



Il monitoraggio in situ dello stato fisico del mare

21 Settembre 2022

Ing. Marco Picone

**Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale (ISPRA)**

Centro Nazionale per la caratterizzazione ambientale
e la protezione della fascia costiera,
la climatologia marina
e l'oceanografia operativa

Perché osservare lo stato fisico del mare

Conoscenza dell'ambiente marino:

Stato energetico del mare, fenomeni ondosi e mareali, stato biogeochimico del mare;

Conoscenza dell'ambiente terrestre:

Fascia costiera, interazione con masse terrestri, topografia;

Conoscenza dell'ambiente atmosferico:

Interazione acqua aria, scambi termici, scambi energetici;

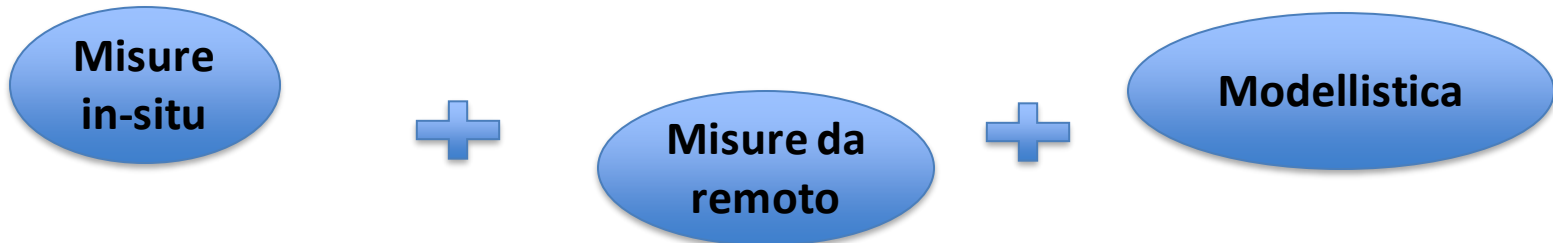
Clima e cambiamenti climatici;

Uso antropico della risorsa marina.

Come osservare lo stato fisico del mare

- Misure in-situ → Effettuate nello stesso punto in cui si verifica il fenomeno
 - Telerilevamento → Osservazione «a distanza» del fenomeno
 - Modelli previsionali → Stima del fenomeno
-

Il sistema di monitoraggio integrato



Perché utilizzare diverse tipologie di stazioni di misura, strumenti e sensori?

- Rispondere diversi obiettivi (osservazione, previsione, controllo)
- Minimizzare gli svantaggi di ogni singola modalità (costi, risoluzione)
- Ottimizzazione delle risorse rispetto agli obiettivi scientifici
- Costruire applicazioni e servizi ad alto valore aggiunto, con forti implicazioni per settori economici di grande importanza

Misure in-situ dello stato del mare

Vantaggi

- Permette di acquisire informazioni in continuo costituendo una lunga serie di dati su cui effettuare analisi di lungo periodo. Ottima scala temporale;
- Sono misure dirette ed affidabili;
- Facilmente interpretabili;
- Misure si ottengono in tutte le condizioni meteo-climatiche, sia di giorno che di notte.

Svantaggi

- La scala spaziale non è sempre adeguata;
 - I costi di gestione e manutenzione sono elevati.
-

Misure in-situ dello stato del mare

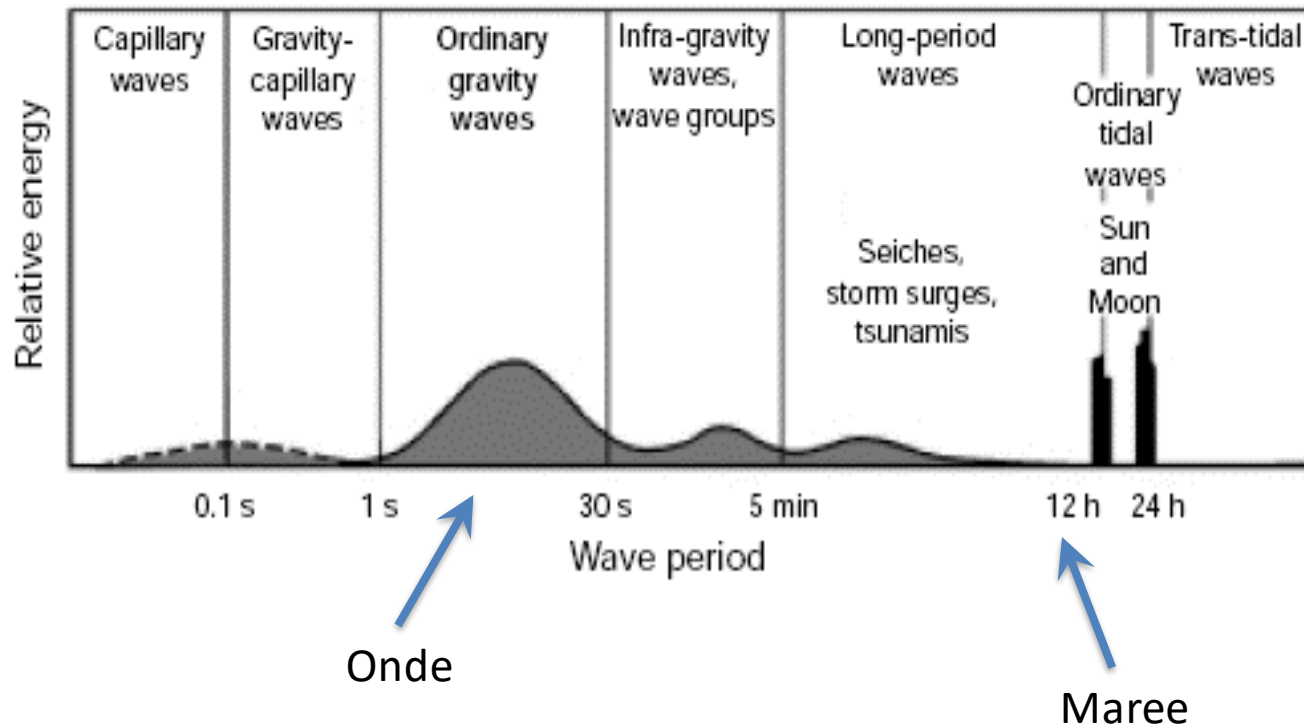
Misure strumentali semplici

- Variazione della superficie libera (idrometro/ondametro);
- Temperatura del mare (termometro);
- Velocità e Direzioni delle Correnti (correntometro).

Osservazioni complesse

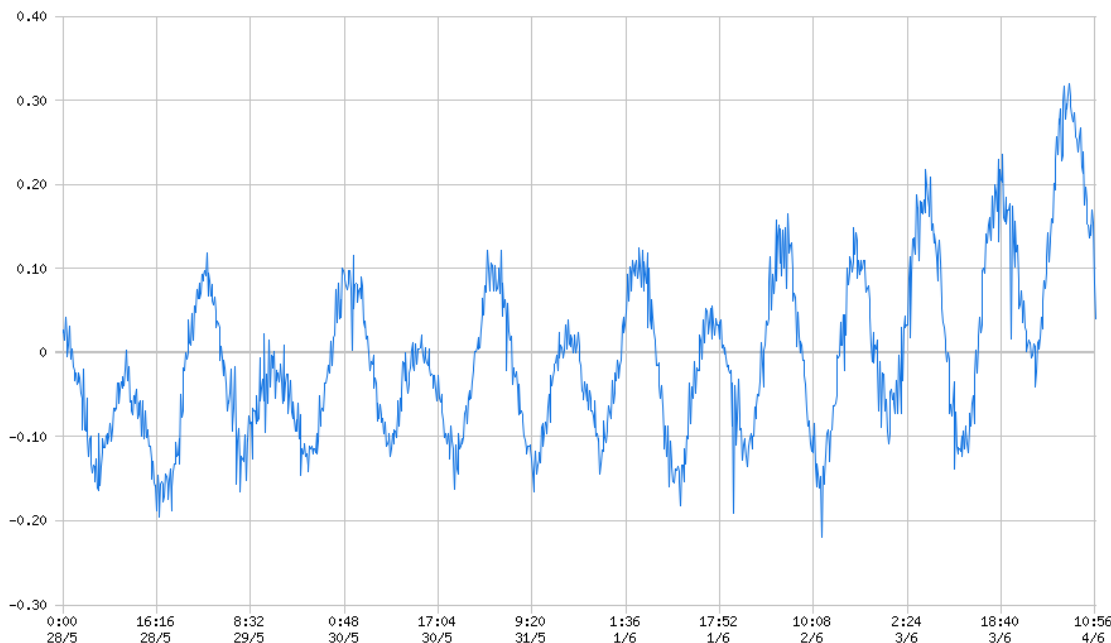
- Maree;
 - Onde;
 - Tsunami, Storm Surge.
-

La variazione della superficie libera del mare



La marea

RETE MAREOGRAFICA NAZIONALE
LIVORNO
LIVELLO IDROMETRICO (m)
00:00 28.05.2020 ÷ 11:00 04.06.2020 GMT



$$Z(t) = Z_0 + A(t) + M_a(t) + M_m(t) + \varepsilon$$

Livello medio
del mare

Effetti di lungo periodo/trend
(cambiamento di volume degli
oceani, variazione della capacità di
contenimento dei bacini oceanici)

Marea
astronomica

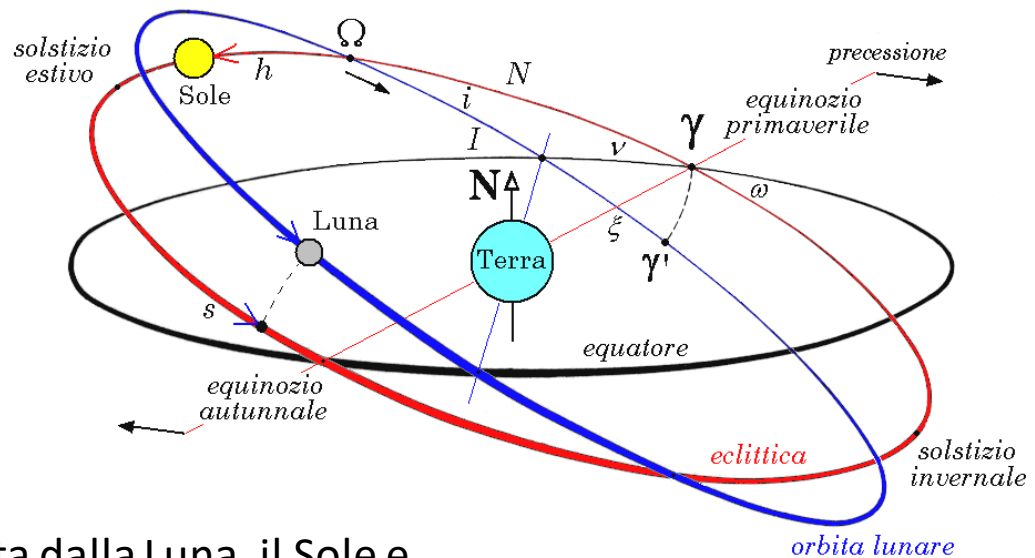
Marea
meteorologica

Effetti locali (es.
eccitazione delle
frequenze di modo
proprio di un bacino)

