

Tsunami in Liguria?

Disegniamo le mappe di rischio

Ing. Bianca Federici

Lab. di Geodesia, Geomatica e GIS
Università degli Studi di Genova
DICAT

Dott. Stefano Solarino

Istituto Nazionale di Geofisica
e Vulcanologia
- sede di Genova -



DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Tsunami

The image shows the Japanese characters for 'Tsunami', which are '津波' (tsunami). The characters are written in a blue, stylized font and are enclosed in a thin blue rectangular border. The top character is '津' (tsu) and the bottom character is '波' (na-mi).

Voce di origine giapponese che significa onda del porto.
Termine usato scientificamente per indicare le onde
che si formano durante un maremoto, ONDA ANOMALA.



SOMMARIO

- **Generalità sugli tsunami**
- **Gli tsunami in Liguria**
- **Procedura GIS per la creazione di mappe di rischio**
- **Applicazione alla costa ligure**
- **Mitigazione del rischio**
- **Conclusioni**



Esistono fondamentalmente tre tipi di tsunami naturali: quelli dovuti a frane (sottomarine o terrestri), quelli legati al verificarsi di un terremoto e quelli legati all'impatto di meteoriti.

Quelli dovuti all'impatto di meteoriti sono ovviamente molti rari. La loro estensione dipende dalle dimensioni del corpo celeste, mentre la loro formazione, la propagazione, l'altezza dell'onda dipendono da variabili molto difficili da definire.

Quelli legati a frane sono invece dovuti a molte possibili cause: colate di materiale lavico in mare, colassi strutturali di parti di edifici vulcanici, sprofondamento di porzione della calotta glaciale, frane di materiale terrestre divenuto instabile a causa di accumulo, scuotimento, esplosioni etc.



30 Dicembre 2002, ore 12 circa



30 Dicembre 2002, ore 13:14



DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

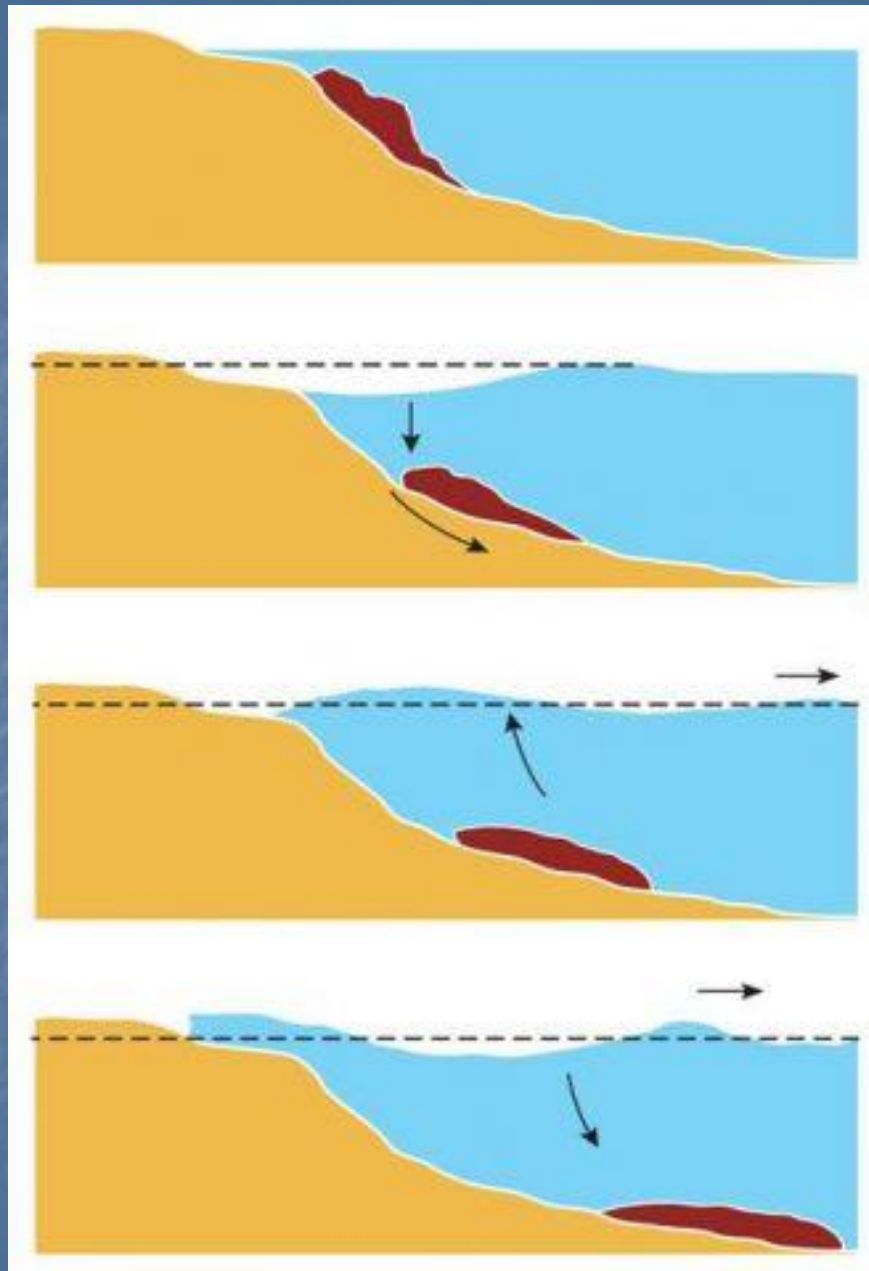


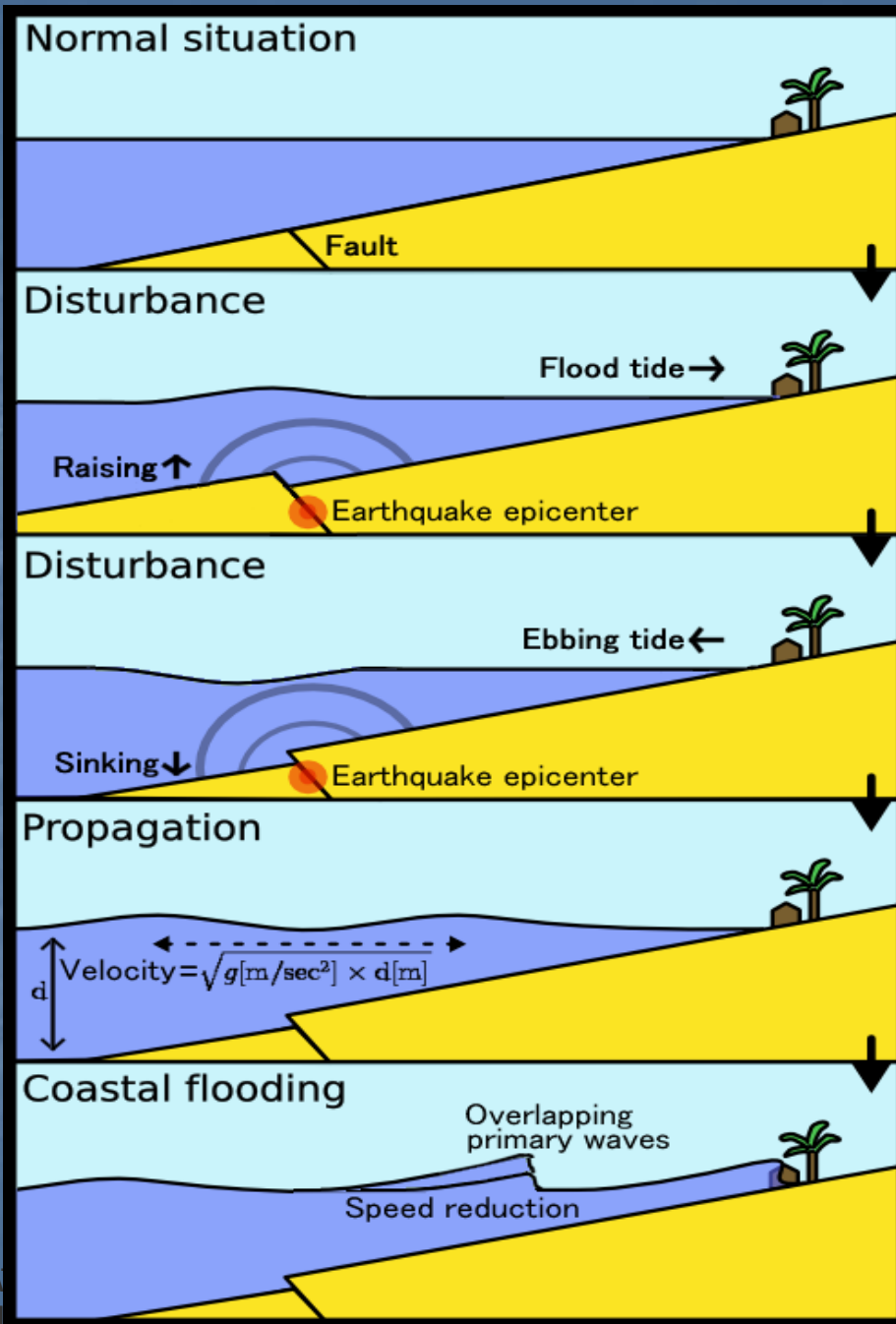
Ore 13:15: la prima onda

Ore 13:16: la seconda onda









Immediatamente prima dell'onda si osserva un **drawdown**, ovvero un ritiro anche significativo del mare.

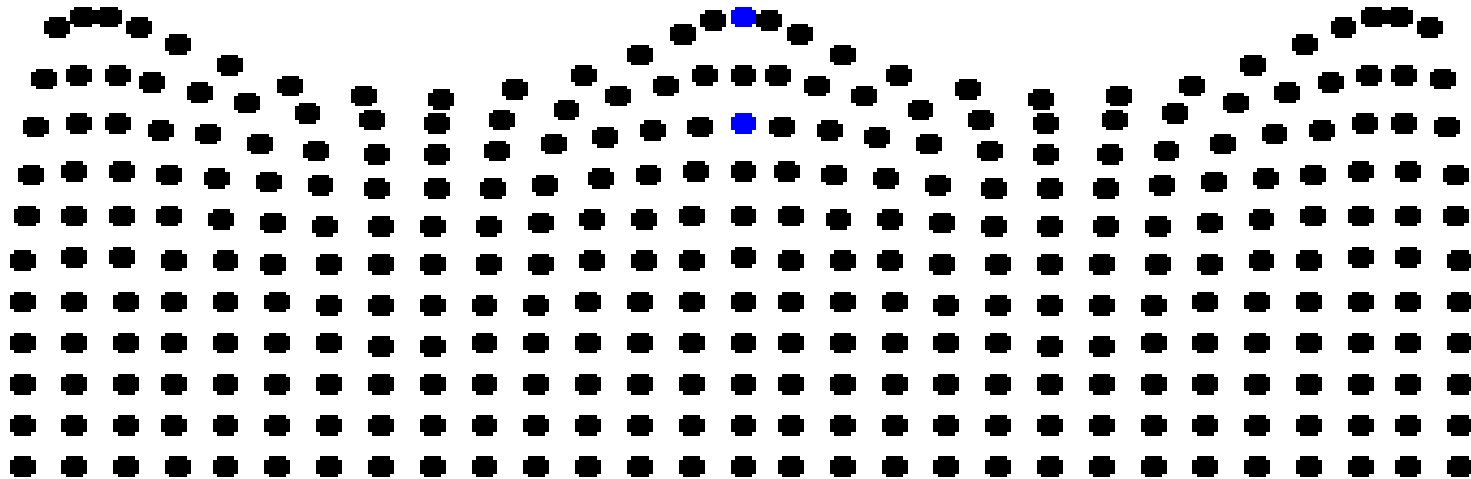
Segue l'onda vera e propria, detta **run-up**



Wind waves come and go without flooding higher areas.

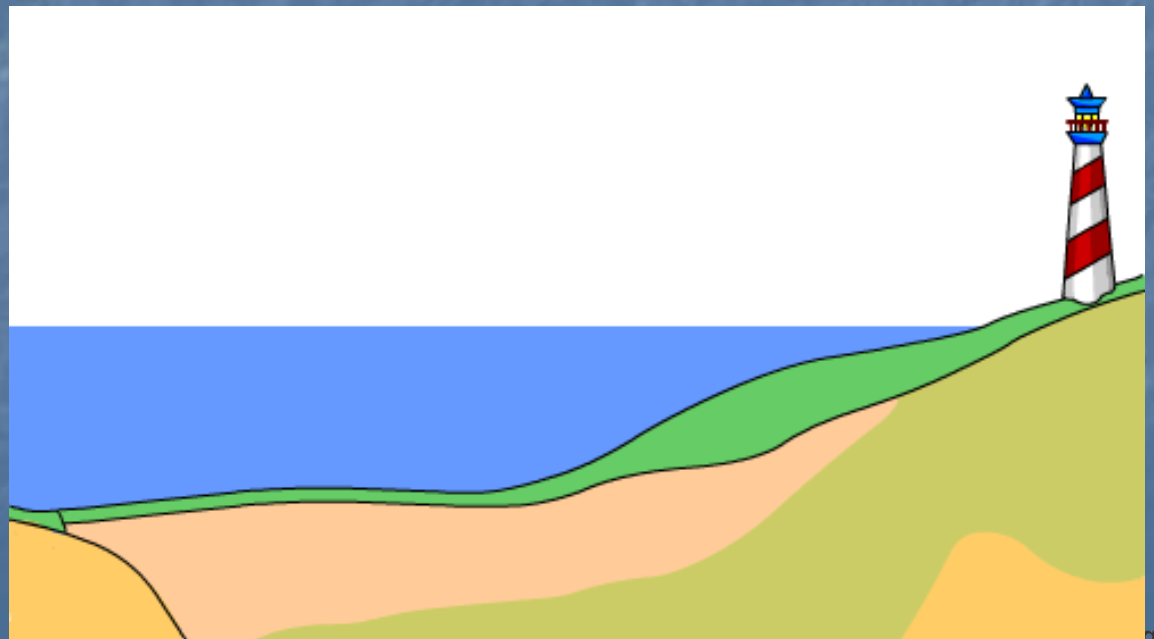
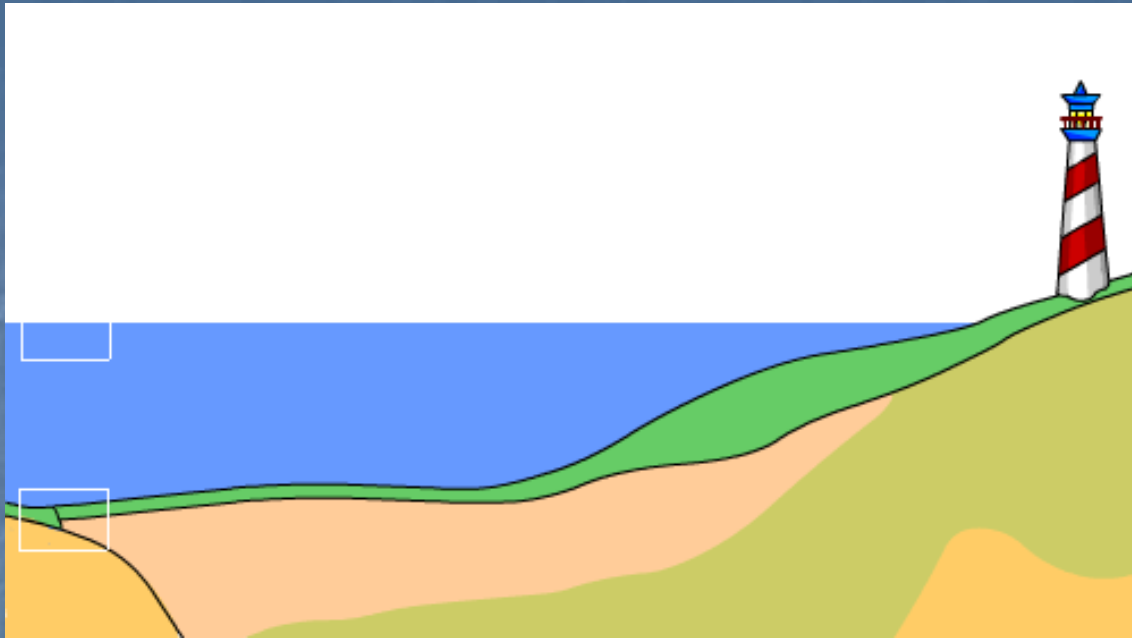


