici sul molo.

Sestri Levante come gran parte della regione viene colpito da una mareggiata dovuta al passaggio della tempesta “ Lothar” sul Nord Europa.

Il borgo marinaro di Riva Trigoso flagellato dalle onde, i danni maggiori si registrano alle strutture del litorale.

- **VENTIMIGLIA** nessun danno significativo registrato.

- **SAVONA** nessun danno significativo registrato.

- **LA SPEZIA**

Tutta la provincia risente della forte mareggiata, danni si rilevano lungo la costa nella zona tra Marinella e Sarzana dove decine di barche colano a picco e i centri abitati di Marinella e Fiumaretta sono allagati.

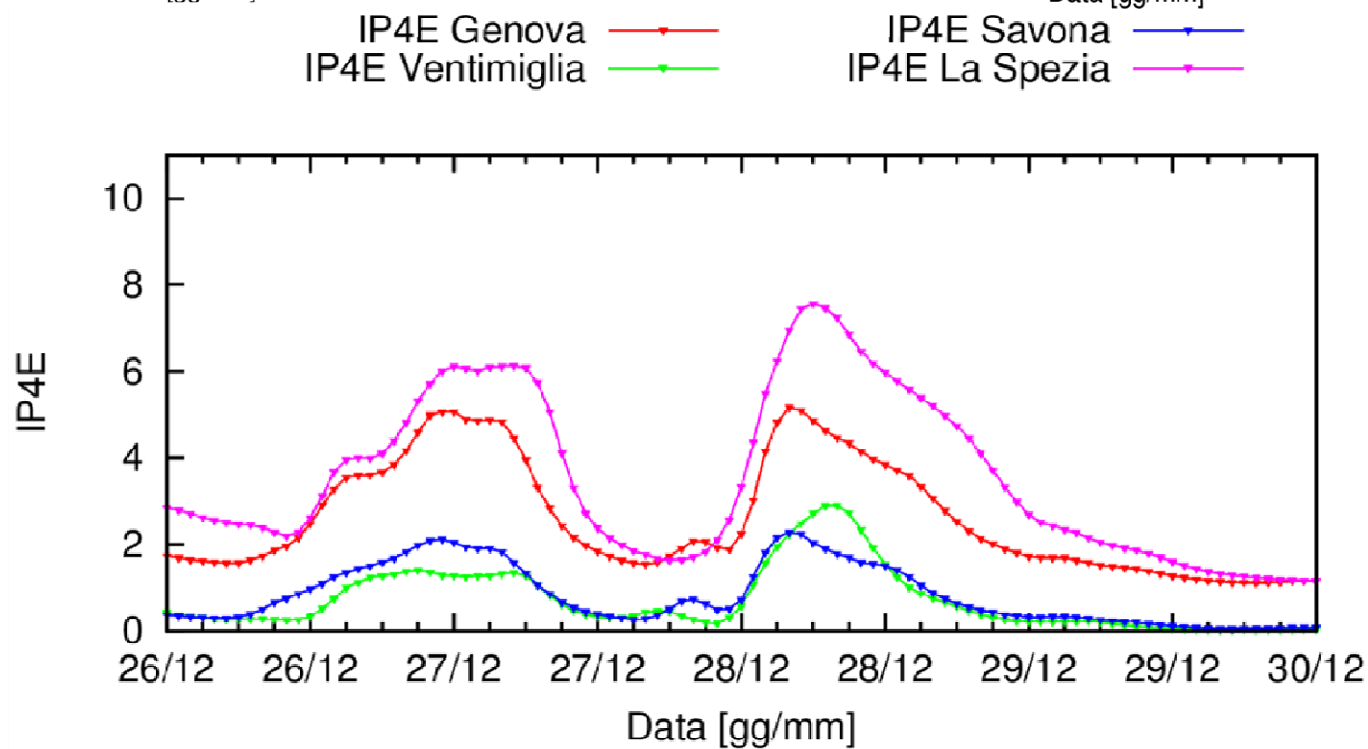
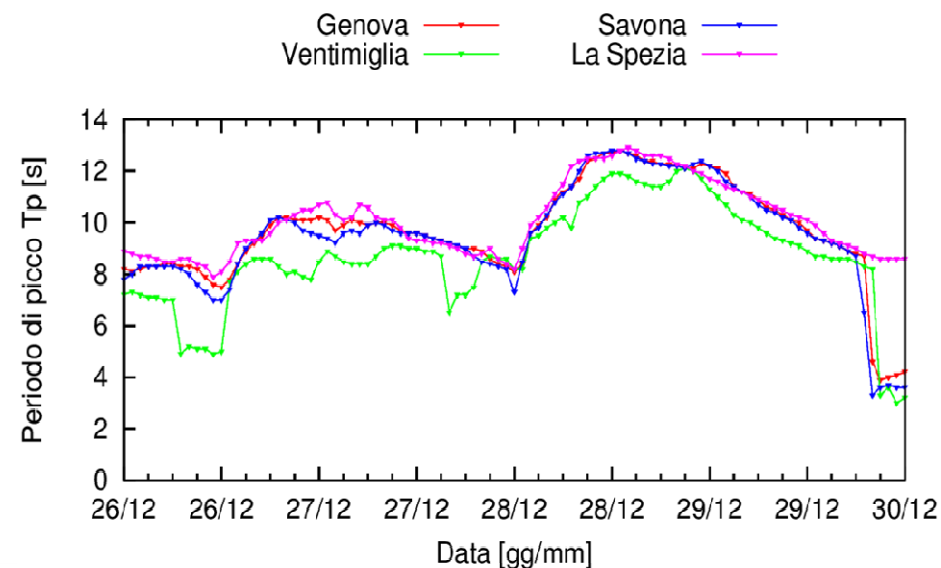
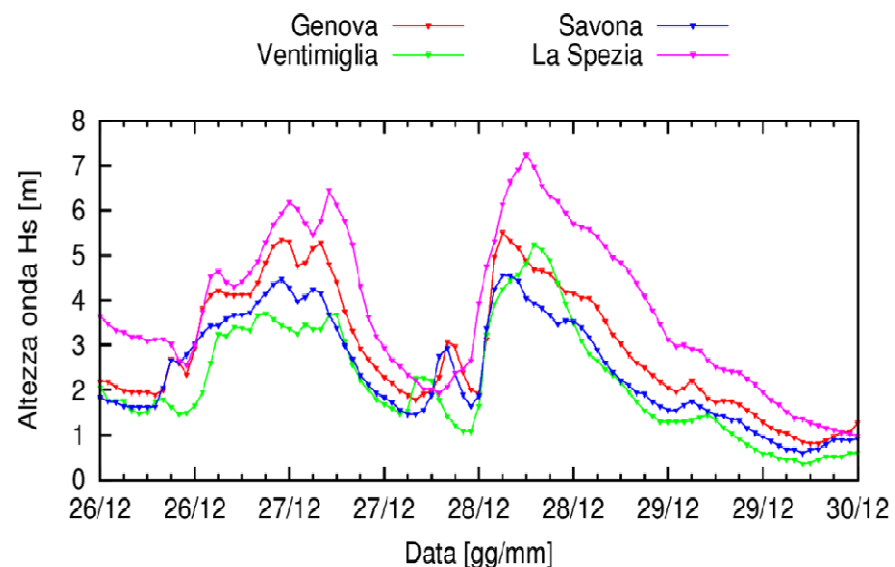
I danni maggiori si hanno però nelle zone di Deiva Marina e delle Cinque Terre a causa dei danni portati dall'acqua a diverse infrastrutture.



