
1° Convegno Nazionale
CAMBIAMENTI CLIMATICI E VARIAZIONE DEL LIVELLO NEL MARE MEDITERRANEO
ENEA – Roma 5-6 Luglio 2018



***“Analisi della variazione di lungo periodo del livello del mare
nel Nord Adriatico e stagionalità”***

S. Morucci, M. Cordella, F. Crosato, M. Ferla (ISPRA)

A. Rusconi (IUAV)

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

Introduzione

● Il livello del mare e la variazione di lungo periodo

L'ALTO ADRIATICO E LA LAGUNA DI VENEZIA

Osservazioni:

- Reti di monitoraggio
- I dati

● Il Modello STL

- Il modello Seasonal Trend decomposition using Loess (STL)

● Stagionalità

● Risultati

IL LIVELLO DEL MARE

La Direttiva 2007/60/UE relativa alla gestione del rischio alluvioni prevede la definizione di scenari di rischio che includono le inondazioni marine.

- Le grandezze fisiche che generano le condizioni di pericolosità 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 vengono per semplicità analizzati separatamente

$$H_{tot} = L_{MM} + H_{astr} + H_{surge} + W_{up} + R_{up}$$

L_{MM} il livello medio mare

H_{astr} l'altezza relativa alla marea astronomica

H_{surge} il sovralzato di marea (differenza tra marea osservata e altezza di marea astronomica)

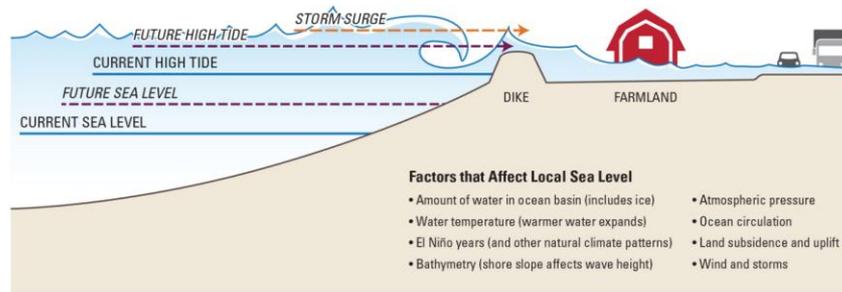
W_{up} il set-up costiero dovuto al frangimento delle onde sotto costa

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
- Il quarto e il quinto termine $W_{up} + R_{up}$, riconducibili all'effetto impulsivo del moto ondoso sul litorale e possono essere ottenuti da modelli
- Nel 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 sovralti di marea innescati da effetti meteorologici possono superare anche il metro in dipendenza dei gradienti barici negativi

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E IL MARE

Rising Sea Levels & Storm Surge



NOTE: Sea, tide, and storm surge levels are for illustrative purposes only and do not depict actual or projected levels.

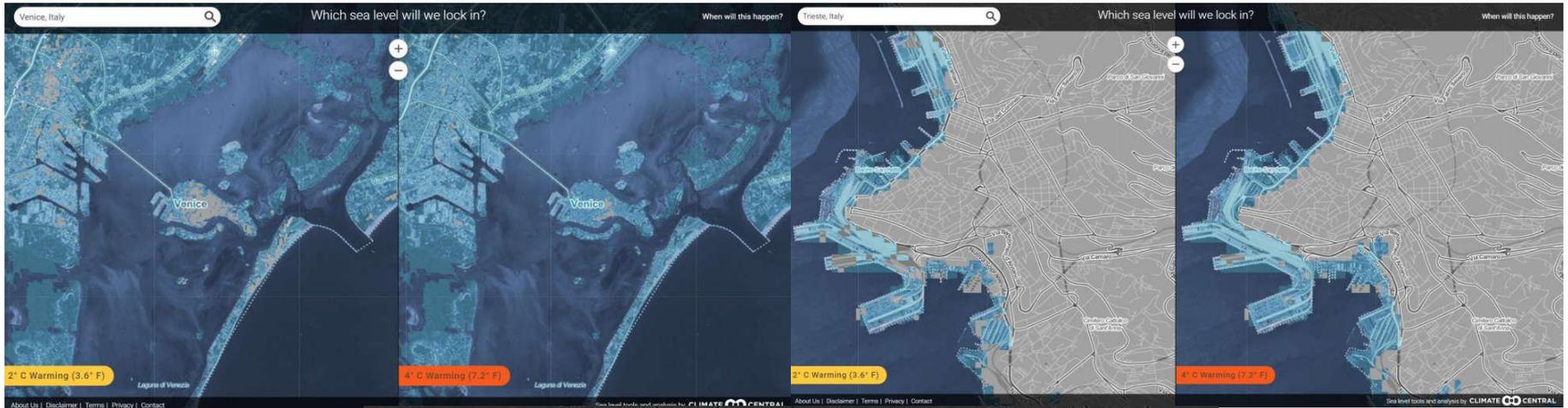
inondazioni costiere



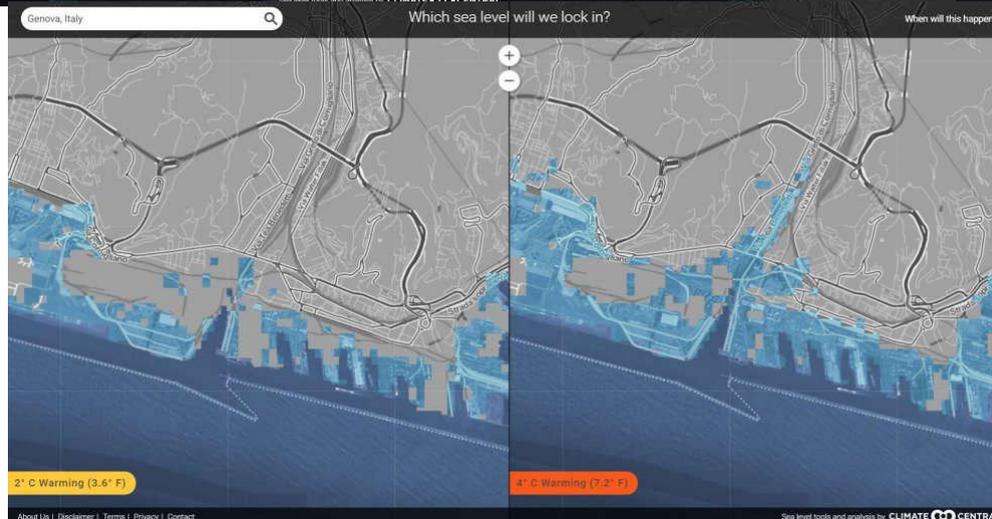
mareggiate



IL LIVELLO DEL MARE



Venezia



Trieste

Genova

IL LIVELLO DEL MARE IN ALTO ADRIATICO

PERCHÈ IN ALTO ADRIATICO?



IL LIVELLO DEL MARE IN ALTO ADRIATICO

I DATI

● Rete Mareografica Nazionale (RMN) e Rete Mareografica della Laguna di Venezia (RMLV) sono le due reti di monitoraggio gestite da ISPRA che garantiscono misurazioni del livello del mare su tutto il territorio nazionale e nella LAGUNA di **VENEZIA** e dati del **CNR-ISMAR** per la stazione di Trieste

● I sensori attivi nelle stazioni forniscono osservazioni di

livello del mare (ogni 10 min)
temperatura dell'acqua (orari)

● E i seguenti parametri meteo

velocità e direzione del vento a 10 m
pressione atmosferica
temperatura dell'aria

MONITORAGGIO

Linked Open Data (LOD)

- ISPRA produce e raccoglie dati di grande interesse pubblico. Per poter sfruttare appieno le potenzialità di queste di informazioni è necessario che tali dati siano rilasciati in formato “open”, ovvero **liberi da restrizioni sia dal punto di vista dell'accesso che del riutilizzo**
- I LOD sono dati aperti interrogabili direttamente da qualsiasi applicazione, rispondono in tal modo alle esigenze di disporre di **dati standardizzati** e interoperabili

- **Obbligo per le PA di pubblicare i propri dati in formato “open data” (Art. 52 del D.lgs , 7 marzo 2005, n. 82 modificato con l'art. 9 del D.L. n. 179/2012, Codice dell'amministrazione digitale)**
- **Linee Guida Nazionali per la Valorizzazione del Patrimonio Informativo Pubblico (2014)**



25.024.716 VISITE DAL 1/5/2010 **869** UTENTI CONNESSI



24.973.170 VISITE DAL 1/5/2010 **1109** UTENTI CONNESSI



Rete Mareografica Nazionale

- ▼ Informazioni generali
- ▼ Reti di misura
 - Mareografica
 - Qualità dell'acqua
 - Onde anomale
 - ▼ Livellazione
 - ▼ Stazioni
- Ancona**
- Anzio
- Bari
- Cagliari
- Carloforte
- Catania
- Civitavecchia
- Crotone
- Gaeta
- Genova
- Ginestra
- Imperia

ANCONA

LATITUDINE 43° 37' 29.16" 
 LONGITUDINE 13° 30' 23.46"

descrizione della stazione

Visualizzazione dati, periodo disponibile 01.01.2010 - 04.12.2017

▶ livello idrometrico

 grafico lineare

 istogramma

 tabella dati

▶ temperatura acqua

▶ temperatura aria

▶ umidità relativa

▶ pressione atmosferica

▶ velocità e direzione vento

▶ confronto tra parametri

ANCONA

LATITUDINE 43° 37' 29.16" 
 LONGITUDINE 13° 30' 23.46"

descrizione della stazione

Visualizzazione dati, periodo disponibile 01.01.2010 - 04.12.2017

▶ livello idrometrico

▶ temperatura acqua

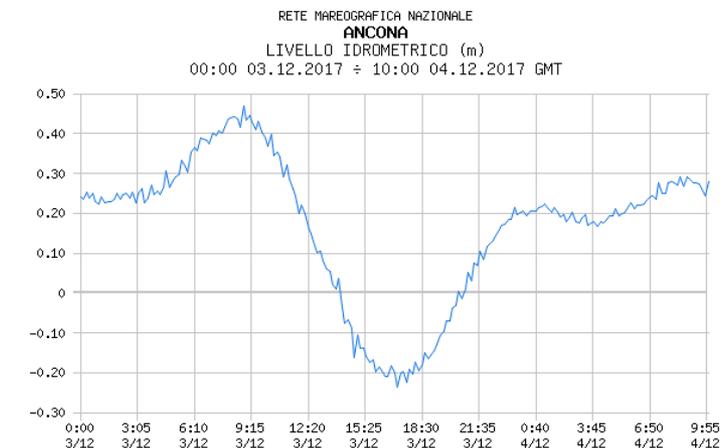
▶ temperatura aria

▶ umidità relativa

▶ pressione atmosferica

▶ velocità e direzione vento

▶ confronto tra parametri



La Rete Mareografica Nazionale utilizza esclusivamente stazioni di moni



LA RMLV



ISPRA

Istituto Superiore per la
Protezione e la Ricerca Ambientale



Home News Istituto La marea Dati Modellistica Meteo e mare

Laguna di Venezia



Dati

La Rete Meteo-mareografica della Laguna di Venezia (RMLV)

L'Area Maree e Lagune, che ha ereditato le competenze fino al 2016 in capo al Servizio Laguna di Venezia, e prima ancora all'Ufficio Idrografico sulla Laguna di Venezia, dispone oggi di una rete di 52 stazioni meteo-mareografiche distribuite all'interno del bacino lagunare e lungo il litorale alto Adriatico (coordinate geografiche).