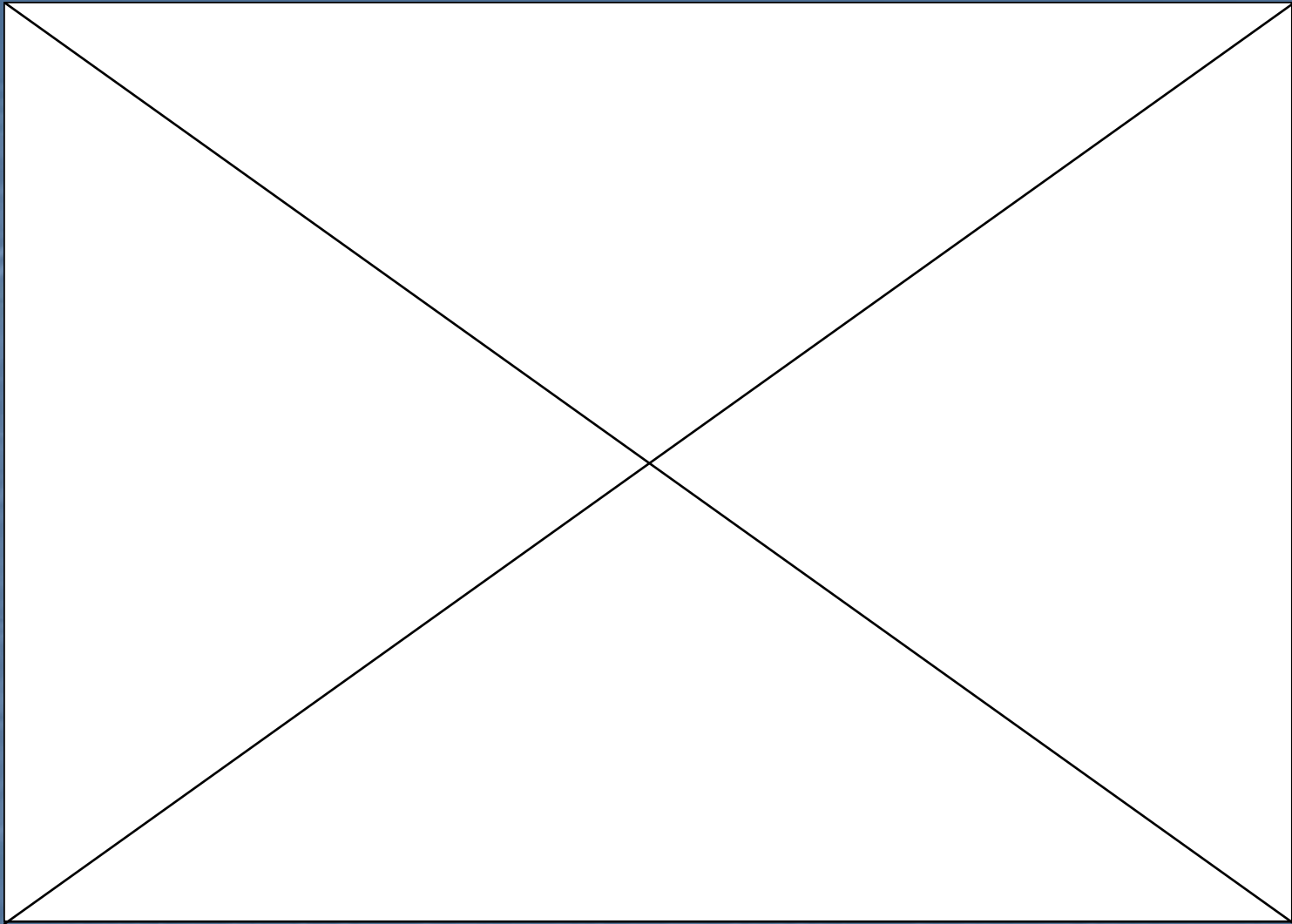
Moto di un'onda marina



©1999, Daniel A. Russell







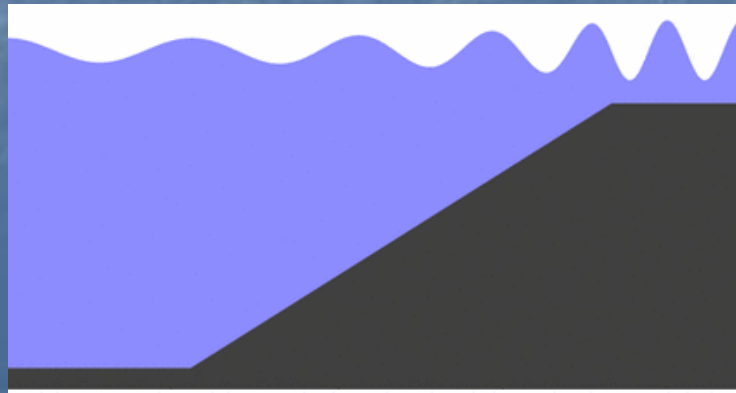
DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



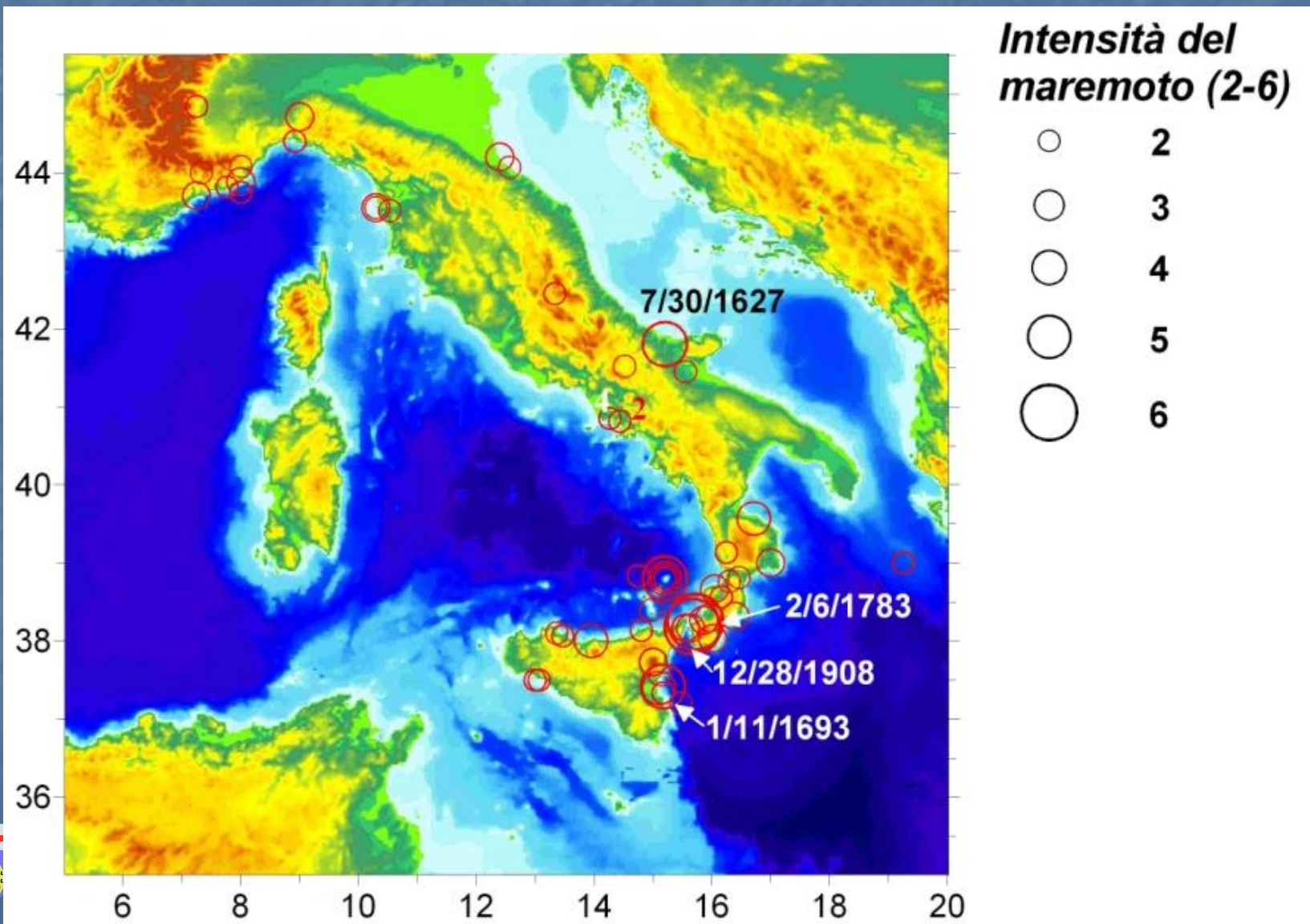
Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Un po' di fisica....

- ✓ La perdita di energia di una onda è inversamente proporzionale alla sua lunghezza d'onda: le onde di tsunami hanno lunghezza d'onda fino a 500 km, quindi dissipano poca energia anche in tragitti molto lunghi!
- ✓ La velocità di una onda di tsunami è legata alla accelerazione di gravità dalla relazione $V=\sqrt{g*h}$, dove h è la profondità del mare. Ad esempio una onda che viaggia dove il mare è profondo 6100 metri ha una velocità di circa 900 km/h.
- ✓ Con l'avvicinarsi alla costa, la velocità si riduce in funzione della profondità e naturalmente diminuisce (ad esempio se il fondo è a 100 metri, la velocità diventa 120 km/h) ma il periodo dell'onda rimane costante. La lunghezza dell'onda decresce.
- ✓ Le onde quindi si "impacchettano" dando origine ad una cresta molto elevata, che può raggiungere alcune decine di metri.