- 1) Rapallo
- 2) S. Margherita
- 3) Deiva Marina



MAREGGIATA DEL 28 DICEMBRE 1999



Mareggiata del 6 novembre 2000

- **GENOVA**

Rapallo è una delle cittadine che è stata maggiormente danneggiata dalla mareggiata che ha colpito il centro e il ponente della Liguria. Si sono avuti gravi danni sia al porto pubblico sia a quello turistico.

La passeggiata e la parte occidentale del centro storico sono stati invasi dal mare.

A Santa Margherita infrastrutture degli stabilimenti balneari risentono degli urti delle onde ma i problemi più grossi sono per un traghetto passeggeri e una barca a vela di 12 metri che vengono scaraventati dal mare a ridosso della scogliera sotto il castello.

Il porto di Celle Ligure è stato sommerso dalle onde e sono colate a picco una decina di imbarcazioni.

- **VENTIMIGLIA**

A Sanremo crolla sotto gli urti delle onde la parte terminale della diga foranea del Porto Vecchio; danneggiate dagli urti di decine di yacht che hanno rotto gli ormeggi delle banchine di Portosole.

La forza delle acque è stata tale che ha trascinato in mare decine di auto parcheggiate lungo la passeggiata o che transitavano sulla litoranea, una ragazza ha rischiato di morire in auto.