La marea astronomica

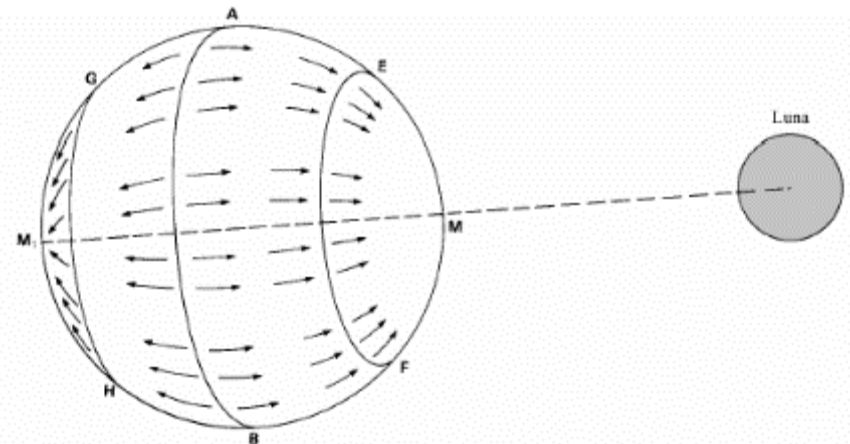
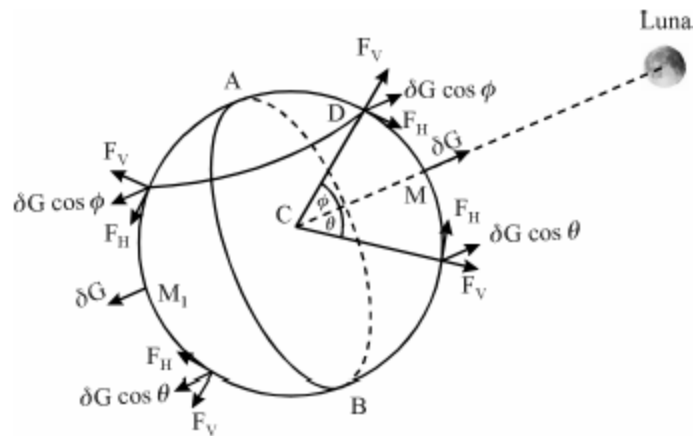
La componente astronomica delle maree si manifesta con movimenti delle masse d'acqua sulla superficie terrestre dovute alla combinazione di

- la forza gravitazionale esercitata dalla Luna, il Sole e altri corpi celesti sulla Terra
- la forza centrifuga prodotta dalla rivoluzione del sistema Terra-Luna/Sole/corpo celeste attorno al loro baricentro



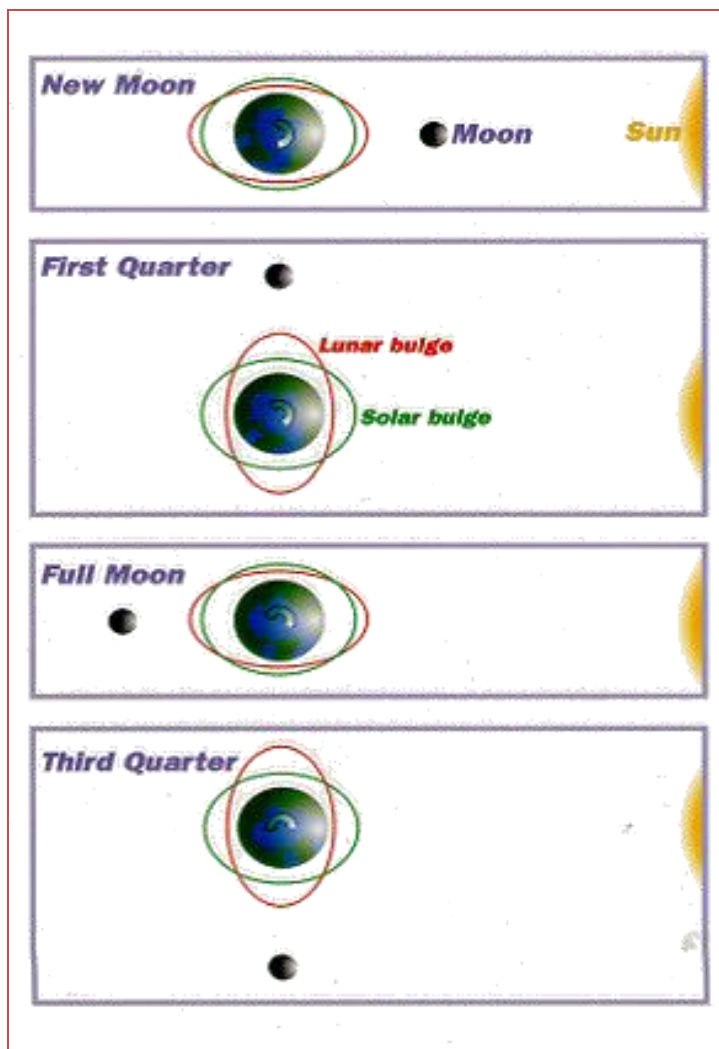
La marea astronomica

La risultante delle forze si scompone nelle due componenti



- verticale: produce un sollevamento della particella d'acqua, trascurabile rispetto al campo gravitazionale
- orizzontale: provoca lo spostamento dell'acqua verso il punto sublunare e il suo antipodo finché non sia raggiunto l'equilibrio della superficie libera dell'acqua

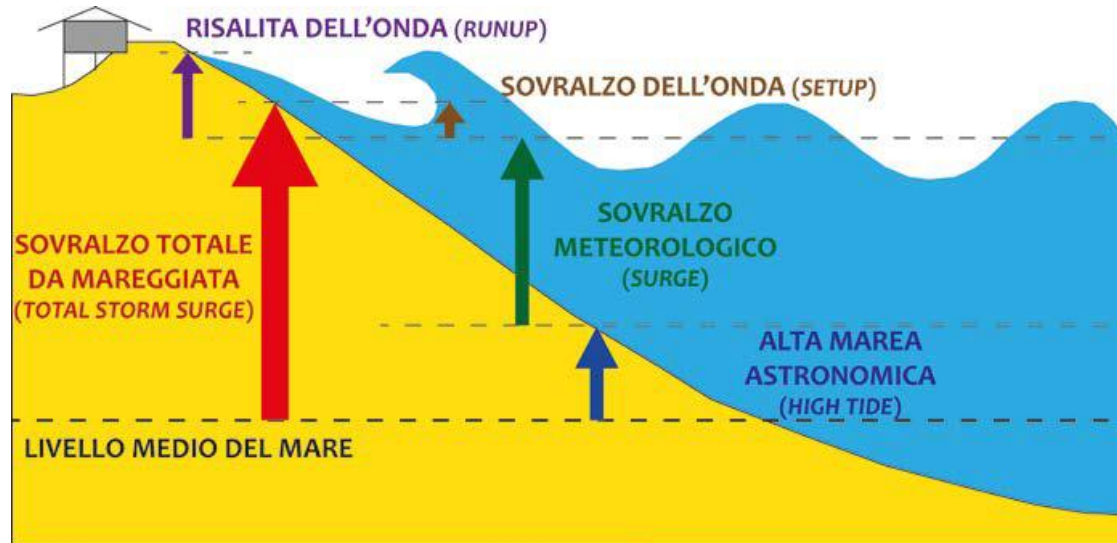
La marea astronomica



La marea Lunisolare (effetto del sistema Terra-Luna e Terra-Sole) costituisce la componente maggiore della marea astronomica.

La marea prodotta dal Sole è pari a circa il 45% della marea indotta dalla Luna.

La marea meteorologica



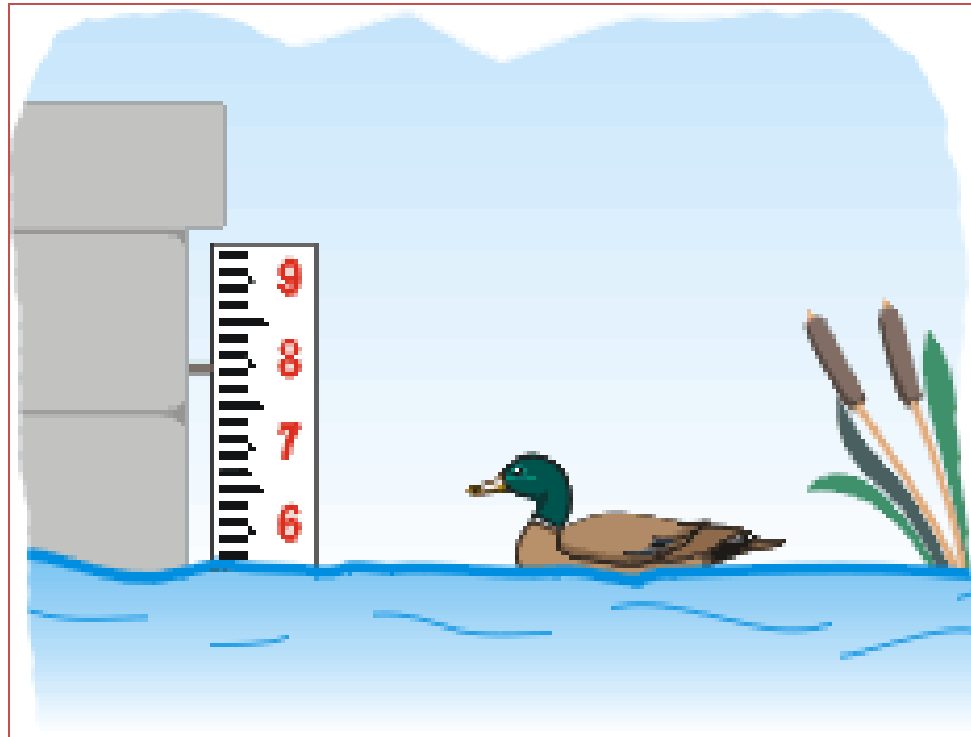
Dipende dalla stagione, dalla latitudine e dalla piattaforma continentale.

L'azione tangenziale del vento tende a spingere la massa d'acqua verso la costa, accelerandola (sovrizzo di vento). Al raggiungimento di condizioni stazionarie, l'acqua risulta in equilibrio sotto l'azione del gradiente di pressione dovuto alla pendenza assunta dalla superficie del mare e le azioni agenti alla superficie libera e al fondo rispettivamente legate alla resistenza del vento e all'attrito sul fondo.

Le variazioni di livello determinate da un aumento o da una diminuzione della pressione atmosferica (pressione media 1013 mmbar) sono comunemente indicate come effetto barometrico inverso [1 mmbar - 1 cm].