Continua

Le stazioni meteo-mareografiche

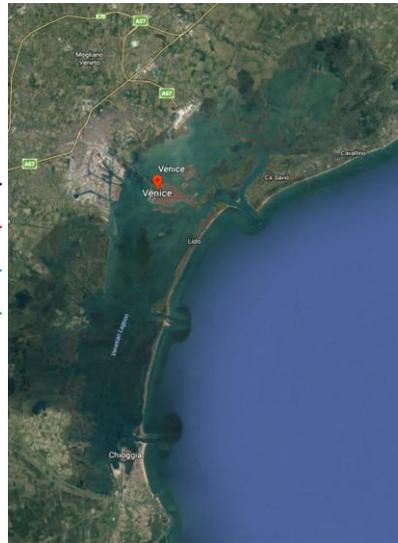
Nome stazione	Dati in tempo reale	Dati storici	Stato
Barene della Grisa		⚡	✓
Botte Trezze	⚡	⚡	✓
Brondolo		⚡	✓
Burano	⚡	⚡	✓
Campalto		⚡	✓
CanalAncora	⚡	⚡	✓
Caorle		⚡	✓
Cason Figheri		⚡	✓



www.venezia.isprambiente.it/

<http://www.venezia.isprambiente.it/rete-meteo-mareografica>

I DATI DEL MAREOGRAFO DI VENEZIA

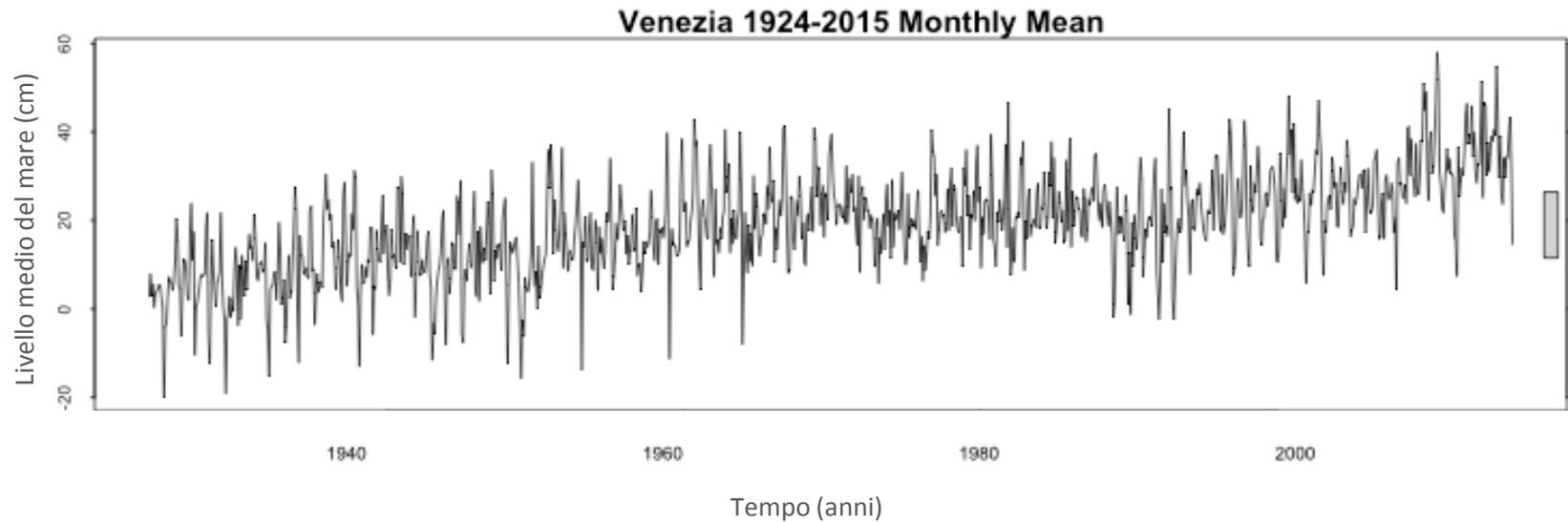


- STAZIONE di PUNTA DELLA SALUTE
- Dati osservati orari
- 1924 - 2015



Dati medi mensili

I DATI DEL MAREOGRAFO DI VENEZIA

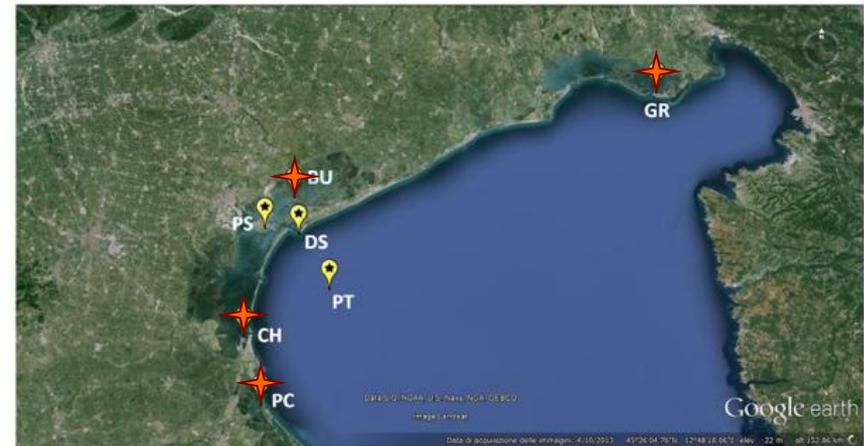


- STAZIONE di PUNTA DELLA SALUTE
- Dati osservati orari
- 1924 – 2015 (circa 90 anni)



Dati medi mensili

LA LAGUNA DI VENEZIA



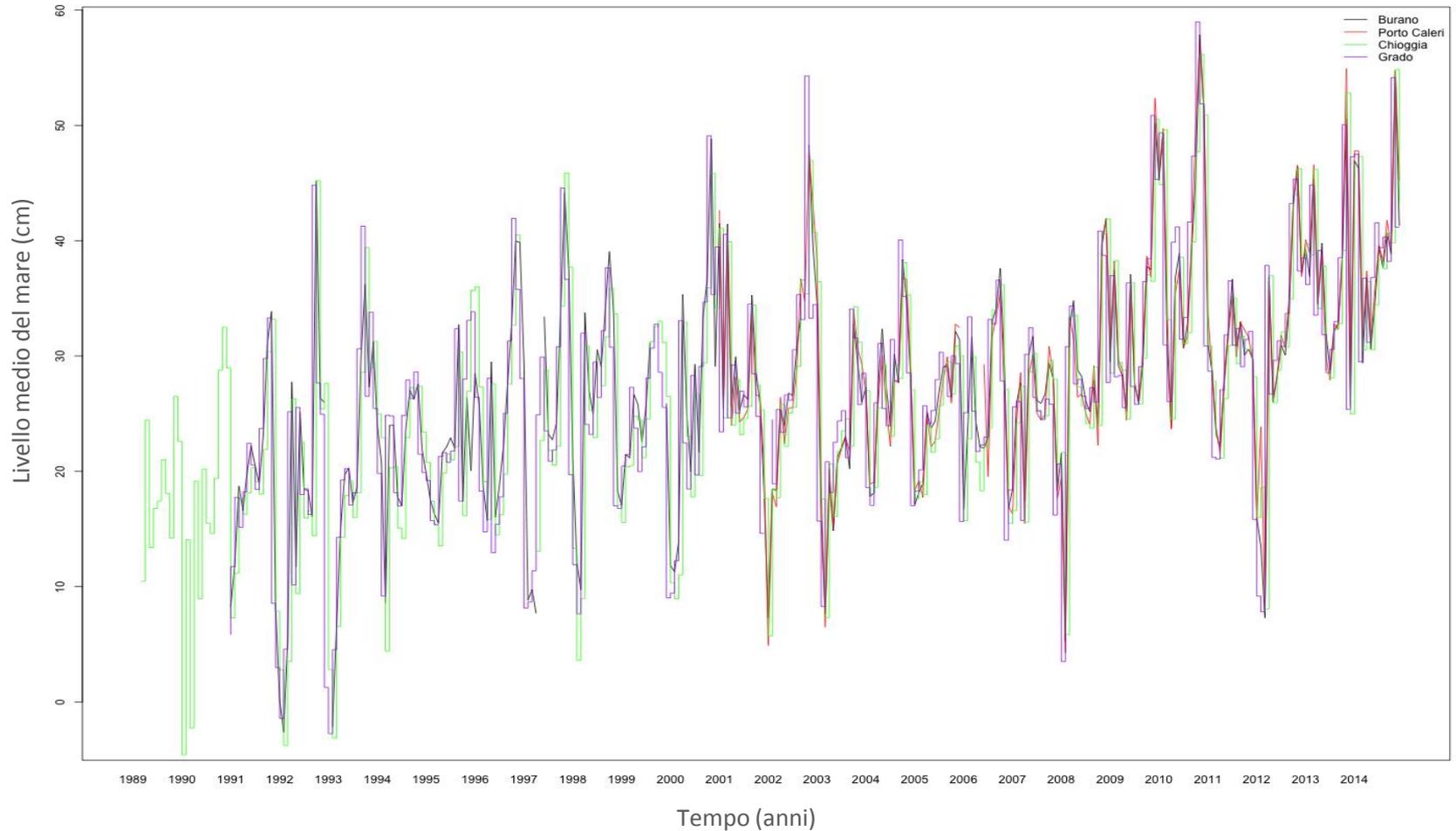
- STAZIONI
- Medie mensili



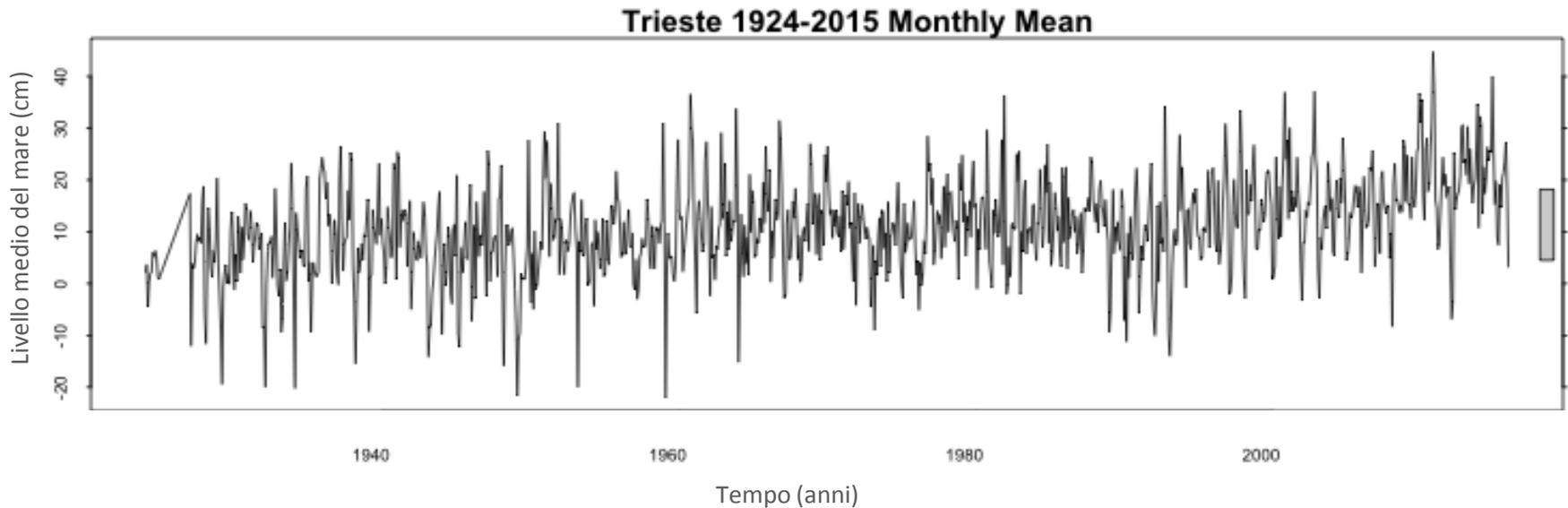
★	CHIOGGIA	1989 - 2014
★	BURANO	1991 - 2014
★	PORTO CALERI	2001 - 2014
★	GRADO	1991 - 2014

LA LAGUNA DI VENEZIA

DATI DI LIVELLO DEL MARE - LAGUNA DI VENEZIA



I DATI DEL MAREOGRAFO DI TRIESTE



- STAZIONE di TRIESTE CNR-ISMAR
- 1924 – 2015 (circa 90 anni)



Dati medi mensili

Introduzione

● Il livello del mare e la variazione di lungo periodo

L'ALTO ADRIATICO E LA LAGUNA DI VENEZIA

Osservazioni:

- Reti di monitoraggio
- I dati

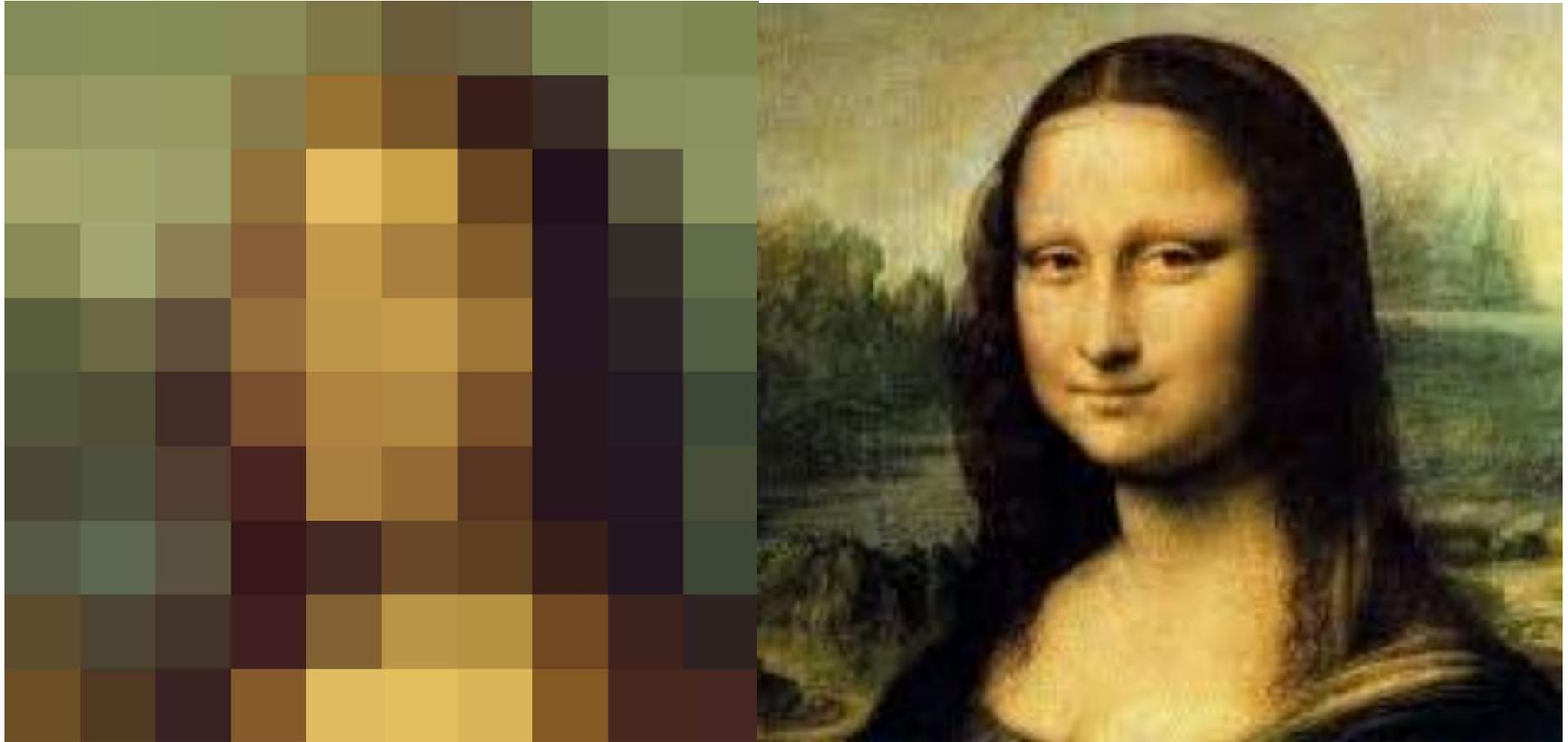
● Il Modello STL

- Il modello Seasonal Trend decomposition using Loess (STL)

● Stagionalità

● Risultati

METODOLOGIE PER L' ANALISI DEI DATI



METODI DI ANALISI

Il metodo lineare consente di rispondere a queste domande

Sto variando il livello del mare?

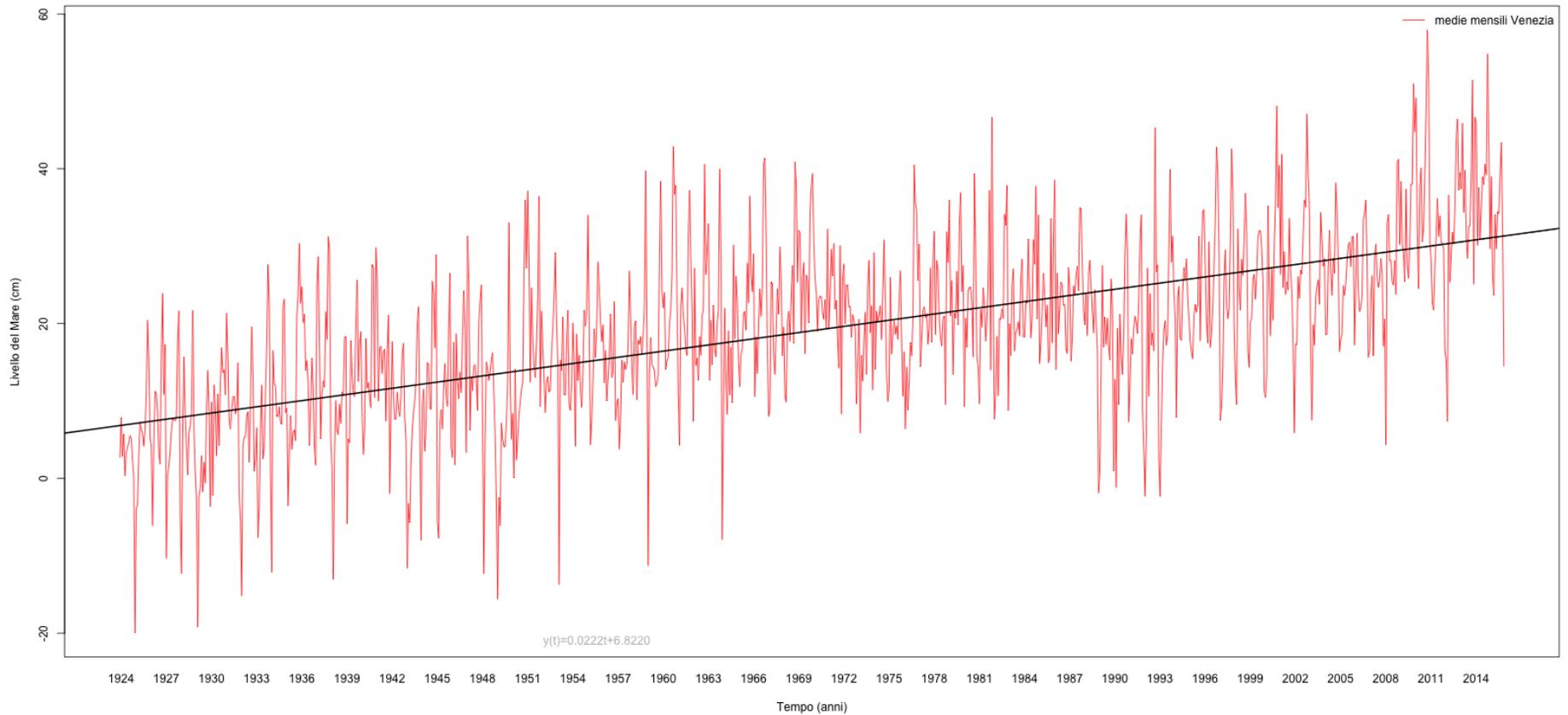
Sto crescendo o diminuendo mediamente?

Il metodo STL ci consente di rispondere anche a questa domanda

Come sta cambiando il livello del mare?

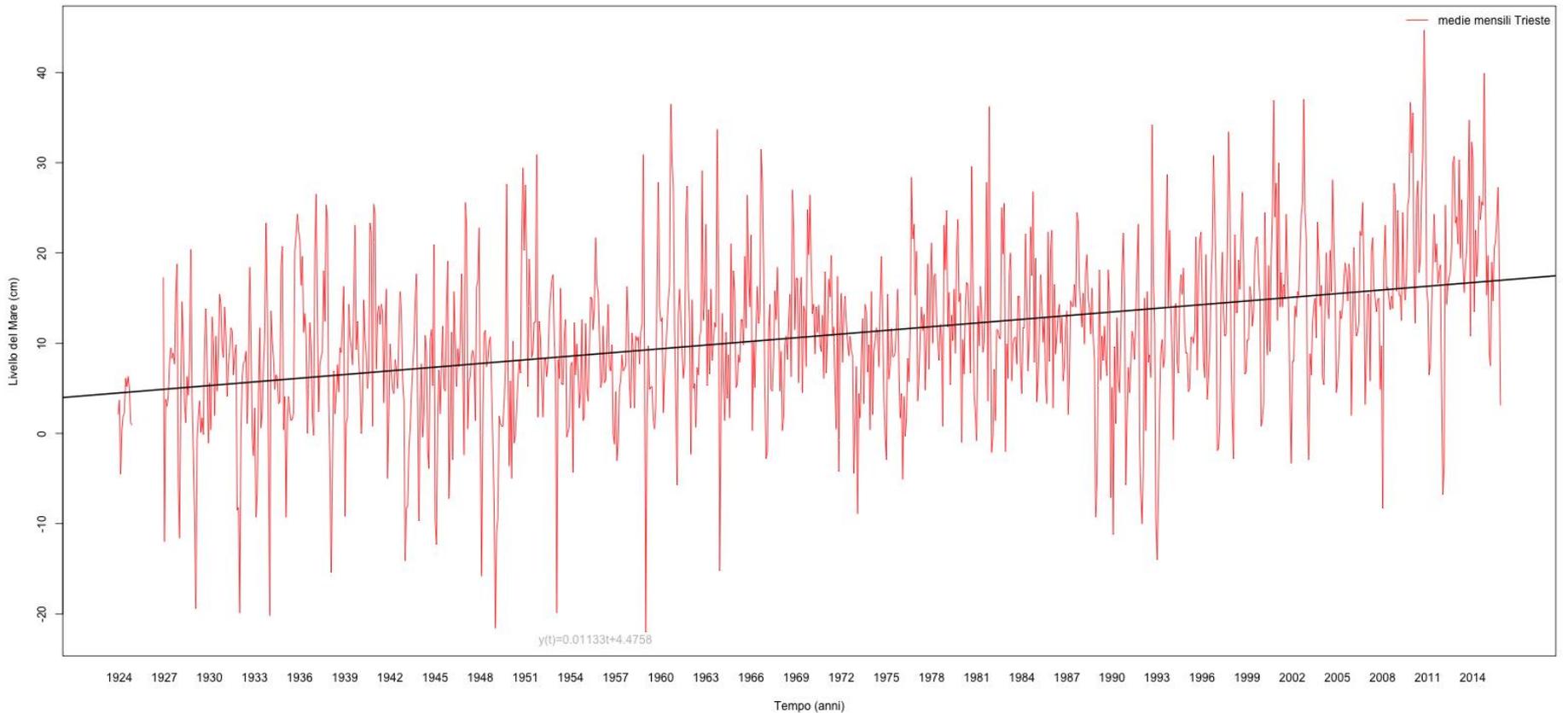
IL MODELLO LINEARE

Venezia 1924-2015



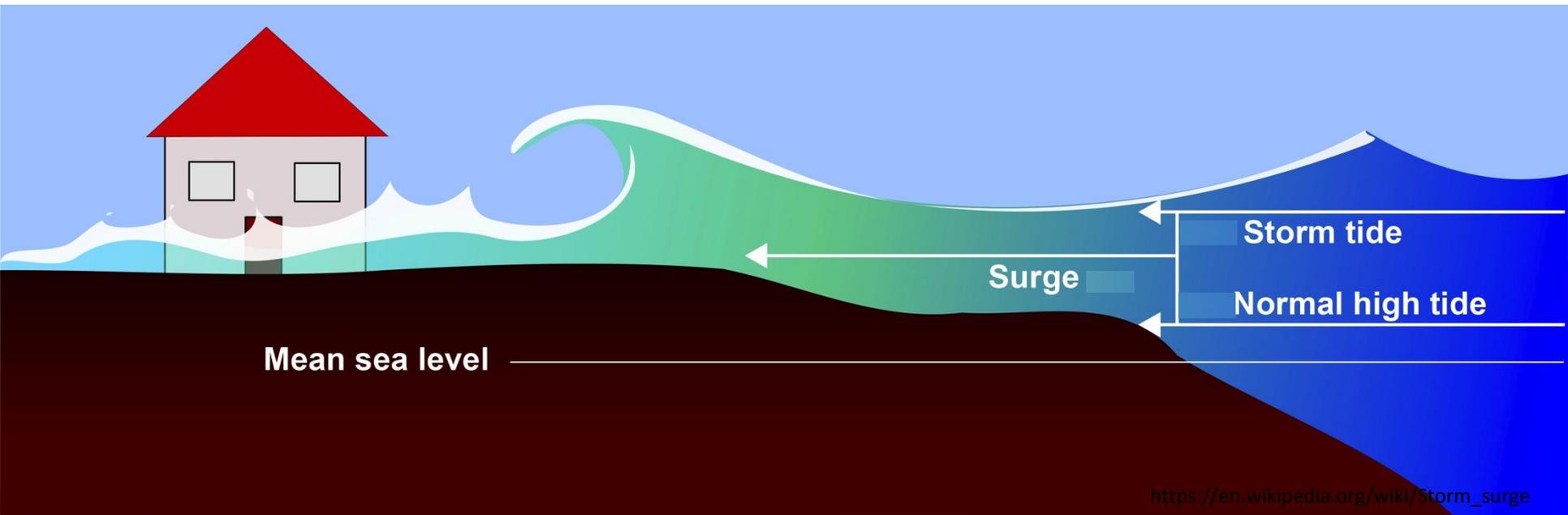
IL MODELLO LINEARE

Trieste 1924-2015



IL LIVELLO DEL MARE

$$Z_0(t) = \underbrace{\bar{Z}_0 + at}_{\text{livello medio a lungo termine + trend}} + \underbrace{N + S_a + S_{sa}}_{\text{componente armonica}} + \underbrace{M_{eff}}_{\text{componente meteorologica}}$$



IL MODELLO STL

Seasonal Trend decomposition using Loess

$$Y(t) = T(t) + S(t) + R(t)$$

- $T(t)$ il Trend -> variazione di lungo periodo del valore medio
- $S(t)$ la componente Stagionale -> variazione periodica, ciclica
- $R(t)$ la componente irregolare -> segnale residuo

IL MODELLO STL

Seasonal Trend decomposition using Loess

decomposizione di una serie temporale

- Sia $Y(t)$ l'osservazione al tempo t : $Y(t) = T(t) + S(t) + R(t)$
- Lo scopo è di sostituire il valore $Y(t)$ con un nuovo valore $Y'(t)$ che contenga solamente $T(t)$ e $S(t)$
- La stima di $Y'(t)$ viene realizzata a partire dalle osservazioni attorno ad $Y(t)$



MODELLO STL

IL MODELLO STL

Seasonal Trend decomposition using Loess

Regressione Polinomiale Locale

- serie $Y(t)$ dipendente dal tempo
- per ogni istante t viene effettuato un fit attraverso un polinomio locale usando $Y(t)$ e le $k-1$ osservazioni adiacenti

Caso lineare

per ogni istante t si otterrà la stima di una diversa equazione di regressione locale

$$Y'(t) = a(t) + b(t)t$$

$a(t)$, $b(t)$: non si sta utilizzando una unica **globale** retta di regressione ma una serie di rette di regressione **locali**

IL MODELLO STL

Seasonal Trend decomposition using Loess

Tecnica sviluppata da Cleveland (1979) e largamente usata nell'analisi dei dati; successivamente impiegata come strumento per la decomposizione di una serie temporale nella componente stagionale e nel trend (STL – seasonal-trend decomposition using Loess) (Cleveland et al., 1990)



Local RegrESSion (LOESS)

locally weighted polynomial regression

- In ciascun punto t del subset scelto $(t-i, t+i)$ viene realizzato un fit con un polinomio di regressione locale
- Il fit è realizzato attraverso un metodo dei minimi quadrati pesato, pesando maggiormente i punti più vicini a t scelto e pesando meno i punti man mano più distanti $w(t) = (1 - |d|^3)^3$
- La procedura viene ripetuta su tutti i punti del set di dati

IL MODELLO STL

Seasonal Trend decomposition using Loess

parametri presenti nel metodo STL: **finestra temporale**



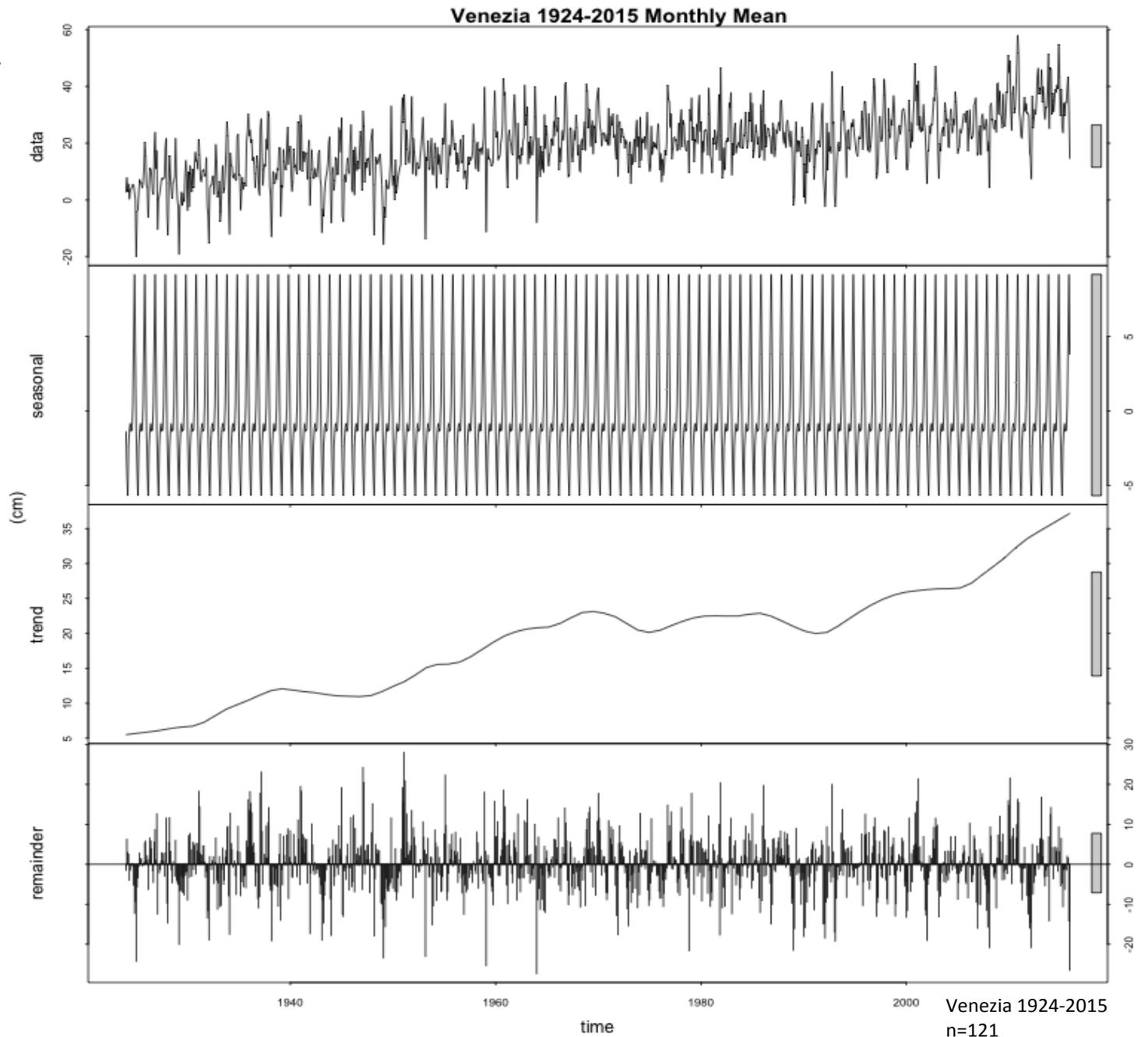
grande da garantire la stazionarietà delle componenti stagionali

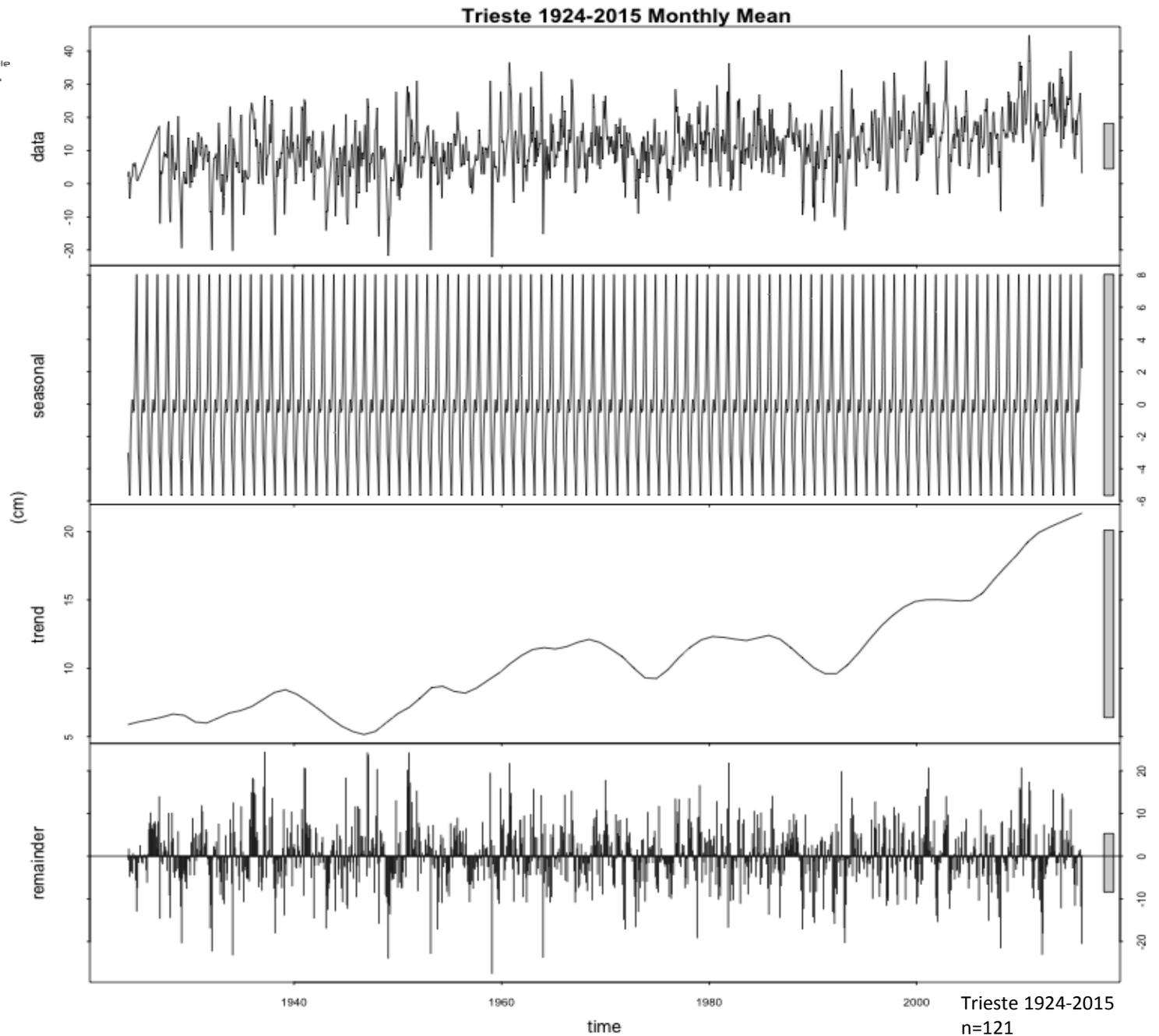
piccola da poter garantire una affidabilità del metodo più puntuale possibile

IL MODELLO STL

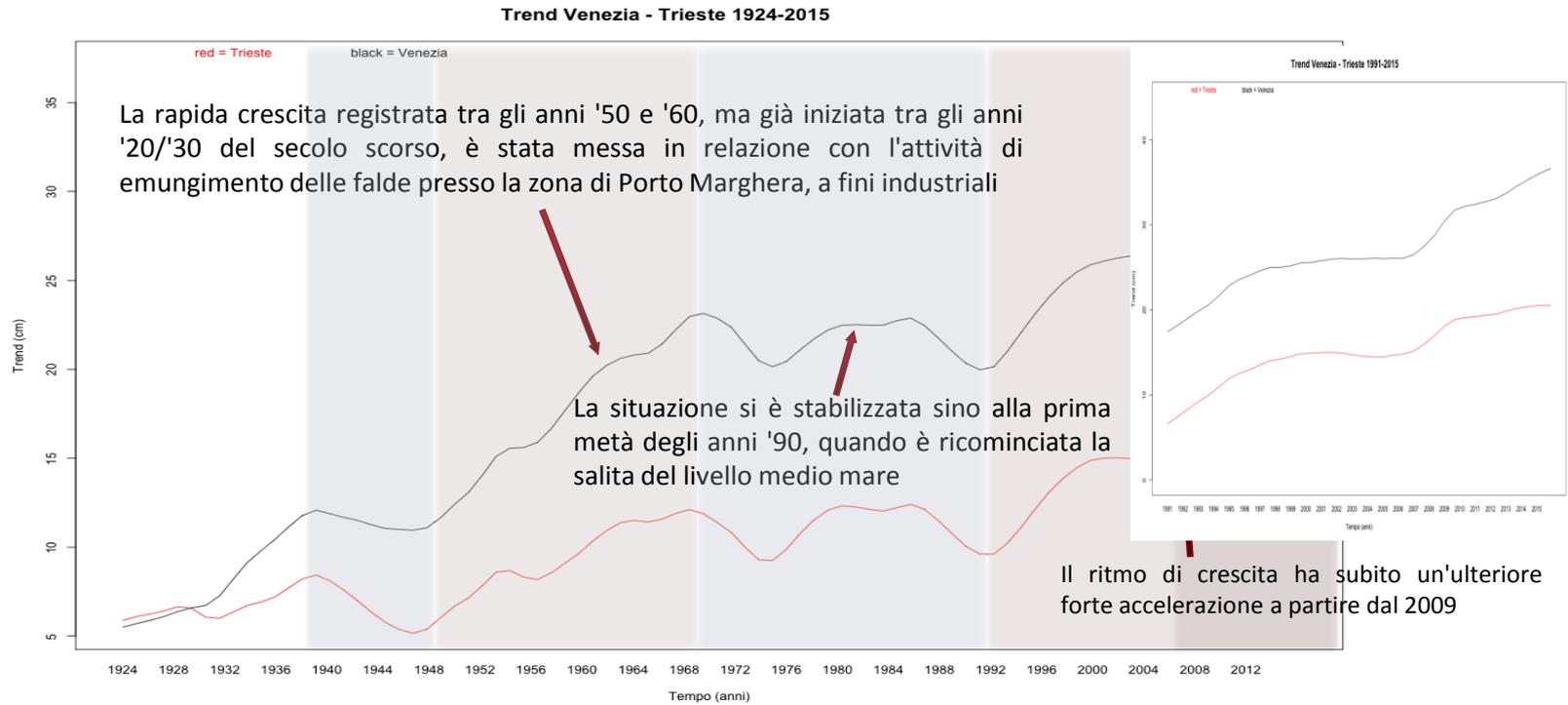
Seasonal Trend decomposition using Loess

- 1) Decomposizione della serie nella componente Trend, Stagionale e random utilizzando LOESS
- 2) La componente $S(t)$ viene calcolata applicando il loess alla sottoserie stagionale (es. serie dei valori di tutti i Gennaio)
- 3) Questa componente $S(t)$ viene sottratta dalla serie di origine $Y'(t) = Y(t) - S(t)$
- 4) A questa serie $Y'(t)$, viene applicato il loess per trovare la componente di trend
- 5) Questa procedura viene iterata riapplicando lo smoother per aggiornare ad ogni passo la componente stagionale, successivamente quella di trend fino alla convergenza





IL MODELLO STL VENEZIA e TRIESTE



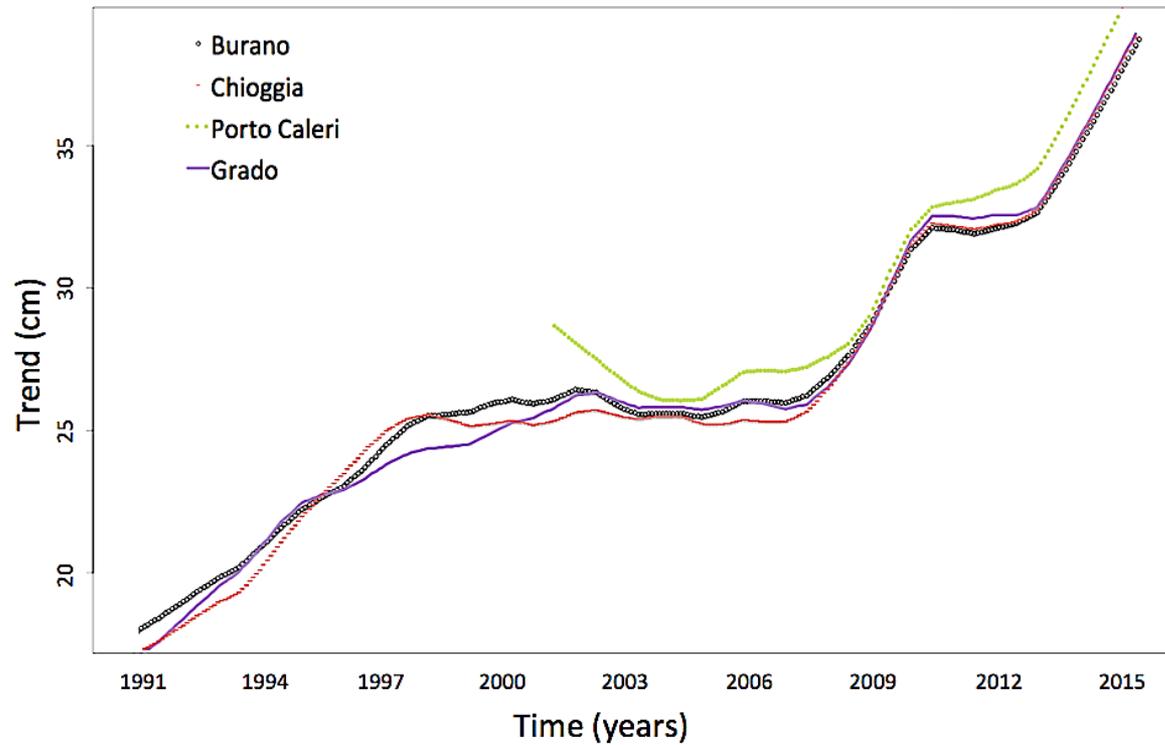
I periodi di stabilità risultano influenzati da particolari cicli di forzanti meteorologiche relative a variazioni inter-decadali connesse alla dinamica delle celle di circolazione atmosferica, in particolare la North Atlantic Oscillation (NAO) e la Mediterranean Oscillation (MO) (Gomis et al. 2012)

Trieste 1924-2015
Trend=1.68 mm/anno

Venezia 1924-2015
Trend=3.434 mm/anno

IL MODELLO STL – LAGUNA di VENEZIA

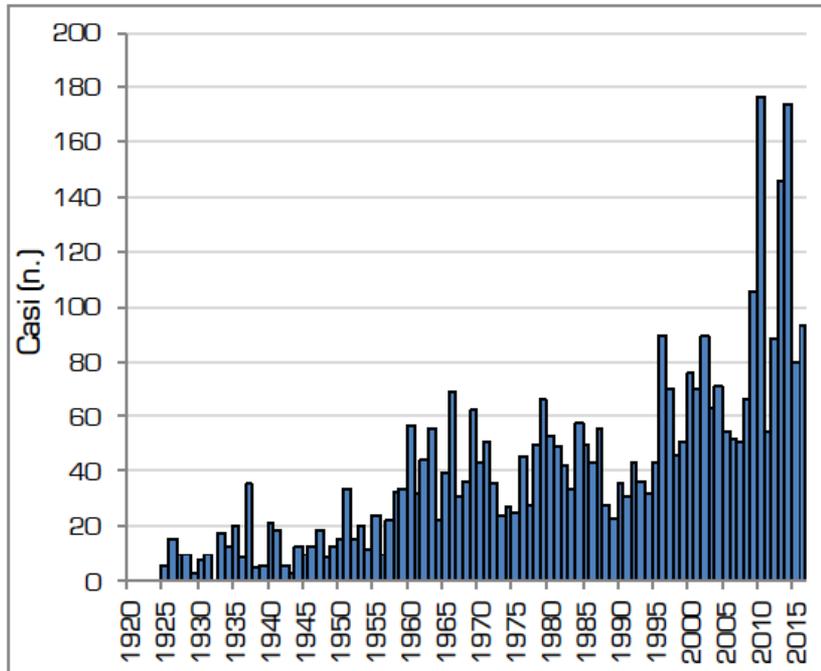
Trend Tide Gauges North Adriatic 1991-2015



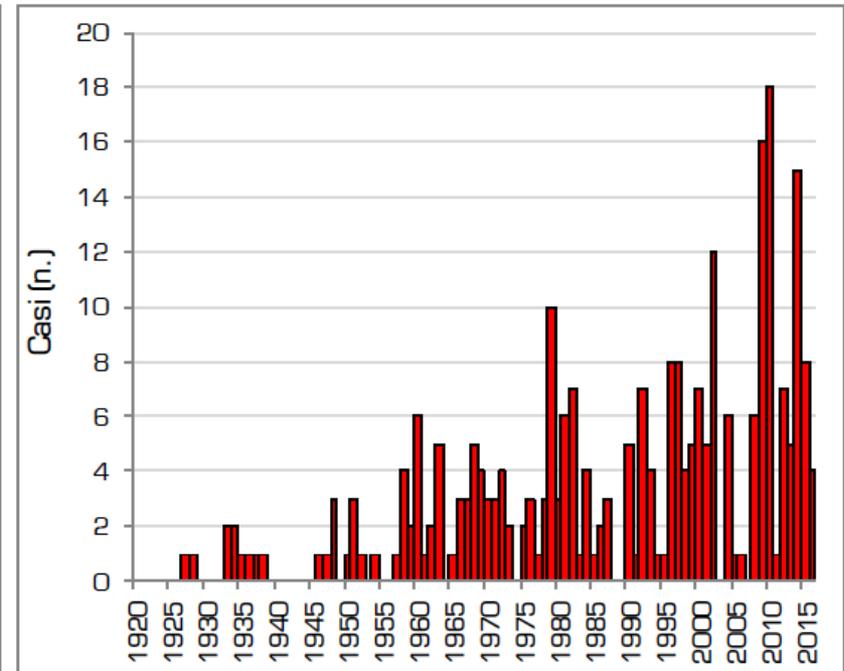


Disagi da acqua alta. Venezia, Zattere, livello marea + 156 cm, 01-12-2008

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E IL MARE



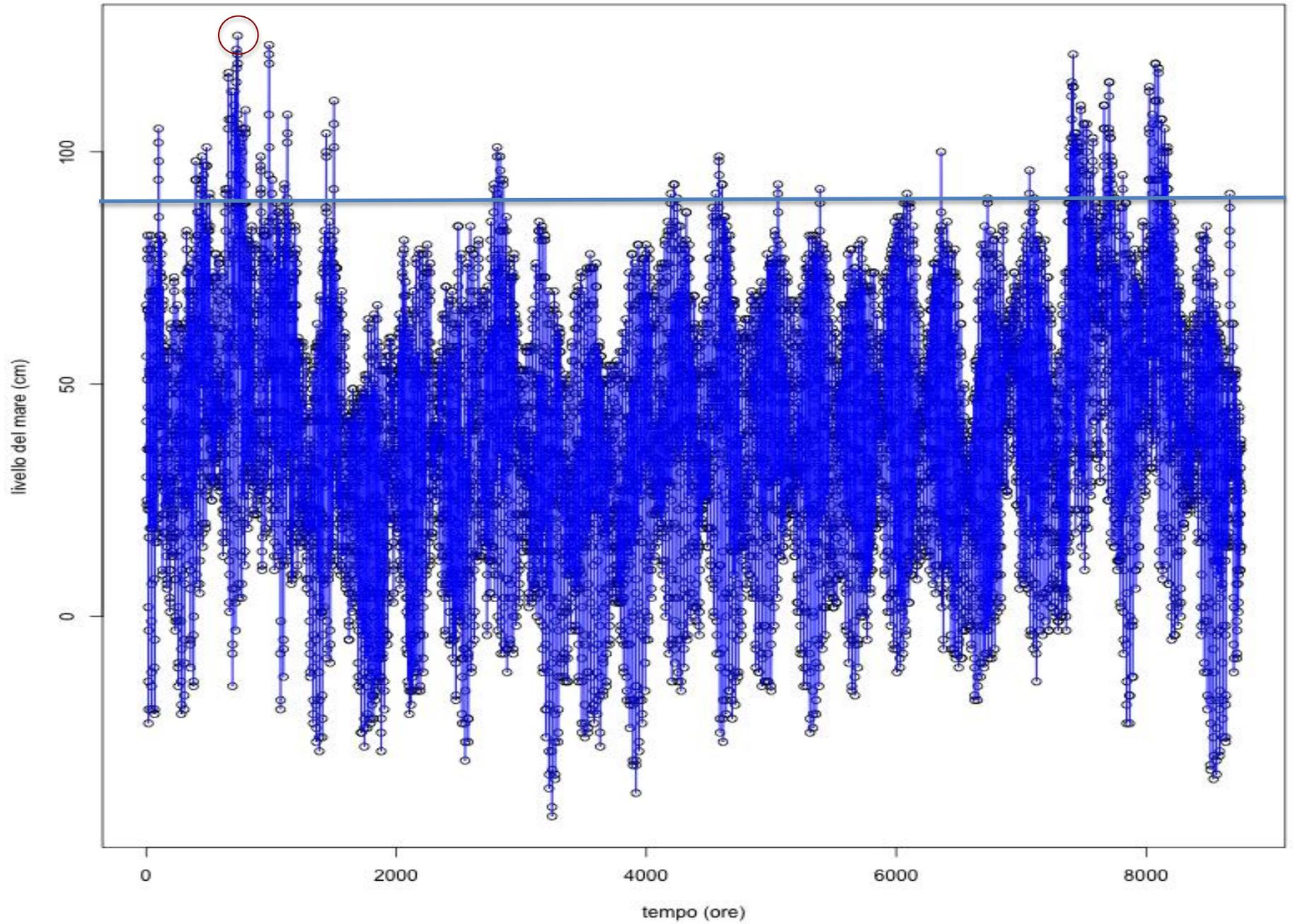
*Venezia - Punta della Salute:
numero di casi con massimi valori di
marea tra 80 e 109 cm sullo ZMPS.*



*Venezia - Punta della Salute:
numero di casi con massimi valori di
marea ≥ 110 cm sullo ZMPS.*

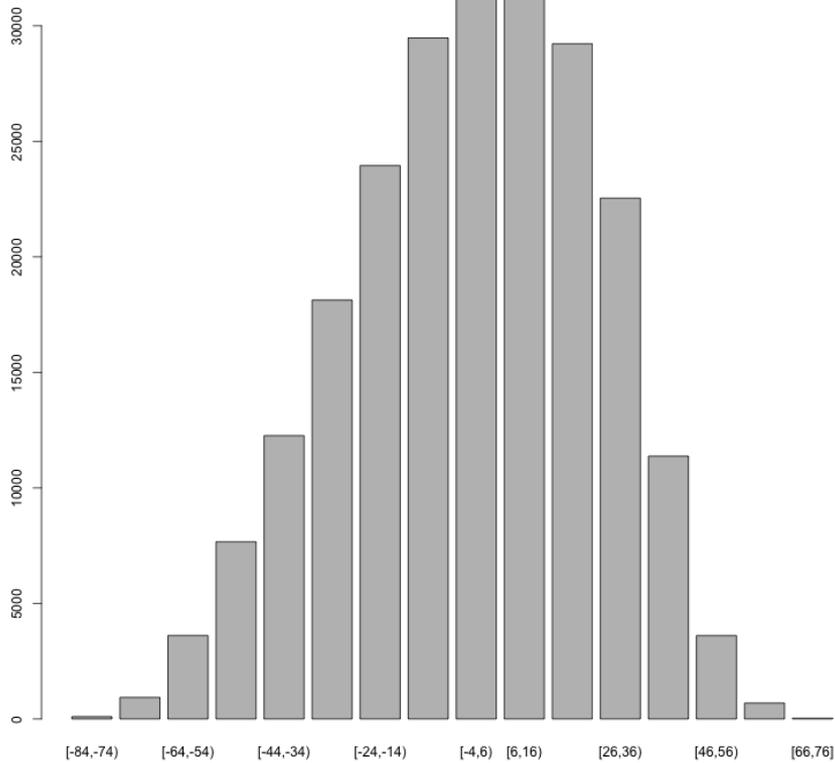
Risulta evidente l'aumento della frequenza di tutte e due le classi di altezza. In particolare, nel 2010 si registra il record assoluto per entrambe le classi, in concomitanza con il raggiungimento del l.m.m. annuale record di 40.5 cm sullo ZMPS

Venezia 2014

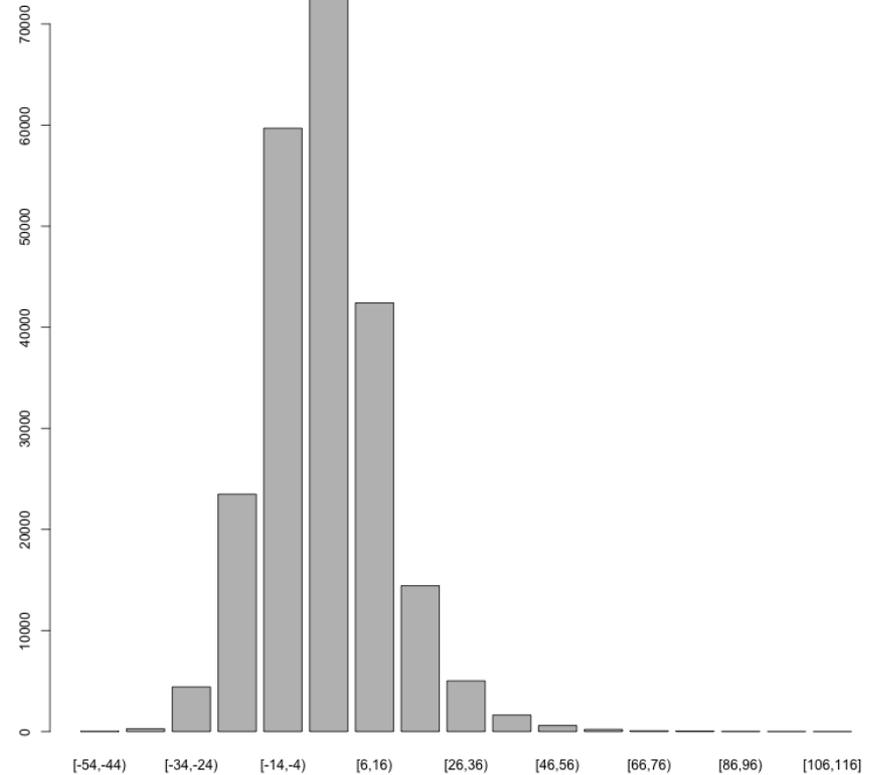


GLI EVENTI ESTREMI

Punta della Salute - Componente Astronomica 1989-2014

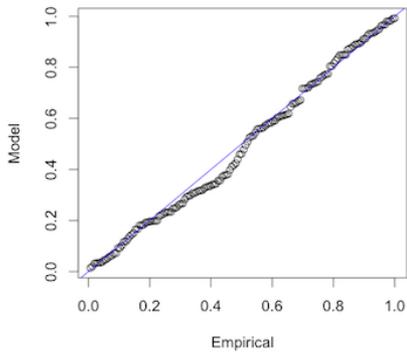


Punta della Salute - Componente Meteo 1989-2014

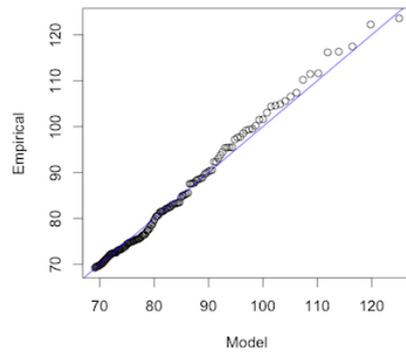


GLI EVENTI ESTREMI

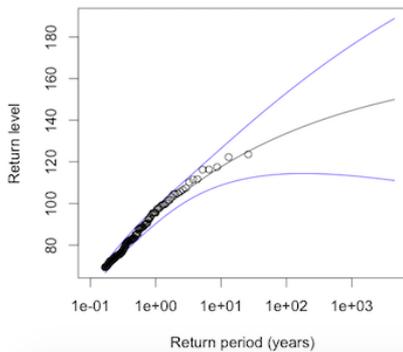
Probability Plot



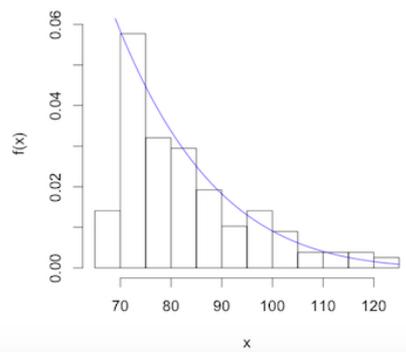
Quantile Plot



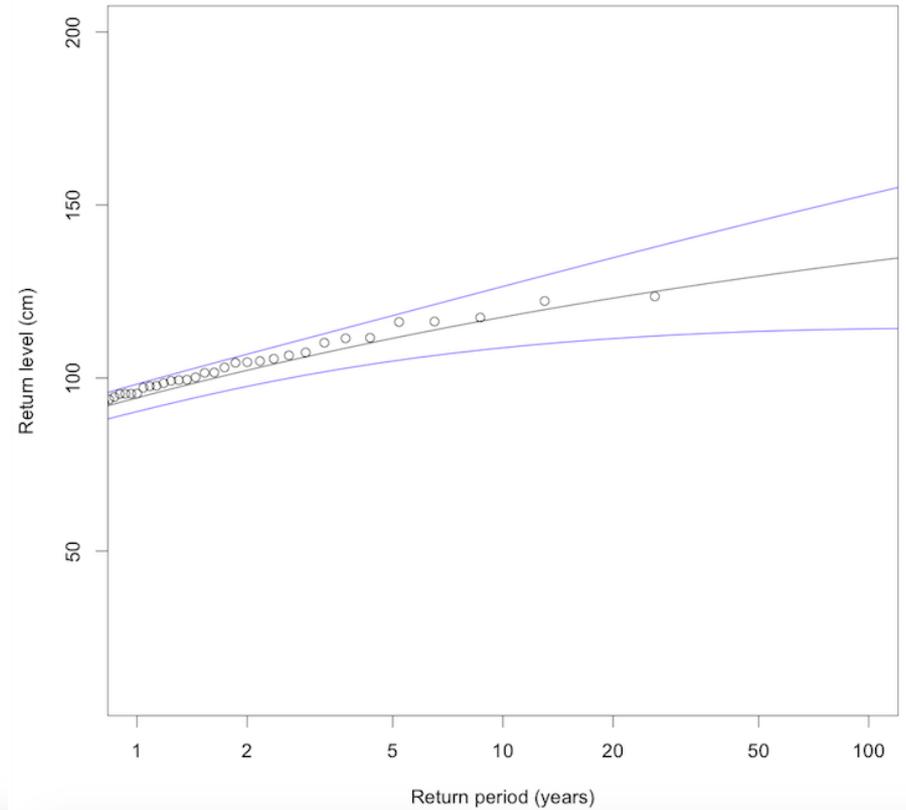
Return Level Plot



Density Plot

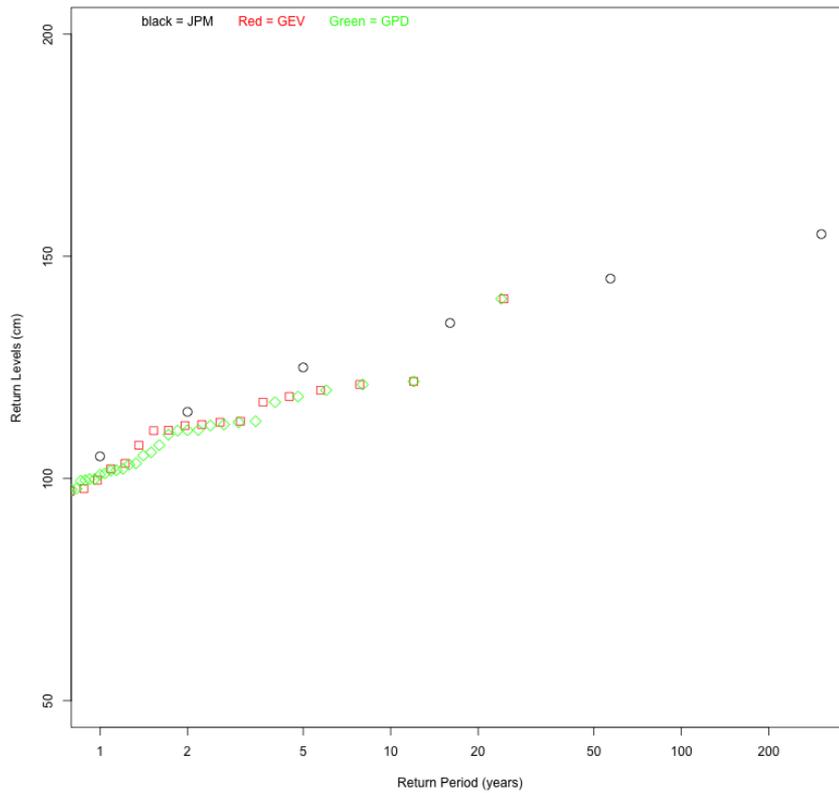


Return Level Plot - Punta della Salute

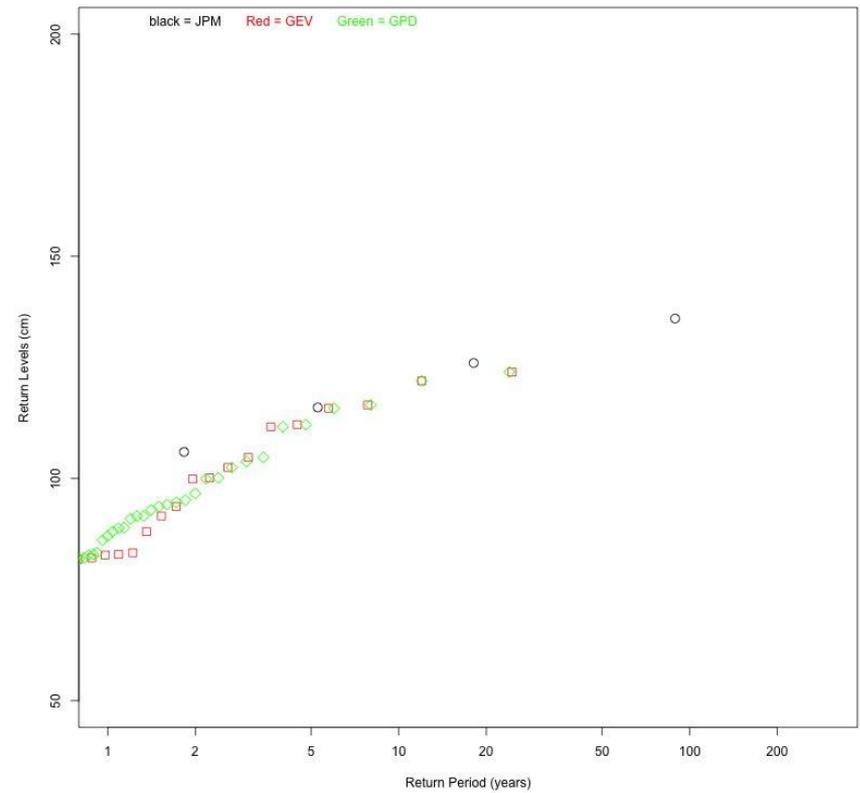


GLI EVENTI ESTREMI

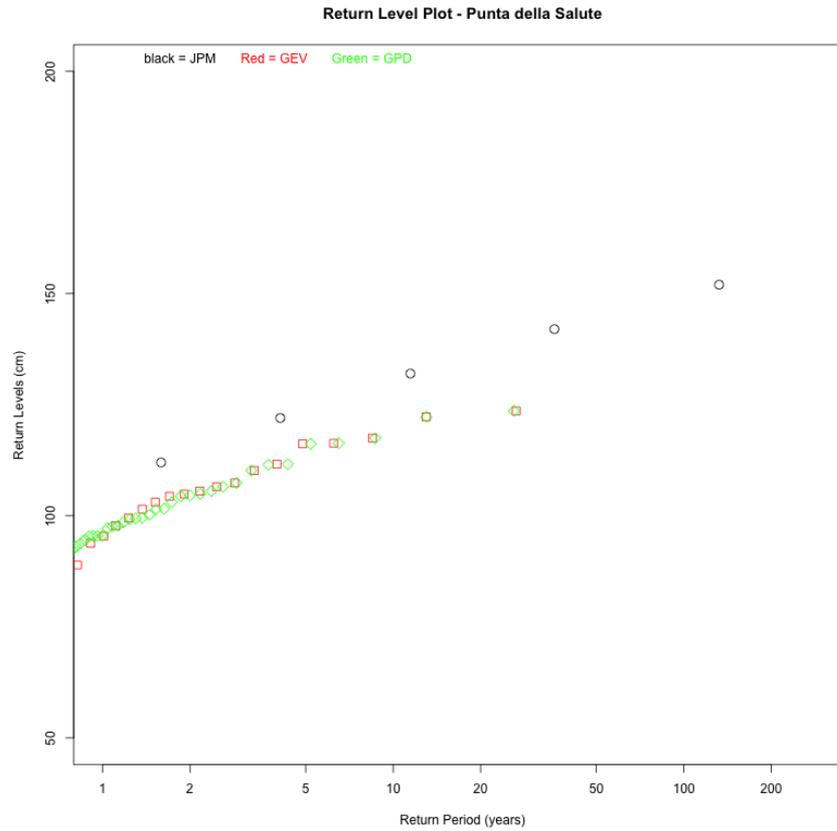
Return Level Plot - Grado



Return Level Plot - Burano



GLI EVENTI ESTREMI



GLI EVENTI ESTREMI

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

Introduzione

● Il livello del mare e la variazione di lungo periodo

L'ALTO ADRIATICO E LA LAGUNA DI VENEZIA

Osservazioni:

- Reti di monitoraggio
- I dati

● Il Modello STL

- Il modello Seasonal Trend decomposition using Loess (STL)

● Stagionalità

● Risultati

STAGIONALITÀ

È stato definito un “indicatore” di variabilità stagionale

- Le quattro componenti stagionali identificate secondo la classificazione WMO

inverno = dicembre+gennaio+febbraio

primavera = marzo+aprile+maggio

estate = giugno+luglio+agosto

autunno = settembre+ottobre+novembre

- Calcolo del valore medio annuale di ciascuna stagione
- Calcolo delle medie mobili su una finestra di 11 anni, per ridurre la variabilità delle serie stagionali
- Normalizzazione delle serie secondo la formula (caso dell'Autunno)

$$\text{Tau} = \mu_{au} / \Sigma(\mu_{au} + \mu_{wi} + \mu_{sp} + \mu_{su})$$

Tau -> indicatore del trend della stagione autunnale

μ_{au} -> media mobile sulla serie dei valori medi annuali dell'autunno

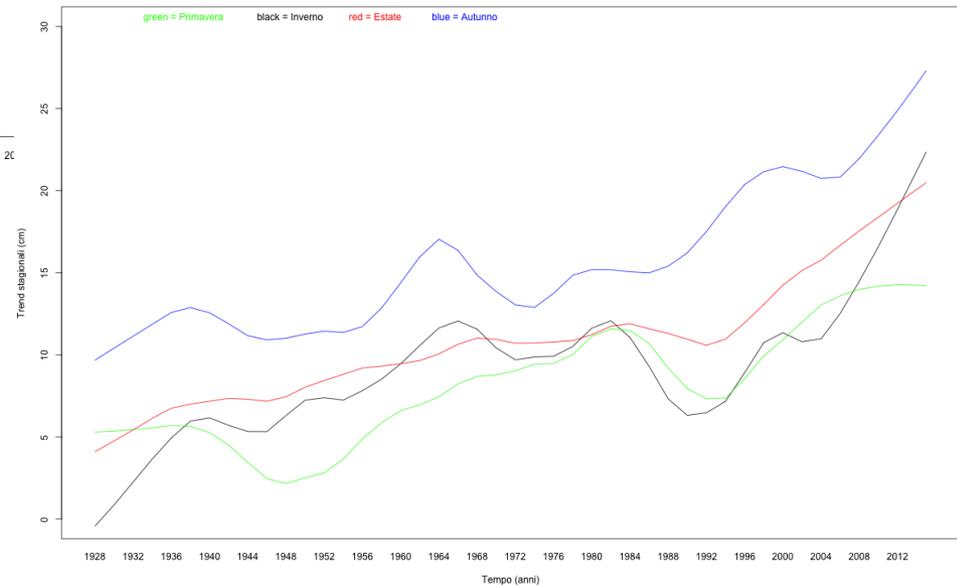
$\Sigma(\mu_{au} + \mu_{wi} + \mu_{sp} + \mu_{su})$ -> somma delle medie mobili di ciascuna stagione

STAGIONALITÀ STL

Venezia Trend Stagionali 1925-2015

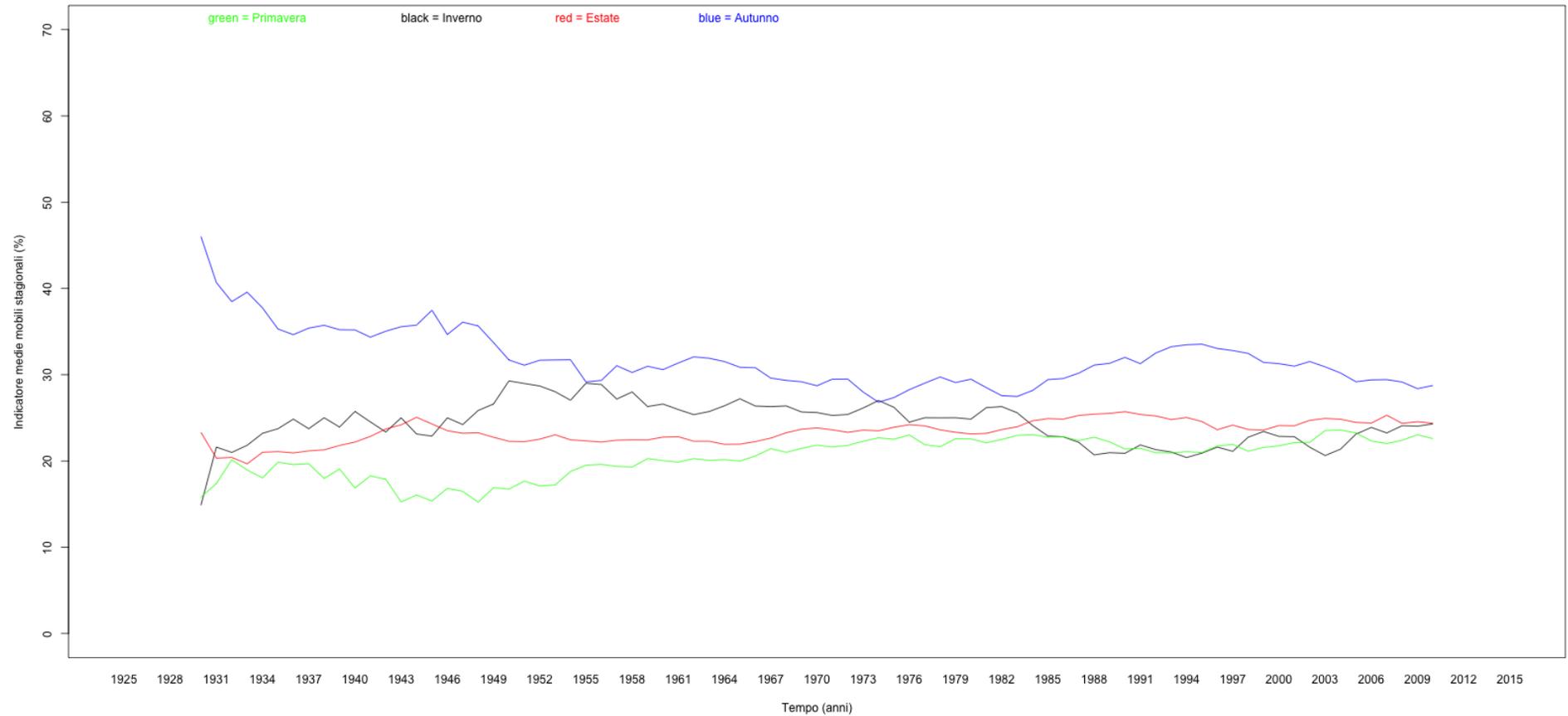


Trieste Trend Stagionali 1928-2015



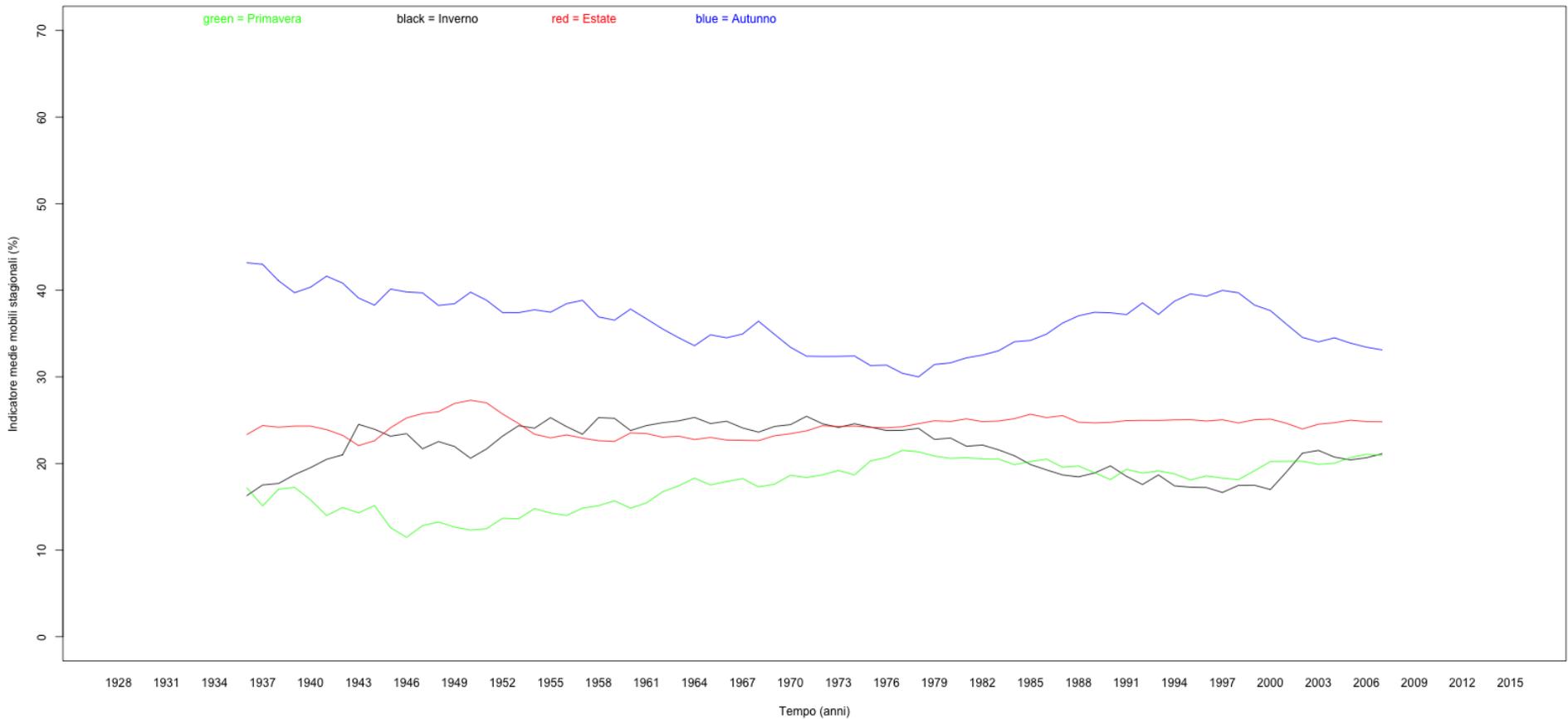
STAGIONALITÀ VENEZIA

Venezia Indicatore Medie Mobili Stagionali 1925-2015

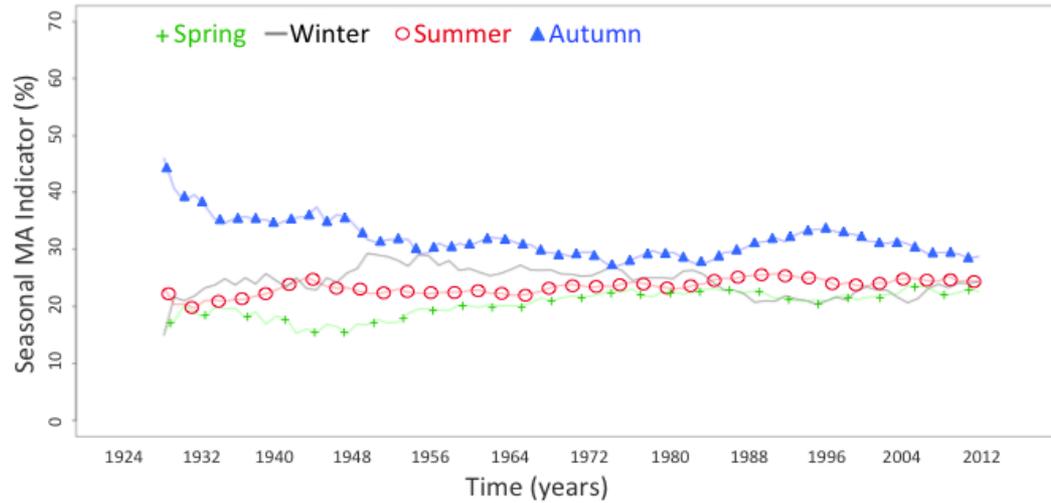


STAGIONALITÀ TRIESTE

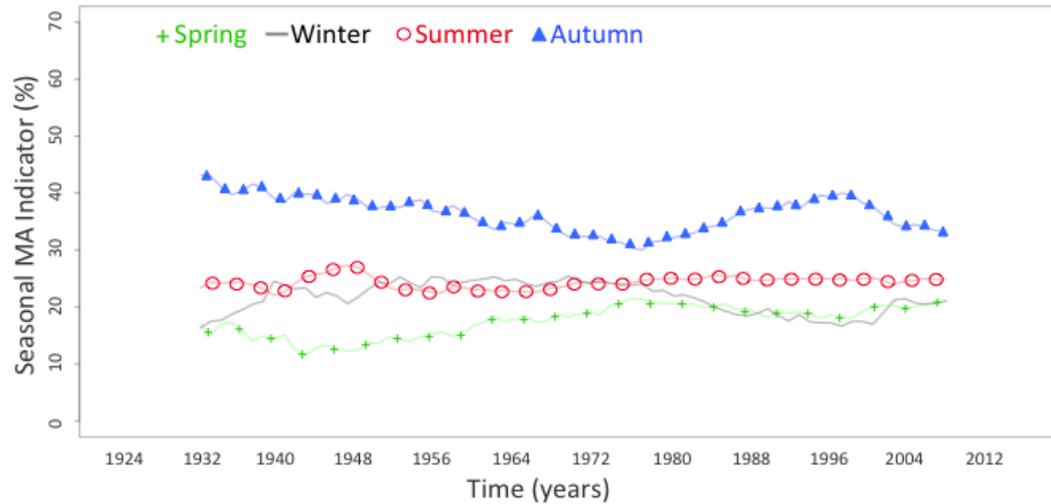
Trieste Indicatore Medie Mobili Stagionali 1928-2015



Seasonal Trend Venezia 1925-2015



Seasonal Trend Trieste 1928-2015



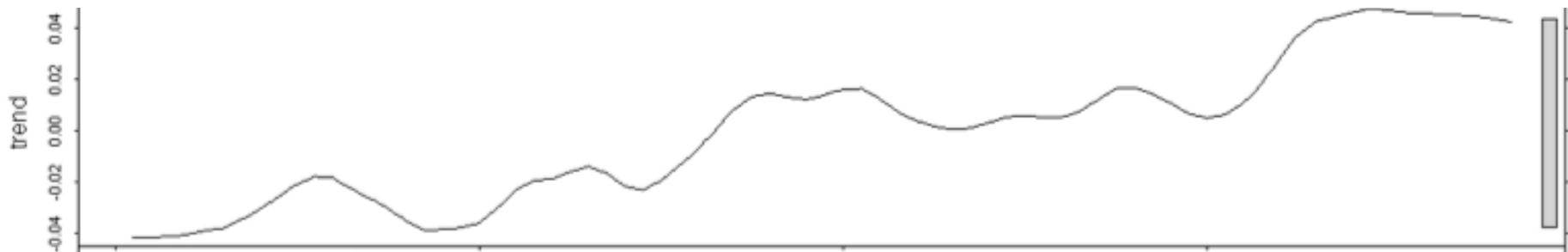
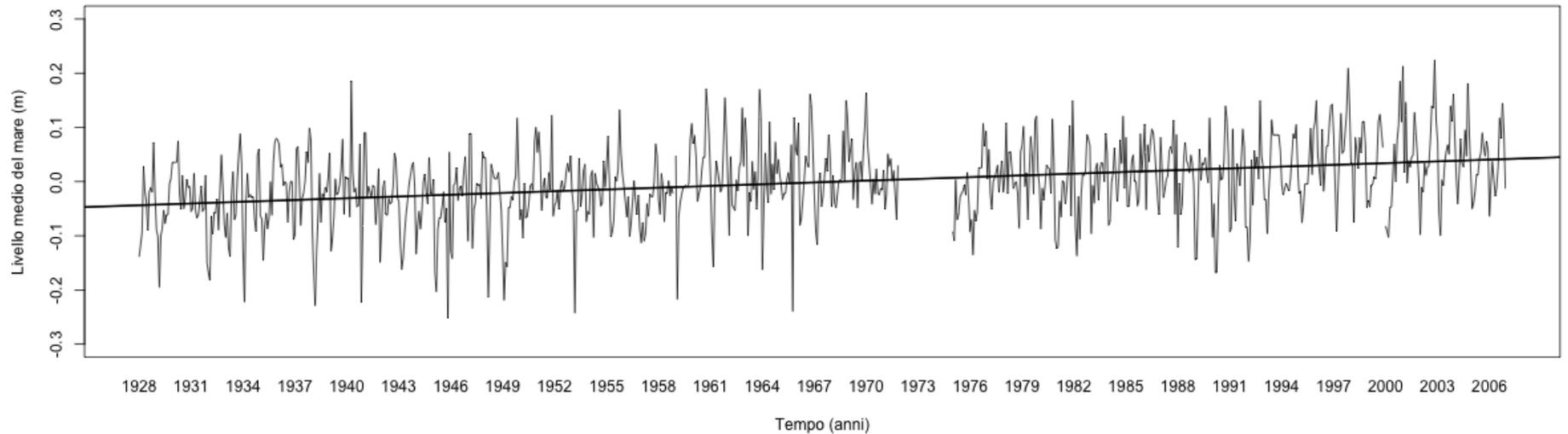
RISULTATI

- **Aumento del livello del mare nei 92 anni (1924-2015)**
- **Come è aumentato?**
 - Una modulazione singolare è evidente nel decennio 1986-1996 a Venezia e Trieste
 - I diversi punti di controllo mostrano comportamenti molto simili, confermando che l'aumento non è dovuto a fenomeni fisici locali
- **Stagionalità**
 - “Non ci sono più le stagioni”: le componenti stagionali si muovono verso un valore neutro (25%), diminuendo le loro differenze e convergendo
 - L'estate è la componente neutra, circa stazionaria per tutto il periodo
 - Autunno e inverno sono componenti in competizione mostrando un comportamento opposto
 - La primavera tende a crescere leggermente

I DATI DEL MAREOGRAFO DI GENOVA

Istituto Idrografico della Marina (IIM)
GENOVA 1928 – 2006

Genova 1928-2006



Bibliografia

- R.B. Cleveland, W.S. Cleveland, J. E. McRae, I. Terpenning, *“STL: A Seasonal – Trend Decomposition Procedure Based in Loess”*, Journal of Official Statistics, Vol. 6 N°1, 1990 pp. 3-73
- G.Baldin, F. Crosato, (2017), *“L’innalzamento del livello medio del mare a Venezia: eustatismo e subsidenza”*, Quaderni ISPRA
- M.G. Foreman, *“Manual for Tidal Heights Analysis and prediction”*, Institute of Ocean Sciences, Pacific Marine Science Report 77 – 10, 1977
- M. Giorgi, C. Stocchino, *“Les constantes harmoniques de marée du port de Genes et leurs variations”*, Atti XIV Convegno dell’Associazione Geofisica Italiana, 1965 pp. 310-324
- C. Lusetti, *“Osservazioni mareografiche del Porto di Genova”*, F.C. 1079, Istituto Idrografico della Marina, 1977 pp. 35
- C. Lusetti, *“Correlazione fra alcuni elementi meteorologici e il livello medio del mare a Genova”*, Istituto Idrografico della Marina, 1978 pp. 23
- C. Lusetti, *“Evidenza della marea polare nel porto di Genova”*, F.C. 1120, Istituto Idrografico della Marina, 1985 pp. 12
- IOC, Manual on Sea level, *“Measurements and Interpretation”*, Vol IV, 2006 pp.28 – 34
- L. Papa, *“Analisi delle maree e costanti armoniche di Genova”*, F.C. 1058, Istituto Idrografico della Marina, 1974 pp. 16
- L. Papa, *“A statistical investigation of low-frequency sea level variations at Genoa”*, F.C. 1087, Istituto Idrografico della Marina, 1978 pp. 13
- D. T. Pugh, *“Tides, Surges and Mean Sea Level”*, John Wiley, Chichester, 1982 pp. 472
- C. Stocchino, V. Scotto, *“Il livello marino e la pressione atmosferica nel porto di Genova”*, Bull. Inst. Océanogr. Monaco, Vol. 69, N° 1399, 1970 pp. 10
-



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Dott.ssa SARA MORUCCI
ISPRA

Tel. 0650075226

E-mail sara.morucci@isprambiente.it