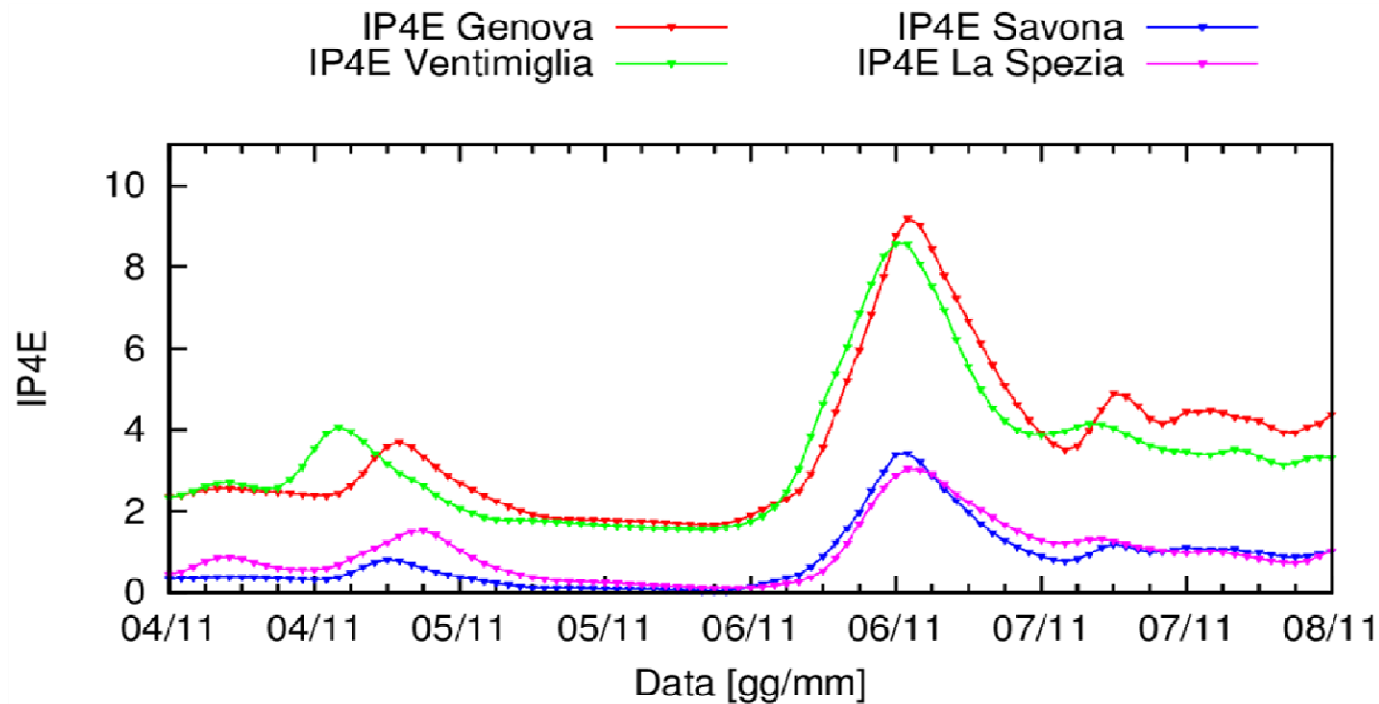
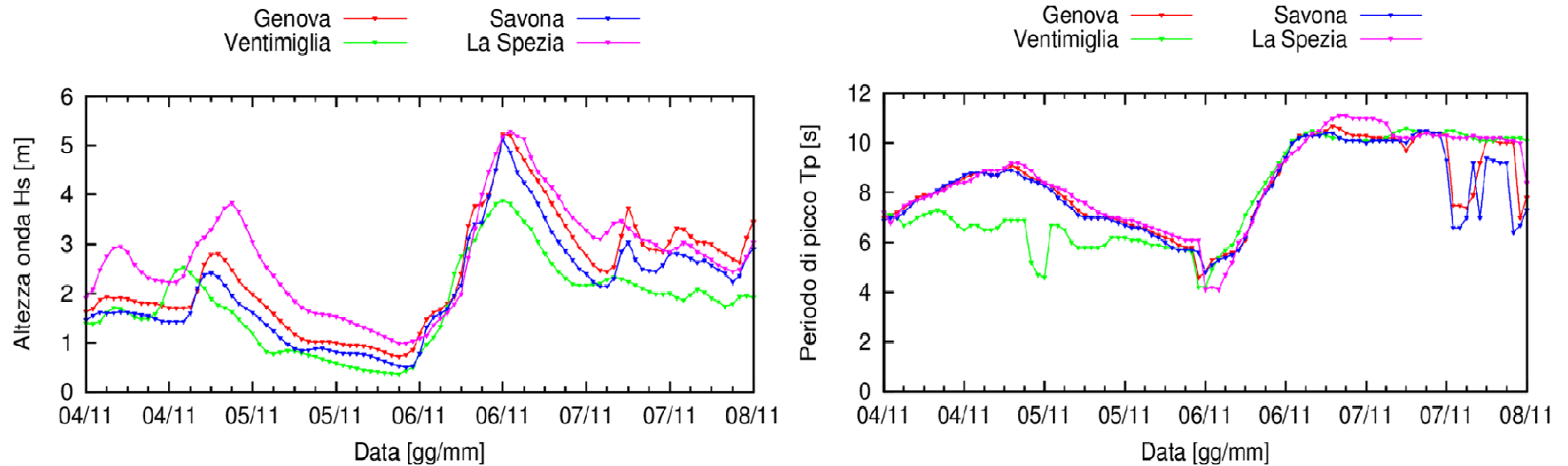
- **SAVONA** nessun danno significativo registrato.
- **LA SPEZIA** nessun danno significativo registrato.



