



agenzia REGIONALE PER LA
PROTEZIONE DELL'ambiente
DEL FRIULI venezia GIULIA



Cambiamenti climatici e variazioni del livello del mare

Luca Marchesi
Dario Gaiotti

Udine, 18 settembre 2018
Accademia Udinese degli Sventati 1606

Sommario

Parte prima

Concetti fondamentali sul riscaldamento globale e l'innalzamento del livello medio del mare

Parte seconda

Variazioni del livello del mare in Regione: cosa possiamo dire?

Parte terza

Scenari futuri di aumento del livello medio del mare e considerazioni sugli impatti ed i rischi anche a scala regionale

Concetti fondamentali sul riscaldamento globale e l'innalzamento del livello medio del mare

Il livello del mare cambia nel tempo

I tempi caratteristici delle variazioni del livello marino dipendono dalle cause

Cause

Onde

Marea

Fenomeni meteorologici
(upwelling, sesse, ecc.)

Fenomeni geologici (frane,
tsunami, bradisismi, ecc.)

Cambiamenti climatici

Tempi caratteristici

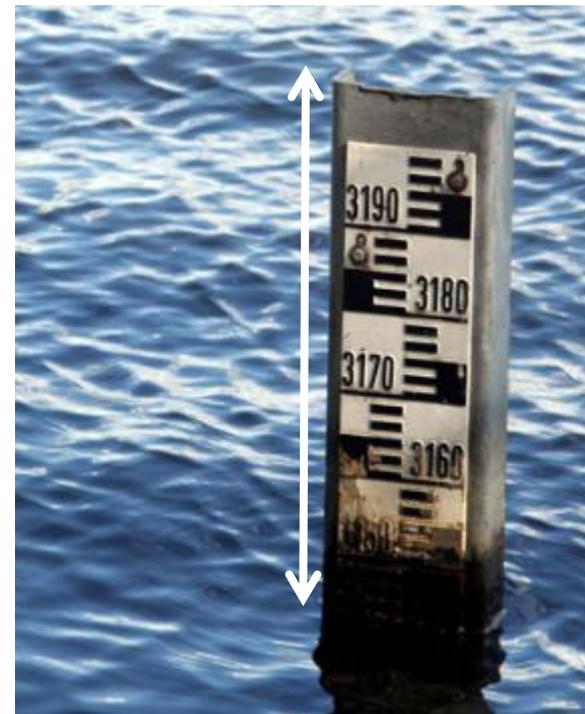
secondi

ore

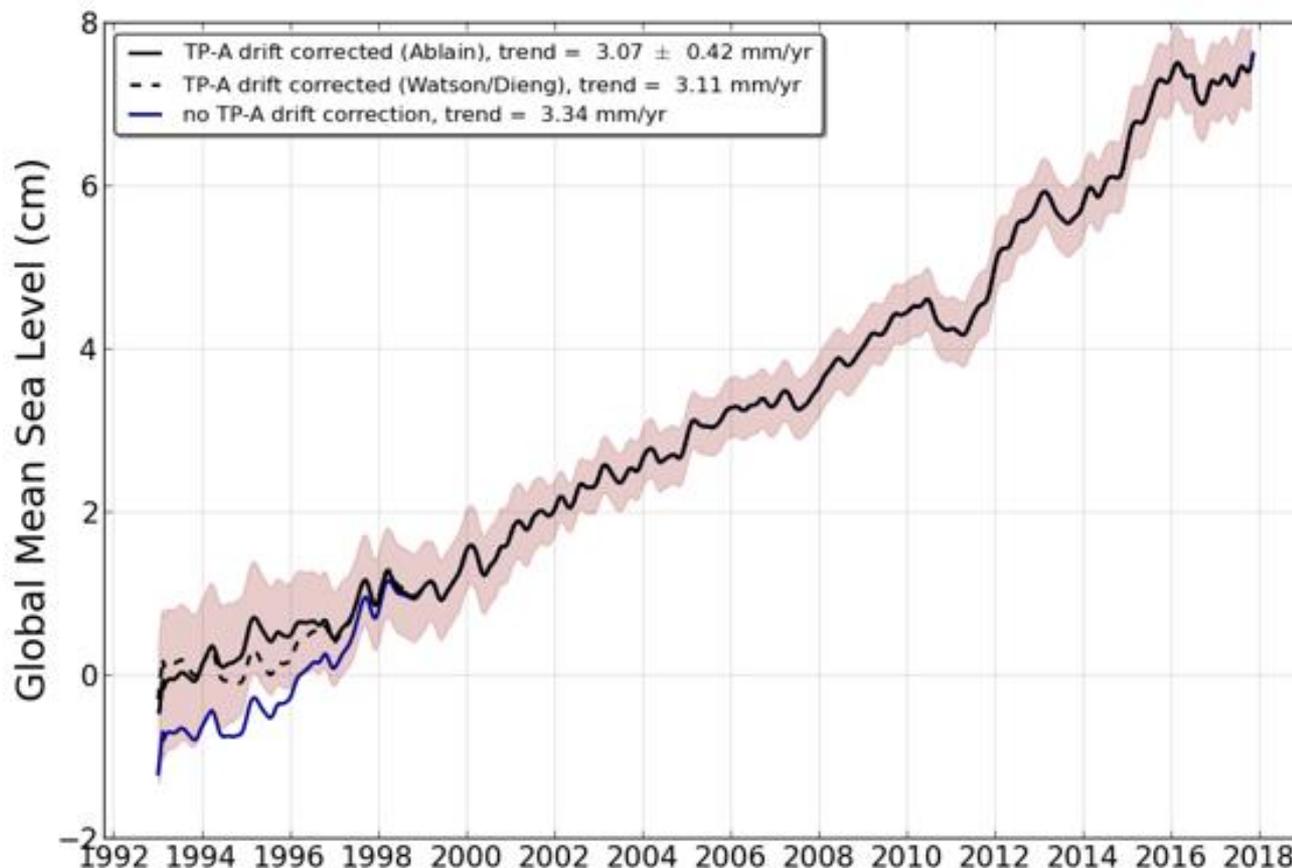
ore-giorni-anni

secondi-anni-secoli

decenni-milioni di anni



Evidenze sull'aumento del livello medio del mare.

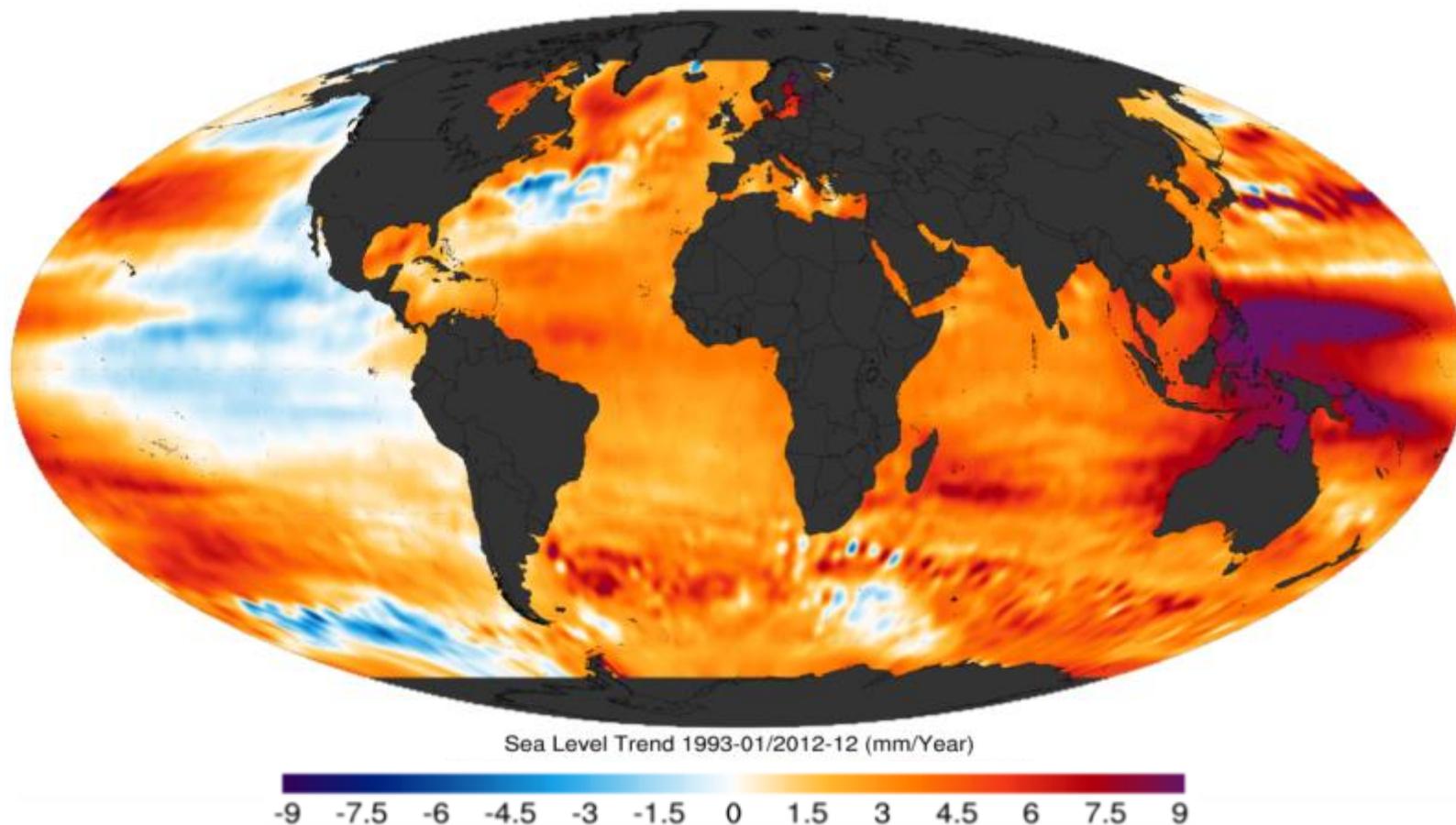


Aumento del livello media marino negli ultimi 25 anni

Fonte: SALP annual report (2017) of Mean Sea Level Activities (CLS-SPA-18-013)