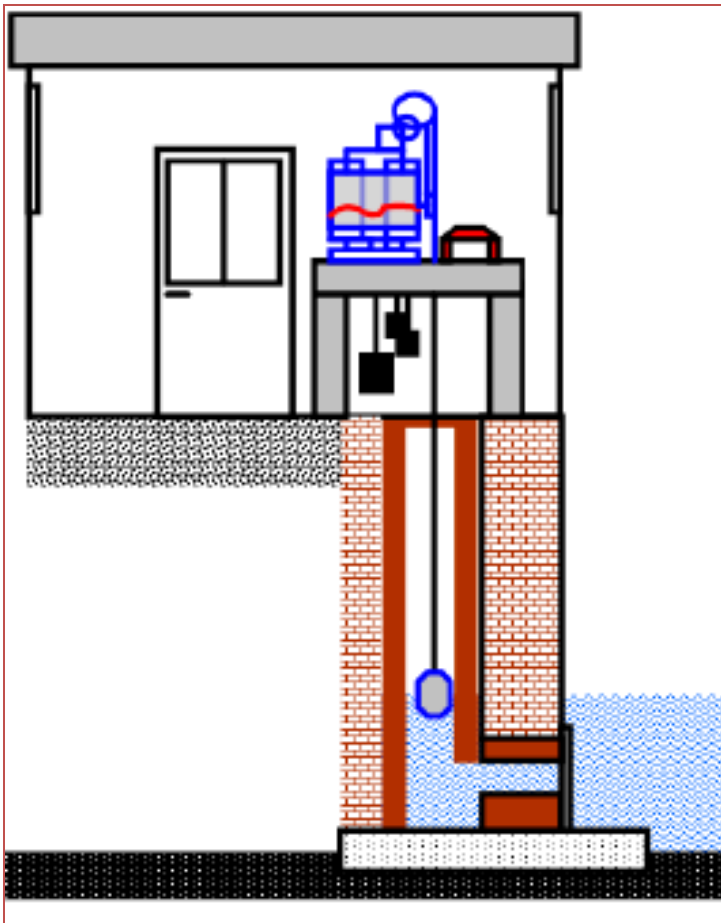
Osservazione in situ

Asta idrometrica



Osservazione in situ

Mareografo



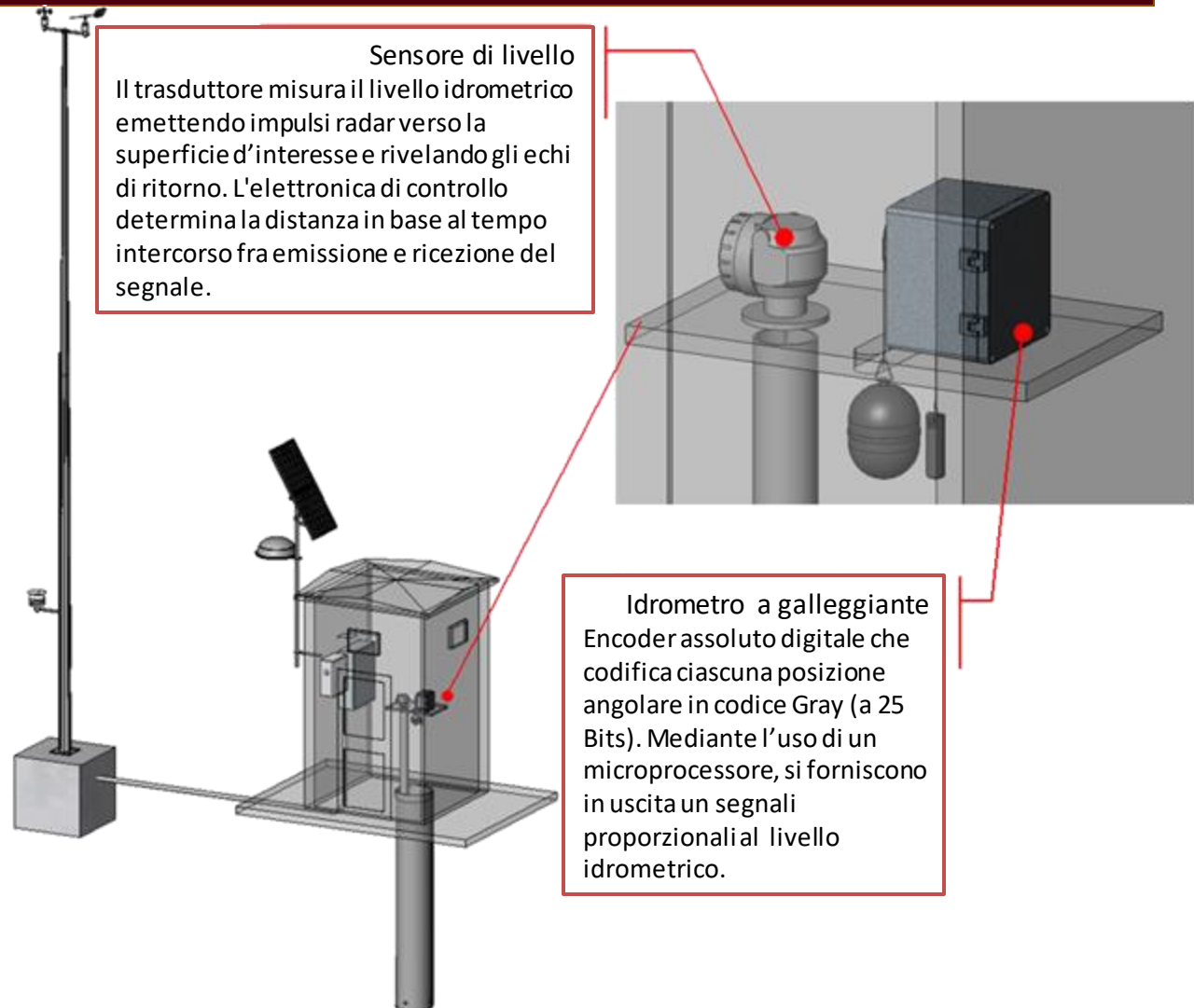
Osservazione in situ

Mareografo ISPRA

Gli strumenti per la misurazione del livello sono collocati in un pozzetto di calma e agiscono su una sezione controllata. Restituiscono un valore ogni minuto (in alcuni ogni 15 sec.)

Ulteriori parametri osservati:

- temperatura acqua
- temperatura aria
- umidità aria
- pressione atmosferica
- direzione vento
- velocità vento
- onde e correnti (ADCP RMLV)
- videomonitoraggio



Sensore di livello

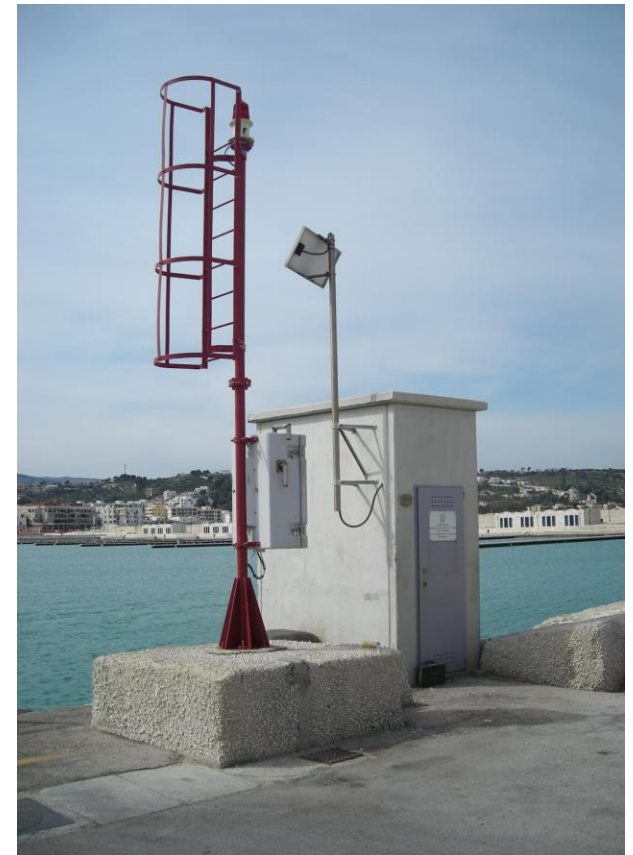
Il trasduttore misura il livello idrometrico emettendo impulsi radar verso la superficie d'interesse e rivelando gli echi di ritorno. L'elettronica di controllo determina la distanza in base al tempo intercorso fra emissione e ricezione del segnale.

Idrometro a galleggiante

Encoder assoluto digitale che codifica ciascuna posizione angolare in codice Gray (a 25 Bits). Mediante l'uso di un microprocessore, si forniscono in uscita un segnali proporzionali al livello idrometrico.

Cabine mareografiche RMN - ISPRA

Stazione mareografica di Imperia



Stazione mareografica di Vieste

Cabine mareografiche RMN - ISPRA



Stazione mareografica di Otranto



Stazione mareografica di Anzio



Stazione mareografica di Venezia
Punta della Salute (RMLV)

Cabine mareografiche RMN - ISPRA

Stazione mareografica di Livorno



Cabine mareografiche RMN - ISPRA



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Rete idrografica e mareografica nazionale
LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE

Rilievi anno 2009 - 2010

Stazione mareografica di Livorno

ORIGINE IGM

Csv: 0028_D02_003P
Punto GPS: 111601

Annotazioni: il csv mareografico ISPRA è stato misurato
utilizzando la stadietta invar da 60 cm. con staffetta di
sospensione (vedi foto laterale)



CSO MAREOGRAFICO

Coordinate piane UTM - ETRF 2000 N: 4822300.609
E: 604989.189
Quota s.l.m.: **m. 1.6926** quota italgeo 2005: **m.1.510**
Bullone in acciaio inox murato sulla banchina lato destro della cabina



CSV MAREOGRAFICO

Quota s.l.m.: **m. 3.6925**
Piastra mensolata murata sulla parete a sinistra della porta di accesso alla cabina mareografica



CSO RIFERIMENTO STAFFA MAREOGRAFICA

Quota s.l.m. 2009: **m. 2.1843**
Bullone in acciaio inox murato davanti al boccaforno del pozzo di calma allineato con la staffa mareografica