- 1) Sanremo
- 2) Lavagna
- 3) Portosole



MAREGGIATA del 6 NOVEMBRE 2000



Mareggiata del 30 ottobre 2008

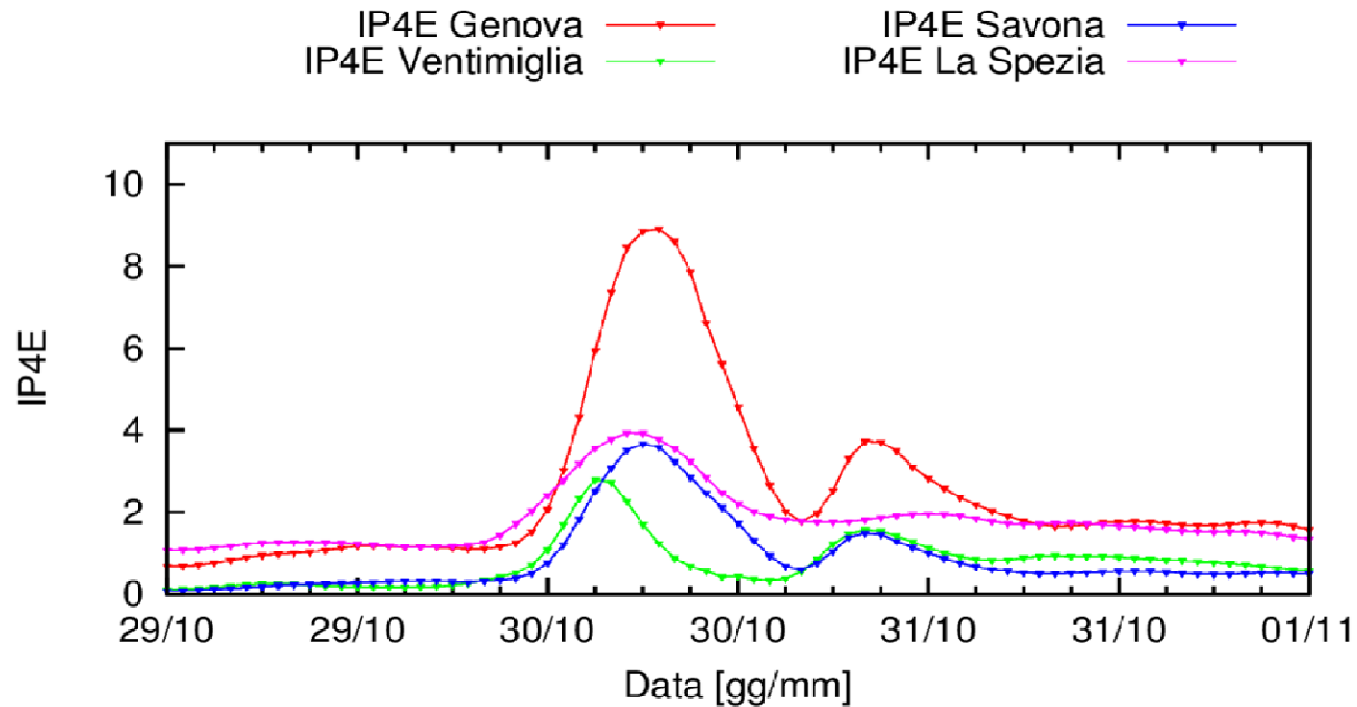
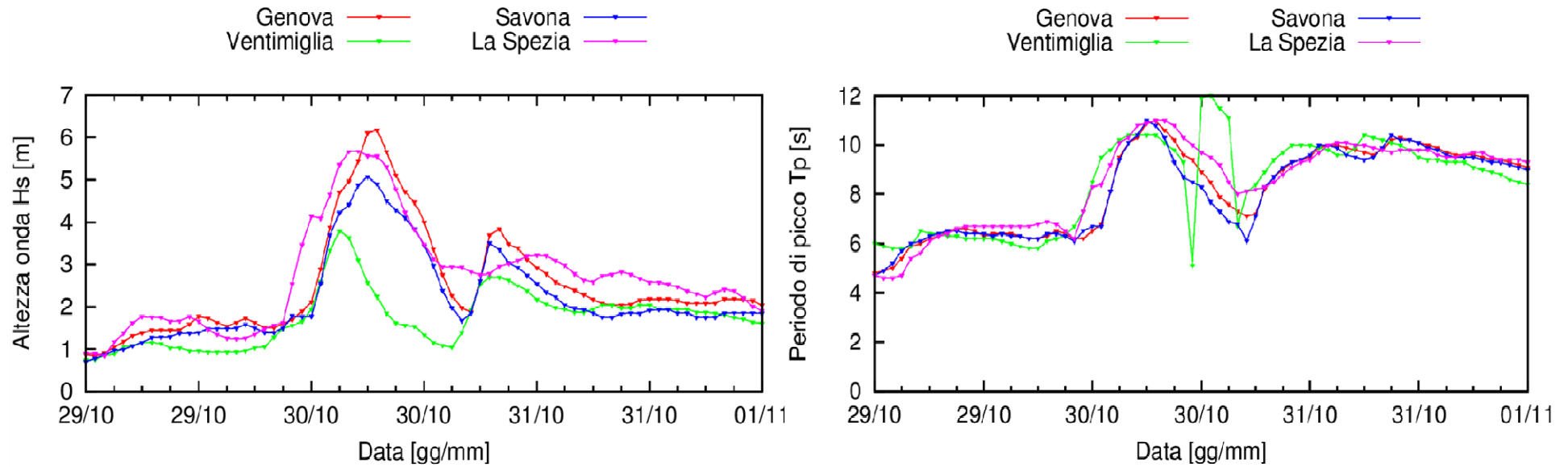
- **GENOVA** il traghetto Fantastic ha estreme difficoltà ad entrare in porto subendo danni
L'aereoporto è stato chiuso perché le ondate hanno superato la diga
A Pegli viene distrutta la piattaforma di Porto Petroli
Nel porto di Voltri dove grandi massi trasportati dalle onde hanno invaso i piazzali, le pavimentazioni dei terminal sono dissestate e anche la banchina risulta danneggiata.
Problemi gravi alle dighe di Voltri e Duca di Galliera che pur resistendo alla forza dei marosi presentano rottture e dissesti.
Onde alte anche 8 metri si sono abbattute sul borgo di Camogli provocando allagamenti e danni.
Le barche sono state scagliate sulla passeggiata, le solette in cemento armato degli stabilimenti balneari sono state sbriciolate dalla burrasca.
Danni ingenti anche nel resto della Riviera di Levante: a Chiavari una pioggia di pietre spinte dall'acqua si è abbattuta sul lungomare.
A Sestri Levante affondate una ventina di barche.
A Portofino si sono allagate la piazzetta e le calate.
- **VENTIMIGLIA** nessun danno significativo registrato.
- **SAVONA** nessun danno significativo registrato.
- **LA SPEZIA** nessun danno significativo registrato.



- 1) Genova
- 2) Camogli
- 3) S.Margherita



Mareggiata del 30 ottobre 2008



CONCLUSIONI

- Si è definita una formula per l'indice speditivo della pericolosità considerando i parametri del moto ondoso e l'energia insita nelle onde.
- L'indice è stato confrontato con l'entità dei danni occorsi in numerose mareggiate storiche per valutarne l'attendibilità
- Coadiuvato da boe ondametriche che rilevano il moto ondoso, l'indice ha un utilizzo pratico se combinato con un sistema di allerta della popolazione in caso di superamento valore prefissato di esso
- L'indice è di semplice utilizzo e richiede l'uso di limitate risorse computazionali

SVILUPPI FUTURI

- Testato solo su informazioni del Mar Ligure, con dati del moto ondoso di altri mari si potrà generalizzarlo (H_{max} , L_{max} , E_{max})
- Si potrà considerare altresì la pendenza del fondale e della costa, parametri fondamentali del *run-up*

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



PORTOVENERE senza onde