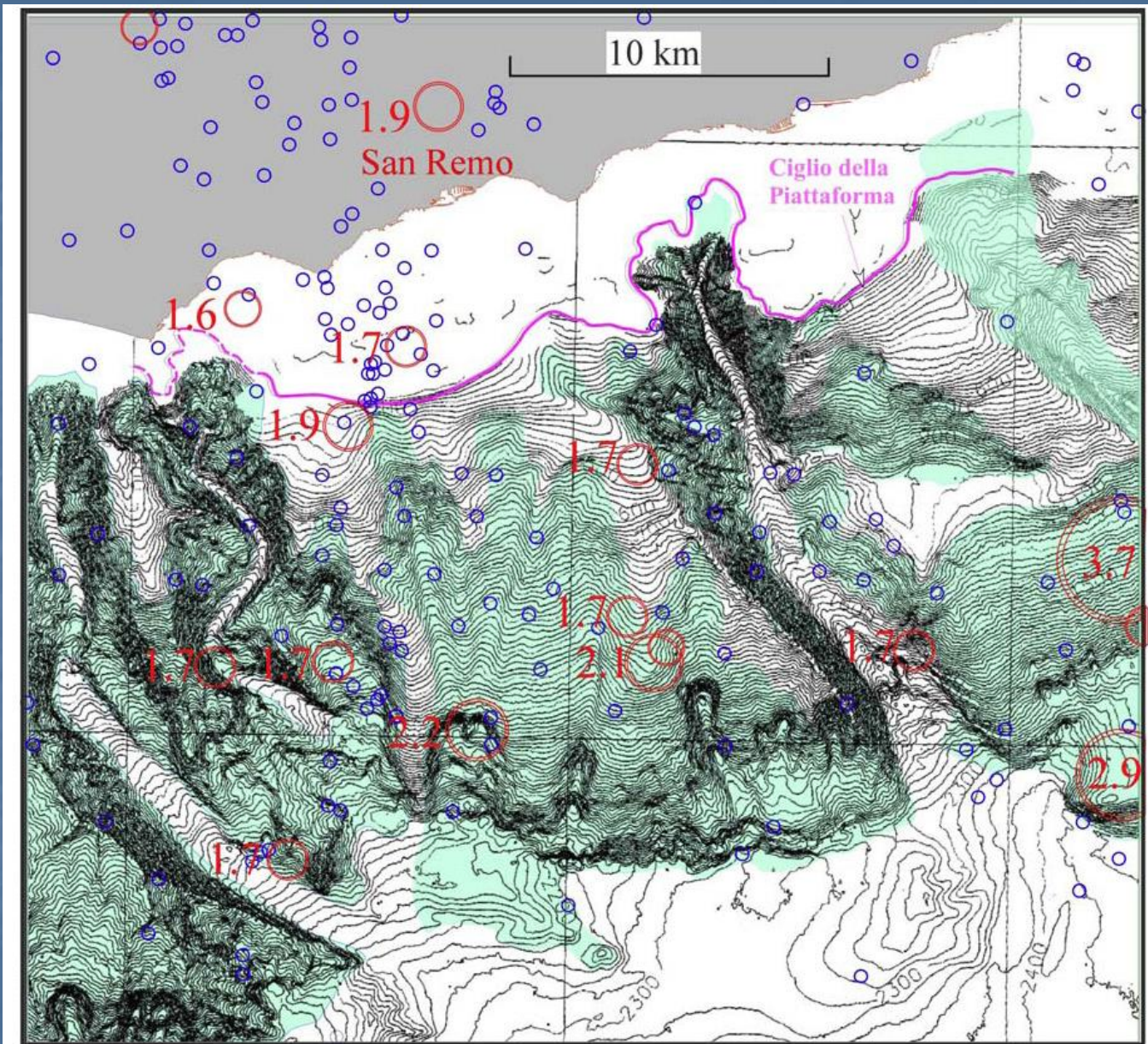


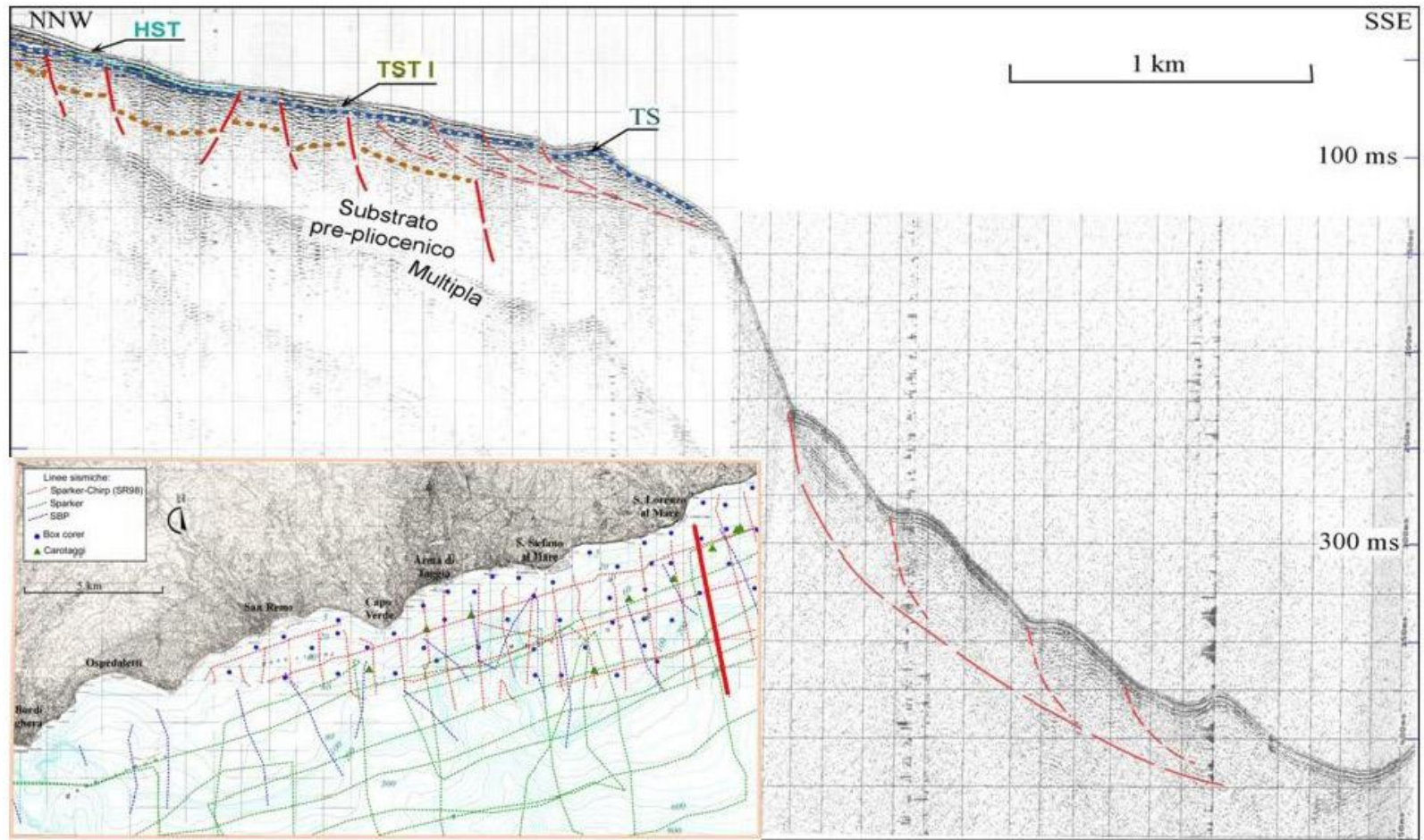
Mappa delle localizzazione degli tsunami in Italia



DATA	CAUSA	INTENSITA' (1-6)	NOTE (Scala di intensità degli tsunami Sieberg-Ambraseys)
1564	Associato a terremoto	Intensità 2	2: Onda leggera notata solo da coloro che hanno familiarità con le onde marine. Si può notare solo su spiagge molto piatte.
1703	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1808	Associato a terremoto	Intensità 2	
1809	Origine sconosciuta	Intensità 2	
1818	Terremoto sottomarino	Intensità 2	3: Onda piuttosto forte, notata da molti. Imbarcazioni leggere vengono allontanati dalla costa. Danni leggeri alle strutture costiere. Negli estuari si può verificare una corrente in risalita.
1828	Associato a terremoto	Intensità 3	
1887	Terremoto sottomarino	Intensità 3	
1888	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1968	Terremoto sottomarino	Intensità 2	
1979	Frana sottomarina	Intensità 3	







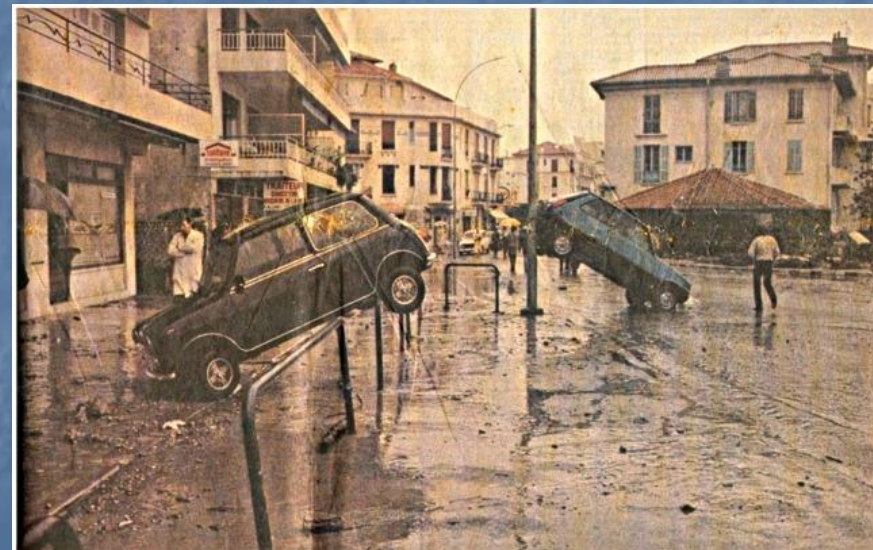
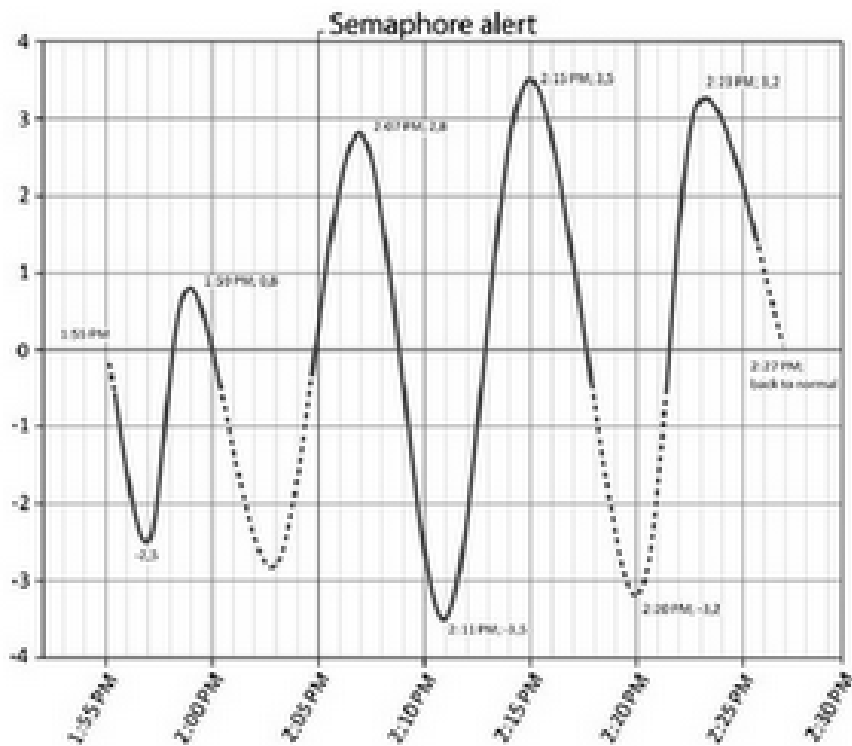
Morelli 2008

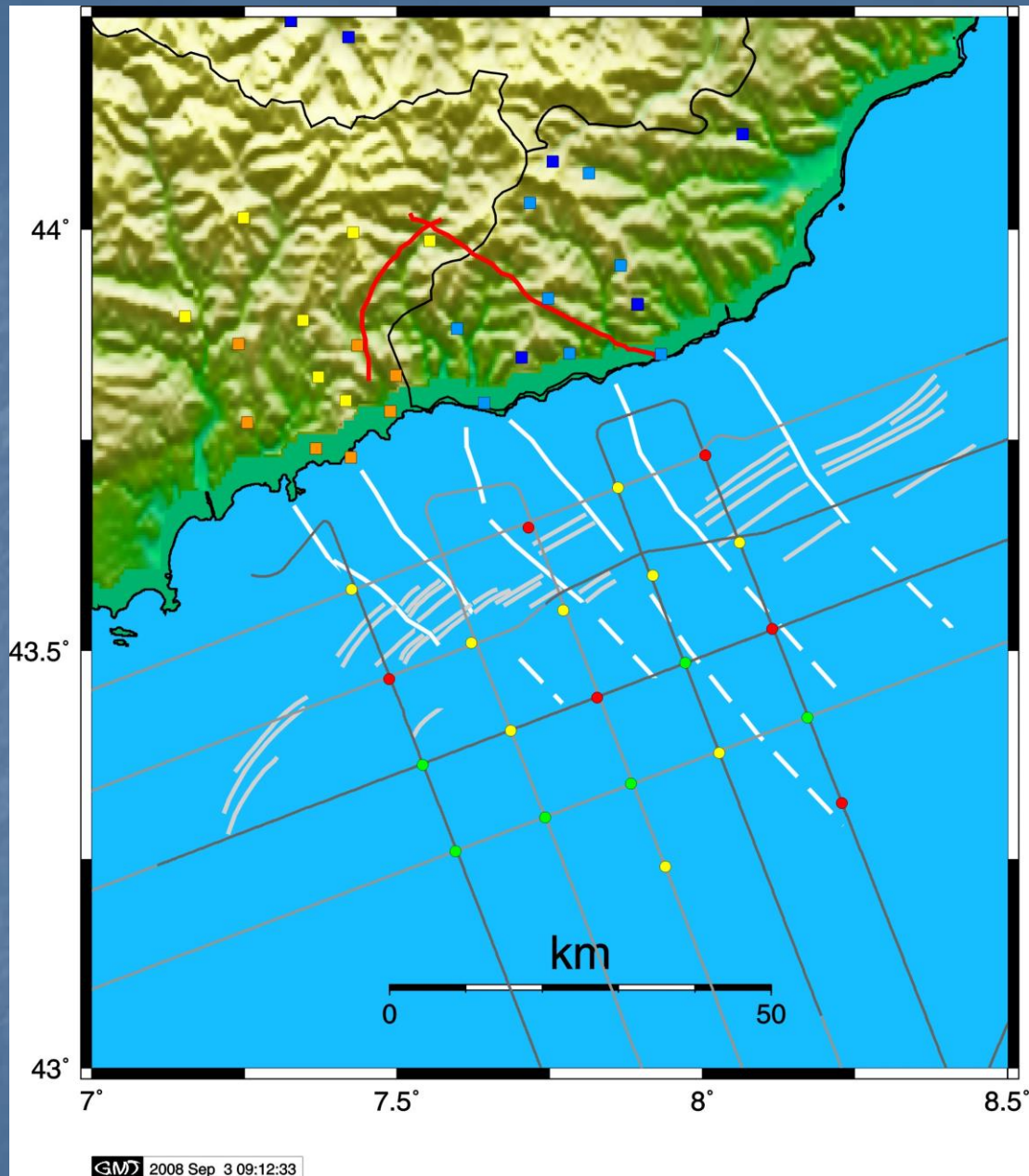


DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS

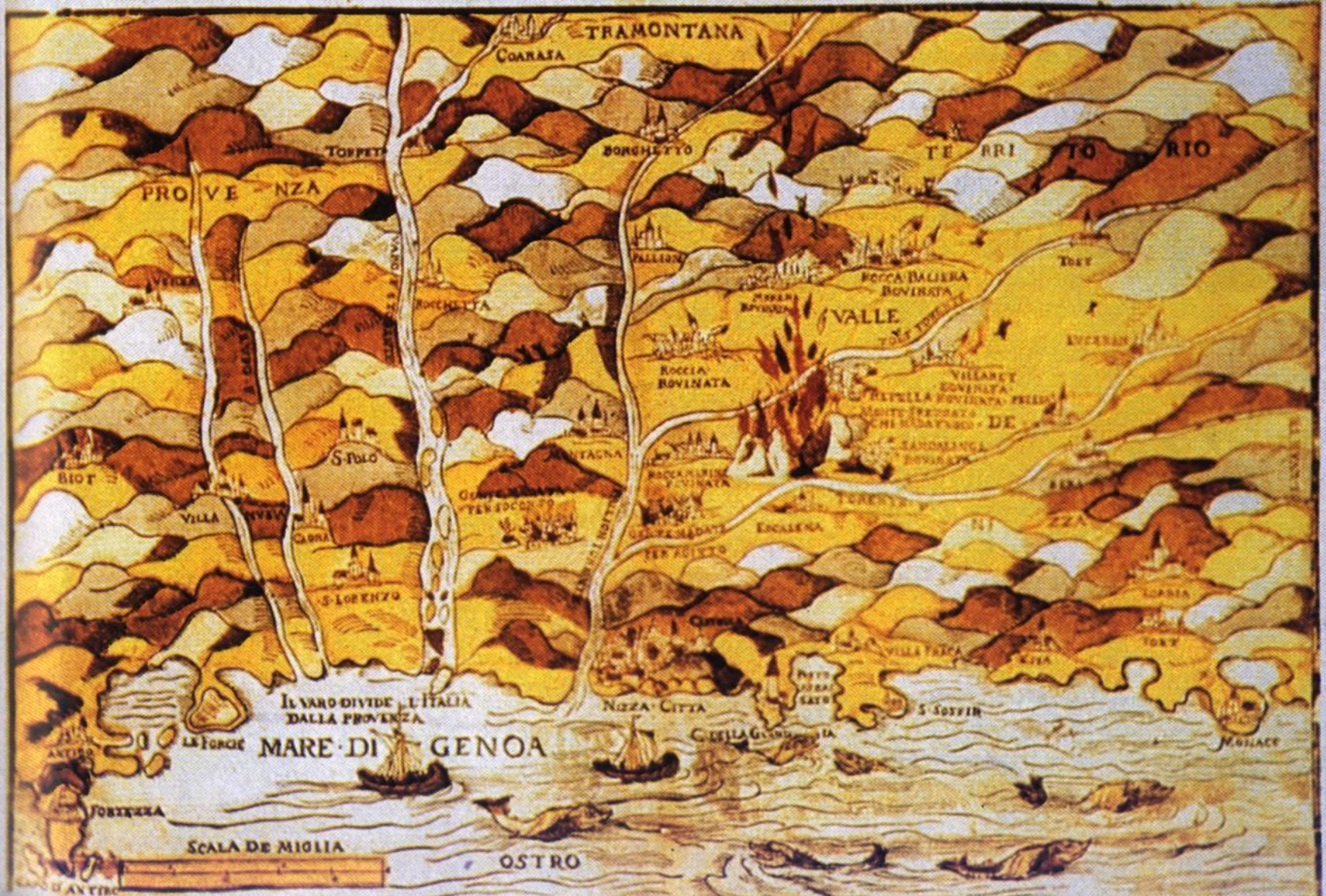


Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia





**Ein ware/ Erschreckliche/ vnd Erbarmliche Neue zentung/ Von den sieben Stetten/ so
 Vort der Allmechtig durch ein vnerpöthen/ Grausamen Erdbiden/ alles in grundt verderbt/ Vnd vil vmb ligende Stett zerstört/ Also wußt
 vnd der gemacht/ Das die menschen sich schühen da zu weinen/ sampt andern erschrecklichen wünderreichen/ Darob sich ein yalichs Christliches hertz mag entsetzen/ in Italia naber
 bey Galliaranca/ vnd Pramonu/ im 1564. jar/ Den 16. Jahr/ geschehen/ wie fur reden velt/ Gendtes aus dem West in das Ostlich gebracht/ vns allen in ewig warnung/ vnd bestrafe/ für gott.**



Cos'è un GIS (Geographic Information System)?