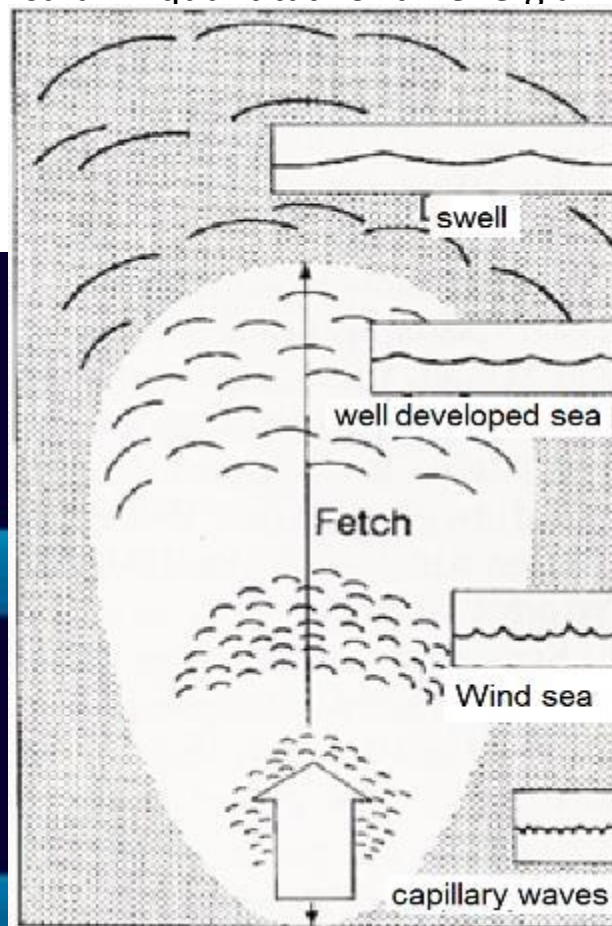
STAFFA MAREOGRAFICA

Quota s.l.m. 1999: **m. 2.1350**
Quota s.l.m. 2009: **m. 2.1623** **Differenza di quota $\Delta = 0,02730$**
Staffa in acciaio zincato aggettante sul pozzo di calma



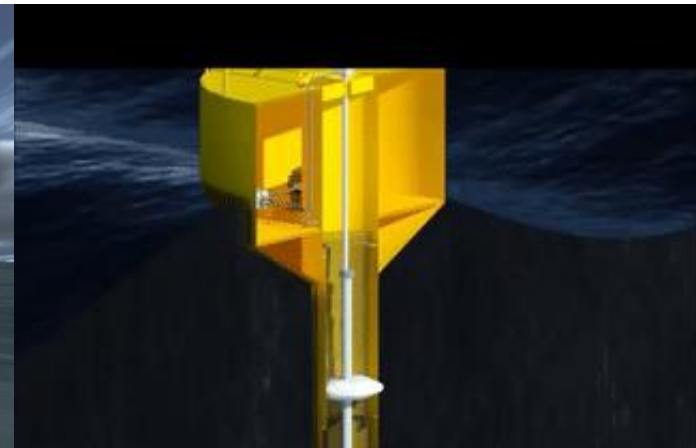
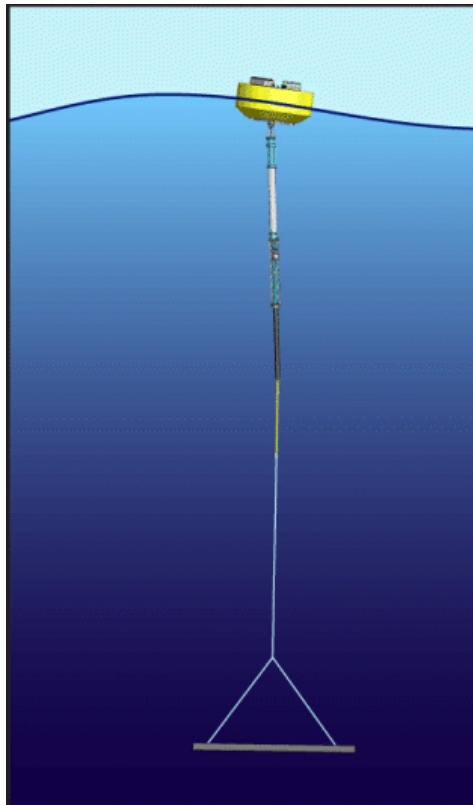
Le onde da vento

Il vento è in grado di trasferire grandi quantità di energia alle masse d'acqua attraverso la superficie libera del mare. Maggiore l'intensità, la durata, la persistenza lungo una determinata direzione e la superficie su cui agisce il fenomeno anemometrico, maggiore sarà il quantitativo di energia trasmessa. La **forma delle onde** che si generano in mare sotto l'azione del vento è estremamente complessa; con altezze, i periodi, le lunghezze d'onda e le direzioni di propagazione delle onde reali risultano variabili in maniera caotica.



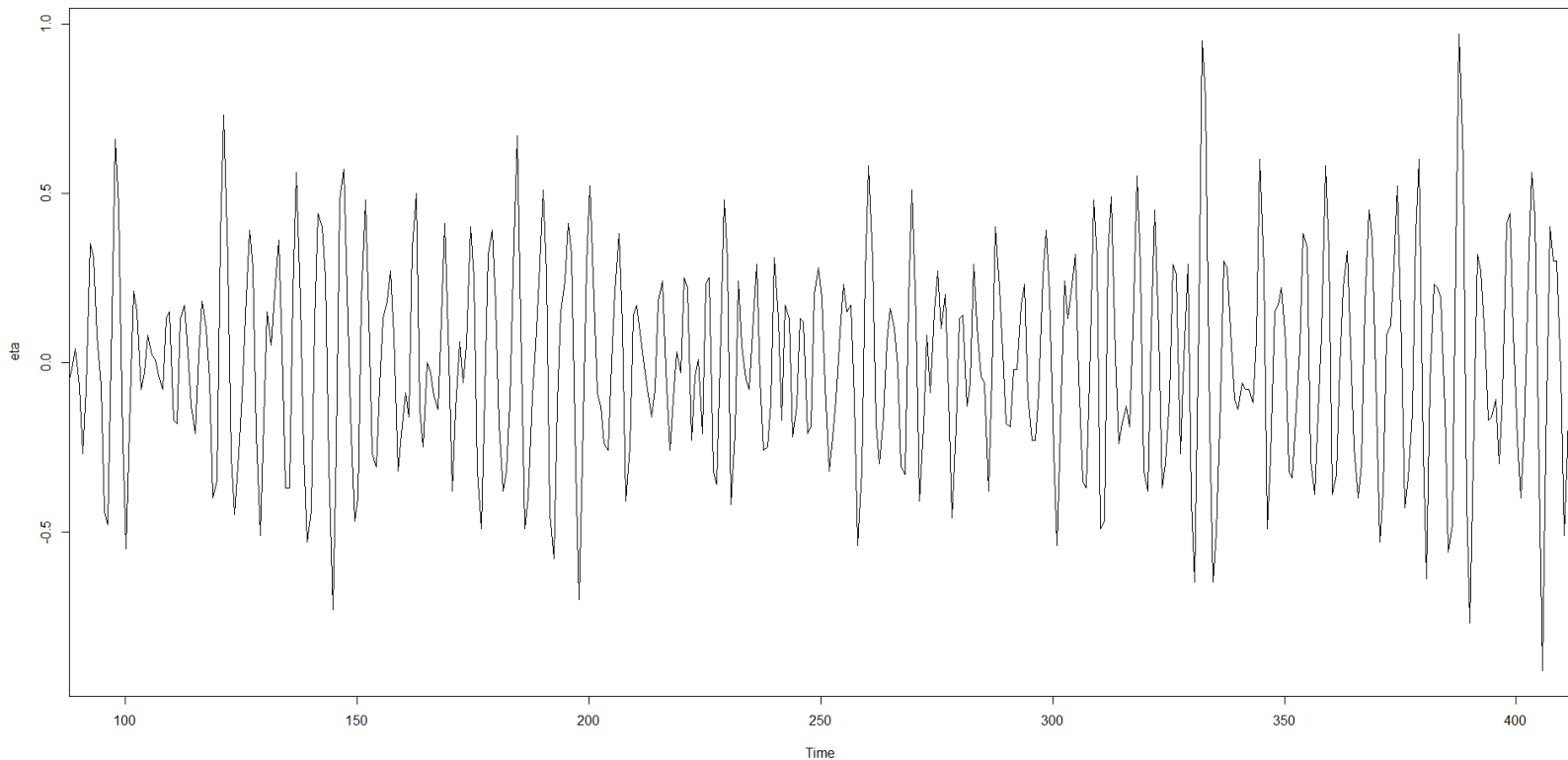
Le onde da vento

L'**ondametro** misura un dato «grezzo» di elevazione della superficie libera del mare $\eta_g(t)$ che è diverso dalla semplice sinusoide che si utilizza solitamente per rappresentare un'onda.



Le onde da vento

L'**ondametro** misura un dato «grezzo» di elevazione della superficie libera del mare $\eta_g(t)$ che è diverso dalla semplice sinusoidale che si utilizza solitamente per rappresentare un'onda. E' difficile definire il concetto di onda.

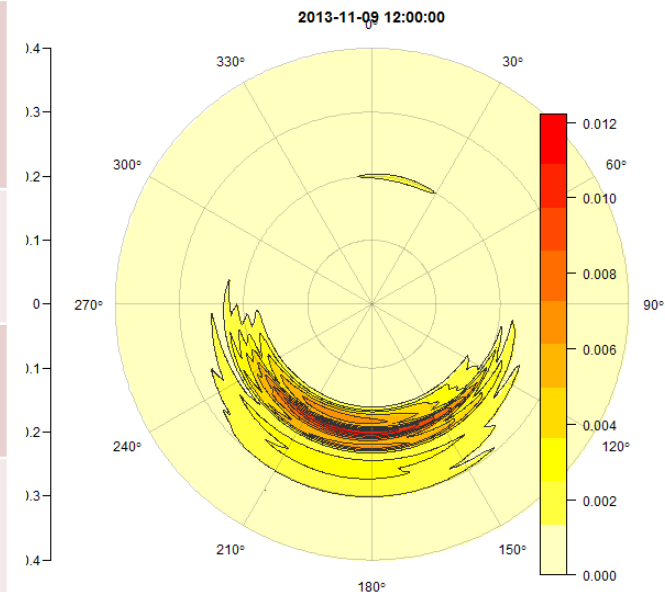


Le onde da vento

Si considerano gli **stati di mare**, cioè dei periodi di tempo sufficientemente lunghi tali da comprendere molte onde, ma abbastanza brevi da poter essere considerato mediamente stazionari (da circa 20-30 minuti a 1 ora).

L'analisi si può effettuare in due modi: “**analisi zero-crossing**” o “**analisi spettrale**”.

	Zero-crossing	Analisi spettrale
Altezza d'onda significativa ($H_{1/3}$, H_s)	media del terzo delle delle onde più alte	$4 * \sqrt{m_0}$
Periodo medio T_m	Media dei periodi delle onde	m_0/m_1
Periodo di picco T_p	Periodo delle onde più alte (T_s)	Periodo associato al picco
Direzione di propagazione	Direzione media degli spostamenti	Direzione associata al picco dello spettro

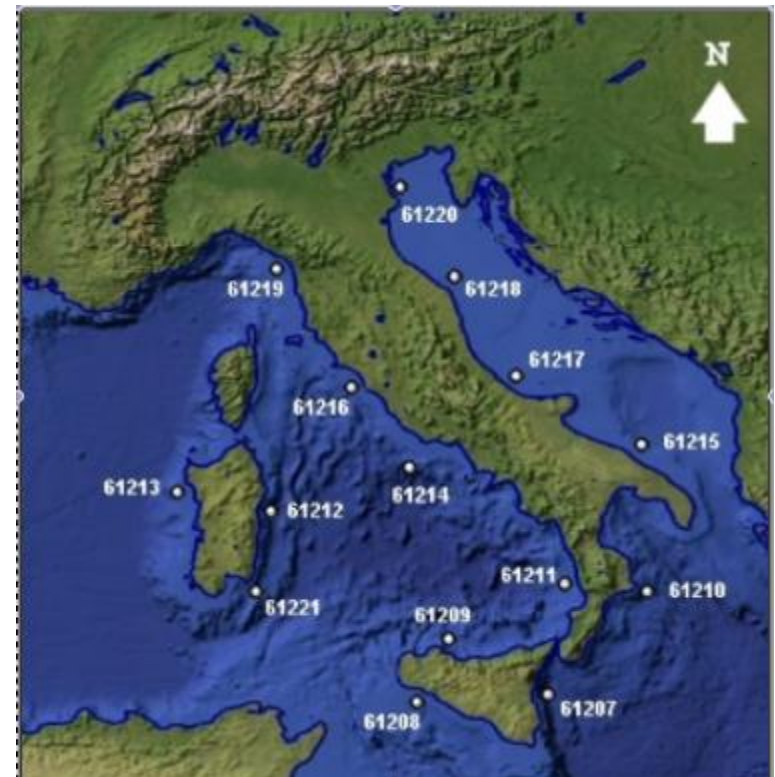


Boe ondametriche RON - ISPRA

Le boe, ormeggiate con un ancoraggio molto flessibile su fondali abbastanza profondi, seguono la superficie libera dell'onda: l'elevazione della superficie dell'acqua $\eta(t)$ e gli spostamenti in direzione Nord ed Est si ottengono attraverso una doppia integrazione delle **misure di accelerazione**. I parametri di interesse vengono elaborati a partire da osservazioni semiorarie

Ulteriori parametri osservati:

- temperatura acqua
- temperatura aria
- umidità aria
- pressione atmosferica
- direzione vento
- velocità vento



Boe ondametriche RON - ISPRA



Varo della
boa RON



Boe ondametriche RON - ISPRA

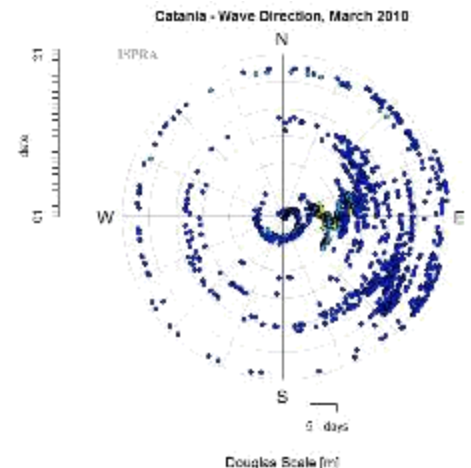
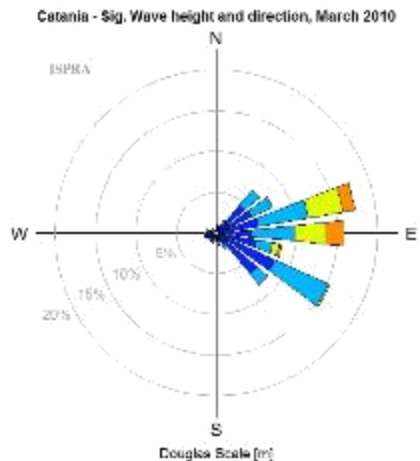
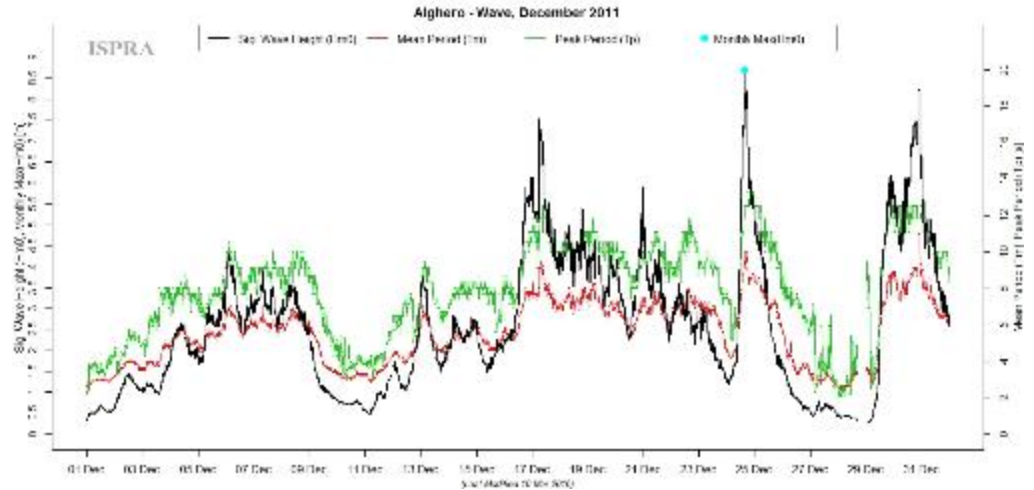
La boa oggi

<http://www.ismar.cnr.it/eventi-e-notizie/infrastrutture/piattaforma-acqua-alta/webcam/webcam-streaming-est>

La boa in tempesta

<https://owncloud.ve.ismar.cnr.it/owncloud/index.php/s/RG1xplmoMEABnvZ>

Misure in-situ: RON



Alcune applicazioni....

Livello del mare

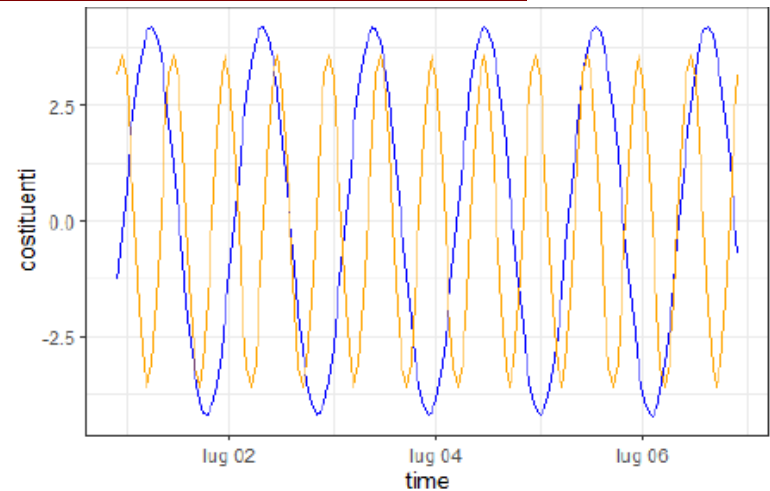
Analisi della marea astronomica

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos(\sigma_n t - k_n)$$

Individuazione delle componenti
astronomiche attraverso l'individuazione
delle costanti armoniche (componenti
principali costituenti la marea astronomica)

Utile per:

- studiare la natura, la scala temporale e l'entità delle variazioni del livello componenti il segnale misurato
- effettuare le analisi statistiche degli estremi in termini di livello assoluto o residui



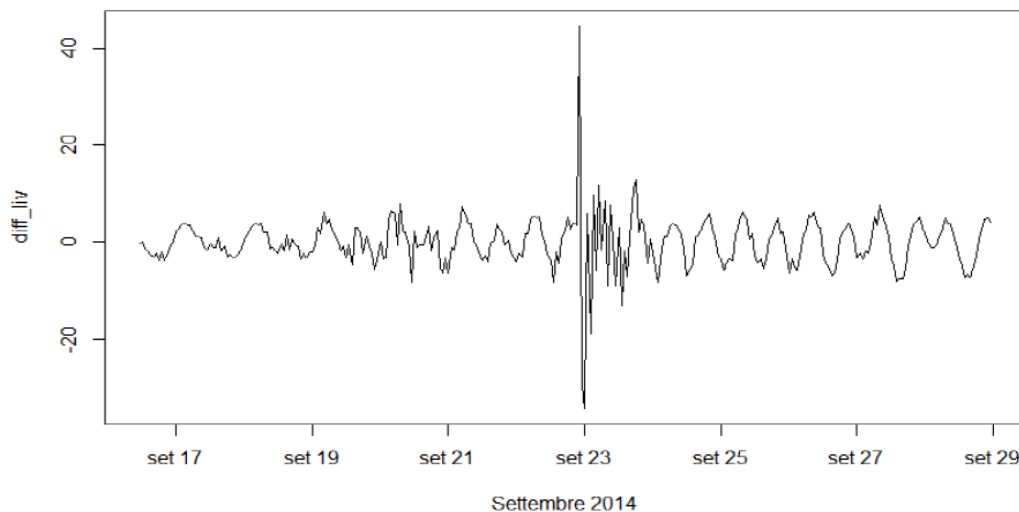
Nome	Descrizione	Frequenza	Periodo		
			hh	mm	ssss
Z0	Intercept constituent	0.000000	Inf		
O1	Principal lunar diurnal constituent	0.038731	25	49	9.63
P1	Solar diurnal constituent	0.041553	24	03	57.20
K1	Lunisolar diurnal declination constituent	0.041781	23	56	4.09
N2	Larger lunar elliptic semidiurnal constituent	0.078999	12	39	30.05
M2	Principal lunar semidiurnal constituent	0.080511	12	25	14.16
S2	Principal solar semidiurnal constituent	0.083333	11	59	60.00
K2	Lunisolar semidiurnal constituent	0.083561	11	58	2.05

Livello del mare

Analisi della marea
 astronomica

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N A_n \cos(\sigma_n t - k_n)$$

Residui della componente astronomica



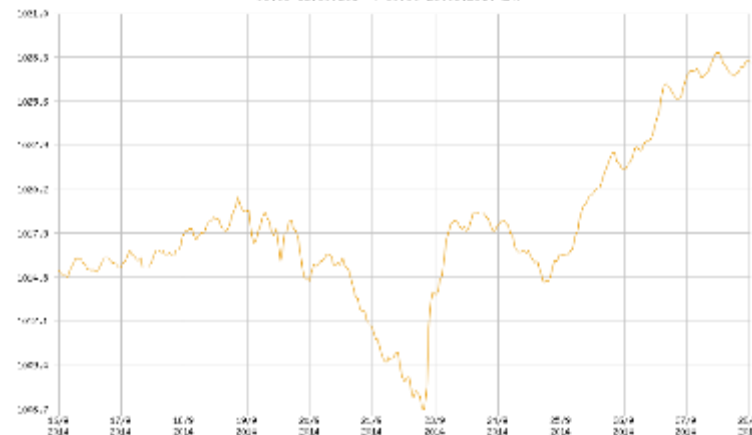
**Ancona, tornado a mezzanotte
 centro della città al buio: è terrore
 Superfast affonda sei pescherecci**

MARCHE
 Martedì 23 Settembre 2014



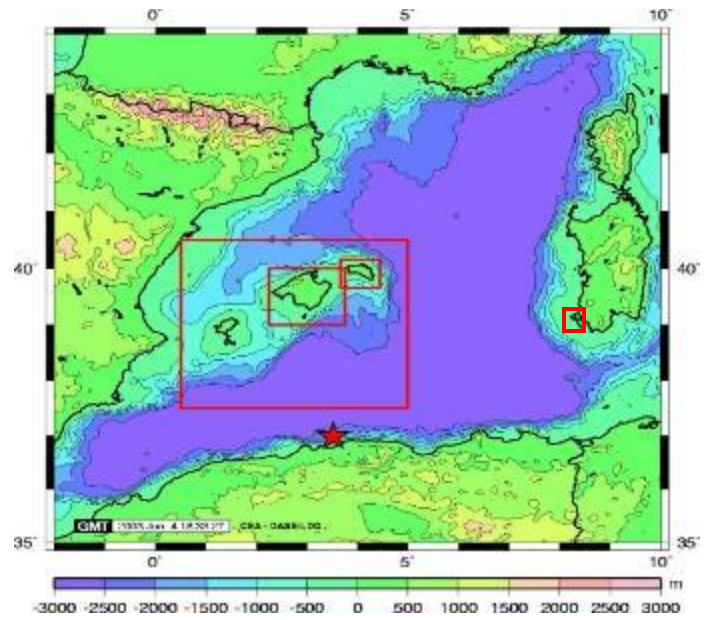
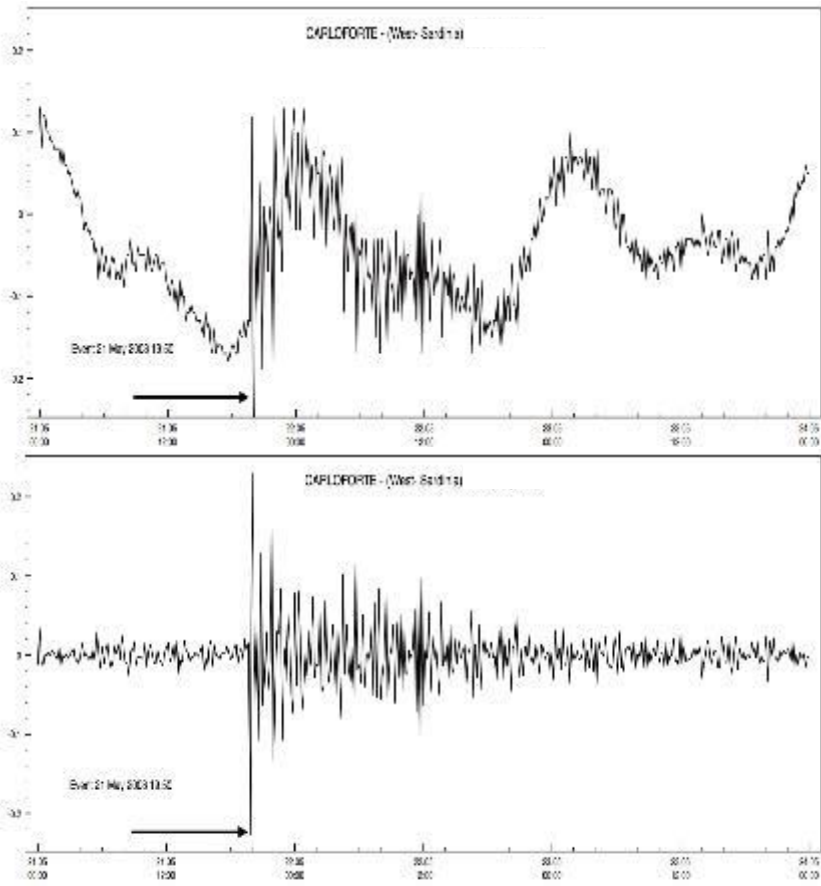
ANCONA Furiosa tromba d'aria, quasi un uragano, si è abbattuta a mezzanotte nella zona di Ancona. Venti fortissimi hanno sferzato il litorale provocando un ululato terrificante, impetuoso e improvviso, che ha allarmato l'intera popolazione. Si parla di circa 50 nodi di vento gregale da

AREA PORTUALE DI ANCONA -
ANCONA
 PRESSIONE AL M. SOTTOLO (hPa)
 00:00 15.09.2014 - 00:00 25.09.2014 GMT



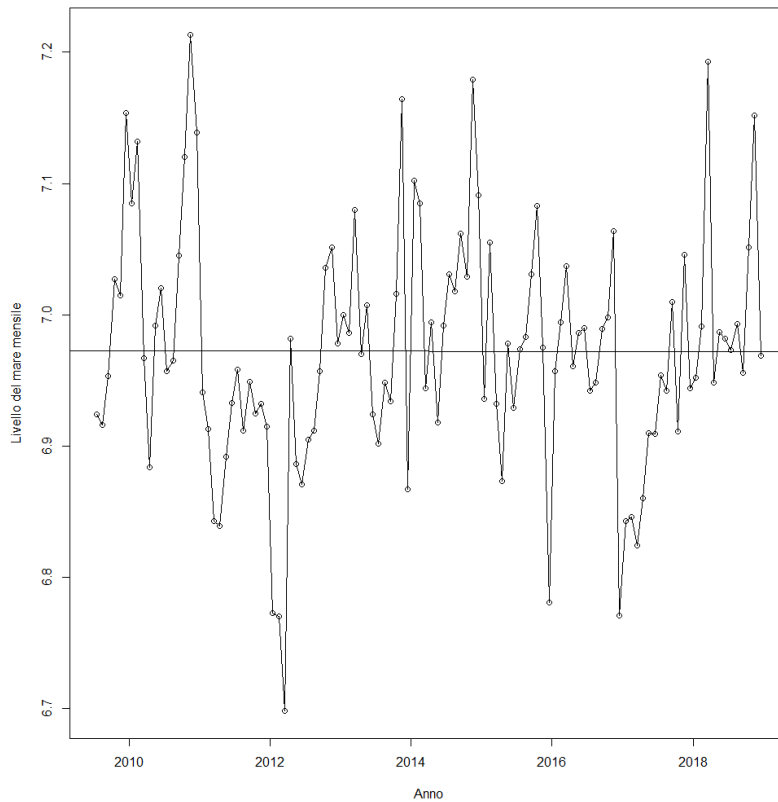
Livello del mare

Tsunami

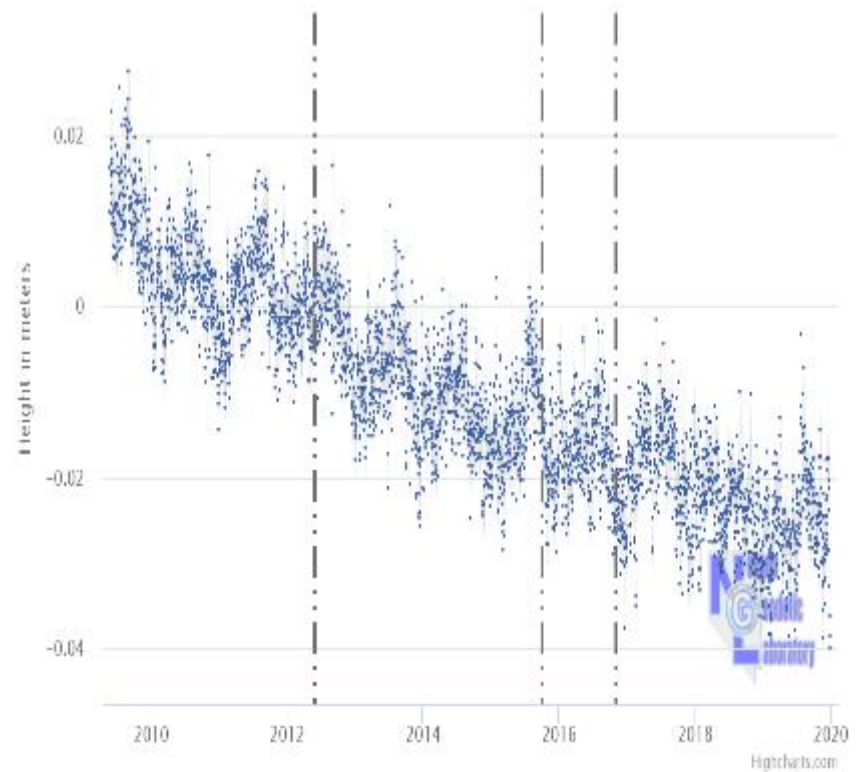


Innalzamento del livello del mare

Media mensile del livello del mare a Ferrara



Spostamenti verticali della stazione a Ferrara (tramite GNSS)

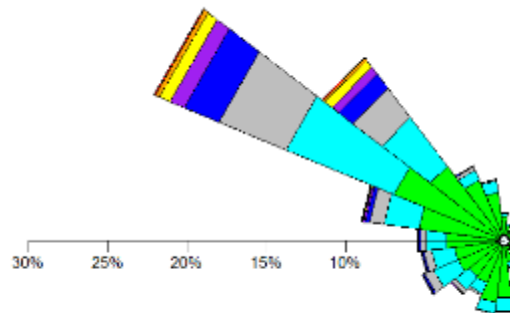


ATTENZIONE !!!!!

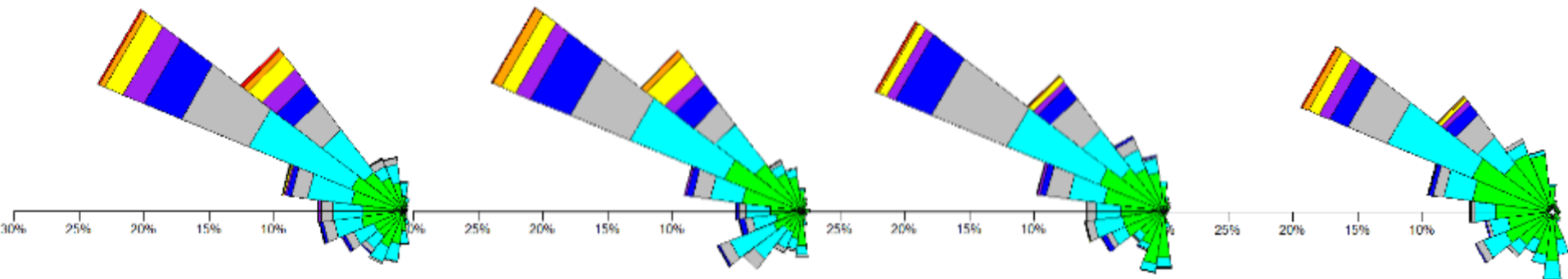
Clima ondoso puntuale

- 0.25 - 1 m
- 1 - 2 m
- 2 - 3 m
- 3 - 4 m
- 4 - 5 m
- 5 - 6 m
- 6 - 7 m
- > 7 m

Alghero



Usualmente rappresentato attraverso la distribuzione congiunta (in frequenza) dell'altezza d'onda significativa rispetto alla direzione di provenienza del moto ondoso.