ESA Climate Change Initiative <http://www.esa-sealevel-cci.org/node/286>

La rapidità con cui aumenta il livello marino non è omogenea

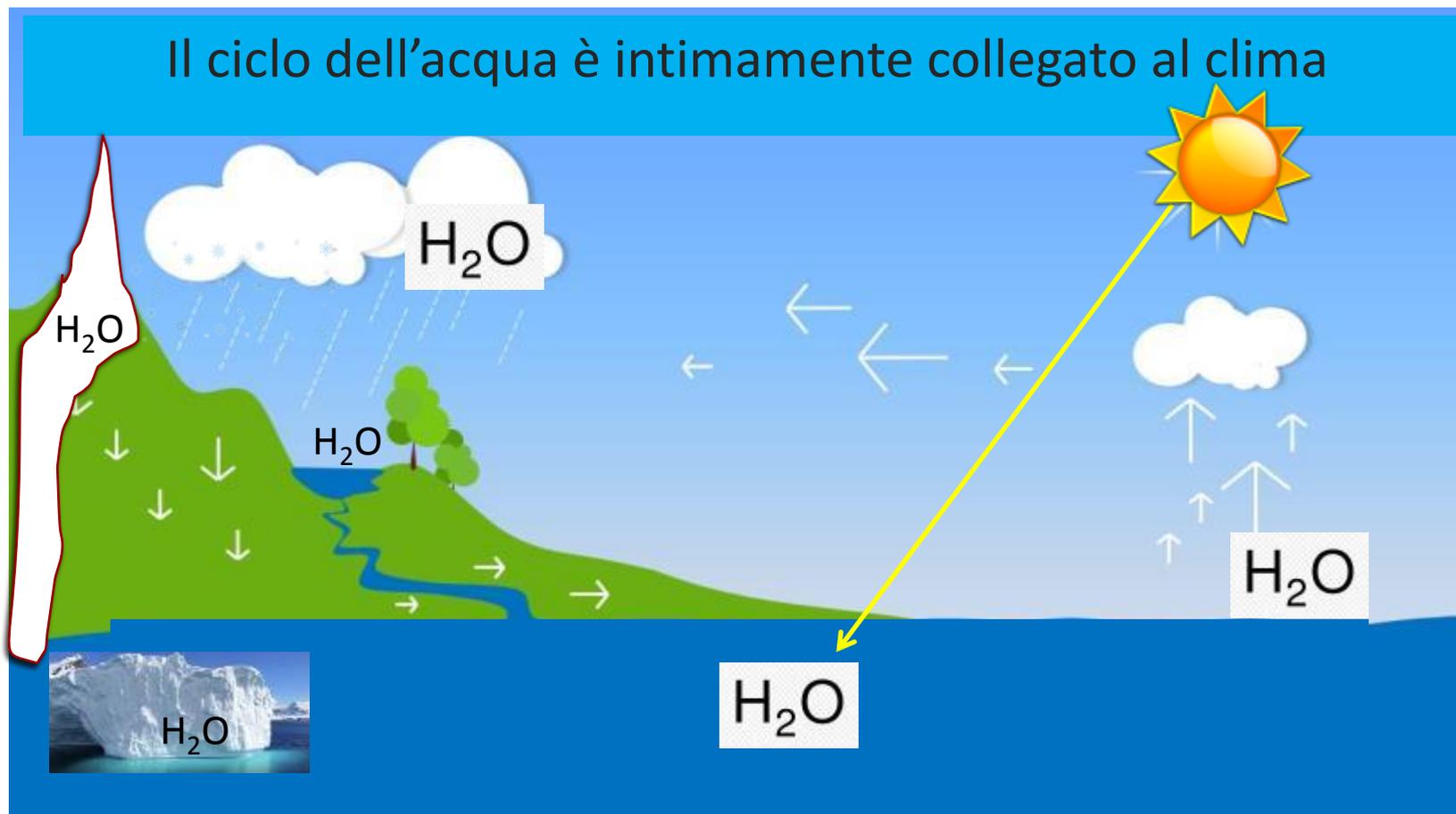


Tendenza all'aumento del livello del mare dal 1993 al 2012 (mm/anno)

Fonte: NOAA https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global.shtml

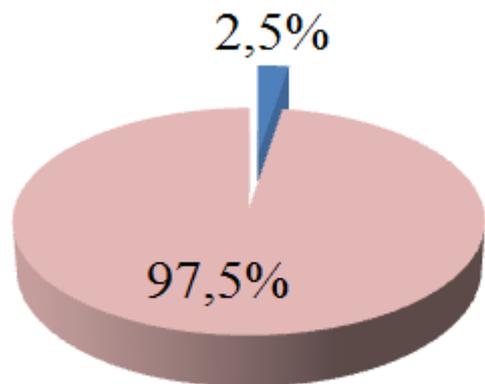
Il ciclo dell'acqua sul nostro pianeta

Per comprendere le variazioni del livello medio del mare, si deve considerare la distribuzione dell'acqua sul nostro pianeta



Attuale distribuzione dell'acqua sul pianeta Terra

La maggior parte dell'acqua presente su nostro pianeta è presente nei mari

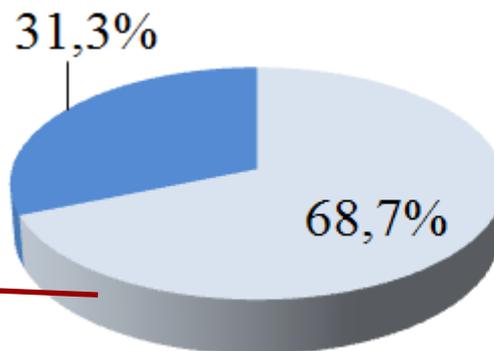


- Acqua dolce
- Acqua salata

La maggior parte dell'acqua dolce è allo stato solido

Ghiacci permanenti

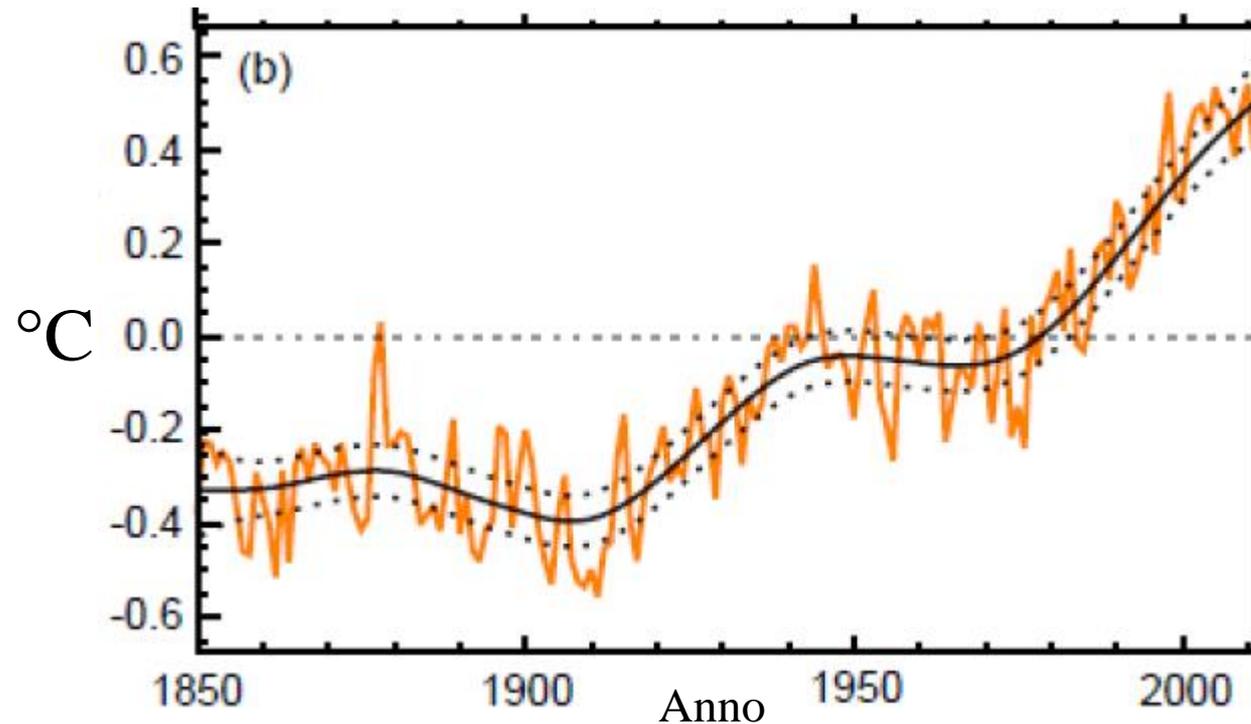
Antartide	90%
Groenlandia	10%



- Ghiacci permanenti
- Acqua liquida

Perché tra i cambiamenti climatici in atto c'è anche l'aumento del livello del mare?