È un insieme organizzato di:

- 1) procedure / metodi matematici
- 2) risorse umane
- 3) risorse materiali: dati e software

utilizzati per:

- raccogliere
- visualizzare
- aggiornare
- condividere
- elaborare

informazioni geografiche
spazialmente distribuite



pianificazione, progettazione, controllo del territorio



3) I dati in ambiente GIS:

- non sono una rappresentazione **puramente geometrica** degli oggetti presenti nella realtà
- ad essi sono associate **informazioni topologiche** (mutue relazioni, quali connessione, adiacenza, inclusione)
- e **attributi** descrittivi degli oggetti

Esempio:

una piscina in CAD: è un rettangolo delimitato da una poligonale
(CAD=Computer Aided Design)

una piscina in GIS: è un rettangolo i cui vertici hanno coordinate reali,
a cui è associata il valore della sua superficie
e i suoi attributi (profondità, nome proprietario, etc)

Limite dei sistemi GIS → reperimento e aggiornamento dei dati



1) Le procedure in ambiente GIS

sono sequenze di comandi che permettono di effettuare:

- analisi qualitative di confronto e sovrapposizione di mappe
 - analisi quantitative dei dati anche non omogenei, anche 3D
 - elaborazioni statistiche
- per creare cartografia tematica
- per osservare e studiare i processi che coinvolgono e modificano il territorio e l'ambiente
- sistema di supporto alle decisioni



1) Le procedure in ambiente GIS

sono sequenze di comandi che permettono di effettuare:

- analisi qualitative di confronto e sovrapposizione di mappe
 - analisi quantitative dei dati anche non omogenei, anche 3D
 - elaborazioni statistiche
- per creare cartografia tematica
- per osservare e studiare i processi che coinvolgono e modificano il territorio e l'ambiente
- sistema di supporto alle decisioni

2) La risorsa umana anche in ambiente GIS è fondamentale

- per costruire procedure adeguate ad analizzare il fenomeno in studio
- per valutare bontà e accuratezza dei risultati ottenuti



Disegniamo le mappe di rischio

Dal punto di vista matematico, il rischio viene calcolato come:

$$R = H \times E \times V$$

dove:

- **H è la pericolosità**, ossia la probabilità che un evento calamitoso di una certa intensità vada ad interessare una data regione spaziale in una data finestra temporale;
- **E** è un'opportuna grandezza indicativa degli **elementi a rischio**, tutti quei beni (e.g. popolazione, proprietà, attività produttive) presenti in una determinata area e quindi potenzialmente interessati dal fenomeno;
- **V è la vulnerabilità**, ossia il grado atteso di perdita degli elementi esposti, provocato dal verificarsi di un fenomeno calamitoso di intensità nota.



Disegniamo le mappe di pericolosità



Modellazione idraulica dell'onda tsunami dal largo verso riva

Approssimazioni → onda tsunami = onda solitaria

- Onda rettangolare identificata dalla prima cresta
- La prima onda è la più distruttiva
- Il fronte d'onda è localmente parallelo alla costa
- Assenza dell'influenza di baie e stretti nell'incrementazione dell'altezza d'onda

Tsunami causato dal terremoto del 23 febbraio 1887:

- profondità del mare in prossimità della faglia (al largo): $h_0 = 2000 \text{ m}$
- altezza d'onda al largo: $H_0 = 0.10 - 0.50 \text{ m}$
(funzione dello scorrimento verticale della faglia)
- profondità del mare a riva: $h = 3 \text{ m}$

Processo di shoaling

$$\longrightarrow H = H_0 \left(\frac{h_0}{h} \right)^{\frac{1}{4}} \longrightarrow$$

$H = 0.5 \text{ m}$	→ evento debole
$H = 1.5 \text{ m}$	→ evento intenso
$H = 2.5 \text{ m}$	→ evento estremo



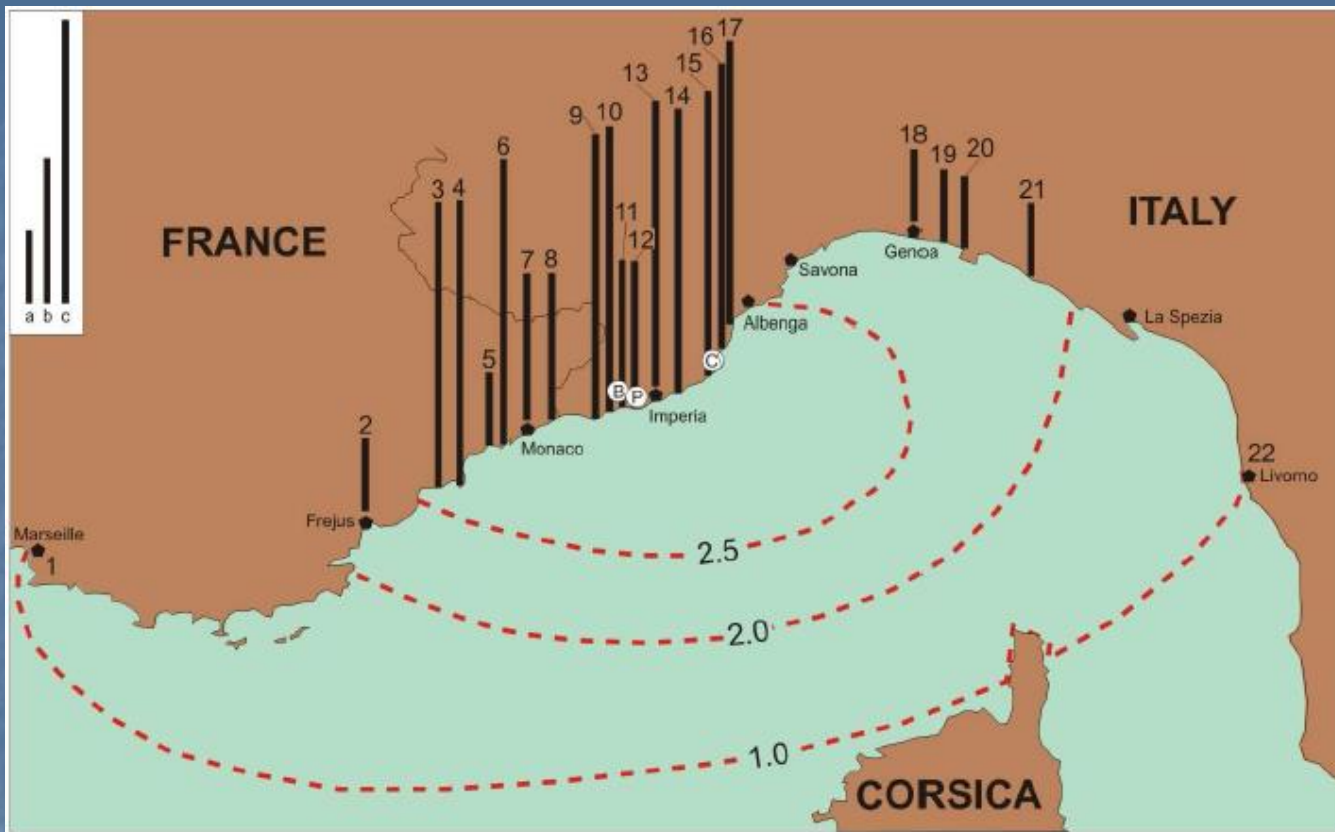


Figure 5. Consequences of the February 23, 1887 earthquake observed along the coast from Marseille (France) to Livorno (Italy). The red dotted lines correspond to the distribution of the intensity of the tsunami [intensity scale from Sieberg (1923) modified by Ambraseys (1962), compilation by A. Laurenti]. The black bars are local runup observations : $0 < a < 0.5$ m; $0.5 < b < 1$ m; $1 < c < 2$ m. Locations: 1, Marseille; 2, Fréjus; 3, Cannes; 4, Antibes; 5, Nice; 6, St

Modellazione idraulica dell'onda tsunami sulla terraferma

La metodologia sviluppata si compone di due fasi successive:

- 1) la **determinazione del run-up**, ossia la massima risalita verticale dell'onda rispetto alla riva
- 2) la **valutazione dell'area inondabile**

Approssimazioni

- 1) tutta l'energia dell'onda incidente la costa si trasforma istantaneamente in energia potenziale;
- 2) la perdita di energia che la massa d'onda subisce durante la propagazione sulla costa è trascurabile



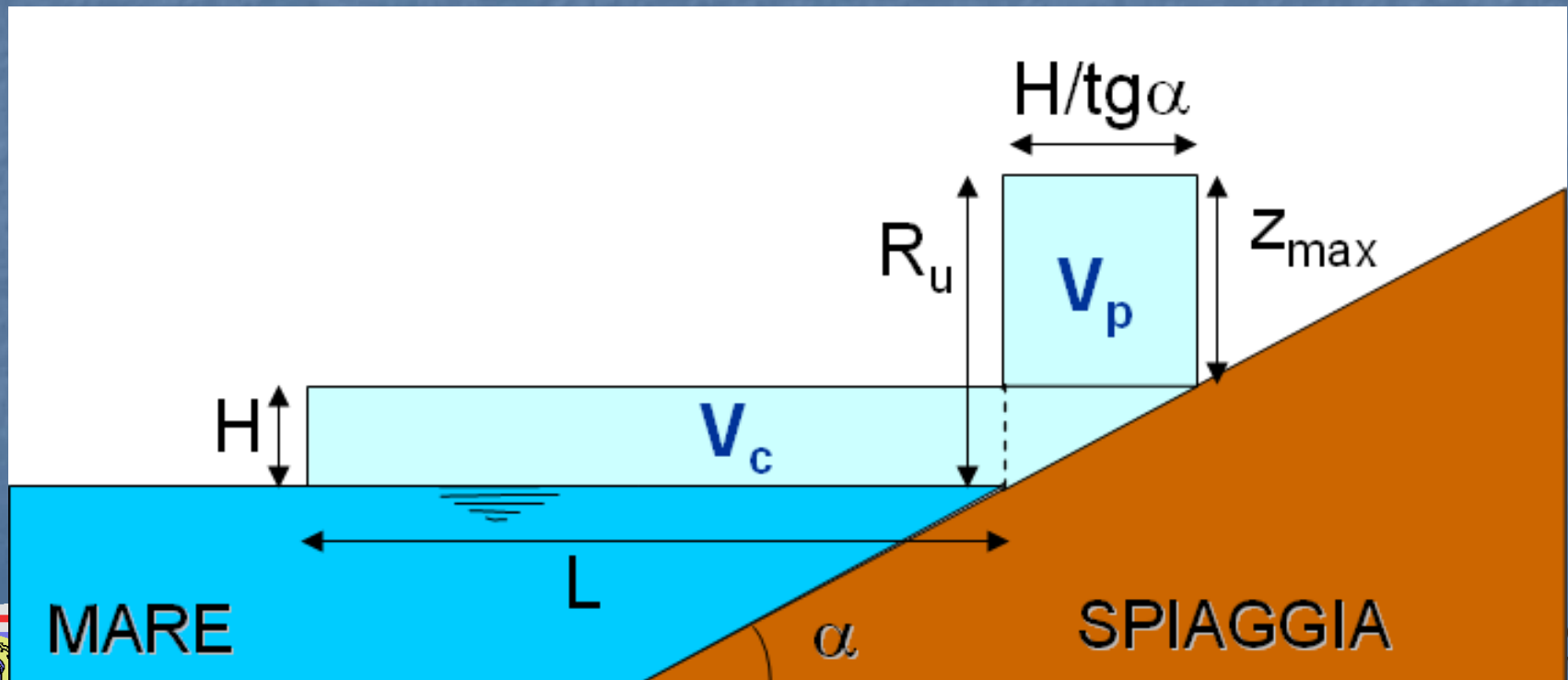
1) Determinazione del Run-up R_u

attraverso la conservazione dell'energia $\rightarrow rgV_cH_c = rgV_pH_p$

$$R_u = H + z_{\max}$$

dove: H è l'altezza d'onda a riva \rightarrow processo di shoaling

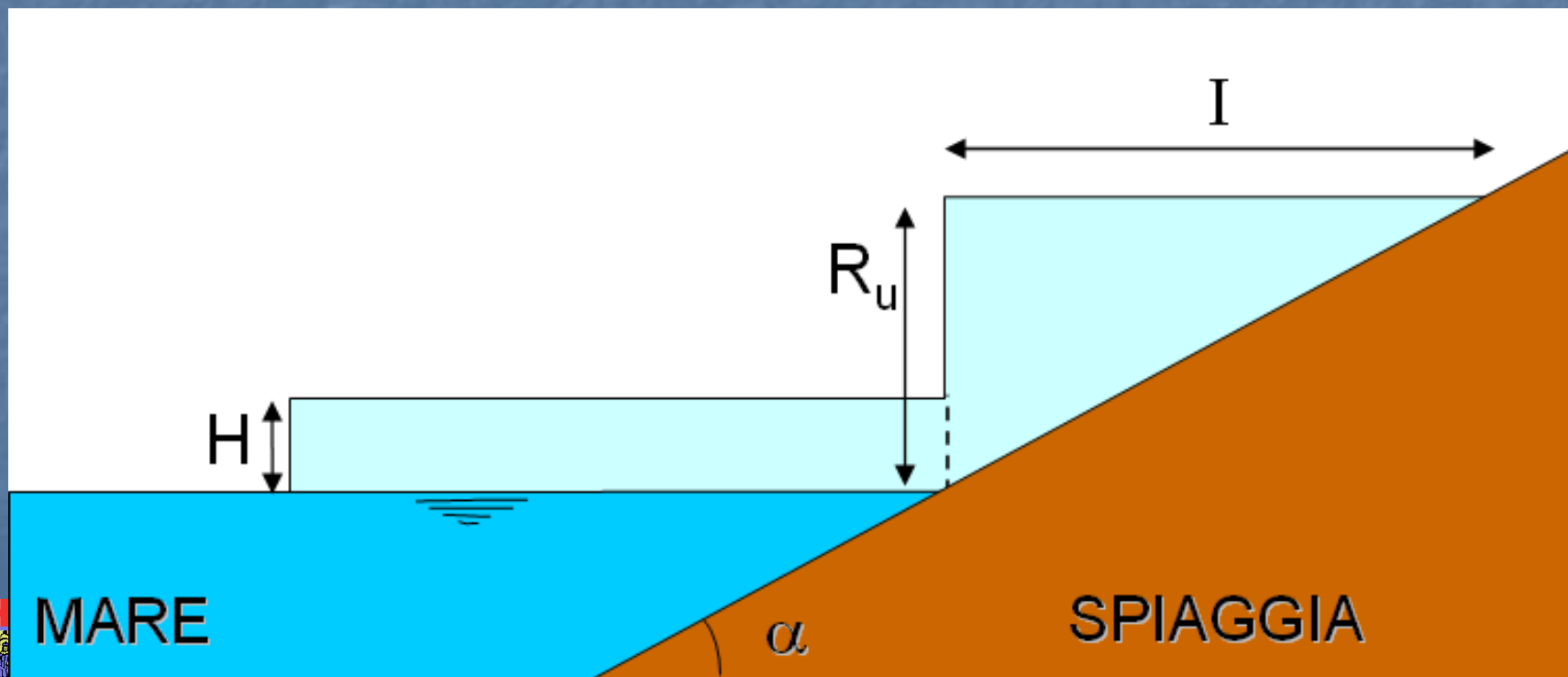
z_{\max} il massimo sopralzo raggiunto dall'acqua rispetto all'altezza d'onda $\rightarrow = f(H, h, U, L, \text{tg } \alpha)$