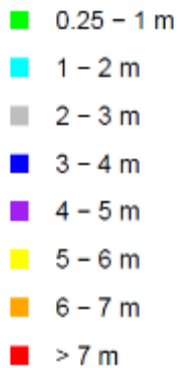
Inverno

Primavera

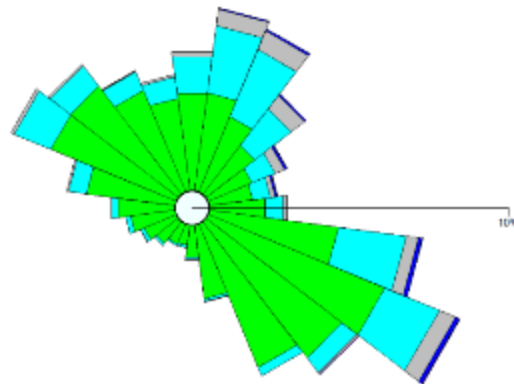
Estate

Autunno

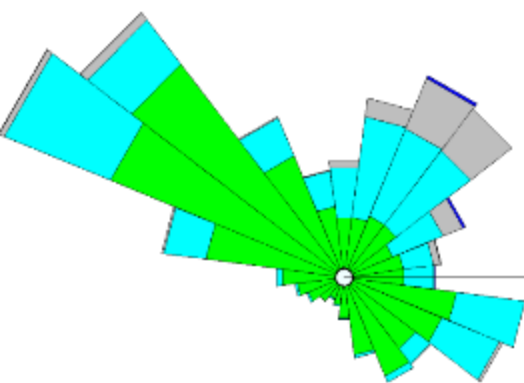
Clima ondoso puntuale



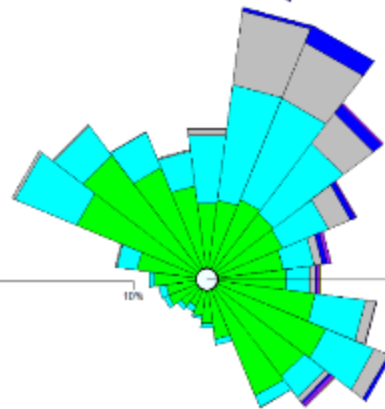
Ancona



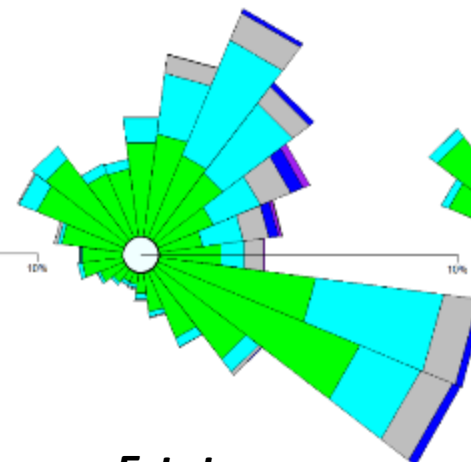
Usualmente rappresentato attraverso la distribuzione congiunta (in frequenza) dell'altezza d'onda significativa rispetto alla direzione di provenienza del moto ondoso.



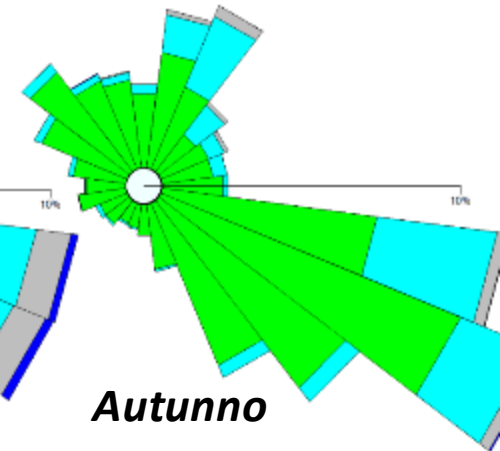
Inverno



Primavera



Estate



Autunno

Eventi estremi

La valutazione del rischio di accadimento di un evento di particolare intensità viene effettuata attraverso la definizione dello stato di mare, in termini di altezza d'onda significativa, associato ad un determinato periodo di ritorno

Differenti metodologie e nessuna normativa tecnica di riferimento.

- Selezione di dati omogenei (indipendenti)
- Individuazione del modello probabilistico che rappresenta i dati selezionati
- Determinazione del massimo valore di altezza d'onda atteso in un arco di tempo fissato



Cetraro

Eventi estremi

Selezione dei dati omogenei – definizione dell'evento di mareggiata

Peak Over Threshold

La mareggiata è la successione di stati di mare tale che:

- La persistenza dell'altezza d'onda sopra una soglia determinata maggiore di 12 ore consecutive;
- Eventuale attenuazione dell'altezza d'onda sotto soglia per meno di 6 ore consecutive;
- Appartenenza della direzione di provenienza ad un determinato settore angolare

Per ogni mareggiata si estrae il valore di altezza massimo (picco della mareggiata)

Metodo dei massimi annuali

Gli eventi estremi coincidono con i massimi annuali di altezza d'onda significativa (approccio Block Maxima)

```
select distinct ?period ?station ?maxWave ?dirWave
where {
  ?buoy a :MeasureStation;
  :measures ?waves;
  gn:nearbyFeature ?place.
  ?collection a :IndicatorCollection;
  :isIndicatorCollectionOf ?waves;
  dcterms:isPartOf ?dataset;
  :measurementPeriod ?period.
  ?indicator a :MarineIndicator;
  dcterms:isPartOf ?collection;
  dcterms:type typeind:monthlymaxhm0;
  rdf:value ?maxWave.
  ?indicator2 a :MarineIndicator;
  dcterms:isPartOf ?collection;
  dcterms:type typeind:monthlymaxdir;
  rdf:value ?dirWave.
  ?dataset dcterms:title 'Dataset RON'@it.
  ?place gn:name ?station.
}
```

ORDER BY ?station ?period

Eventi estremi

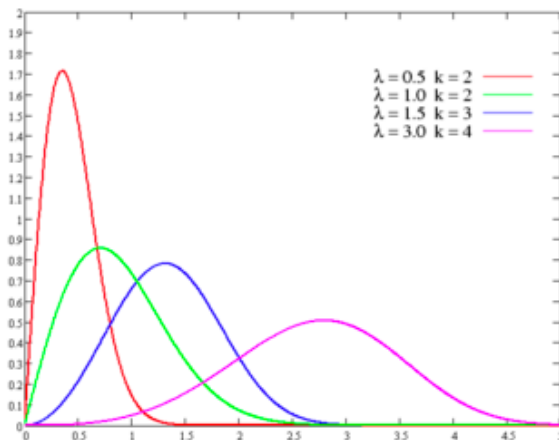
Selezione dei dati omogenei – definizione dell'evento di mareggiata

Peak Over Threshold

Generalized Pareto Distribution (GPD)

$$G(x; \mu; \sigma; \xi) = \begin{cases} 1 - \left(1 - \xi \frac{x - \mu}{\sigma_\mu}\right)^{1/\xi} & \xi \neq 0 \\ 1 - e^{-(x-\mu)/\sigma_\mu} & \xi = 0 \end{cases}$$

Pratica tecnica



Metodo dei massimi annuali

Generalized Extreme Value Distribution (GEV)

$$G(x; \mu; \sigma; \xi) = \begin{cases} e^{-\left(1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}} & \xi \neq 0 \\ e^{-e^{-\frac{x - \mu}{\sigma}}} & \xi = 0 \end{cases}$$

Distribuzione

Campo di validità

Probabilità cumulata

I Tipo
(Gumbel)

$$\begin{aligned} -x < H < x \\ -x < B < x \\ 0 < A < x \end{aligned}$$

$$F(H_i \leq H) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{H - B}{A}\right)\right\}$$

II Tipo
(Fretchet)

$$\begin{aligned} 0 < H < x \\ 0 < k < x \\ 0 < A < x \end{aligned}$$

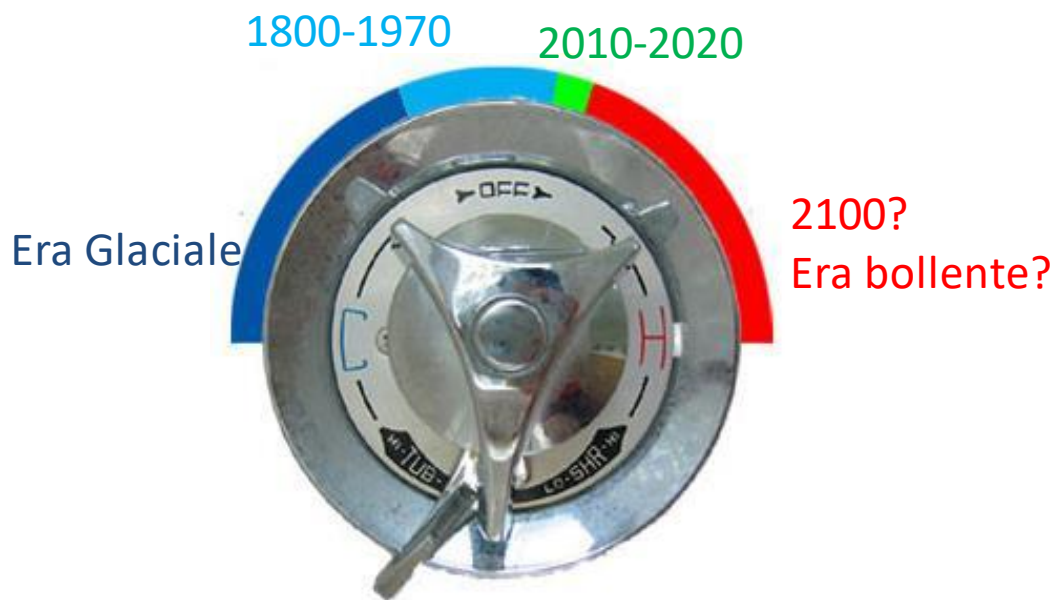
$$F(H_i \leq H) = \exp\left\{-\left(\frac{H}{A}\right)^{-k}\right\}$$

III Tipo
(Weibull)

$$\begin{aligned} B < H < x \\ 0 < k < x \\ 0 < A < x \end{aligned}$$

$$F(H_i \leq H) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{H - B}{A}\right)^k\right\}$$

Temperatura Superficiale del mare



Temperatura Superficiale del mare

Prima Conferenza Marittima Internazionale - Bruxelles 1853
Definizione di un Sistema uniforme di osservazione meteorological a mare.