I Fatti: La temperatura media superficiale del pianeta sta aumentando (riscaldamento globale)



Anomalia di temperatura dell'aria al suolo rispetto alla media del periodo 1961-1990

Fonte: ARW5 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>)

L'aumento del livello medio del mare e della temperatura planetaria

Una prima risposta: il ghiaccio si scioglie e aumenta la quantità d'acqua presente nei mari

I ghiacci marini contribuiscono poco (2.5%)

Sono già immersi nel mare



Rilevante è lo scioglimento dei ghiacci perenni continentali

Si stima che sciogliendo completamente i ghiacci di:

Groenlandia \longrightarrow equivalente ad aumento livello marino medio di ~ 6 m

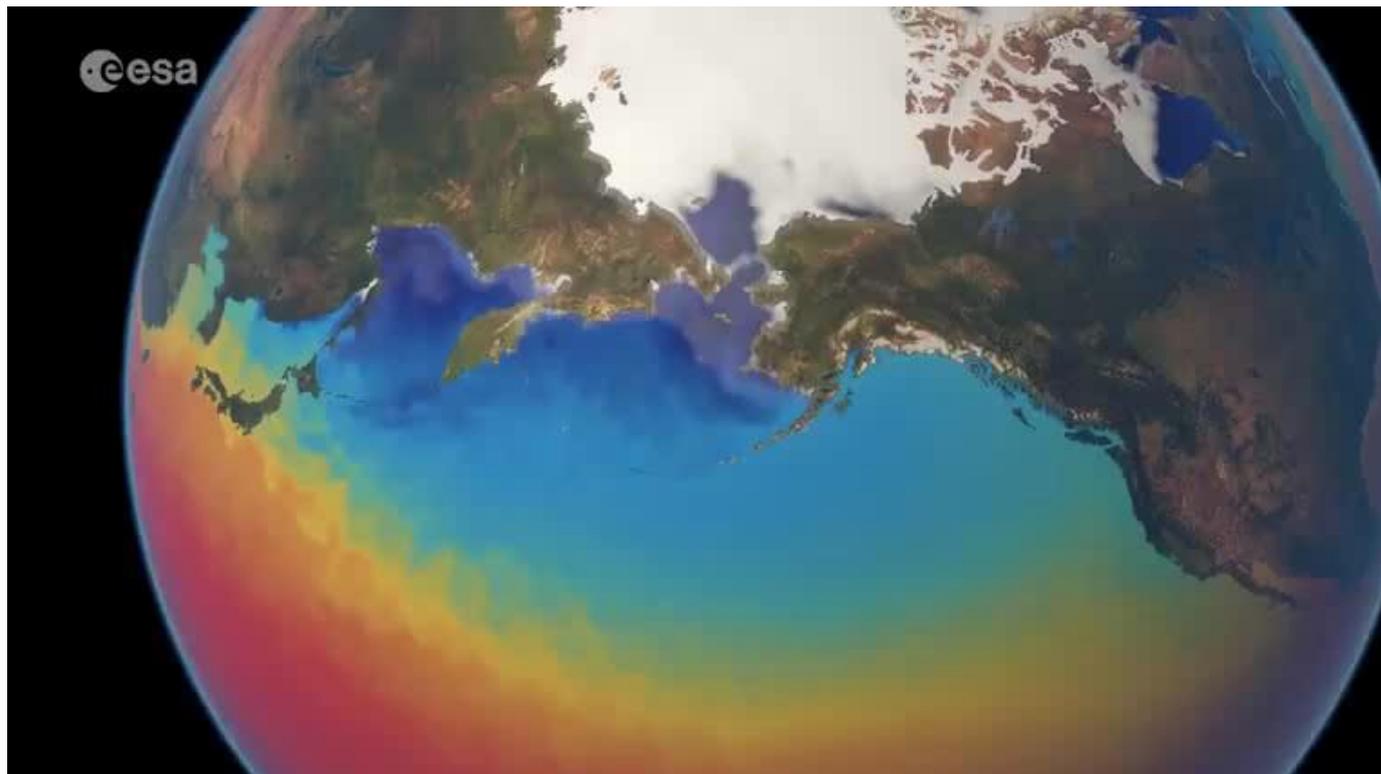
Antartide \longrightarrow equivalente ad aumento livello marino medio di ~ 60 m

Fonte: National & Snow Data Center <https://nsidc.org/cryosphere/quickfacts/icesheets.html>

Esiste una fluttuazione stagionale dei ghiacci polari, ma c'è una tendenza

Trend di scioglimento ghiacci - ultimi trent'anni per l'Artico: circa 10%/decade di superficie

Fonte National Snow and Ice Data Center in Boulder (http://nsidc.org/data/seoice_index/)

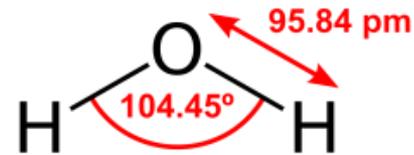
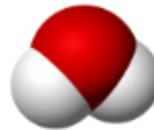


Adattamento da https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth

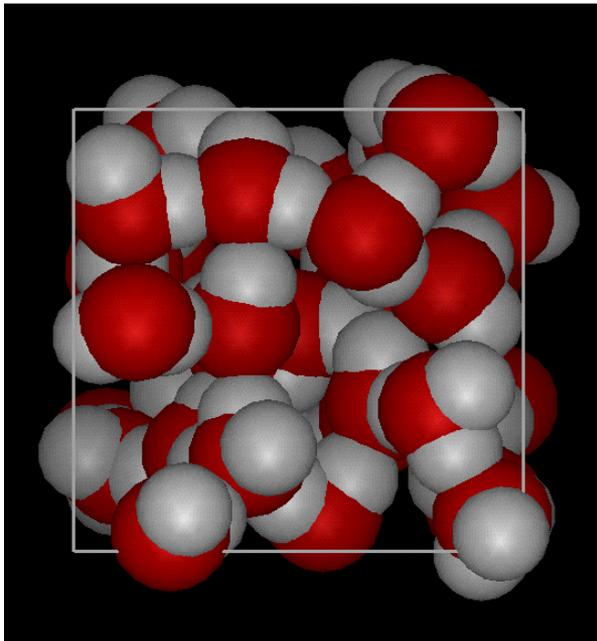
Credit: ESA/Observing the Earth – [CC BY-SA IGO](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Rilevante è l'espansione termica dell'acqua liquida