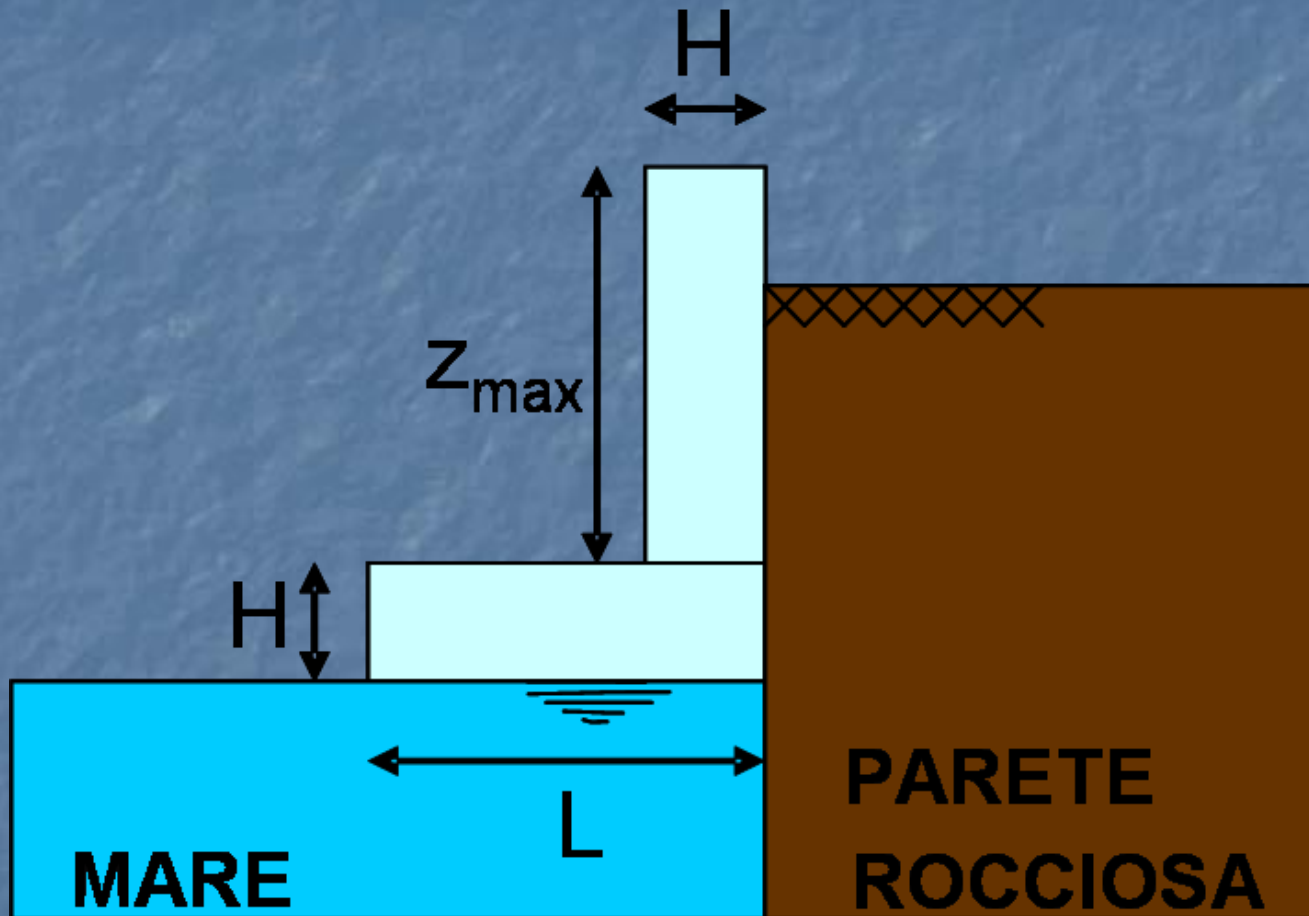


2) Determinazione dell'inondazione

propagazione a pelo libero orizzontale $\rightarrow I = \varepsilon R_u - e_{DTM}$

coefficiente di scabrezza funzione degli ostacoli
che l'onda incontra nella propagazione sulla terraferma



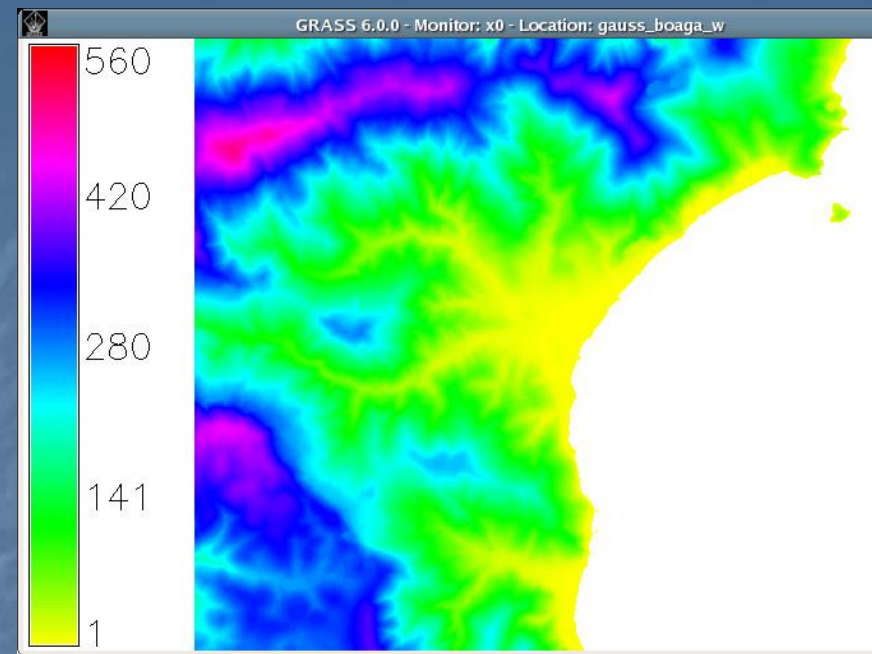


Dati

- ✓ Altezza d'onda a riva
- ✓ Linea di costa
- ✓ Modello Digitale del Terreno (DTM)
- ✓ Carta Uso del Suolo

Procedura GIS

- ✓ Calcolo della **mappa delle pendenze**
- ✓ Associazione alla linea di costa della pendenza media caratteristica
- ✓ Calcolo della **mappa del run-up**
- ✓ Costruzione della **mappa delle scabrezze**
(attraverso riclassificazione della mappa uso del suolo)
- ✓ Calcolo della **mappa di pericolosità**

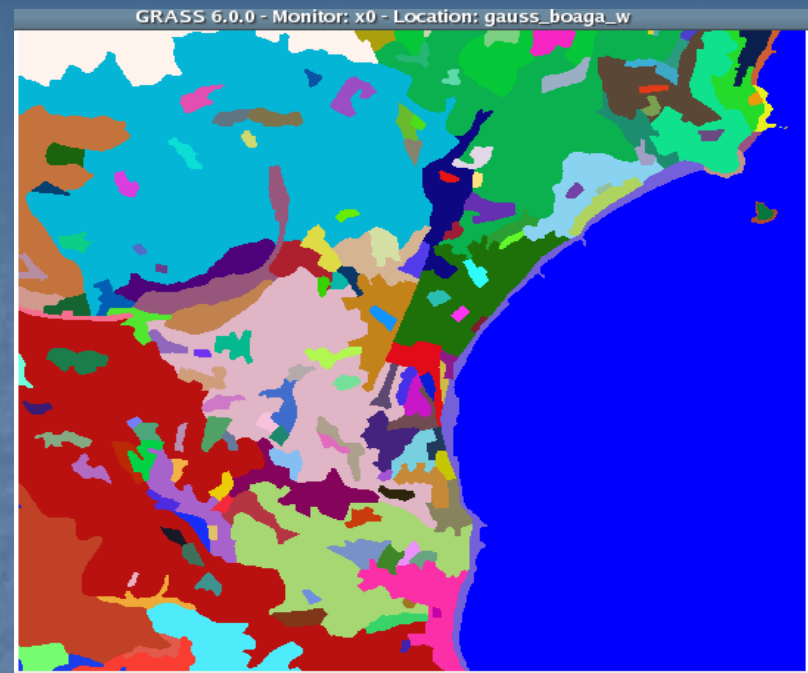


Dati

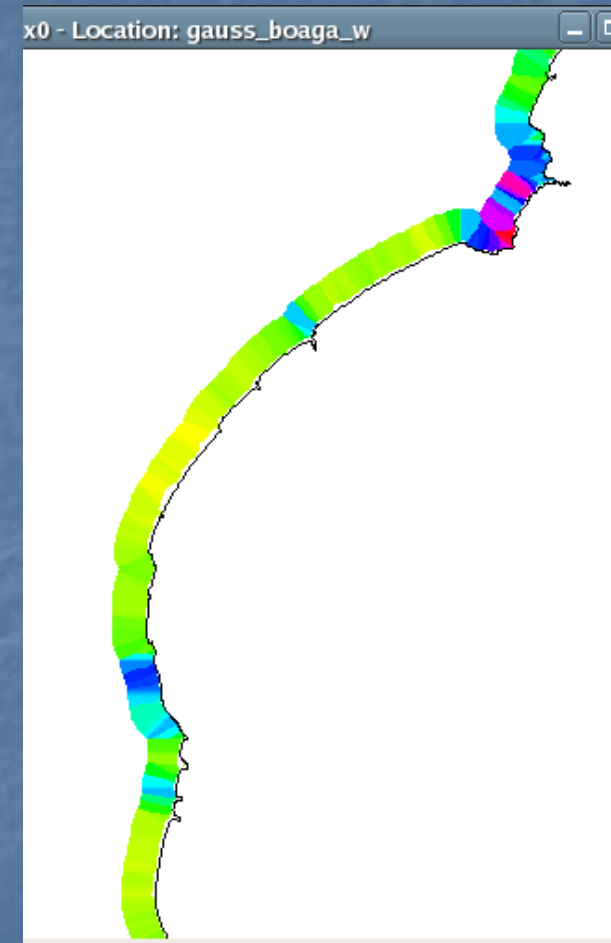
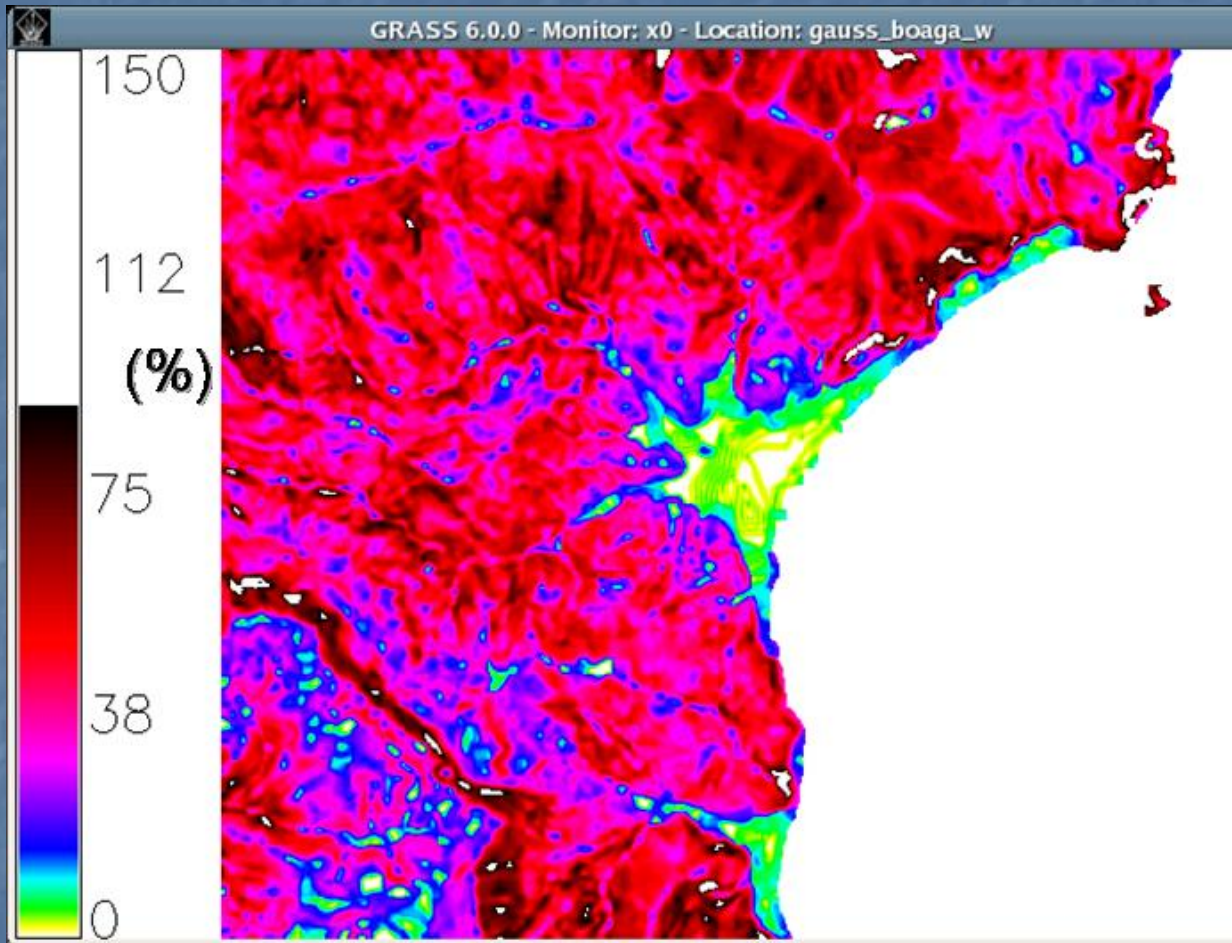
- ✓ Altezza d'onda a riva
- ✓ Linea di costa
- ✓ Modello Digitale del Terreno (DTM)
- ✓ Carta Uso del Suolo