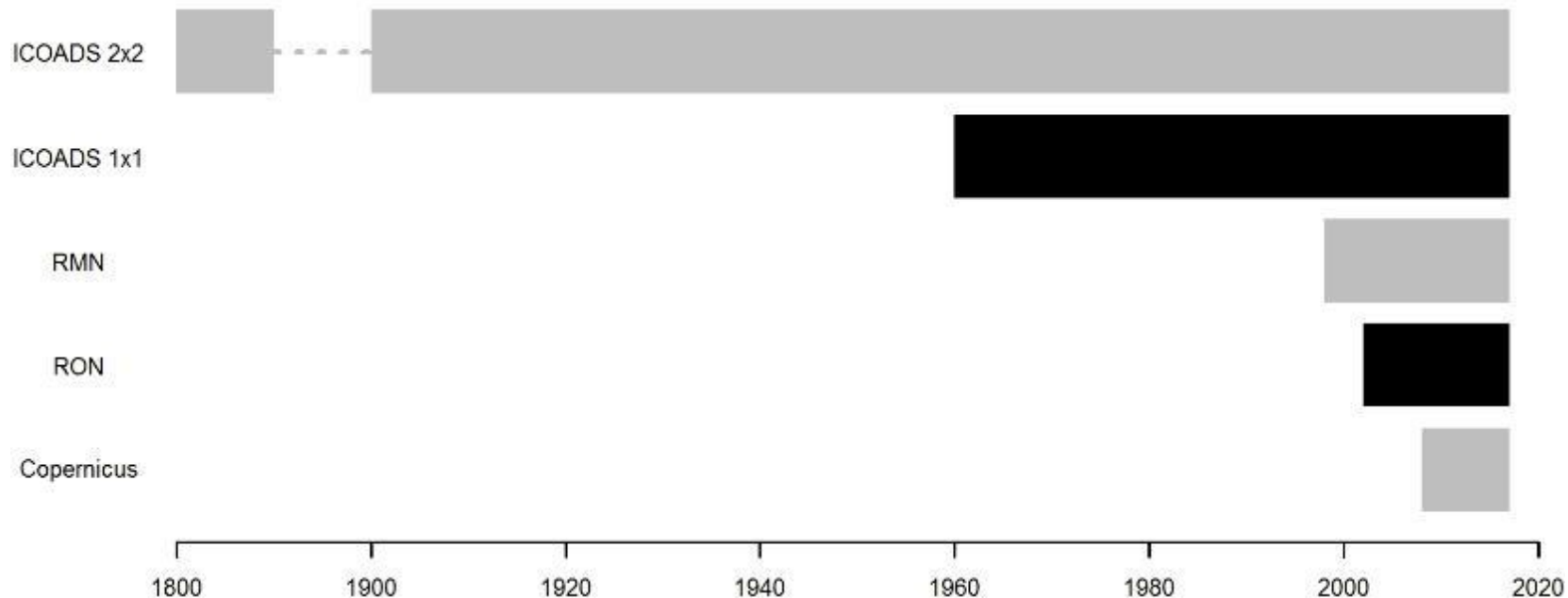
- Principi basilari per l'oceanografia e la meteorologia :
- Standard e formati comuni per la raccolta di dati
 - Standard comuni per le analisi e i controlli di qualità
 - Scambio libero e gratuito di dati per pubblica utilità



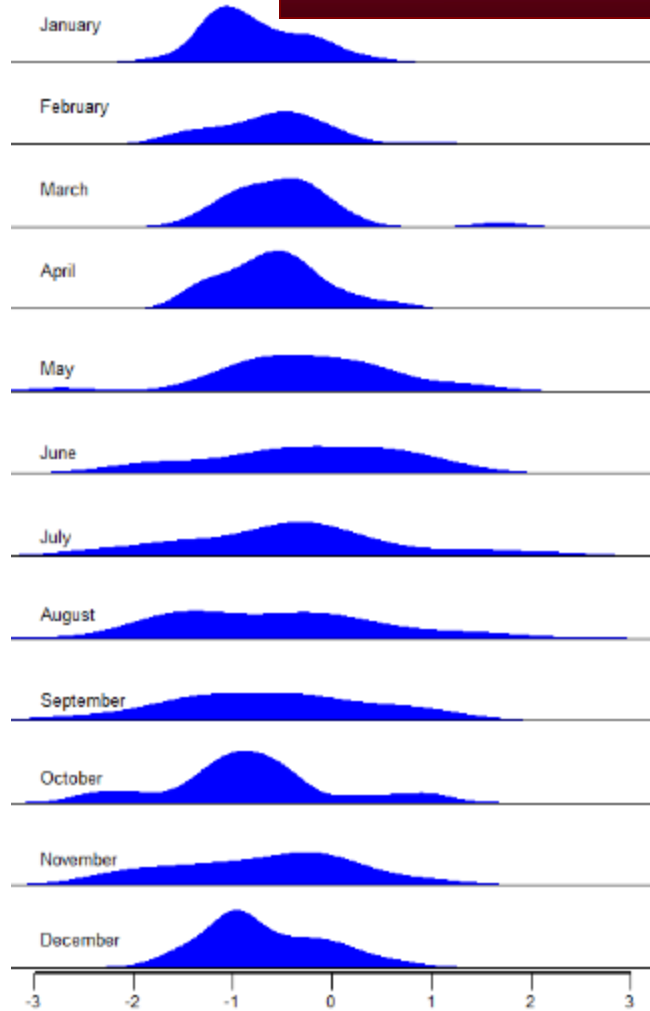
Temperatura Superficiale del mare

Nei mari italiani

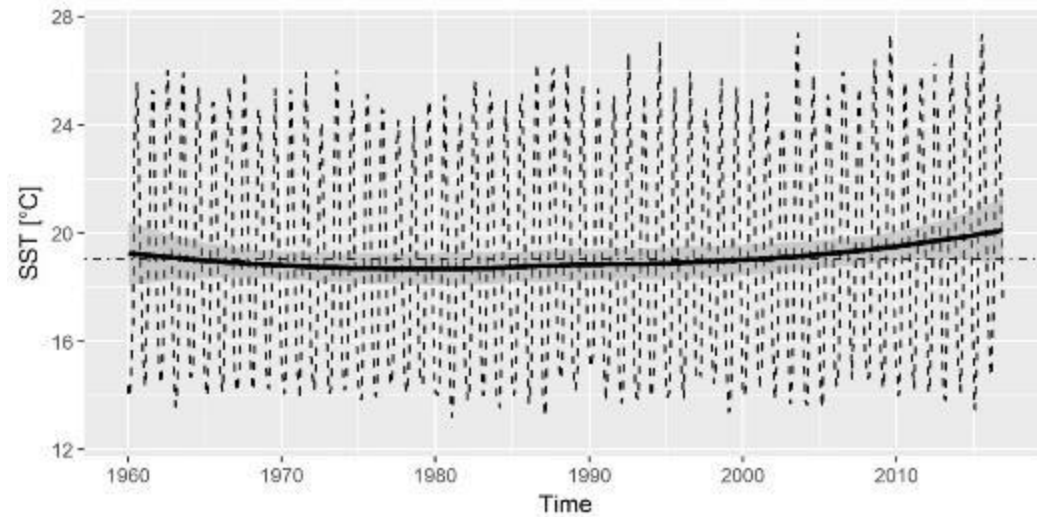
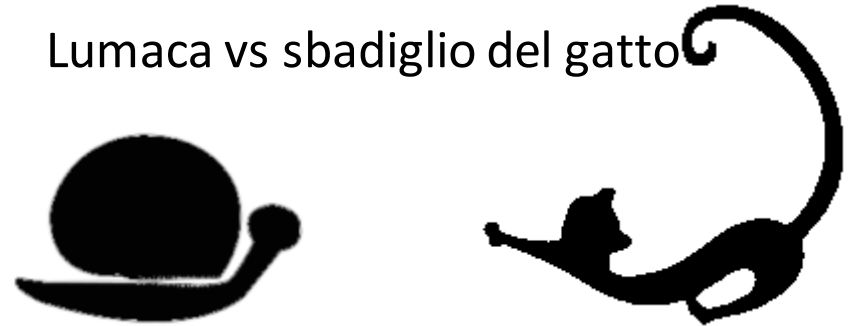
- International Comprehensive Ocean–Atmosphere Data Set (ICOADS) – valori mensili
- Reti di monitoraggio ISPRA (RON; RMN) – valori orari
- Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) – valori giornalieri



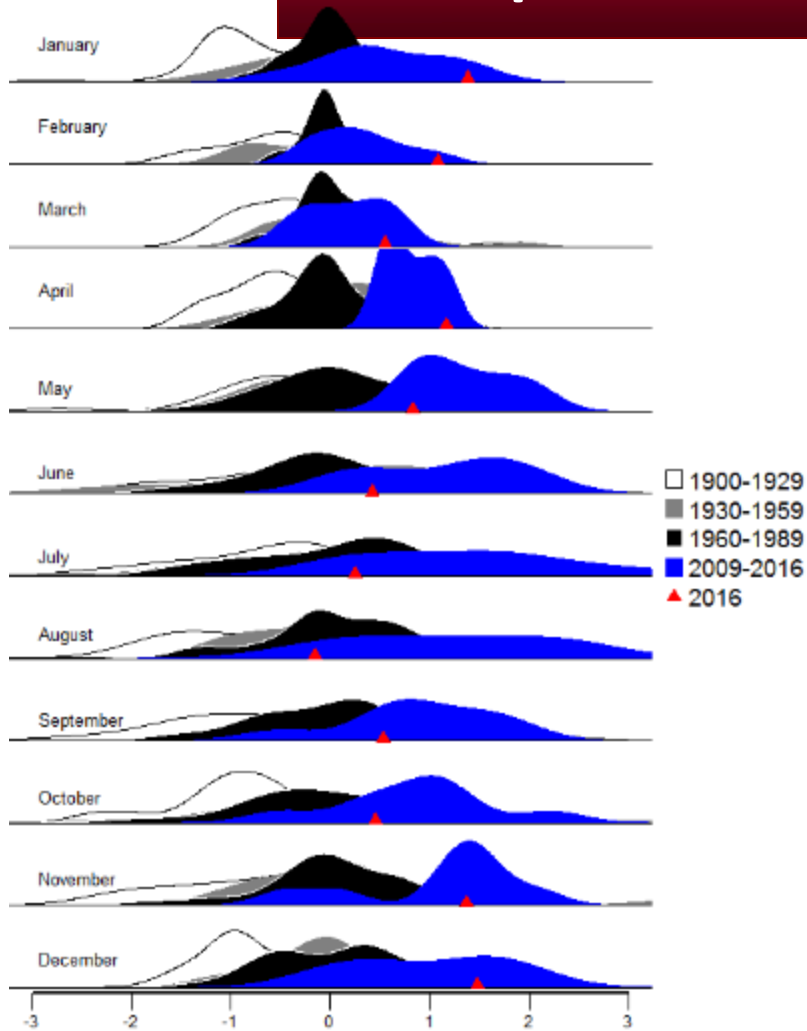
Temperatura Superficiale del mare



Lumaca vs sbadiglio del gatto



Temperatura Superficiale del mare



Lumaca vs sbadiglio del gatto