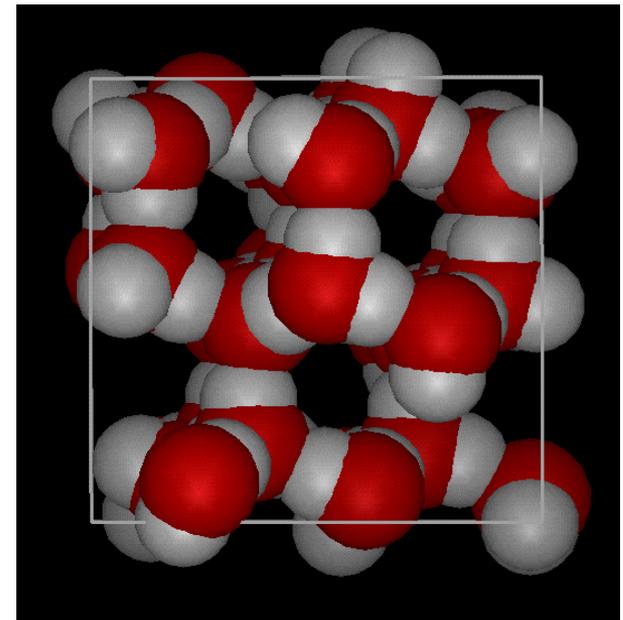
Molecola di acqua



Acqua liquida



Ghiaccio



Fonte e credit to http://www.edinformatics.com/interactive_molecules/ice.htm

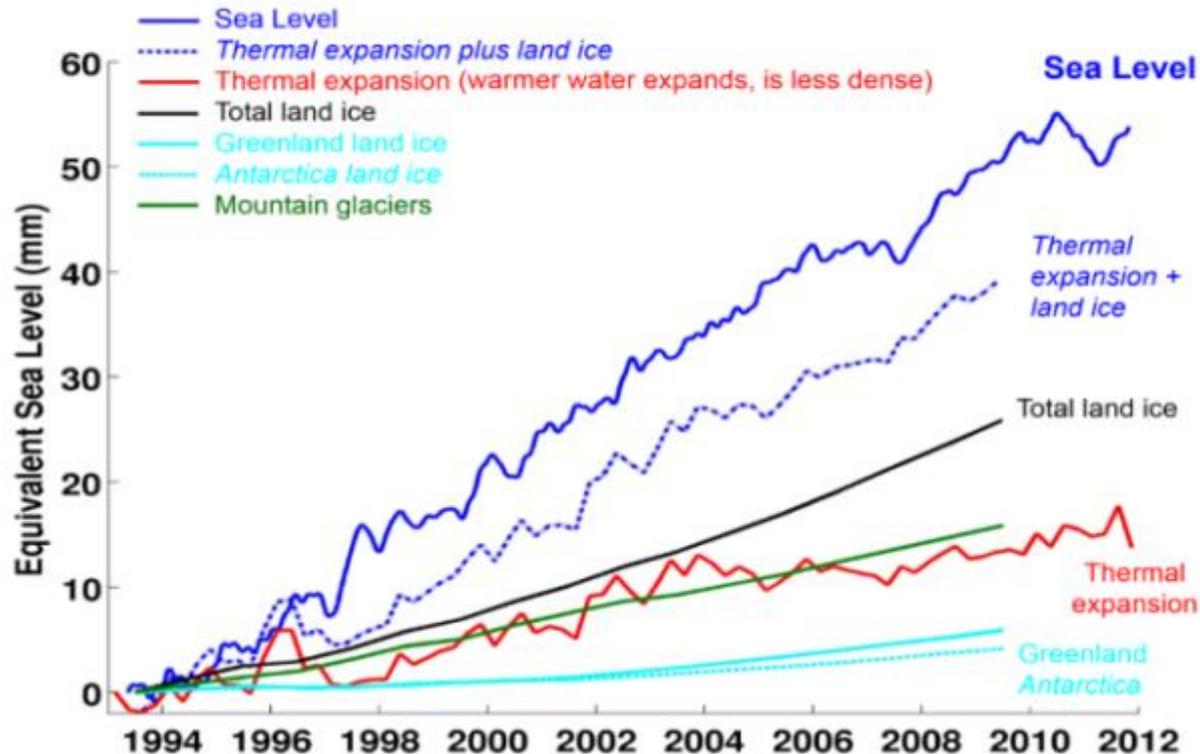
I diversi contributi all'aumento del livello medio marino

Aumento del livello marino causato dall'espansione termica dell'acqua

Dal 1955 al 1995 0.25 mm/anno (~ 25% del totale)

Dal 1993 al 2003 1.6 mm/anno (~ 50% del totale)

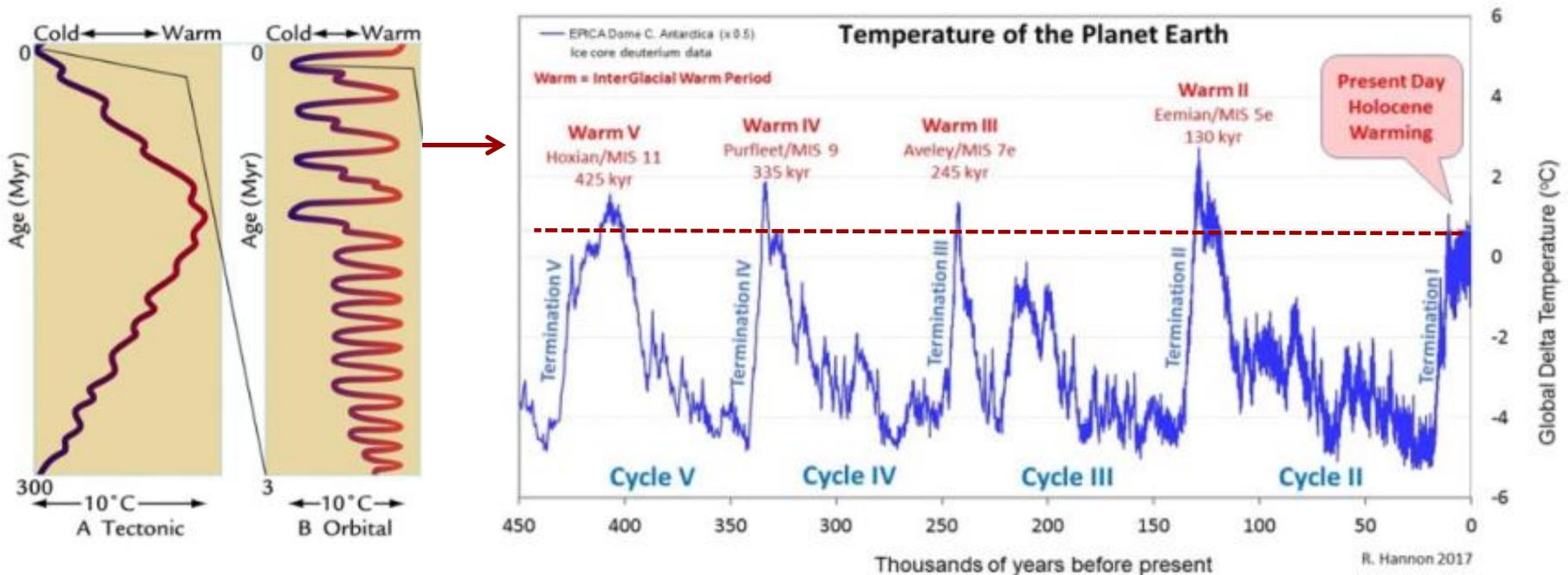
Fonte CSIRO <http://www.cmar.csiro.au/>



Adattato da: https://globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/dangerous_climate/dangerous_climate.html

Uno sguardo al lontano passato per contestualizzare il presente

In tempi molto lontani il nostro pianeta era parecchio più caldo, ma ci sono state fluttuazioni significative che hanno prodotto glaciazioni estese



Adattato da: Earth's Climate: Past and Future 2001 W. F. Ruddiman

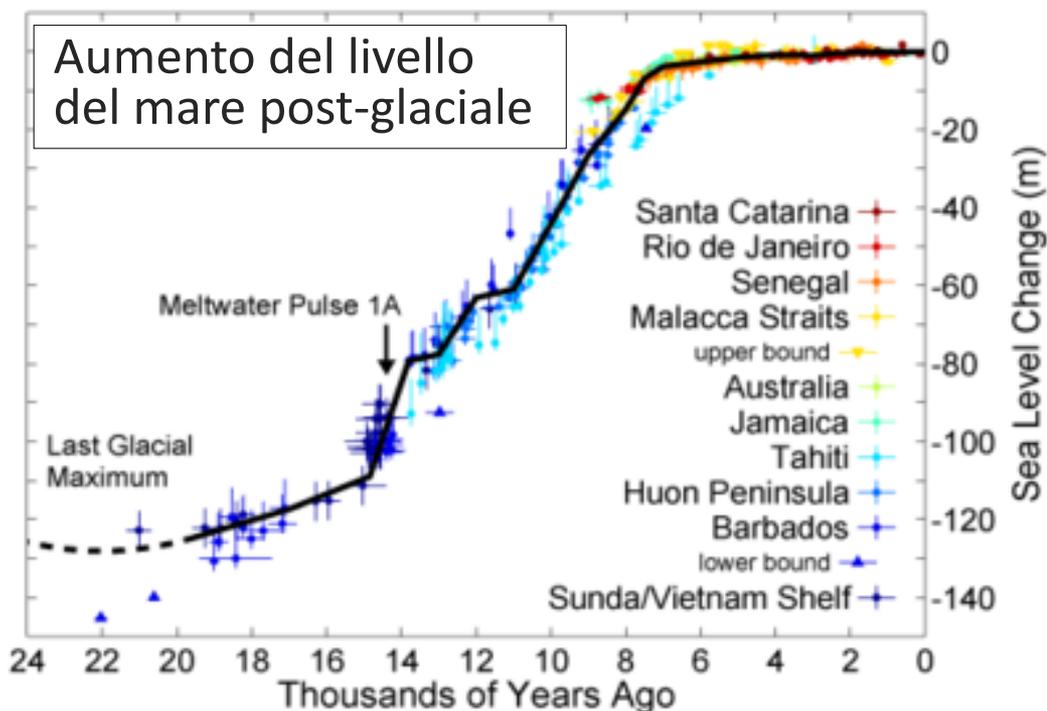
In tempi passati il livello del mare è stato molto diverso da quello attuale

Durante l'ultima era glaciale si stima che il livello medio marino fosse di **120 m** inferiore all'attuale.

125.000 anni fa, **5.5 m** superiore rispetto all'attuale

3 milioni di anni fa, **50.3 m** superiore rispetto all'attuale

Fonte U.S. Geological Survey
(<https://water.usgs.gov/edu/watercycleice.html>)



Adattato da MWP various meltwater pulses (https://en.wikipedia.org/wiki/Meltwater_pulse_1A)

Variazioni del livello del mare in Regione: cosa possiamo dire?

I fatti riguardanti l'andamento del livello del mare a Trieste

Aumento del livello medio su lungo periodo **1.3 ± 0.2 mm/anno** (Zerbini et al., 2017).

Ricordiamo la stima globale secolare di 1.7 ± 0.2 mm/a relativa al 1901-2010 (Church et al., 2013),

Nel Mediterraneo il livello del mare è aumentato con discontinuità (minimo tra 60' e i 90' del secolo XX)

Aumento rapido, **4.4 mm/anno nel 1992-2016** a Trieste (Marcos e Tsimplis, 2008)

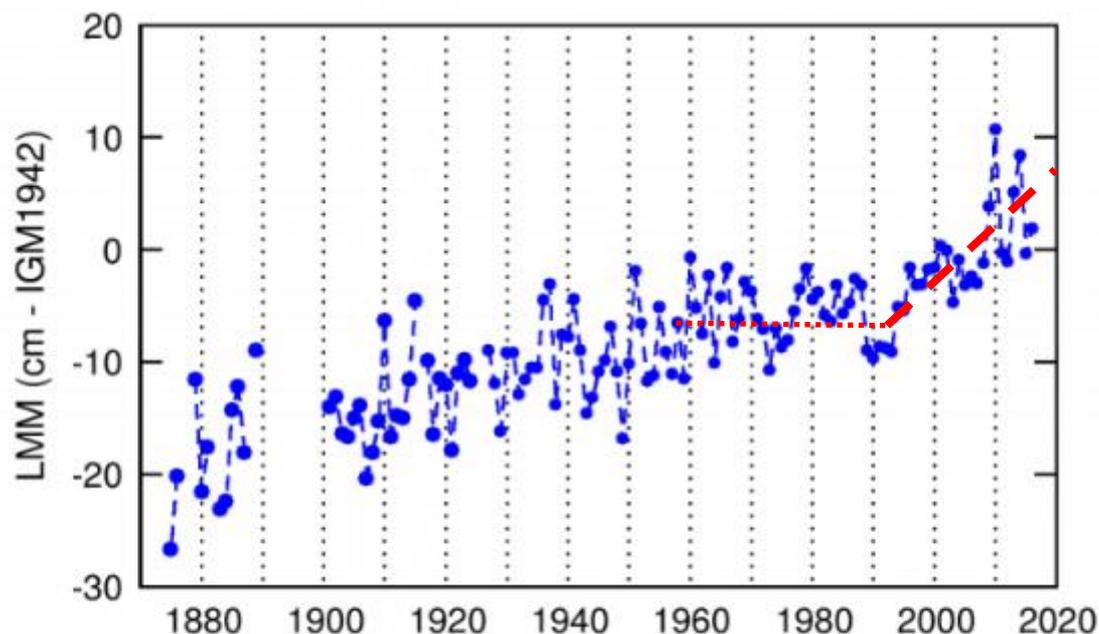


Fig. 1.1.5.8 – Livello marino medio annuale a Trieste rispetto allo Zero IGM1942. Dati CNR, Istituto di Scienze Marine.

Dal recente focus sui cambiamenti climatici – Regione FVG e ARPA FVG (2017) Credit to: Raichich F. e Colucci R. ISMAR CNR Trieste

Tendenze della temperatura media del mare Adriatico in Regione.

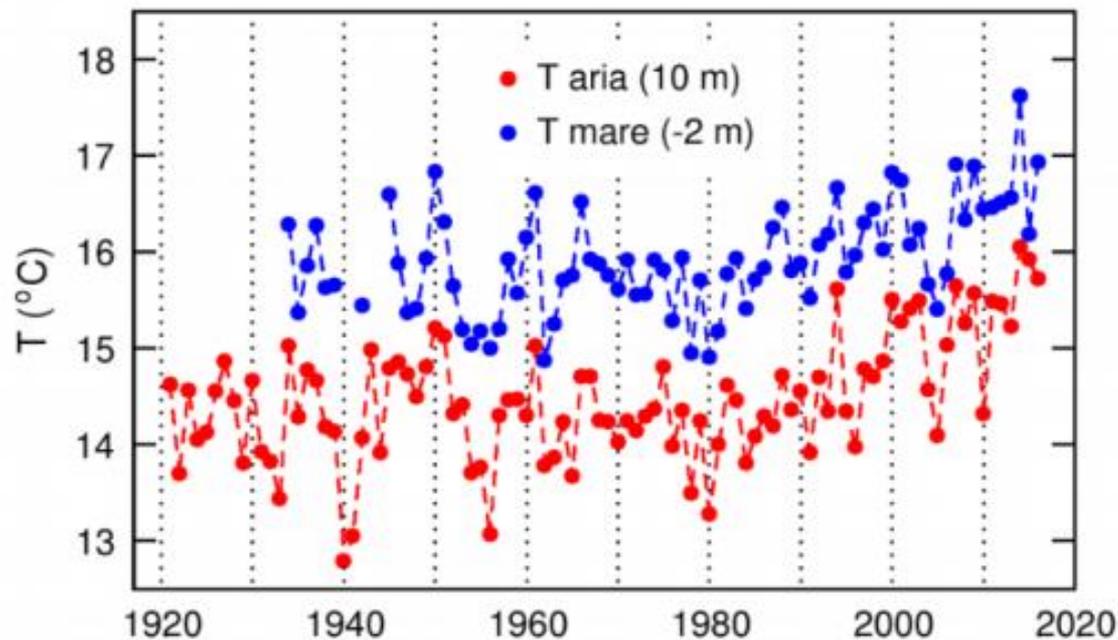
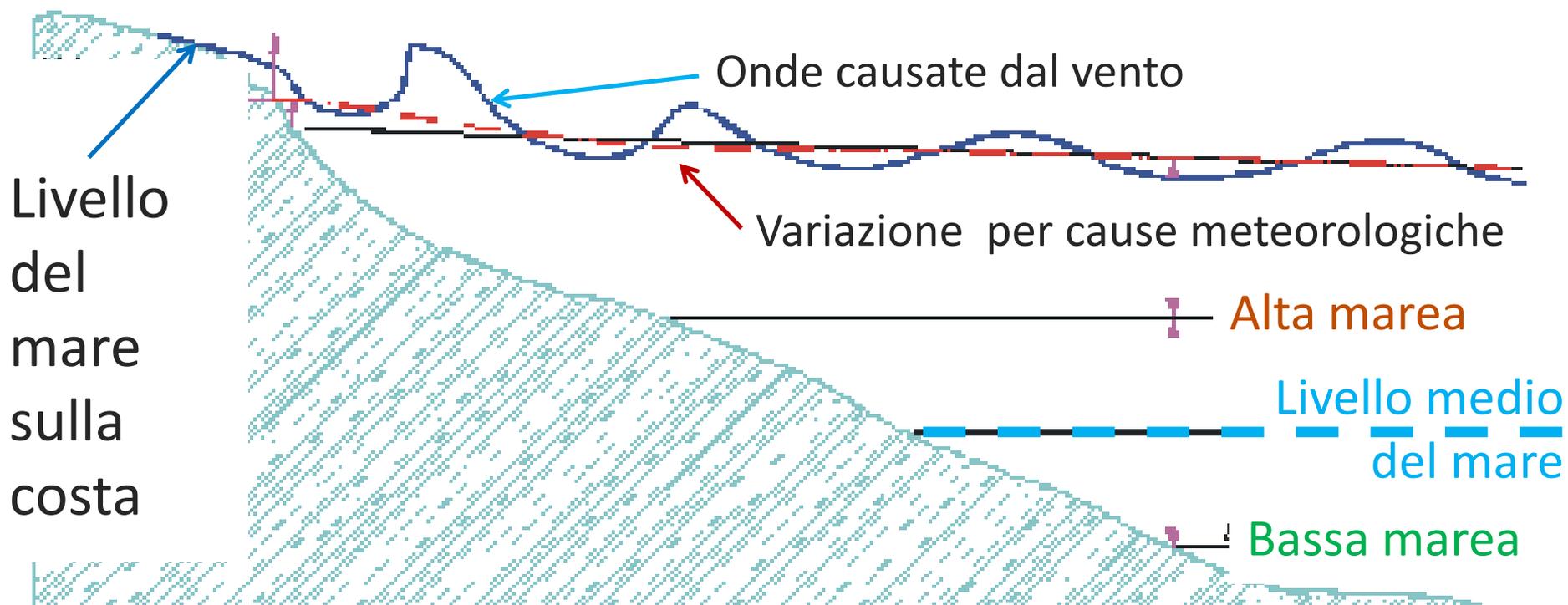


Fig. 1.1.5.6 – Temperatura media annuale dell'aria a 10 m e del mare a 2 m di profondità a Trieste. Dati CNR, Istituto di Scienze Marine.

Gli effetti sull'altezza del livello del mare si sommano (algebricamente)

L'aumento del livello medio del mare induce una maggiore esposizione alla medesima minaccia



Il contributo meteorologico alle variazioni del livello marino in Adriatico

La dinamica del livello del mare sulle coste regionali è legata anche alle condizioni meteorologiche sull'intero bacino adriatico



Numero di eventi rilevanti di altezza del livello del mare in Regione

TRIESTE (MOLO SARTORIO)

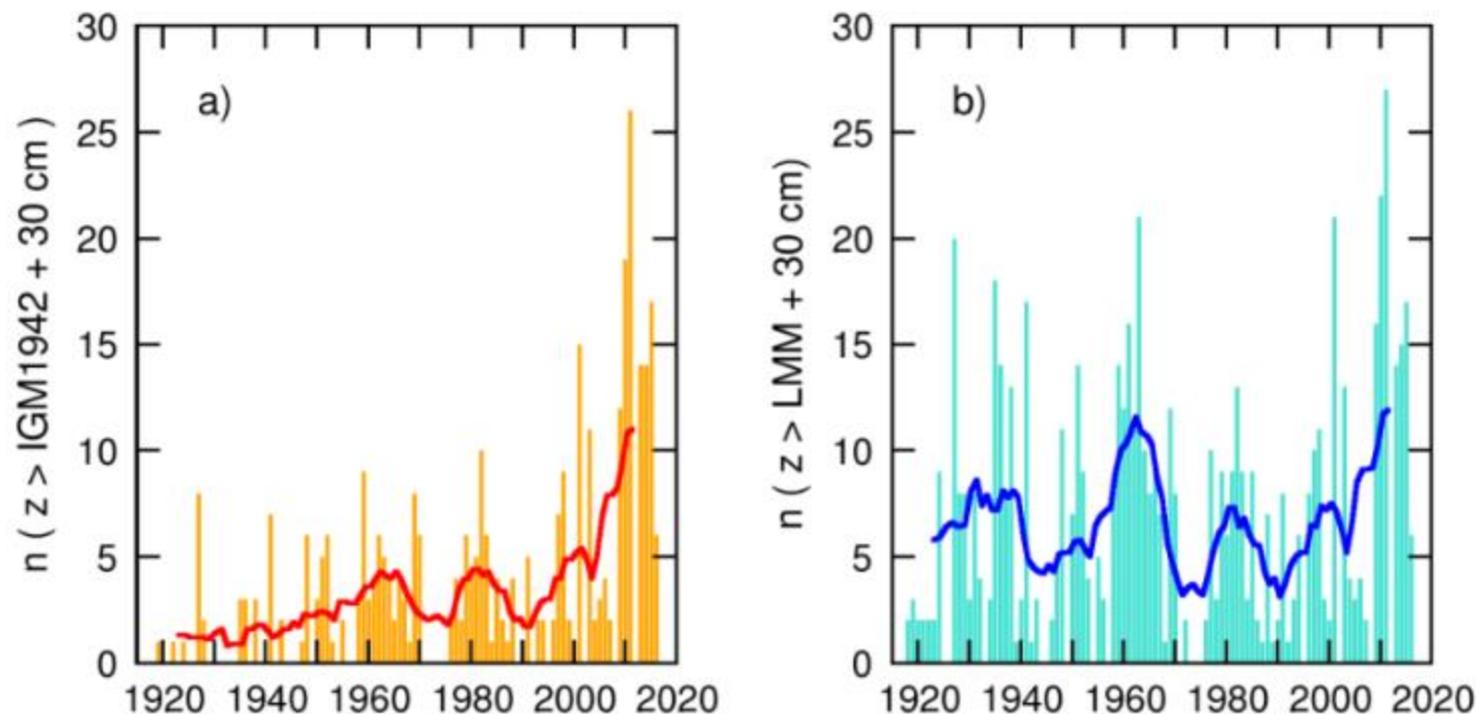


Fig. 1.1.5.10 – Trieste (Molo Sartorio): numero di giorni in cui il livello medio giornaliero supera la quota di 30 cm rispetto allo Zero IGM1942 (a) e il livello medio di lungo periodo (b). Gli istogrammi mostrano i valori annuali e le linee spesse mostrano le medie mobili su 10 anni. Dati CNR, Istituto di Scienze Marine.

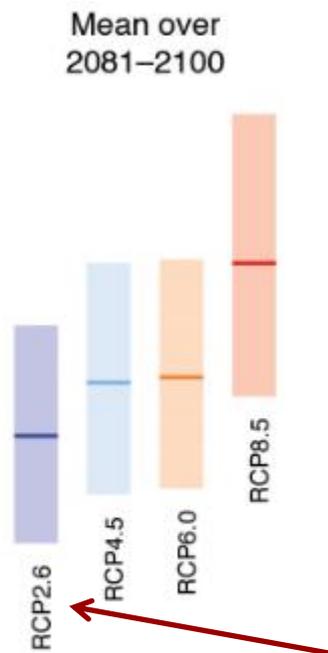
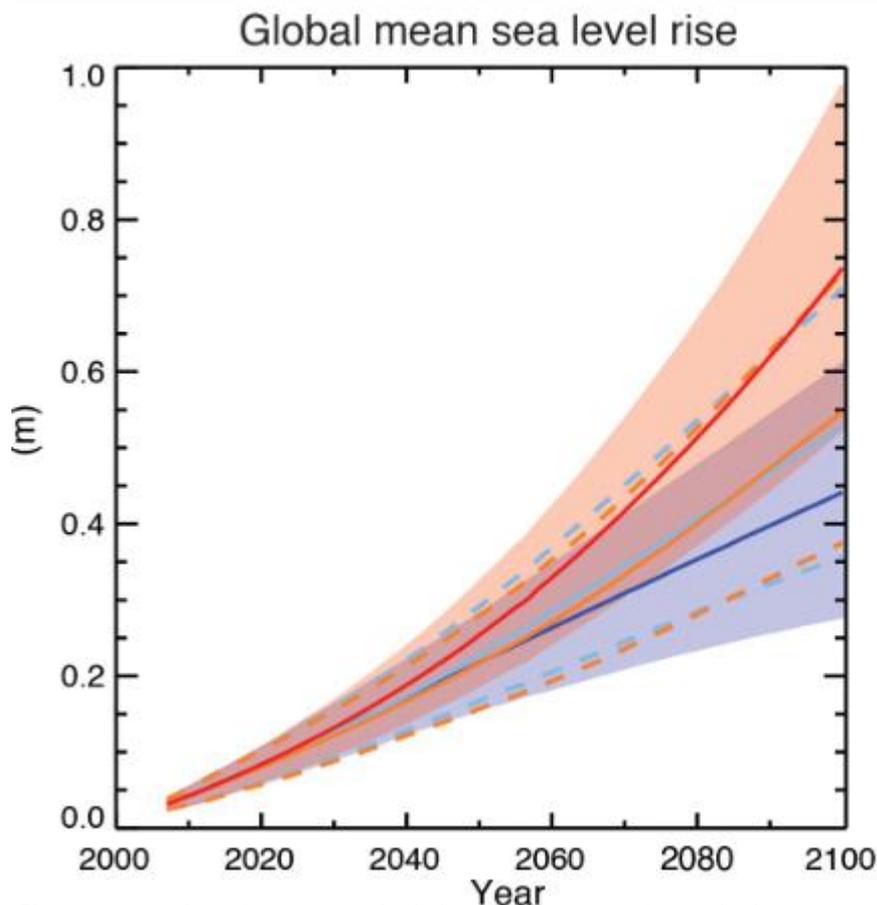
Le caratteristiche delle coste regionali

Per comprendere quali conseguenze si potranno manifestare a seguito del progressivo innalzamento del livello medio marino si deve tenere in considerazione la morfologia della costa e molti altri fattori



Scenari futuri di aumento del livello medio del mare e considerazioni sugli impatti ed i rischi anche a scala regionale

Gli scenari simulati per il livello del mare di questo secolo



RCP
 Scenari di pressioni
 che verranno
 esercitate
 sull'ambiente

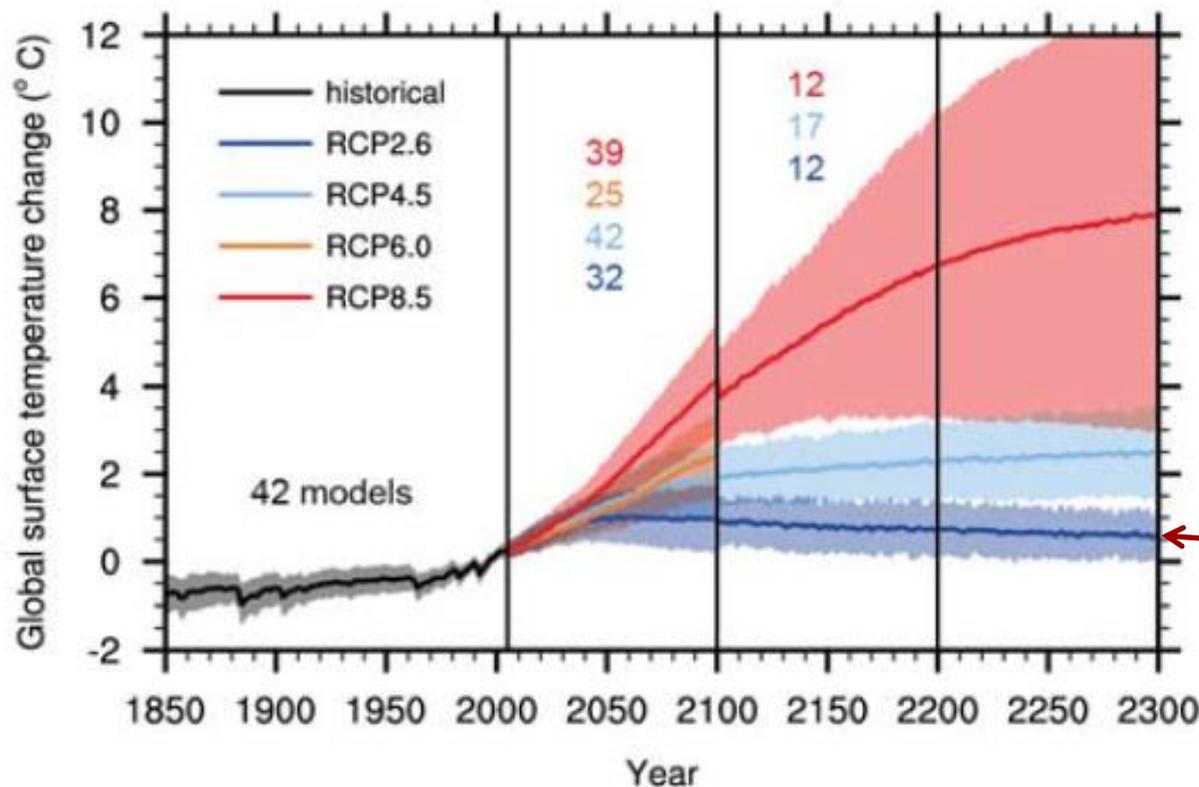
Accordo di Parigi (2015)

RCP2.6

Scenari di altezza del livello medio del mare secondo l'insieme di simulazioni IPCC

Fonte: ARW5 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>)

Proiezioni sulla temperatura globale - effetti della riduzione dei gas serra



L'atmosfera ha tempi di risposta sub secolari

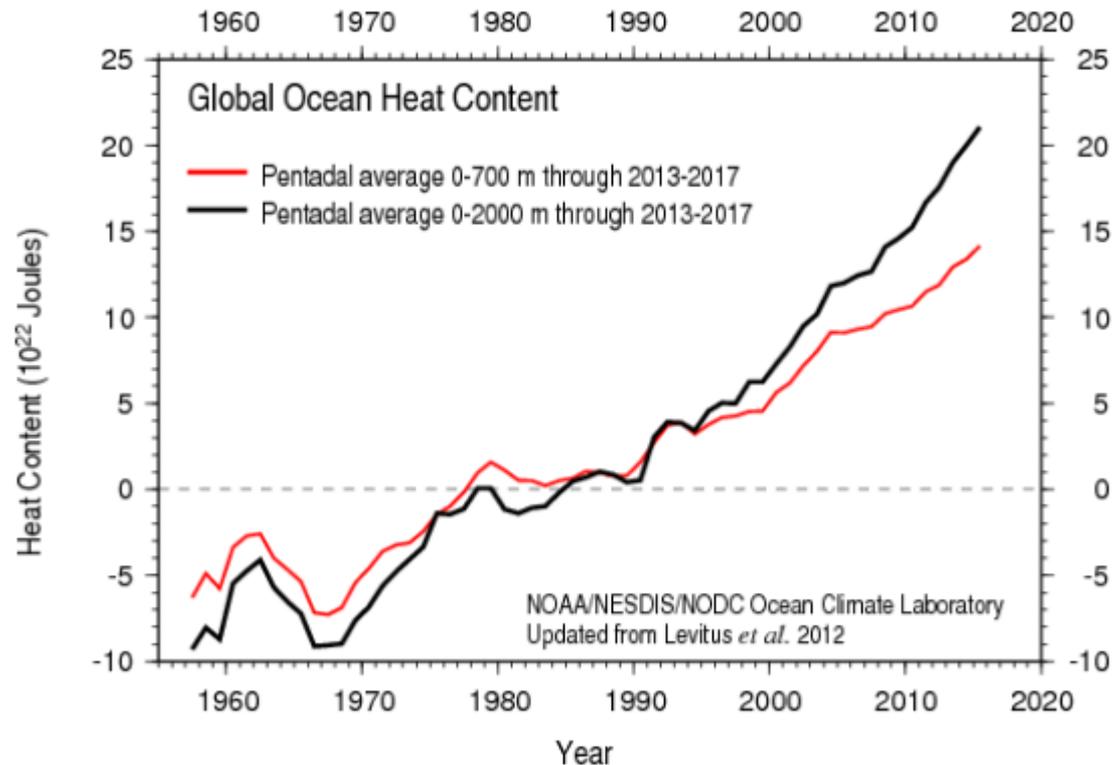
Accordo di Parigi (2015)
RCP2.6

Scenari di variazione (rispetto alla media 1986-2005) della temperatura media dell'aria, al suolo, secondo l'insieme di simulazioni IPCC

Fonte: ARW5 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>)

Alcune considerazioni sulla capacità termica del mare

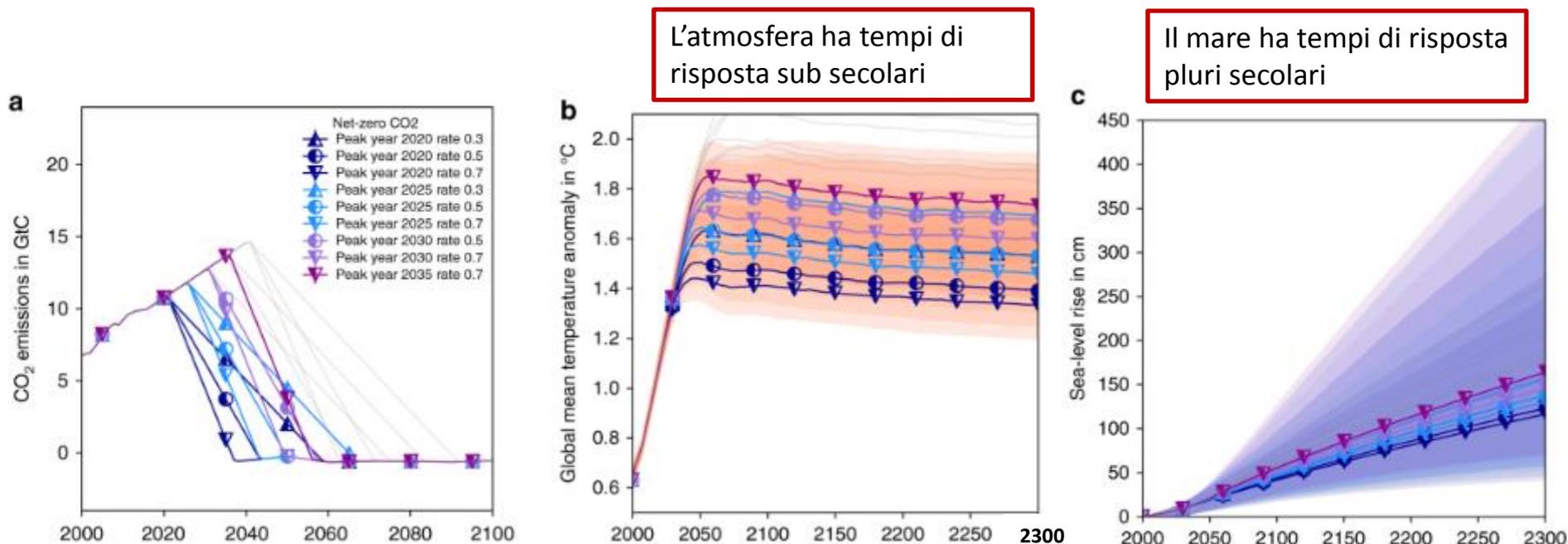
Circa 80% - 90% del riscaldamento terrestre degli ultimi 50 anni è stato immagazzinato negli oceani
(<https://www.nap.edu/read/12782/chapter/11>)



Fonte: https://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/

Risposte del mare alle riduzioni delle emissioni di gas serra

Per quanto tempo e di quanto continuerà a salire il livello del mare se verrà rispettato l'accordo di Parigi?

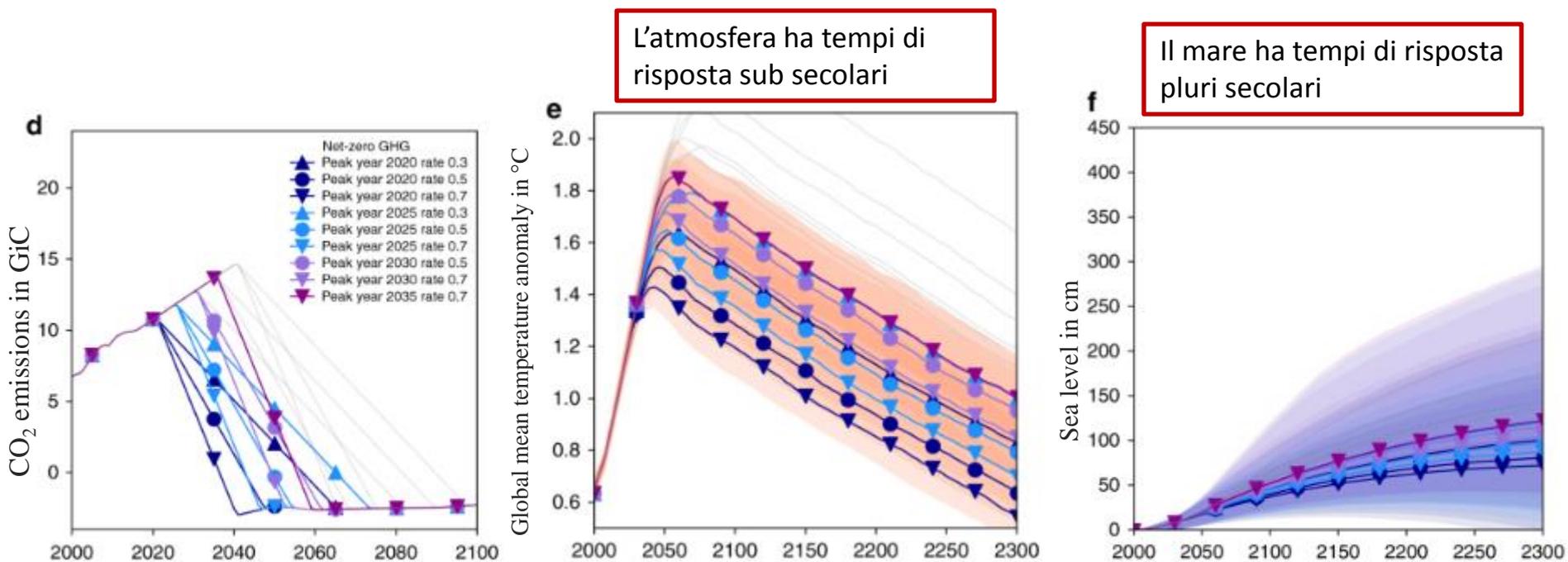


Adattato dalla fonte: Nature Commun. 2018; 9: 601.

Published online 2018 Feb 20. doi: [10.1038/s41467-018-02985-8](https://doi.org/10.1038/s41467-018-02985-8)

Simulazioni di scenari particolarmente virtuosi

Anche nel caso di riduzione completa delle emissioni di tutti i gas serra entro la metà del XXI secolo, il livello del mare continuerà ad aumentare almeno fino agli inizi del XXIV secolo



Adattato dalla fonte: Nature Commun. 2018; 9: 601.

Published online 2018 Feb 20. doi: [10.1038/s41467-018-02985-8](https://doi.org/10.1038/s41467-018-02985-8)

L'innalzamento del livello medio del mare è un problema per molti

Palese ed insostenibile,
già per alcune aree del
pianeta



inondazioni
erosioni
.....



Investigato e ancora
difficilmente
quantificabile in altre



Gli impatti da considerare a livello regionale non sono pochi

- Allagamenti
- Deflusso fiumi nel mare
- Erosioni
- Modifica ecosistemi (coste, laguna, cuneo salino e risorgive)
- Pressioni su attività antropiche (itticoltura, inquinamenti accidentali)
-

Come valutare il rischio derivante dall'innalzamento del livello medio del mare

$$\text{Rischio} = \text{Minaccia} \times \text{Esposizione} \times \text{Vulnerabilità}$$



Vulnerabilità



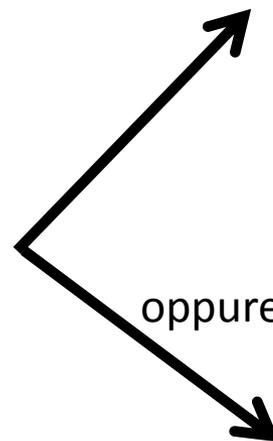
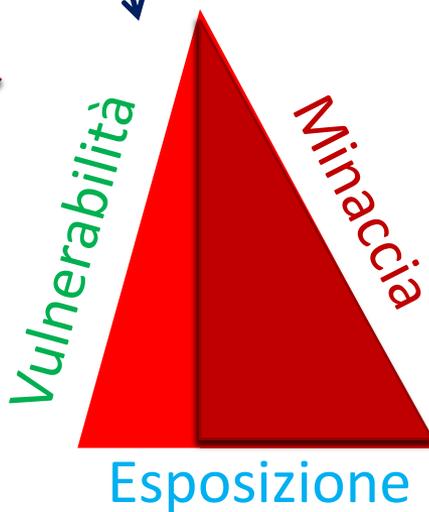
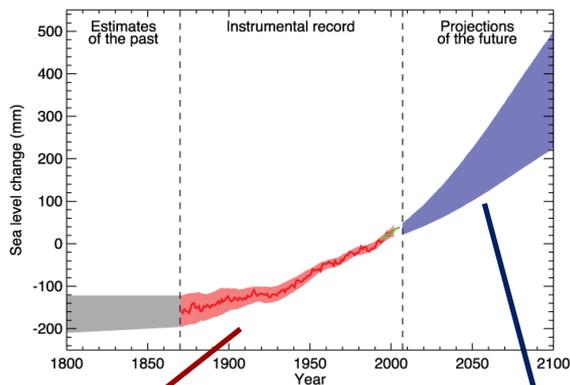
Minaccia

Esposizione



Contenere il rischio se aumenta l'esposizione a parità di minaccia.

$$\text{Rischio} = \text{Minaccia} \times \text{Esposizione} \times \text{Vulnerabilità}$$

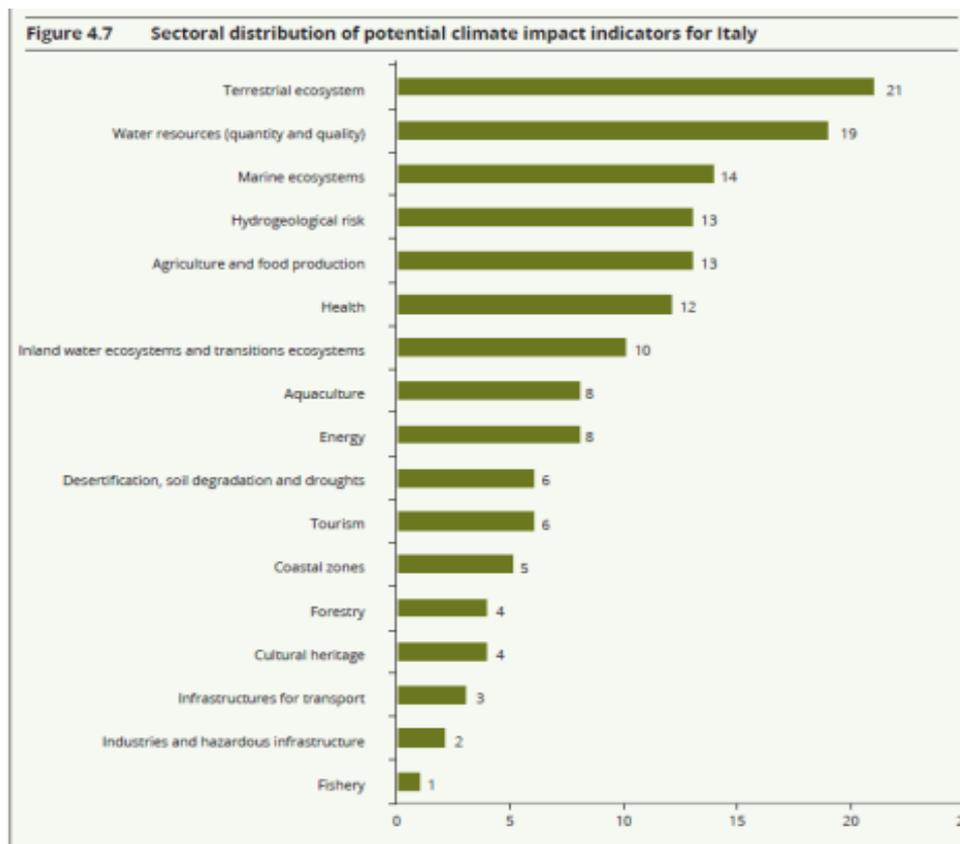


Molti enti stanno dedicando risorse al tema dell'aumento del livello del mare

A livello nazionale sono stati individuati circa 150 indicatori di potenziale impatto climatico

... in 2016 the National System for Environmental Protection launched an initiative aimed at defining a national set of climate change impact indicators with multiple purposes:

- (1) to improve the knowledge framework on current climate change impacts in Italy;
- (2) to support decision processes;
- (3) to facilitate communication and awareness-raising processes;
- (4) to establish a reference scenario for the monitoring of the effectiveness of adaptation measures.



National climate change vulnerability and risk assessments in Europe, 2018

<https://www.eea.europa.eu/publications/national-climate-change-vulnerability-2018>

Conclusione