Procedura GIS

- ✓ Calcolo della **mappa delle pendenze**
- ✓ Associazione alla linea di costa della pendenza media caratteristica
- ✓ Calcolo della **mappa del run-up**
- ✓ Costruzione della **mappa delle scabrezze**
(attraverso riclassificazione della mappa uso del suolo)
- ✓ Calcolo della **mappa di pericolosità**

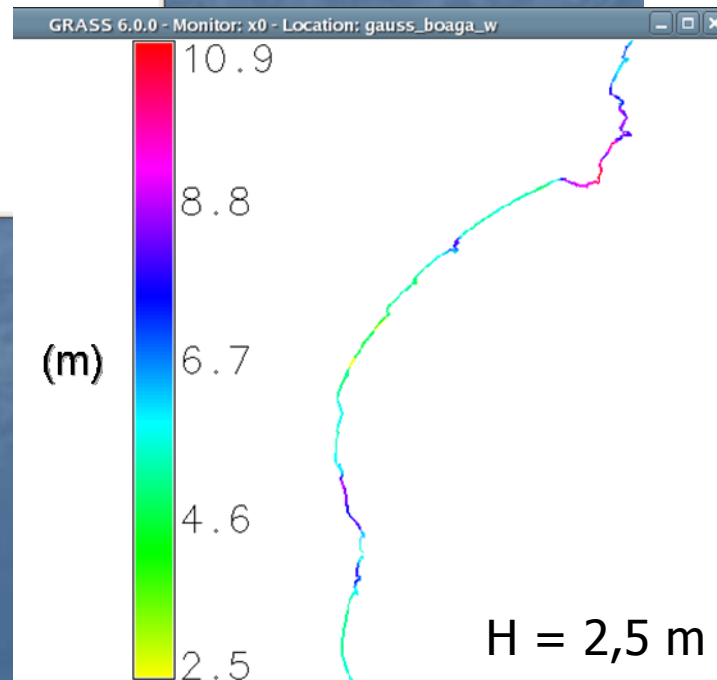
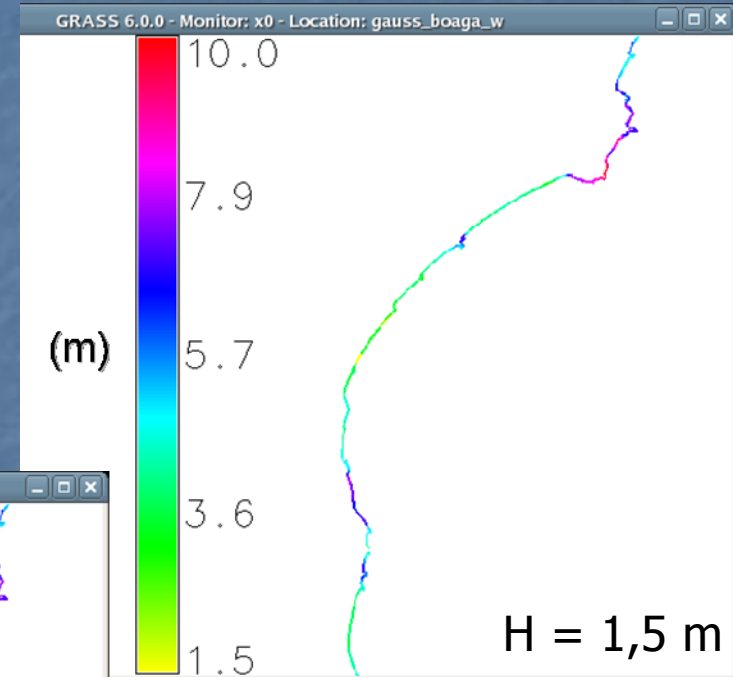
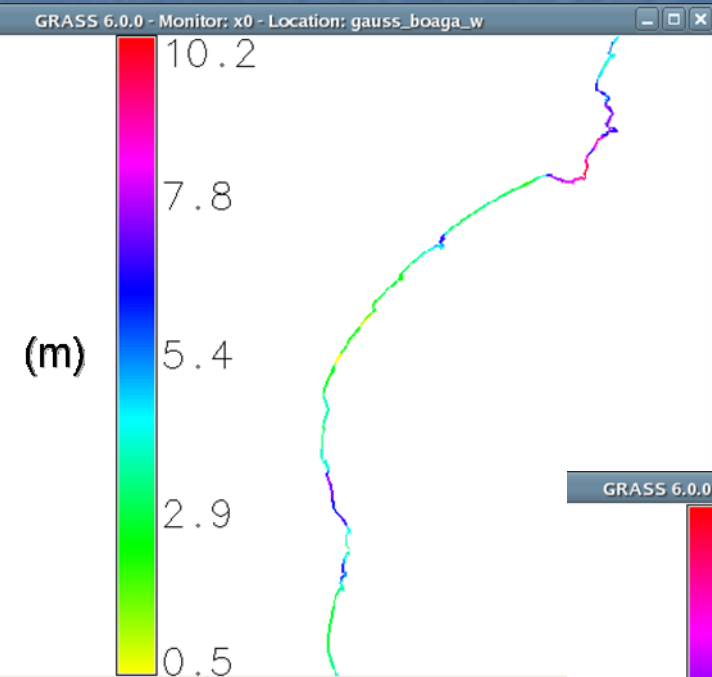


Mappa delle pendenze



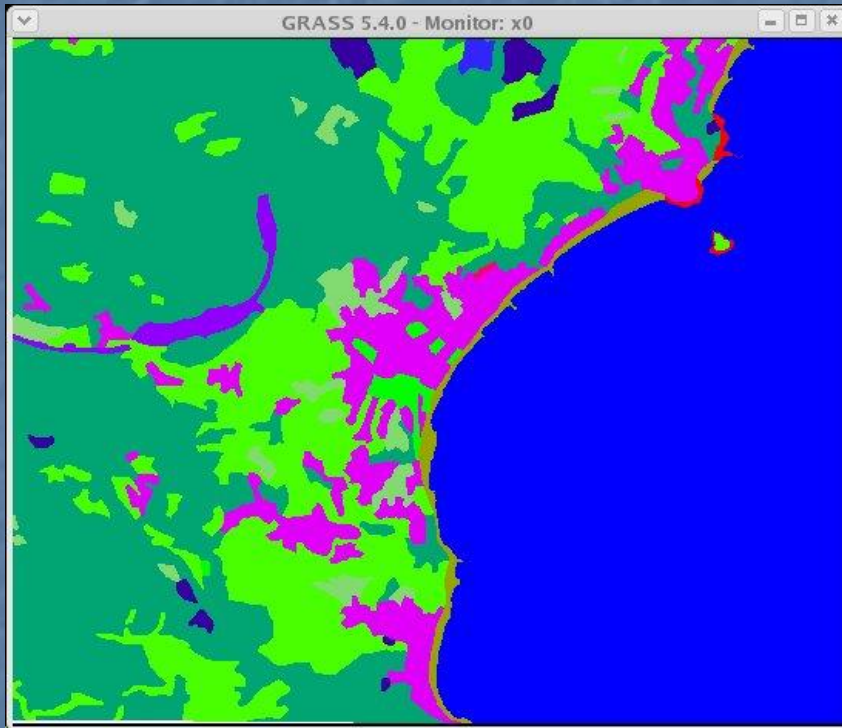
Mappa del run-up R_u

$$R_u = H + z_{\max}$$



Mappa delle scabrezze ϵ

Vuole rappresentare al meglio il fatto che gli eventuali ostacoli presenti nel territorio (edifici, alberi, etc...) sono in grado di rallentare l'onda



	Vegetazione alta	0.7
	Vegetazione media	0.8
	Vegetazione bassa	1
	Aree insediate	0.8
	Aree verdi urbane	0.9
	Aree industriali e/o commerciali	0.8
	Spiagge	1
	Coste rocciose	1
	Rocce	1
	Discarica	0.9
	Reti autostradali e ferroviarie	0.9
	Mare	1

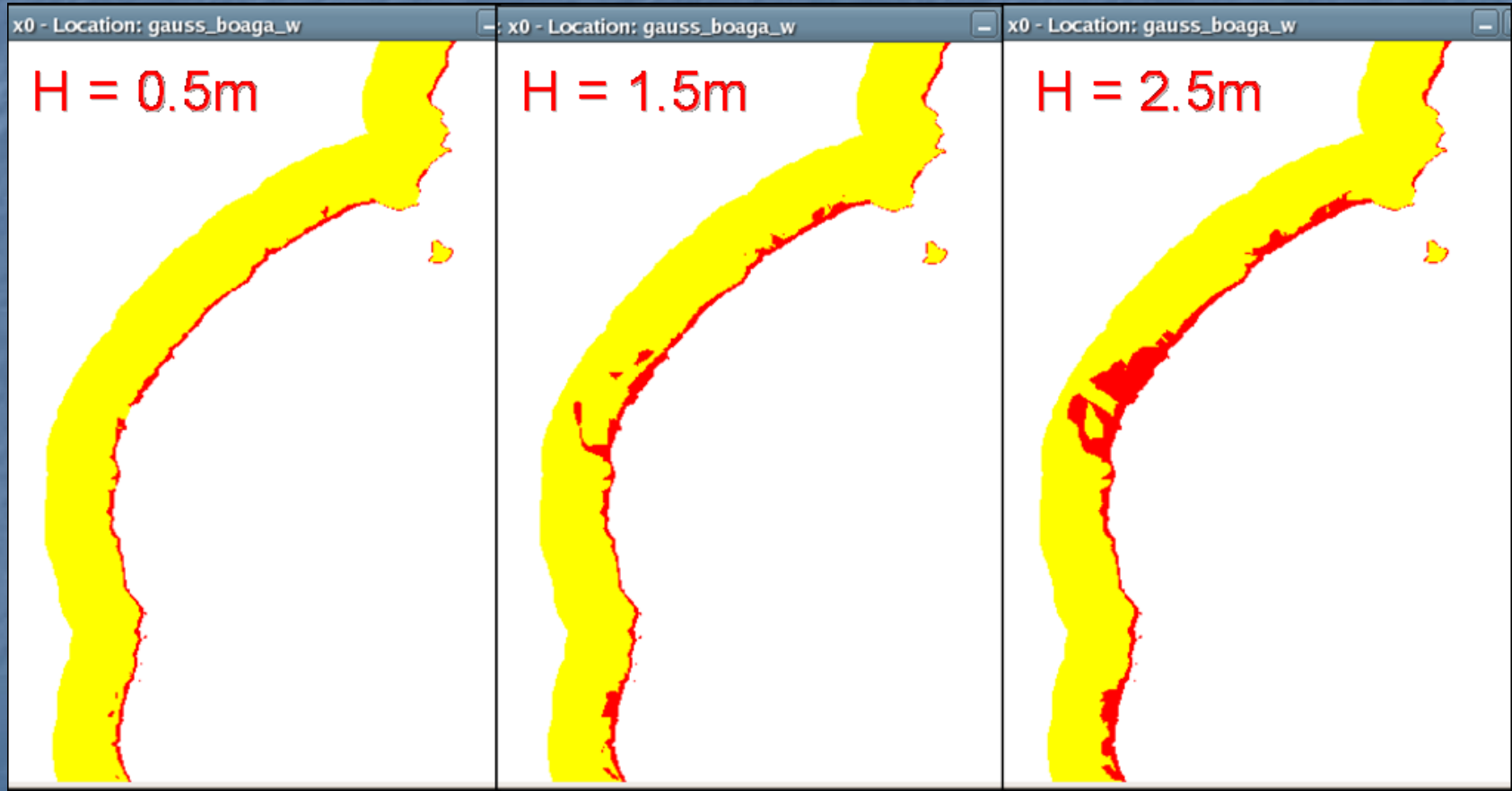


Mappa di potenziale inondazione ossia mappa di pericolosità

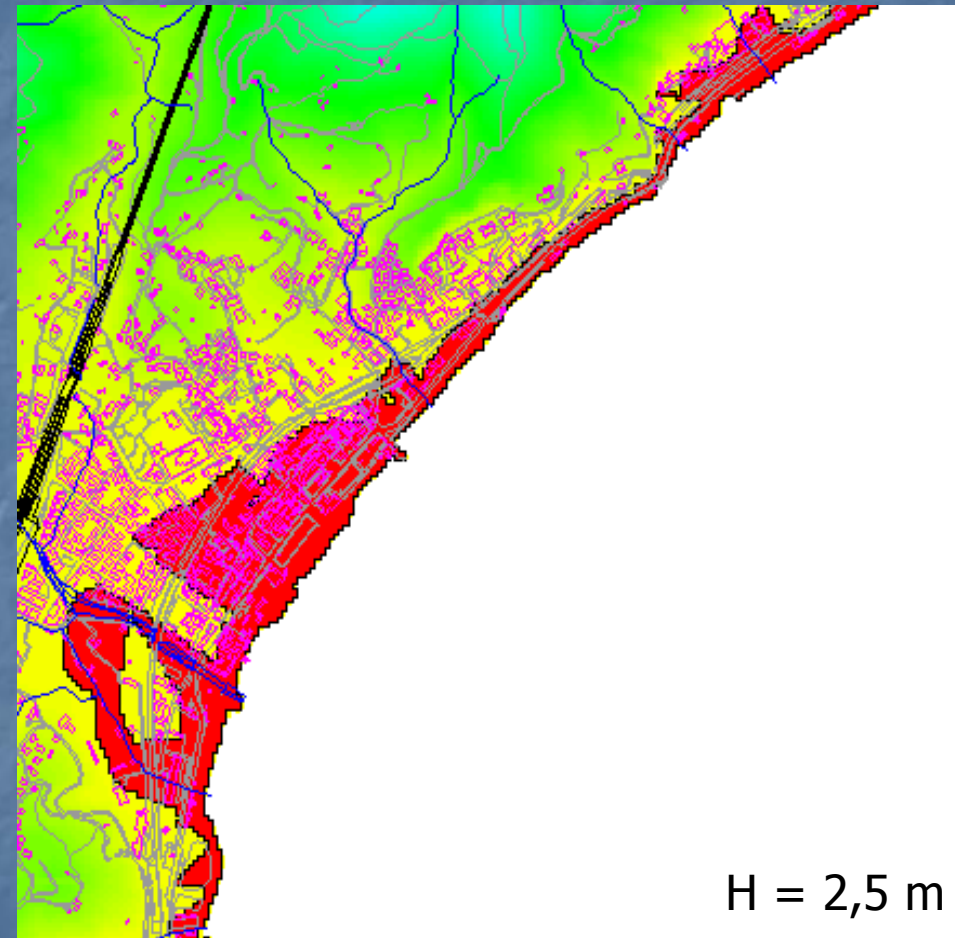
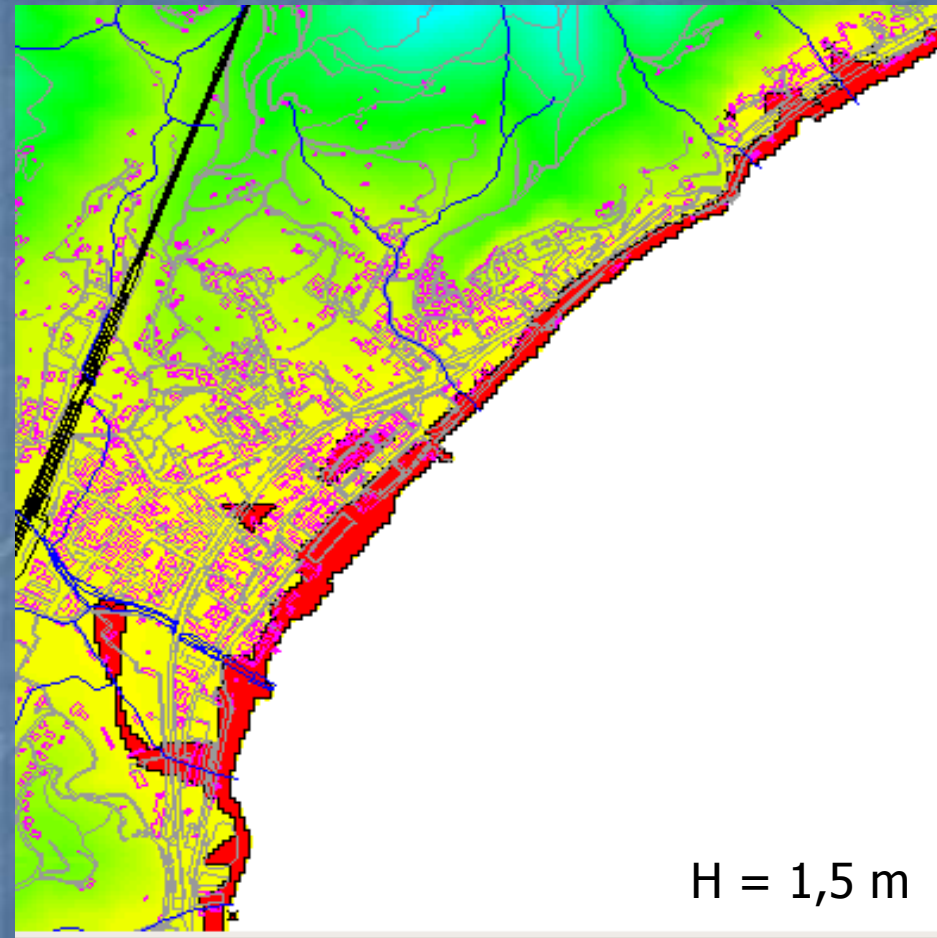
$$I = \varepsilon R_u - e_{DTM}$$

Se $I > 0$ → **pixel inondato**

Se $I < 0$ → **pixel non inondato**



Mappa di potenziale inondazione ossia mappa di pericolosità



Navigazione della piattaforma GIS



DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Le mappe di rischio

Dal punto di vista matematico, il rischio viene calcolato come:

$$R = H \times E \times V$$

dove:

- **H è la pericolosità**, ossia la probabilità che un evento calamitoso di una certa intensità vada ad interessare una data regione spaziale in una data finestra temporale;
- **E** è un'opportuna grandezza indicativa degli **elementi a rischio**, tutti quei beni (e.g. popolazione, proprietà, attività produttive) presenti in una determinata area e quindi potenzialmente interessati dal fenomeno;
- **V è la vulnerabilità**, ossia il grado atteso di perdita degli elementi esposti, provocato dal verificarsi di un fenomeno calamitoso di intensità nota.

**Il Rischio dipende anche dagli elementi esposti
e dalla loro vulnerabilità
per cui in Liguria varia fortemente in funzione della stagione**



Calcolo delle aree interessate

Nell'area test:

Sup. Inondata (m²)	Spiagge	Strade	Edifici
<i>H=0.5m</i>	78,000	22,000	10,000
<i>H=1.5m</i>	100,000	61,000	36,000
<i>H=2.5m</i>	111,000	135,000	109,000

Tabella 3. Superficie inondata per uso del suolo.



Stima delle perdite economiche

Da una ricerca sul territorio, si è valutato come:

- il 25% della superficie totale delle aree demaniali marittime è occupata nella stagione estiva da attrezzature "fisse" (cabine e bar-ristoranti);
- per tali aree si è stimata in media la presenza di una cabina ogni 7 m²;
- per le superfici non occupate da attrezzature "fisse" si è stimato mediamente un set di attrezzatura "mobile" (ombrellone+sdraio+lettino) in numero pari al numero di cabine più il 10%;
- i clienti presenti in uno stabilimento balneare nel periodo più affollato, si è stimato essere pari a 4-5 volte il numero delle cabine.

	N° cabine	N° set attrezzatura "mobile"	Max n° clienti coinvolti
$H=0.5m$	2,800	3,000	12,500
$H=1.5m$	3,550	3,900	16,000
$H=2.5m$	3,950	4,350	18,000

Tabella 4. Strutture e persone coinvolte sulle spiagge, per differenti altezze d'onda a riva.

Stima delle perdite economiche

...per quantificare

	Cabine [€]	Set attrezzatura “mobile” [€]
$H=0.5m$	2,800,000	1,150,000
$H=1.5m$	3,550,000	1,500,000
$H=2.5m$	3,950,000	1,650,000

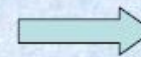
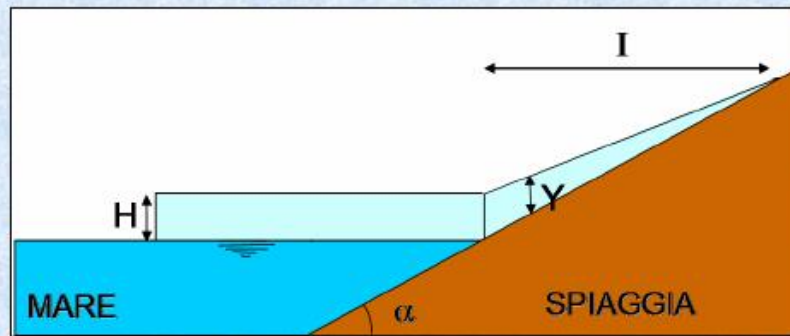
Tabella 5. Quantificazione economica del possibile danno a cabine e strutture mobili degli stabilimenti balneari.

Avendo ipotizzato un costo orientativo di 1000 € per cabina e 380 € per un set “ombrellone+sdraio+lettino

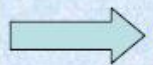


Prima valutazione dell'impatto sugli edifici

hp 3: propagazione sulla terraferma come onda di traslazione
il cui tirante diminuisce linearmente
ortogonale alla linea di costa

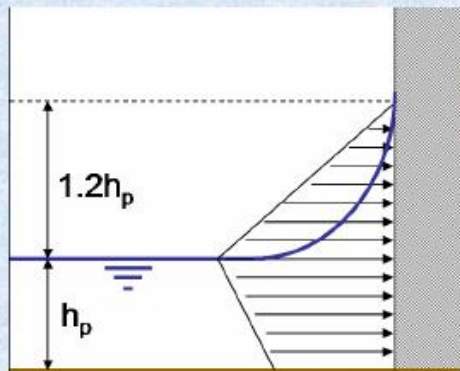


Codice ad hoc
in linguaggio Fortran



Tirante d'acqua nell'area inondata

hp 4: spinta sugli edifici valutata come somma di
componente statica e dinamica:



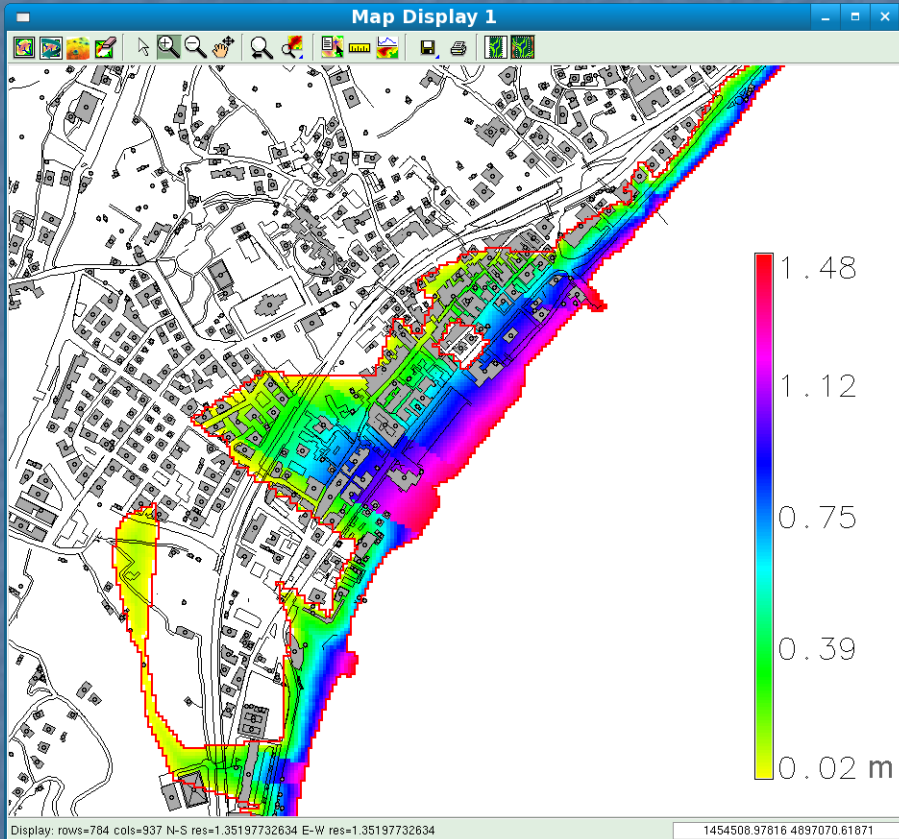
$$F = F_s + F_d$$

$$\text{dove: } F_s = [\rho g (2.2h_p)^2 / 2]$$

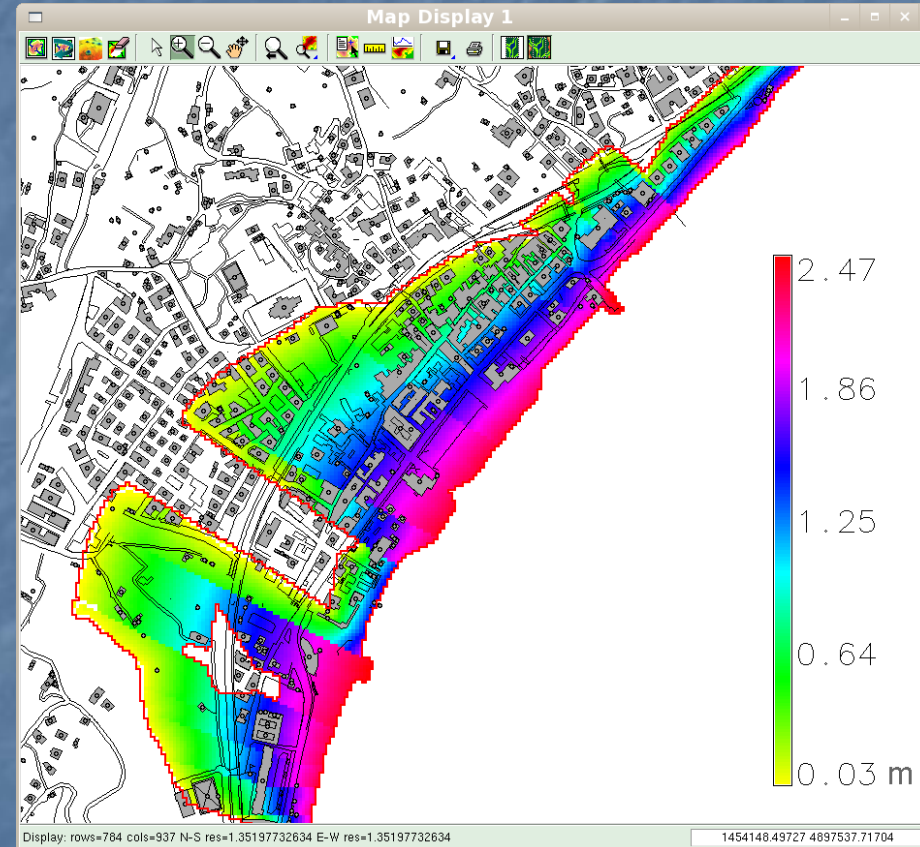
$$F_d = [\rho g (1.6h_p)(2.2h_p) / 2]$$

[Homma e Horikawa, 1964]

Tirante d'acqua per $H = 1,5$ m

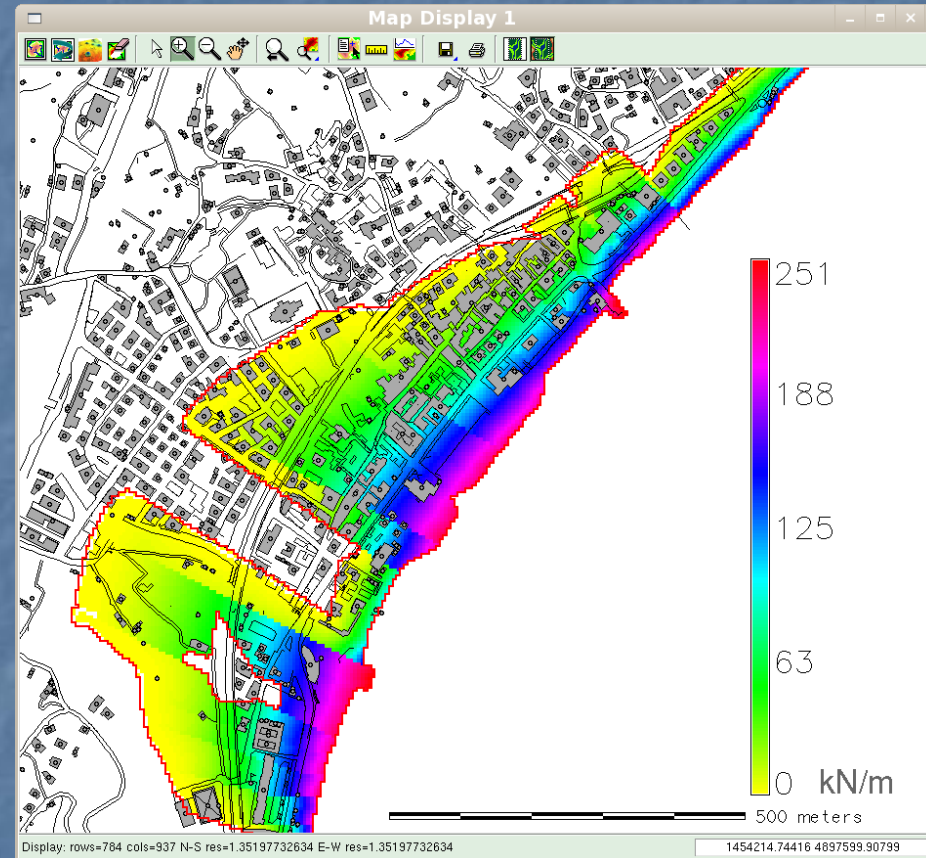
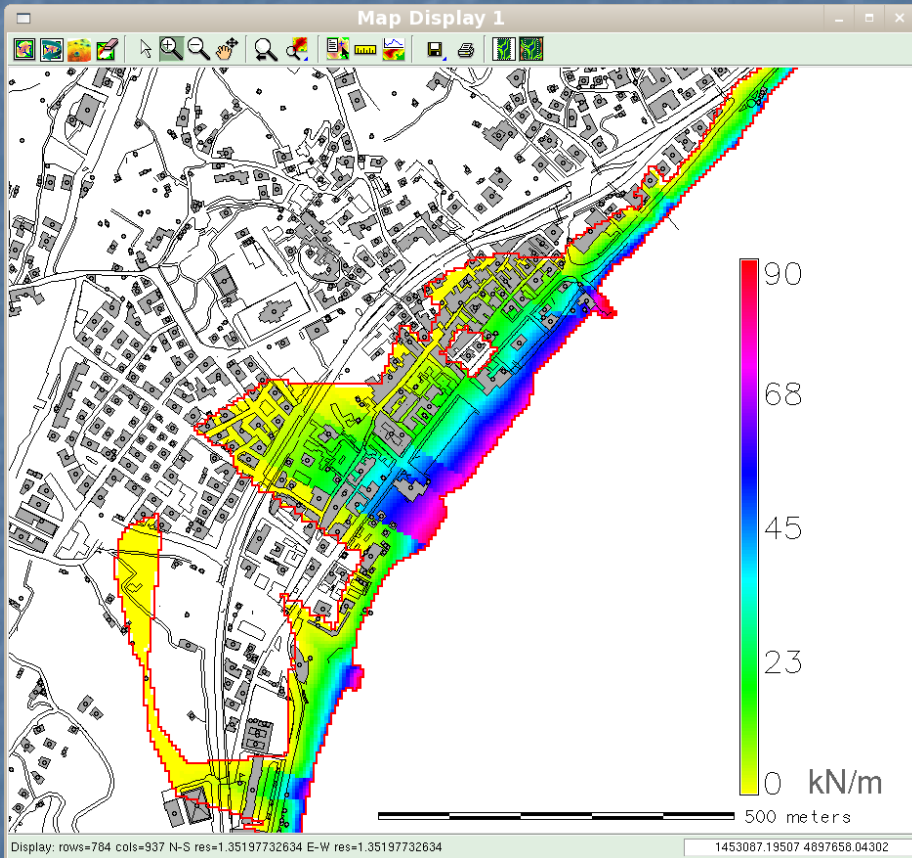


Tirante d'acqua per $H = 2,5$ m



Spinta per $H = 1,5 \text{ m}$

Spinta per $H = 2,5 \text{ m}$



Conclusioni (1/2)

La probabilità di occorrenza di un maremoto in Liguria non è irrilevante

Le dimensioni dell'onda attese sono di un paio di metri

Le aree più colpite sono le zone costiere fino a 500 m dalla linea di costa e gli estuari dei fiumi

Il rischio è aggravato dal fatto che le condizioni di esposto hanno variabilità stagionale

La tipologia dei costruiti e le spinte a cui verrebbero soggette non fanno prevedere danni strutturali



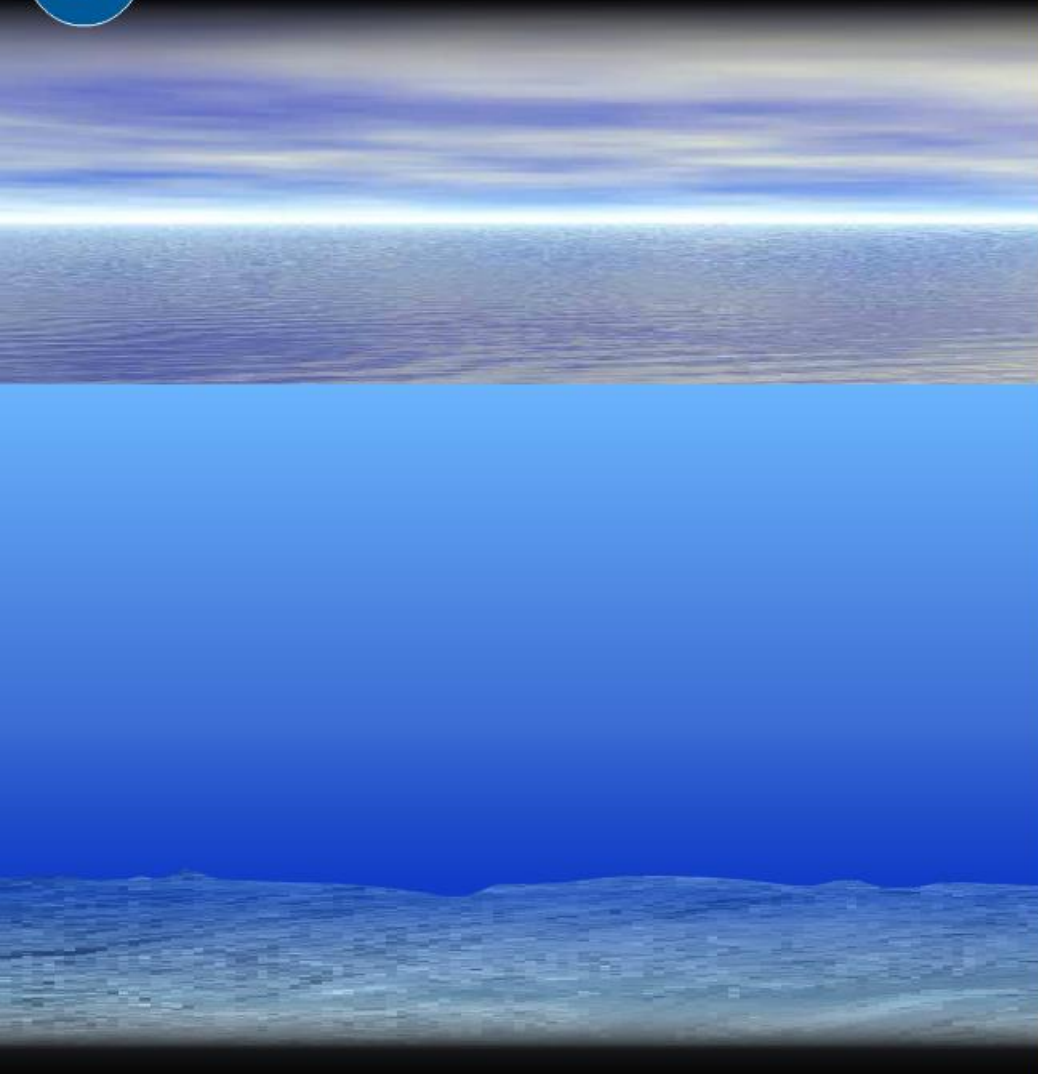
Possiamo/dobbiamo fare qualcosa?



DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia



D.A.R.T. II

Deep ocean
Assessment and
Reporting of
Tsunamis

Tsunami Warning Centers

Trigger Mode

Request Mode



WCATWC (AK)

PTWC (HI)

PMEL (WA)

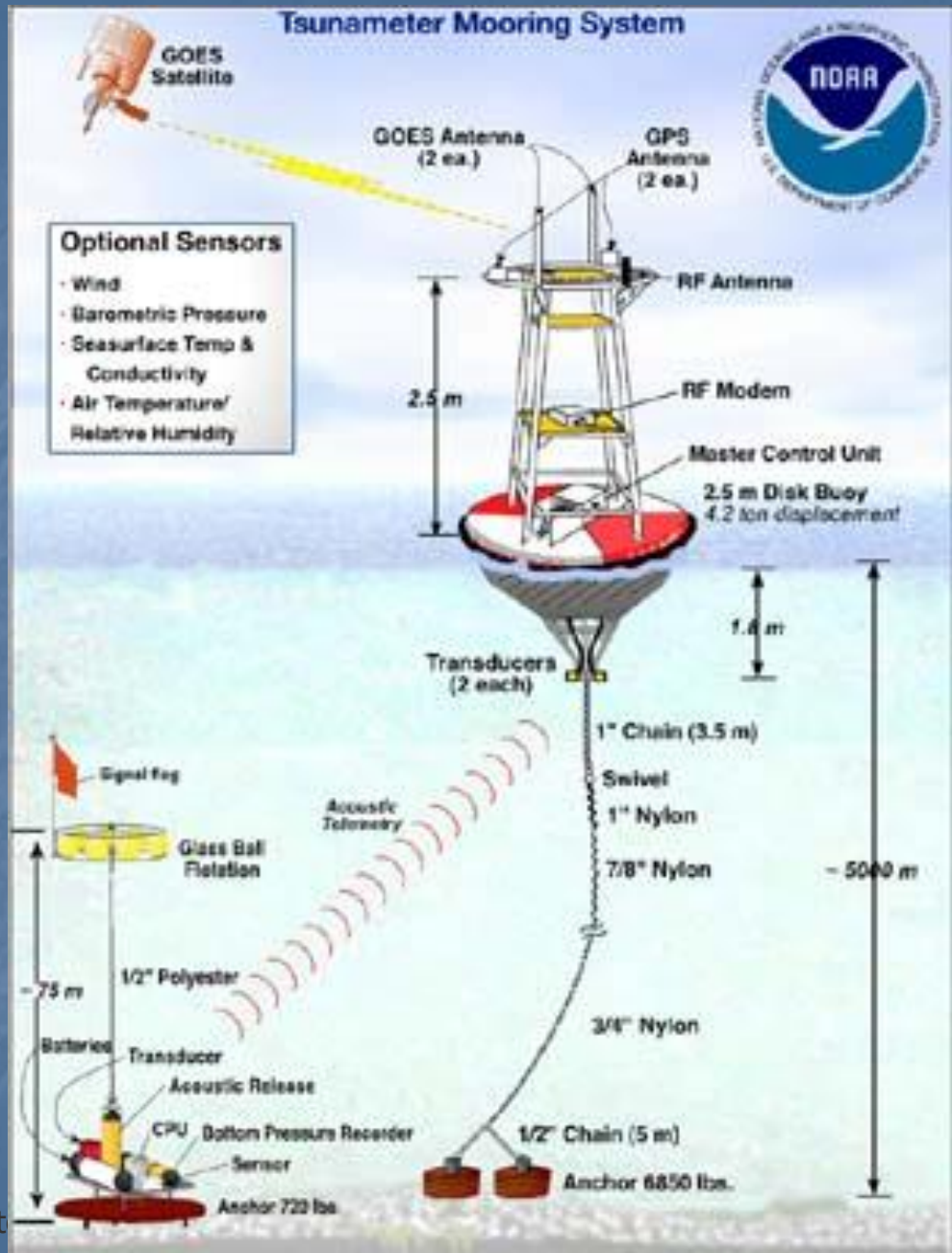
NDBC (MS)

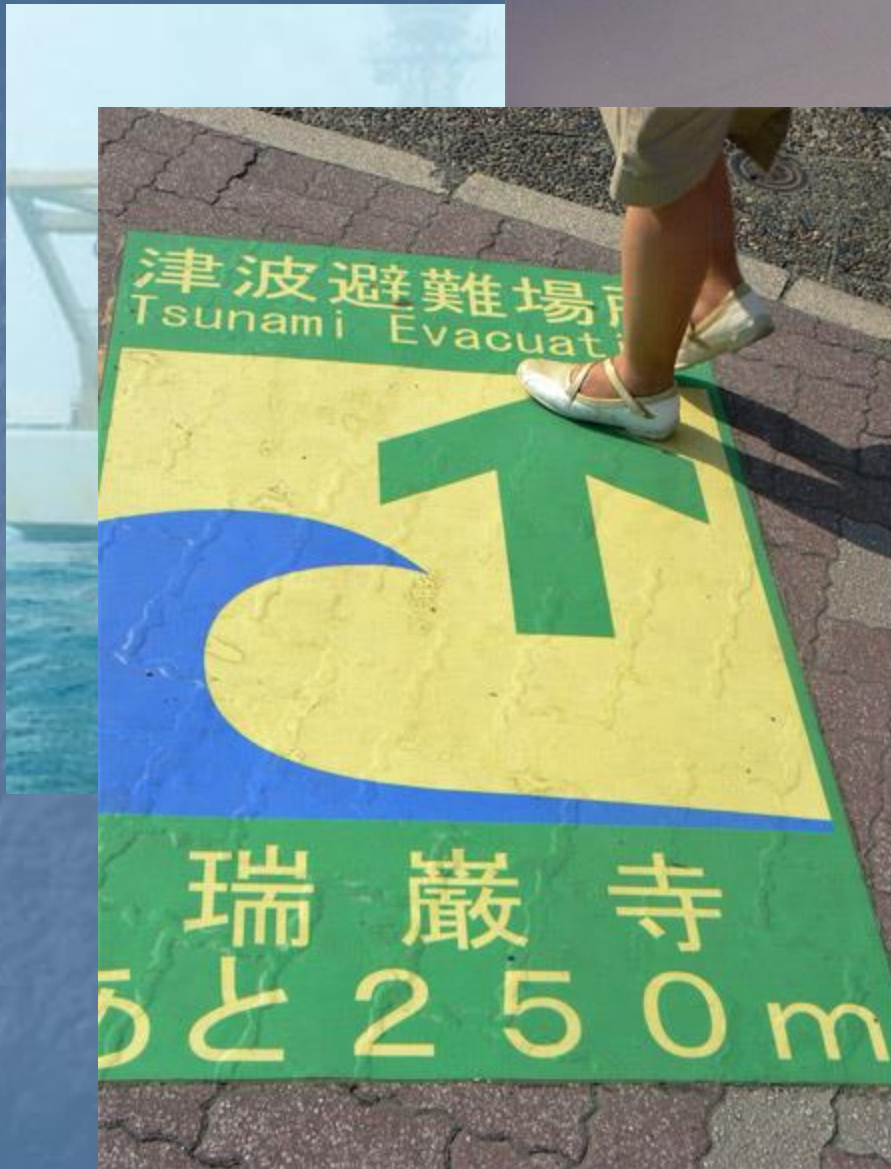


DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia





Conclusioni (2/2)

La costruzione di una protezione fisica è improponibile, per motivi ambientali, economici e non necessaria viste le caratteristiche delle onde che potrebbero colpire le coste liguri.

Il sistema di early-warning sarebbe parzialmente giustificabile dai tempi di propagazione dell'onda, che sono dell'ordine dei 10 min. Il fattore economico e le necessarie infrastrutture di comunicazione non favoriscono tale soluzione.

Nel caso venisse istituito sarebbe assolutamente necessario istruire la popolazione sul comportamento da adottare ed intervenire sul territorio con la segnaletica e l'individuazione delle aree non inondabili e dei punti di raccolta.

L'istruzione e la segnaletica sono la base della mitigazione del rischio, insieme alla percezione dello stesso da parte della popolazione e degli amministratori locali. Peraltro l'aggravio economico è relativamente contenuto.

L'effetto di queste azioni sarebbe ulteriormente potenziato se fosse accompagnato da un efficiente sistema di localizzazione del terremoto in grado di veicolare l'informazione ad una rete di comunicazione efficiente ed articolata.



GRAZE



DICAT - Laboratorio di
Geodesia, Geomatica e GIS



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia