

SAVEMEDCOASTS-2 è l'acronimo di **Sea Level Rise Scenarios Along the Mediterranean Coasts-2** e prosegue le attività iniziate nel precedente progetto SAVEMEDCOASTS.

Studia gli effetti combinati dell'aumento del livello del mare e della subsidenza nelle zone costiere del Mediterraneo, realizzando scenari di rischio. Una parte delle attività è dedicata al supporto e alla comunicazione verso i principali attori decisionali, i cittadini e le scuole.

È finanziato dalla Direzione Generale per la Protezione Civile e le Operazioni di Aiuto Umanitario europee DG-ECHO (Grant Agreement 874398).

Il progetto è gestito da un consorzio di otto Istituti ed Enti europei: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Italia); Università Aristotle di Salonicco (Grecia), Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya (Spagna), ISOTECH Ltd (Cipro), Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (Italia), Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo (Italia), Fondazione Ambiente Ricerca della Basilicata (Italia), Comune di Venezia (Italia).

I progetti **SAVEMEDCOASTS** e **SAVEMEDCOASTS-2** sono stati coordinati dal Dr. Marco Anzidei (*marco.anzidei@ingv.it*), primo ricercatore dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Italia).

«TRASFERIRE LA CONOSCENZA SCIENTIFICA ALLA SOCIETÀ PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLA VITA»

www.savemedcoasts2.eu



AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE COSA È IMPORTANTE SAPERE PER AFFRONTARE I PROSSIMI CAMBIAMENTI

AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

COSA È IMPORTANTE SAPERE PER AFFRONTARE I PROSSIMI CAMBIAMENTI



Funded by the European Union
Civil Protection and Humanitarian Aid

SAVEMEDCOASTS2



«Sono consapevole che abitare troppo vicino al mare può essere pericoloso. Ma voglio rimanere qui. Questa è la mia terra. Questa è la mia casa»
Un abitante di Lipari, isole Eolie

«Negli anni ho rialzato più volte i pavimenti del mio laboratorio ma l'acqua continua a salire sempre di più. Per continuare a lavorare dovrò spostarmi al piano superiore»
Stefano Santi, imprenditore del vetro di Venezia

«L'emergenza climatica è una priorità assoluta e bisogna agire in fretta prima che non ci sia più possibilità d'intervento. È una grande sfida per l'Europa per garantire un futuro alle nuove generazioni»
Ignazio Corrao, Europarlamentare Verdi Europei

«Quando ero bambino ricordo che il mare era lontano anche durante le tempeste. Ora l'acqua è salita così tanto che allaga sempre più spesso la strada davanti alla mia casa»
Un abitante di Lefkada, Grecia

«Se la costa continuerà ad arretrare così velocemente a causa dell'aumento del livello del mare e dell'erosione, nei prossimi anni gli atleti non potranno più allenarsi sulla spiaggia»
Fabrizio Donato, medaglia di bronzo nel salto triplo alle Olimpiadi di Londra 2012

«Per proteggere la linea di costa del delta dell'Ebro che sta arretrando sempre di più, è necessaria un'azione comune nel rispetto delle direttive europee»
Il sindaco di Deltebre Lluís Soler i Panisello, Spagna

U MARI SA MANCIÒ

Supervisione scientifica

Marco Anzidei

Coordinamento

Maddalena De Lucia | Marco Anzidei

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia | INGV

a cura di

Maddalena De Lucia, Marco Anzidei, Gemma Musacchio,

Elena Eva e Stefano Solarino | INGV

Ideazione

Gemma Musacchio | INGV

Progetto grafico e impaginazione

Daniela Riposati | INGV

Ricerca iconografica

Maddalena De Lucia, Marco Anzidei, Daniela Riposati

Fotografie

Marco Anzidei

Claudia Ferrari | Comune di Venezia

Claudio Orlandi | Fotografo

Illustrazioni e infografiche

Daniela Riposati

Elaborazioni mappe

Antonio Falciano e Lucia Trivigno

Centro di Geomorfologia Integrata per l'area del Mediterraneo | Potenza, Italia

Charalampos Georgiadis e Petros Patias

Università Aristotele di Salonicco | Grecia

Michele Crosetto e Josè A. Navarro

Centro Tecnologic de Telecomunicacions de Catalunya | Spagna

Marco Anzidei, Enrico Serpelloni, Cristiano Tolomei,

Christian Bignami e Fawzi Doumaz | INGV

Antonio Vecchio

Radboud Radio Lab, Department of Astrophysics/IMAPP |

Radboud University, Nijmegen, The Netherlands

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Franco Foresta Martin per la prefazione introduttiva al tema trattato e per i preziosi suggerimenti al testo. Michele Greco, Anna Nardi, Nicola Alessandro Pino, Antonio Vecchio e Tamara Coscia per l'accurata revisione del volume. Claudia Ferrari per le fotografie di Venezia con l'acqua alta; Claudio Orlandi per le fotografie di "Ultimate Landscapes" sui ghiacciai alpini che stanno sparendo a causa del riscaldamento climatico www.claudiorlandi.it.

Il volume è stato finanziato dal progetto Europeo SAVEMEDCOASTS-2 (European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations - Grant Agreement 874398), Direzione Generale per la Protezione Civile e le Operazioni di Aiuto Umanitario Europee DG ECHO.

Citare come: Maddalena De Lucia, Marco Anzidei, Gemma Musacchio, Stefano Solarino, Elena Eva (2022). *Aumento del livello del mare. Cosa è importante sapere per affrontare i prossimi cambiamenti.* Progetto SAVEMEDCOASTS2.

ISBN 9791280282040

© Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Prima edizione, Giugno 2022 | Stampato presso Rotoform s.r.l., Roma

AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

COSA È IMPORTANTE SAPERE PER AFFRONTARE I PROSSIMI CAMBIAMENTI



Funded by
the European Union
Civil Protection and Humanitarian Aid





PREFAZIONE

di FRANCO FORESTA MARTIN

FRANCO FORESTA MARTIN

geologo e divulgatore scientifico, è stato per oltre 30 anni redattore scientifico del Corriere della Sera, con l'incarico di ricoprire, fra l'altro, i servizi relativi alle conferenze internazionali sui cambiamenti climatici come inviato speciale.

Attualmente è associato di ricerca all'INGV e docente a contratto nel Master in Comunicazione della Scienza del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Padova.

C'è un organismo scientifico internazionale, l'**Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, istituito nel 1988 dalle Nazioni Unite, che a intervalli di 5-7 anni produce un rapporto sullo stato del clima globale. Mi sembra opportuno iniziare questa prefazione facendo riferimento ai contenuti del «Sesto Rapporto IPCC», il più recente disponibile, reso pubblico a puntate tra l'agosto 2021 e il settembre 2022. Si tratta di migliaia di pagine che compendiano lo stato attuale delle conoscenze sui cambiamenti climatici e che sono indirizzate alla comunità scientifica internazionale, agli amministratori nazionali e a quelli locali.

Da oltre un trentennio, i periodici rapporti IPCC, sottopongono ai governi e all'opinione pubblica mondiale la scomoda realtà delle alterazioni al sistema climatico provocate dalle attività umane, che si stanno sovrapponendo alle lente variazioni naturali del clima, agendo con inaspettata forza e rapidità di azione. I quattro volumi in cui si articola il «Sesto Rapporto» hanno come temi: le basi fisiche del fenomeno, gli impatti ambientali e socio-economici dei cambiamenti climatici, le possibili azioni di mitigazione^[1] e una sintesi complessiva ad uso dei decisori politici^[2].

[1] Per azioni di mitigazione s'intendono tutti quei provvedimenti che mirano a limitare i fattori clima-alteranti, a partire dalle emissioni di anidride carbonica (CO₂).

[2] Una sintesi del Rapporto in lingua italiana si può trovare nel sito: <https://ipccitalia.cmcc.it/>

L'IPCC, è bene precisarlo prima di andare avanti, non è un organismo che svolge esso stesso ricerca scientifica e monitoraggio dei fenomeni, ma si avvale dell'opera volontaria di oltre duemila ricercatori del settore, appartenenti a università e istituti di tutto il mondo, i quali passano in rassegna la vasta letteratura scientifica sui temi climatici e ne curano una corposa *review*. Dalla *summa* degli studi più aggiornati, cui fa puntuale riferimento il «Sesto Rapporto», risulta un amplissimo *consensus scholarum* sulle responsabilità dell'uomo nelle cause e negli effetti dei cambiamenti climatici osservati. Ecco alcuni dei più significativi argomenti contenuti nel «Sesto Rapporto».

Le concentrazioni in atmosfera di anidride carbonica (CO₂), il principale gas a effetto riscaldante (effetto serra) emesso dalle attività umane, hanno superato 410 parti per milione (ppm) e sono le più alte degli ultimi due milioni di anni, durante i quali i valori si erano mantenuti al di sotto di 290 ppm. L'incremento esponenziale della CO₂, evidente a partire dal XIX secolo, ossia dall'inizio della più intensa industrializzazione, appare come la causa principale delle attuali anomalie climatiche che si manifestano con un crescendo di fenomeni concatenati: aumento delle temperature medie globali, diminuzione della copertura glaciale globale (criosfera), risalita del livello medio dei mari.

Le statistiche più aggiornate indicano che le temperature medie globali negli ultimi venti anni sono state di 1 °C superiori

a quelle del cinquantennio 1850-1900. La criosfera si è ridotta del 40% dal 1950 ad oggi (misure riferite ai minimi annuali). Il livello dei mari, per ora, sta crescendo di 3,5 millimetri all'anno, ma il tasso di aumento non è costante, bensì mostra un andamento esponenziale. Le fasce climatiche si stanno spostando verso i poli. Il ciclo dell'acqua si sta potenziando, con la conseguenza che in alcune regioni si verificano piogge più intense e disastrose inondazioni, mentre in altre siccità prolungate. Nei centri urbani le ondate di calore estivo si succedono con crescente frequenza. Anche fenomeni estremi come i cicloni tropicali si presentano più intensi e frequenti, con la tendenza a estendersi su altre aree del globo, per esempio il Mar Mediterraneo, dove prima non si manifestavano. Negli oceani, oltre al riscaldamento, si registrano fenomeni estesi di acidificazione, riduzione dei livelli di ossigeno, alterazioni delle correnti.

Le responsabilità dell'uomo sono confermate anche per esclusione, dal momento che, dopo decenni di ricerche, non emergono forzanti naturali del clima, agenti sui tempi brevi, a cui possa essere attribuito il surriscaldamento in atto. Fra i forzanti naturali di breve periodo analizzati più attentamente ci sono, per esempio, le variazioni dell'irradiazione del Sole legate ai cicli undecennali e le emissioni naturali di geogas da alcune aree del nostro pianeta; ma una valutazione quantitativa del loro contributo porta a considerarli pressoché ininfluenti rispetto al riscaldamento osservato.



D'altra parte, le lentissime variazioni dei parametri orbitali della Terra che nel corso dei tempi geologici hanno causato il succedersi di periodi glaciali freddi e interglaciali caldi, non possono essere chiamate in causa per spiegare i veloci cambiamenti del clima attuali perché esse agiscono su tempi-scala dell'ordine delle decine o centinaia di migliaia di anni.

La pubblicazione dell'ultimo rapporto IPCC mi ha fatto ritornare con la memoria al tempo in cui questo organismo muoveva i suoi primi passi e produceva analisi e previsioni dichiaratamente affette da ampi margini di incertezza. Mi trovavo a Sundsvall, la cittadina sulla costa orientale della Svezia, come inviato del Corriere della Sera, alla fine di agosto del 1990, dove l'IPCC presentò il suo primo rapporto^[3]. Appena due anni prima, le agenzie delle Nazioni Unite che si occupano di clima e ambiente: la **World Meteorological Organization (WMO)** e l'**United Nations Environment Programme (UNEP)**, avevano deciso di dare vita all'IPCC, affidandone la presidenza a **Bert Bolin** (1925-2007), un illustre professore di Meteorologia dell'Università di Stoccolma.

Il professor Bert Bolin, a Sundsvall, presentò più o meno così i contenuti di quell'esordiente «IPCC First Assessment Report». C'è un provvidenziale effetto serra naturale, dovuto al vapor d'acqua, all'anidride carbonica e ad altri gas di origine naturale che riescono a trattenere una frazione della radiazione termica solare. Ad esso dobbiamo

le temperature miti, 15° C in media, che rendono abitabile la Terra. A questo effetto serra naturale se ne sta aggiungendo uno di origine umana, causato dalle emissioni derivanti dai processi di combustione (anidride carbonica), di fermentazione (metano), dall'uso di fertilizzanti (protossido di azoto) e di aerosol industriali (alocarburanti). Continuando senza limitazioni nella produzione di questi gas a effetto serra, nei prossimi 40 anni avremo raddoppiato la loro concentrazione in atmosfera con la conseguenza del più rapido riscaldamento mai registrato nel nostro pianeta. Attorno al 2025 avremo molto probabilmente un grado in più di temperatura; entro la fine del secolo tre gradi in più.

Poi, il neo presidente dell'IPCC aggiunse che le maggiori incertezze sugli scenari dei decenni a venire riguardavano i mari. L'effetto combinato dello scioglimento dei ghiacci e della dilatazione termica delle acque, avrebbe fatto risalire il loro livello. Sui tassi di sollevamento delle acque era difficile fare previsioni: si ipotizzava da un minimo di 3 cm a un massimo di 10 cm per decennio. Nel peggiore scenario, trascorso un secolo senza interventi di contenimento dei gas e di difesa dei sistemi costieri più bassi ed esposti, ci saremmo ritrovati con 360 mila km di coste inondate e 80 milioni di profughi ambientali.

[3] **F. Foresta Martin**, *Mille saggi per salvare la Terra*, Corriere della Sera, 28 agosto 1990.
F. Foresta Martin, *Effetto serra: l'unica certezza è l'incertezza*, Corriere della Sera, 4 settembre 1990.



Col senno di poi, a 32 anni di distanza dalla presentazione di quel primo rapporto IPCC, bisogna riconoscere che molte delle previsioni sull'inafausta evoluzione della crisi climatica sono state confermate.

Le concentrazioni antropogeniche di gas serra hanno continuato la loro scalata, pure con qualche rallentamento conseguito grazie alle discontinue azioni di contenimento; l'aumento delle temperature medie di un grado è ormai accertato e superato; la drastica riduzione della criosfera è documentata da decenni di osservazioni da terra e dai satelliti artificiali in orbita; il moltiplicarsi degli estremi meteorologici, con le conseguenti devastazioni, è una realtà che si ripete a frequenza stagionale.

Quanto al livello dei mari e degli oceani, che è l'argomento principe di questo volume, le conoscenze della comunità scientifica hanno compiuto un salto di qualità dai tempi del primo rapporto IPCC ad oggi. I lettori potranno apprendere, nelle prossime pagine, lo stato attuale, le dinamiche e l'evoluzione prevista dei fenomeni. Qui ci limitiamo a evidenziare che, con gli attuali 3,5 millimetri di aumento medio annuo, la soglia dello scenario minimalista prospettata più di trent'anni fa è stata già raggiunta e superata. C'è solo da augurarsi che l'avanzare del secolo porti a quelle più efficaci misure di contenimento delle emissioni indispensabili per stabilizzare i tassi di risalita delle

temperature e delle acque ed evitare le peggiori conseguenze ambientali per la vita del nostro pianeta.

In ultima analisi, l'impatto dei cambiamenti climatici sulle future generazioni dipende dalle trattative, ormai in corso da decenni, per la riduzione dei gas nocivi. E a questo proposito, non posso fare a meno di esprimere forti perplessità sui tempi e i modi con cui si sono sviluppati finora gli accordi internazionali sul clima. Vale la pena di tracciarne una rapida sintesi, allo scopo di comprendere il contesto politico ed economico in cui s'inserisce la questione climatica.

Negli anni '90 del secolo scorso, la decisione di creare un'istituzione *ad hoc* come l'IPCC fu dettata dalla necessità di offrire una base di argomentazioni scientifiche in vista del **Summit della Terra di Rio de Janeiro** (giugno 1992), dove le Nazioni Unite avrebbero presentato la prima proposta di accordo internazionale per la riduzione dei gas serra. Nel corso dell'affollatissimo vertice internazionale di Rio, furono lanciate azioni per la tutela di foreste, oceani, biodiversità e clima, alla presenza di capi di Stato e di governo. L'inevitabile foto di gruppo immortalò, riuniti insieme, molti dei *grandi della terra* di quel tempo:

George Bush (padre), Francois Mitterand, Helmut Kohl, John Major, e finanche Fidel Castro e il Dalai Lama, solo per citare i più noti. Essi si dichiararono tutti concordi, assieme ai rappresentanti dei Paesi in via di Sviluppo, nel dare vita alla Convenzione-quadro sui cambiamenti climatici delle Nazioni Unite (**United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC**), con l'obiettivo di: *«Raggiungere la stabilizzazione dei gas a effetto serra nell'atmosfera, a livelli tali da scongiurare pericolose interferenze antropogeniche col sistema climatico»*, come recitava il documento sottoscritto da 154 Paesi. Ma dietro le quinte si era consumato il compromesso per giungere a un accordo di facciata che non avrebbe vincolato a un preciso calendario di riduzioni dei gas serra, lasciando i governi liberi di agire sulla base di azioni volontarie. Nondimeno, la convenzione ebbe il merito di avviare quel sistema di consultazioni annuali definite in breve **COP** (Conferenze delle Parti^[4]) per verificare lo stato dell'arte della scienza climatica e valutare come procedere nelle azioni di mitigazione. Inoltre, al Summit di Rio furono indicati i sei gas-serra responsabili del riscaldamento e i settori produttivi da tenere sotto controllo: CO₂ (anidride carbonica: energia, trasporti e deforestazione);

CH₄ (metano: energia, allevamenti, agricoltura, rifiuti); N₂O (protossido di azoto: agricoltura); HFCS e PFCS (idrofluorocarburi e perfluorocarburi: chimica e industria); SF₆ (esafluoruro di zolfo: industria elettrica).

La prima delle annuali Conferenze delle Parti si tenne nel 1995 in una Berlino da poco capitale della Germania unita (1991), e a quel tempo cantiere a cielo aperto per i lavori di ricucitura urbanistica dopo l'abbattimento del Muro. I tedeschi, e gli Stati Europei in generale, avevano sperato di far compiere un salto di qualità alla Convenzione, passando dagli impegni volontari a un preciso calendario di riduzioni obbligatorie dei gas-serra, approfittando dell'avvento dei democratici Bill Clinton e Al Gore alla presidenza degli Stati Uniti (1993). Ma, nonostante la vocazione ambientalista della nuova amministrazione, la maggioranza del Congresso USA era contraria ad assumere precisi obblighi di riduzione delle emissioni, considerati un vincolo nocivo allo sviluppo economico. L'adesione a un accordo più stringente fu rinviata a miglior data.

^[4] Per "parti" s'intendono i Paesi firmatari della Convenzione.

Dopo una serie di tormentate trattative, l'Europa che aveva assunto il ruolo di continente trainante nella battaglia per la decarbonizzazione, riuscì a convincere il resto del mondo a compiere un primo passo, aderendo, nel 1997, al celebre Protocollo di Kyoto.

Ecco i termini di quell'accordo: riduzione del 5,2% (in media) dei gas-serra, prendendo come base di partenza le emissioni di ciascun Paese al 1990 e impegnandosi a completare l'azione entro il 2012. L'adesione presupponeva programmi di ristrutturazione energetica volti a eliminare gli sprechi e a sostituire i combustibili fossili con energie rinnovabili, incoraggiando gli investimenti ambientali nei Paesi in via di sviluppo che avevano chiesto e ottenuto, in quella prima fase, di essere esentati dagli impegni vincolanti. E poiché, a quei tempi, fra i Paesi in via di sviluppo era compresa la Cina (che presto avrebbe scavalcato gli Stati Uniti, diventando il primo emettitore mondiale di gas serra), la sua esenzione dagli impegni creò un *vulnus* all'impianto del Protocollo, offrendo poi l'alibi di sottrarsi a chi giudicava oneroso prendersi carico della decarbonizzazione anche per conto dei colossi delle emissioni.

Ricordo che a Kyoto, nell'affollata conferenza stampa in cui Gore annunciò, in rappresentanza di Clinton, l'adesione degli USA al Protocollo, qualcuno gli chiese se il Congresso avrebbe poi ratificato quella decisione (la ratifica dei parlamenti nazionali è necessaria per trasformare in leggi gli impegni

assunti da capi di stato e di governo in occasione di conferenze internazionali). Il vice presidente rispose affermativamente, ma di lì a poco i fatti lo avrebbero smentito.

Il Protocollo di Kyoto era molto rispettoso delle diverse situazioni economiche esistenti fra i Paesi firmatari. Il 5,2% di riduzioni medie era il risultato di un complesso meccanismo chiamato «*obiettivi comuni ma differenziati*». In pratica, chi pensava di poter investire di più nel processo di transizione energetica, si caricava di un onere di riduzione dei gas-serra più alto; invece le economie più deboli avevano obblighi di riduzioni minime, o addirittura concessioni di aumenti. Per esempio, l'Unione Europea si accollò la percentuale di riduzione maggiore, l'8%; gli USA di Clinton e Gore il 7%; alla Russia fu concesso lo 0% (nessuna riduzione) perché aveva già abbattuto forzatamente le emissioni in seguito al crollo economico-industriale dell'ex URSS; l'Australia poté continuare a sfruttare le sue abbondanti riserve di carbone aumentando dell'8% le emissioni. Anche all'interno dell'UE fu applicato questo principio, che assegnava alla Germania i maggiori oneri di riduzione delle emissioni: -21%; alla Francia 0% (nessuna riduzione) giacché la sua massiccia produzione energetica nucleare era *carbon-free*; a Grecia, Portogallo e Spagna le più generose concessioni di aumento, rispettivamente: 27, 25 e 15%. L'Italia s'impegnò a ridurre il 6,5%. All'inizio del 2001, dopo la vittoria di stretta misura di Bush jr. sul candidato democratico Gore, si profilò l'ostilità al Protocollo di Kyoto



della nuova amministrazione, contraria a cedere sovranità in materia ambientale a organismi di controllo sovranazionali. Nonostante il Congresso non avesse ratificato il Protocollo di Kyoto, e la partita dell'adesione USA fosse rimasta sospesa, per il neo presidente la firma del suo predecessore sul quel trattato rappresentava un'onta da cancellare. E, pochi mesi dopo il suo insediamento, Bush jr. attuò questo proposito in una forma clamorosa.

Di solito le COP sono convocate, ogni anno, tra la fine di novembre e i primi di dicembre. Nella primavera del 2001, giocando d'anticipo, fu lo stesso governo americano a invitare a New York i rappresentanti dei Paesi aderenti alla Convenzione climatica, per comunicazioni urgenti. All'apertura dell'incontro, il 22 aprile, quando ci ritrovammo tutti nell'ampia sala del Waldorf Astoria Hotel, sul podio si presentò non il neo-presidente degli Stati Uniti, ma il suo ambasciatore plenipotenziario alle Nazioni Unite Kenneth Brill il quale, dopo un breve saluto ai presenti, pronunciò questa laconica frase: «**Kyoto Protocol is dead**». La nuova amministrazione non si limitava ad annunciare di aver ritirato la firma dal Protocollo, ma lo dichiarava morto, *tout court*, senza curarsi degli intendimenti degli altri Paesi. «**Kyoto Protocol is well alive!**», replicò piccata la Commissaria all'Ambiente dell'Unione Europea, Margot Wallstrom, annunciando che l'UE avrebbe continuato a portare avanti gli impegni di riduzione delle emissioni definiti nel Protocollo ed

esortando tutti gli altri Paesi aderenti a fare lo stesso, nonostante la defezione degli USA. Più tardi Bush avrebbe motivato la sua decisione definendo il Protocollo «inefficace» sotto il profilo del controllo dei gas serra, e «dannoso» per l'economia nazionale.

C'è da precisare, tuttavia, che gli Stati Uniti pur essendosi sottratti ai vincoli di Kyoto, restarono fedeli alla Convenzione climatica di Rio del 1992 (quella sottoscritta da G. Bush padre), rivendicando la loro libertà di procedere al controllo delle proprie emissioni di gas serra esclusivamente attraverso azioni volontarie. E con questo atteggiamento continuarono a essere presenti a tutte le successive COP annuali.

Se non morto, il Protocollo di Kyoto uscì agonizzante dal vertice di New York del 2001. Venuta meno l'adesione degli USA, a quei tempi il maggiore emettitore mondiale di gas serra, ed essendo stati esentati in partenza i grandi emettitori in via di sviluppo, il trattato non poteva più definirsi globale. L'Europa comunque non si arrese e agì da catalizzatore per sollecitare i superstiti Paesi aderenti a trasformare in leggi nazionali gli impegni vincolanti del Protocollo. In questa azione di convincimento, ebbe un ruolo di primo piano l'allora presidente della UE Romano Prodi. Nel 2005, dopo le ratifiche di: UE, Russia, Est Europeo, Canada e Giappone, fu finalmente raggiunta la quota minima richiesta per fare entrare in vigore il Protocollo come trattato internazionale operativo.

Quanto era saldo lo spirito di Kyoto fra i Paesi sottoscrittori?

Un bilancio dell'impegno con cui si stava procedendo alle riduzioni dei gas-serra si poté tracciare dieci anni dopo la nascita del Protocollo, nel 2007. Per limitarci al campo europeo, quello più favorevole, la Germania con il -18%, era già vicina all'obiettivo di riduzioni prefissato; il Regno Unito lo aveva già raggiunto (-13%); la Francia lo aveva superato (-1%). Invece, quasi tutti i Paesi cui erano stati concessi aumenti delle emissioni avevano abbondantemente sforato le quote pattuite. Nota dolente, l'Italia invece di ridurre, aveva aumentato le emissioni di circa il 10%. Fu solo per effetto della crisi economica e finanziaria e della profonda depressione industriale fra gli anni 2008-2013, che molti Paesi inadempienti rientrarono, o quasi, nei parametri di Kyoto: più per disgrazia che per virtù.

Con l'avvicinarsi del 2012, scadenza del Protocollo di Kyoto, i sostenitori delle riduzioni vincolanti sperarono in un nuovo trattato e una seconda fase d'impegni più stringenti e condivisi. L'occasione propizia si presentò con la conclusione della lunga presidenza di Bush jr. nel 2008. Ma nemmeno il suo successore, il democratico Barak Obama, che intervenne personalmente alla

Conferenza climatica di Copenhagen del dicembre 2009, riuscì a convincere il Congresso USA ad aderire al Protocollo. Gli Stati Uniti continuarono a gestire la questione climatica in autonomia rispetto al sempre più debole gruppo dei superstiti di Kyoto; mentre l'Europa lanciava il suo ambizioso piano 20-20-20, così chiamato perché prevedeva la riduzione del 20% dei gas serra e l'aumento del 20% delle rinnovabili e dell'efficienza energetica, entro il 2020 (l'obiettivo è stato centrato riguardo ai primi due punti, seppur con notevoli differenze fra gli stati membri, ma mancato sul terzo).

Col trascorrere del tempo si è evidenziata drammaticamente la successione delle anomalie climatiche correlabili al surriscaldamento globale: gli anni più caldi dal 1880 sono tutti concentrati a cavallo fra la seconda metà del '900 e il secolo attuale, con le conseguenze che abbiamo elencato prima, citando il più recente rapporto IPCC.

Nel 2005 si verificò una coincidenza singolare. La rivista *Nature* pubblicò un articolo di Kerry Emanuel, professore di Scienze dell'Atmosfera al Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA), sul crescente potere distruttivo

dei cicloni tropicali^[5]. Era il 4 agosto e, nonostante la piena stagione delle vacanze, i media più sensibili ai temi ambientali ripresero l'argomento (per inciso, Emanuel è anche un bravo divulgatore e un suo pamphlet di successo è stato pubblicato in Italia col titolo "*Piccola lezione sul clima*", edito dal Mulino^[6]). Ebbene, due settimane dopo l'uscita dell'articolo di *Nature*, il ciclone *Katrina* si abbatteva sulla Louisiana, devastando e inondando New Orleans, con un bilancio di oltre 1800 morti e danni per 81 miliardi di dollari. In termini economici, è stato il più grave disastro naturale degli USA.

Il crescendo dei disastri ambientali associabili al *global warming* non ha impedito la proliferazione di movimenti negazionisti, spesso sostenuti dalle lobby dei combustibili fossili e rappresentati da ricercatori non impegnati negli ambiti specifici delle scienze del clima, che attribuiscono le anomalie osservate a oscillazioni naturali, esentando l'uomo da qualsiasi responsabilità.

[5] K. Emanuel, (2005). *Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years*. *Nature*, 436(7051), 686-688.

[6] K. Emanuel, (2018). *What we know about climate change*. MIT Press.

L'IPCC ha ribadito a più riprese, nei suoi più recenti rapporti, che ormai il riscaldamento globale è inequivocabile e che in esso si vede «*la discernibile impronta dell'uomo*».

Fra le COP più recenti, quella che ha suscitato le maggiori speranze di rilancio del processo negoziale sul clima è stata la 21^{ma} della serie, svoltasi a Parigi nel 2015, ed enfaticamente definita "storica" dai media generalisti perché ha ricondotto allo stesso tavolo Paesi come USA, Europa, Russia e Cina che si erano allontanati dall'azione comune dopo il sostanziale fallimento del Protocollo di Kyoto. Tuttavia, a ben leggere i contenuti dell'accordo, emerge che si tratta di una riproposizione in nuove vesti della Convenzione di Rio del 1992, poiché gli impegni di riduzione delle emissioni non sono vincolanti ma volontari. A mio parere, il risultato più importante di questa conferenza non è stato fissare a 2° centigradi l'aumento massimo di temperature consentito entro questo secolo, poiché è sempre più evidente che con i soli impegni volontari, senza riduzioni dei gas-serra a tappe obbligate, questo impegno non potrà essere rispettato. La novità, piuttosto, sta nell'istituzione di un registro pubblico delle riduzioni attuate dai vari Paesi. Così, anche in assenza di

vincoli e sanzioni, ciascuno dovrà rendere conto di quel che fa (o non fa). Quest'obbligo di rendicontazione è uno dei motivi per cui Trump aveva annunciato di voler stracciare gli accordi di Parigi firmati dal suo predecessore Obama. Il successore di Trump, Joe Biden, sembrava animato da migliori intenzioni, ma a partire dal 2022 la sua buona disposizione verso la questione climatica è sfumata, relegata sullo sfondo dalla focalizzazione degli USA e di gran parte del resto del mondo sulla guerra russo-ucraina.

A voler vedere il bicchiere mezzo pieno bisogna riconoscere che, in questi primi trenta anni di vita della Convenzione climatica, i progressi per mettere a punto i meccanismi di controllo delle emissioni climo-alteranti sono stati notevoli, nella maggior parte dei Paesi aderenti; che sono stati conseguiti incrementi delle energie rinnovabili nella produzione elettrica, intraprendendo il giusto cammino verso la decarbonizzazione e la sostenibilità ambientale. Tuttavia, che si tratti di un cammino troppo lento rispetto ai fenomeni avversi osservati e ai pericoli incombenti sul futuro del pianeta, ce lo certifica la "torta" mondiale dei consumi di energia totale per fonti. Essa mostra che l'80% della produzione energetica mondiale viene ancora

oggi dai combustibili fossili (di cui il carbone occupa circa il 25%), mentre le rinnovabili sono costrette entro una fettina dell'11%. A questi dati fa riscontro la curva ascendente delle emissioni globali di anidride carbonica, che ormai sfiora i 40 miliardi di tonnellate/anno e che ha conosciuto temporanee flessioni più per effetto delle ricorrenti crisi economiche (e poi anche della crisi pandemica) che dei programmi ambientali.

L'amara e inevitabile riflessione conclusiva porta a constatare che finora c'è stata sempre qualche emergenza di carattere economico o geopolitico, tale da imporre ricorrenti battute d'arresto ai programmi di abbattimento delle emissioni climo-alteranti. L'impegno di consegnare ai nostri figli e nipoti una Terra liberata dallo spettro di irreversibili guasti climatici non sembra stare fra le priorità dei governi nazionali. E pochi sembrano disposti a combattere con impegno la madre di tutte le battaglie, che dovrebbe essere quella di garantire la salvezza ambientale del nostro pianeta.



INTRODUZIONE

L'aumento del livello del mare è ancora uno degli effetti meno conosciuti del **riscaldamento globale**.

Le conseguenze di questo fenomeno interessano oltre 400 milioni di persone in tutto il mondo e le stime dicono che questo numero potrebbe aumentare considerevolmente nei prossimi anni. Si tratta di un fenomeno che ha la capacità di modificare la geografia delle coste di tutto il pianeta, come già avvenuto più volte nel passato. Tuttavia oggi sta accadendo qualcosa di diverso: i dati di centinaia di studi sintetizzati nei Rapporti dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), mostrano in maniera inequivocabile che l'attuale riscaldamento globale, principalmente causato dalle attività umane

a partire dal 1880 con l'inizio dell'era industriale, ha innescato un aumento del livello del mare molto rapido.

Nell'arco di tempo di una sola generazione potrà avere un impatto socio-economico senza precedenti sulle popolazioni costiere. Sebbene i dati scientifici ottenuti da molteplici studi che abbracciano varie discipline che spaziano dal clima, alle scienze della Terra e alla biologia siano concordi nel mostrare la scala globale del fenomeno, tuttavia i rischi connessi non sono ancora ben compresi, né ancora tali da suscitare un'adeguata consapevolezza per intraprendere opportune politiche di mitigazione e adattamento.

Questo libro ha quindi lo scopo di proporre in maniera divulgativa una **sintesi delle conoscenze scientifiche** sull'aumento del livello del mare, evidenziando le cause, gli effetti lungo le coste, gli scenari attesi e le azioni possibili che ognuno di noi può adottare per cercare di ridurre le conseguenze del fenomeno.

Il libro è destinato a tutti ma in particolare agli insegnanti e agli studenti delle scuole secondarie, nell'intenzione di colmare le lacune di conoscenza presenti nei libri di

testo scolastici e sensibilizzare le nuove generazioni a comportamenti consapevoli verso l'ambiente. Le informazioni contenute in questo libro sono tratte dai principali studi scientifici internazionali e dal lavoro di ricerca svolto nell'ambito del progetto **SAVEMEDCOASTS-2** (www.savemedcoasts2.eu), consorzio internazionale coordinato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, composto di otto partner che si occupano di misurare, studiare e calcolare quali saranno i livelli del mare nei prossimi decenni lungo le

coste del Mediterraneo, fornendo proiezioni e potenziali scenari di allagamento marino costiero. SAVEMEDCOASTS-2 è l'acronimo di **Sea Level Rise Scenarios Along the Mediterranean Coasts-2** (*Grant Agreement 874398*), prosecuzione del progetto SAVEMEDCOASTS (www.savemedcoasts.eu) (*Grant Agreement ECHO/SUB/2016/742473/PREV16*), che ha dapprima realizzato un quadro iniziale del fenomeno in atto nel Mediterraneo.

Entrambi i progetti sono stati finanziati dall'Unione Europea

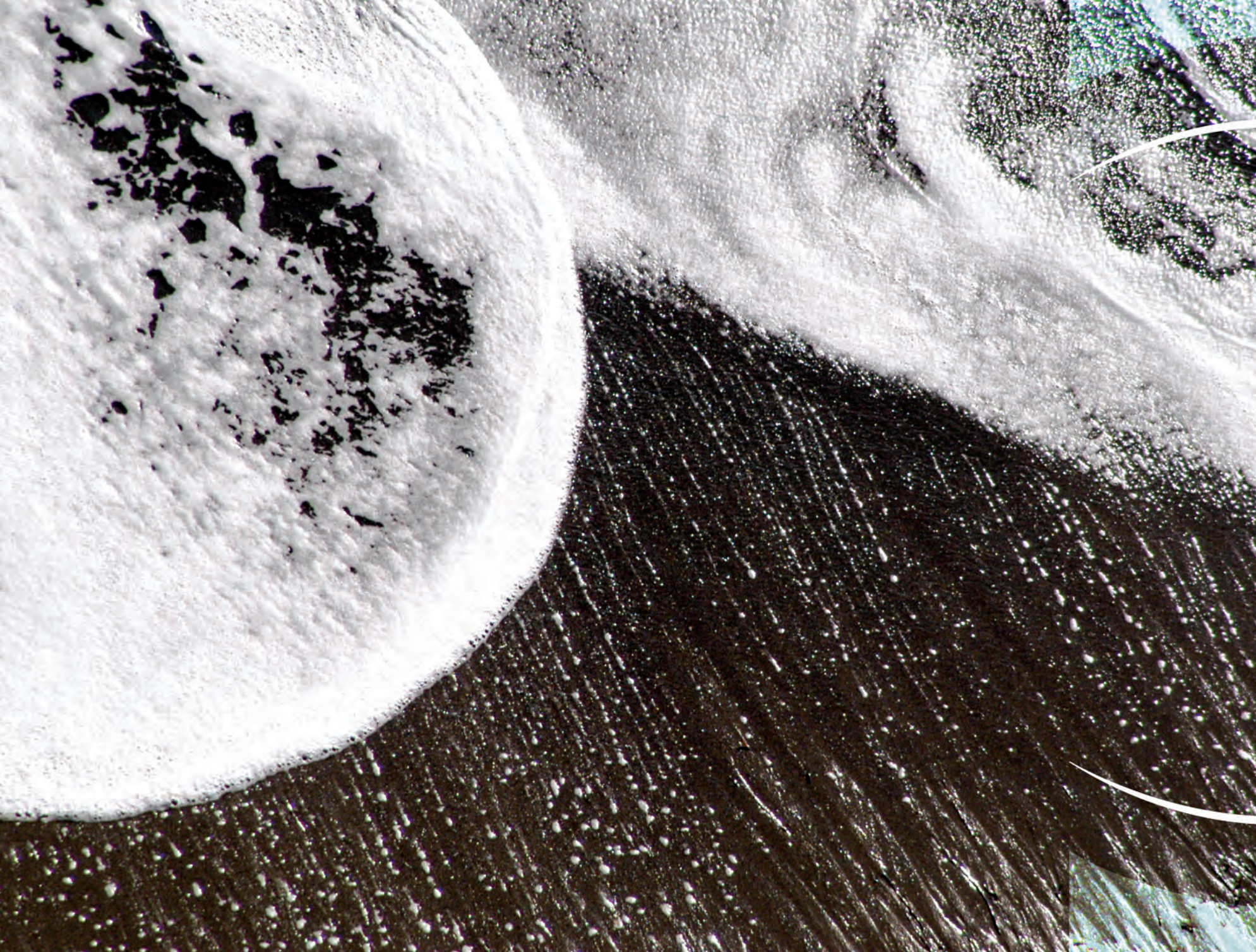
attraverso la *European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations* (**DG-ECHO**).

In accordo con il meccanismo unionale di **Protezione Civile Europea**, lo scopo è quello di svolgere una attività che si inquadra nell'ambito della prevenzione e della preparazione delle comunità costiere del Mediterraneo, attraverso la conoscenza del fenomeno necessaria ad affrontare gli effetti e l'impatto socio-economico dell'aumento del livello del mare.

Il progetto, che si può inquadrare anche come *Early Warning and Information Systems* a più lungo periodo (Sistema di Informazione e Allerta Precoce), nella sua seconda fase ha preso in considerazione sei casi di studio corrispondenti ad altrettante zone a rischio di cinque Paesi che si affacciano sul **Mediterraneo**: in Italia, la **laguna di Venezia** e la **piana costiera di Metaponto** con le foci dei fiumi Basento e Bradano; in Spagna il delta del **fiume Ebro** e in Grecia la pianura di **Chalastra**, presso **Salonicco**,

formata dal delta dei fiumi Axios e Gallikos; la costa di **Alessandria d'Egitto**, nel delta del **Nilo** e infine il delta del **Rodano**, in Francia.

In Italia, Spagna, Grecia e Cipro sono state sviluppate campagne di comunicazione rivolte alle scuole e alle popolazioni locali che hanno visto la partecipazione delle parti interessate (*stakeholders*), anche con l'obiettivo finale di includere i risultati prodotti nei piani di emergenza delle aree investigate.



INDICE GENERALE

PREFAZIONE	5
INTRODUZIONE	15
CAPITOLO 1 IL FENOMENO	22
AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: LE CONOSCENZE SCIENTIFICHE	25
Quali aree sono maggiormente esposte e vulnerabili	26
Le cause	26
Quali effetti	28
MISURARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE	33
VARIAZIONI DI LIVELLO MARINO: LEGGERE IL PASSATO PER CAPIRE IL FUTURO	37
Gli ultimi 18.000 anni	39
Cosa dobbiamo aspettarci nel futuro	41

CAPITOLO 2 I CASI DI STUDIO DI SAVEMEDCOASTS-2	44	ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: ALCUNE STRATEGIE	87
AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: IL MEDITERRANEO	47	ADATTAMENTO: UNA NECESSITÀ	89
Come sarà il Mediterraneo nel 2100	47	Un approccio multidisciplinare e multirischio	89
ALCUNI POSSIBILI SCENARI IN ITALIA, GRECIA, SPAGNA, EGITTO E FRANCIA	53	Esempi dal mondo	92
Metaponto, Bernalda, Italia	53	CAPITOLO 4 IL PROGETTO SAVEMEDCOASTS-2	96
Chalastra, Kalochori, Grecia	57	IL PROGETTO SAVEMEDCOASTS-2	99
Delta del Fiume Ebro, Tarragona, Spagna	61	Le aree in studio	99
Delta del Fiume Nilo, Alessandria d'Egitto, Egitto	65	Perché proprio i delta fluviali, le lagune e le aree di bonifica	100
Delta del Fiume Rodano, Camargue, Francia	69	Che cosa fanno i ricercatori che lavorano al progetto	100
QUALE VENEZIA NEL 2100?	73	I destinatari del progetto	100
Venezia e l'innalzamento del livello del mare	75	Da chi è finanziato	100
Effetti dell'aumento del livello del mare	76	FONTI DELLE IMMAGINI	103
CAPITOLO 3 AFFRONTARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE	80	VIDEO DIVULGATIVI	109
AFFRONTARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE	83	LETTURE CONSIGLIATE	111
La transizione ecologica: una questione di energia	84		
Mitigazione dell'aumento del livello del mare	84		
Come far diminuire la CO₂ già presente in atmosfera	85		
Come ridurre le emissioni di gas serra	85		



CAPITOLO 1

IL FENOMENO

Il litorale dell'**isola di Nggatokae**, isole Salomone nel Pacifico meridionale, sta cambiando rapidamente a causa dell'innalzamento del livello del mare.



AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: LE CONOSCENZE SCIENTIFICHE

Dopo un periodo di relativa stabilità durato alcuni secoli, **il livello del mare sta salendo in tutto il globo.**

Nel Novecento l'aumento è stato tra 14 e 17 centimetri ma, rispetto al secolo scorso, la velocità attuale di risalita è più che raddoppiata e continua ad aumentare in maniera accelerata. Infatti, il livello del mare sta salendo al ritmo di oltre 30 cm per secolo. Poiché l'aumento non è costante a causa dei molteplici fattori fisici che agiscono nel tempo e nello spazio in maniera variabile, entro il 2100 il livello medio del mare potrà essere più alto anche di oltre 1 metro rispetto all'inizio di questo secolo.

Il principale responsabile del fenomeno è il **riscaldamento globale** innescato dalle emissioni di gas serra prodotti dalle attività umane. Le calotte polari stanno fondendo, i ghiacciai montani stanno scomparendo, gli oceani si stanno riscaldando e il livello del mare sta aumentando.

Inoltre, lungo le coste subsidenti, cioè dove si verificano movimenti del suolo verso il basso, il livello del mare locale aumenta ancora di

più perché si sommano i due effetti.

Le coste del prossimo futuro saranno diverse da oggi: sommerse e rimodellate.

Quando il livello medio del mare aumenta in modo permanente, anche solo di pochi centimetri, si possono verificare allagamenti di vaste aree costiere. In particolare quando queste sono basse. Per comprendere quale scenario aspettarsi nel prossimo futuro, che sarà ben diverso dalle consuete condizioni di alte maree o delle momentanee mareggiate, ci vengono in aiuto gli studi scientifici. Questi stimano che il mare potrebbe occupare per secoli e millenni vaste zone costiere, come già avvenuto in passato, trasformandole in paludi e lagune. Gli studi ammoniscono che, in condizioni di livello del mare più alto, si possono verificare altri fenomeni in cascata. Ad esempio, gli effetti di mareggiate, tempeste e maremoti verrebbero amplificati e l'erosione delle coste sarebbe sempre più intensa, favorendo un veloce arretramento della linea di costa.



Delta meridionale del fiume Ebro, Spagna.

Quali aree sono maggiormente esposte e vulnerabili

Sono quelle caratterizzate da **coste basse e fragili**, come le **spiagge**, i **delta fluviali**, le **zone lagunari** e le **pianure costiere**. Su queste sorgono anche grandi città come ad esempio **Miami** e **New York** negli Stati Uniti, **Singapore** e **Giacarta** in Indonesia ma anche tante città storiche del Mediterraneo, come **Venezia**, **Alessandria d'Egitto** e **Istanbul**. Alcune zone del mondo subiranno impatti evidenti a tutti, come la possibile scomparsa di interi arcipelaghi, come le **Maldivi**

nell'Oceano Indiano e le **Salomone** nel Pacifico.

Le cause

La causa principale del fenomeno che stiamo osservando è il **riscaldamento globale**. A partire dal 1880, anno che marca l'inizio dell'intenso sviluppo industriale, l'uomo ha continuamente immesso in atmosfera grandi quantità di gas serra i quali hanno innescato un continuo aumento delle temperature globali. L'aumento della temperatura media globale, a sua volta ha innescato la fusione

dei ghiacci terrestri, le cui acque si riversano negli oceani. Questi ultimi, riscaldandosi, aumentano di volume e si espandono contribuendo a fare aumentare il livello del mare. Nell'ultimo rapporto **AR6** dell'**IPCC** (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, gruppo di esperti intergovernativi sui cambiamenti climatici, www.ipcc.ch), pubblicato nell'agosto del 2021, si mette in risalto che la recente accelerazione delle temperature globali non ha precedenti negli ultimi 2000 anni. Ma anche che stiamo vivendo nel periodo più caldo degli ultimi 100.000 anni di storia

della Terra. La concentrazione di CO₂ nell'atmosfera terrestre non è mai stata così alta negli ultimi 2 milioni di anni, l'estensione ghiaccio marino dell'Artico non è mai stata così bassa negli ultimi 1000 anni e il depauperamento dei ghiacciai alpini non è mai stato così forte negli ultimi 2000 anni. Il Rapporto mette in evidenza che tutti questi fenomeni sono inequivocabilmente causati dall'intensa attività umana.



Allagamento a Jakarta, Indonesia, febbraio 2017.

Se le temperature medie globali dovessero aumentare fino a circa 5 °C rispetto ai livelli preindustriali, il livello del mare nel 2100 potrebbe crescere di oltre 1 metro rispetto al livello attuale.

Ciò perché l'aumento non è costante ma segue un andamento accelerato. Questo comportamento dipende dalla quantità totale di ghiaccio che potrebbe fondere in seguito al riscaldamento globale. In particolare, quello posto in Antartide e Groenlandia. Se tutti i ghiacci presenti sulla Terra dovessero fondere, il livello del mare aumenterebbe di circa 65 metri.

La subsidenza è un fenomeno che avviene per cause naturali o antropiche.

Si verifica nei terreni soffici che tendono a muoversi verso il basso per compattazione a causa delle loro caratteristiche geologiche. Può essere causata dalle attività umane, come l'estrazione di fluidi

dal sottosuolo (acqua, gas, petrolio). Si tratta di un fenomeno in genere lento (da alcuni millimetri fino ad alcuni centimetri all'anno) che però può avere effetti dannosi sui manufatti e sull'ambiente.

Ad esempio lungo le coste favorisce la penetrazione del mare verso terra, aumentando

quindi la superficie allagata in modo permanente. La subsidenza può avvenire anche a causa dei movimenti tettonici regionali indotti dal movimento delle placche tettoniche, dai terremoti e dall'attività vulcanica.

Quali effetti

L'aumento del livello del mare può cambiare la fascia costiera, fino a **renderla invivibile per l'uomo, la flora e la fauna**. In alcuni Paesi, anche a causa dell'aumentare dell'intensità degli eventi meteorologici estremi indotti dal cambiamento climatico, le popolazioni sono costrette ad allontanarsi dalle coste e trasferirsi in zone più interne.

Aree costiere oggi abitate potranno essere allagate permanentemente. Oltre alle abitazioni, anche gli ambienti naturali, le infrastrutture costiere, come ad esempio i porti, le vie di comunicazione e i beni culturali sono a rischio. Agli **effetti diretti**, si aggiungono quelli indiretti, in una sorta di reazione a catena. Si parla in questi casi di **effetti a cascata**.

Per esempio, con l'aumento del livello del mare, cambiano anche le caratteristiche delle **falde acquifere**; il suolo fatica ad assorbire le acque piovane, favorendo la formazione di zone paludose. Inoltre, se la falda acquifera entra in contatto con l'acqua marina, diventa salmastra e inutilizzabile per le attività umane.

DIDASCALIA INFOGRAFICA PAGINA 30. L'aumento del livello marino innesca erosione costiera, arretramento delle spiagge, allagamenti permanenti e perdita della biodiversità. Le possibili azioni di risposta sono complesse e consistono principalmente nella riduzione drastica delle emissioni di gas serra. Lungo le coste, gli interventi di adattamento consistono nella realizzazione di costose opere di difesa fino alla ricollocazione verso zone interne dei beni immobili esposti al rischio di sommersione marina.

Solco di battente,
località **isola di Tavolara,**
Sardegna, Italia.

Alcuni Paesi stanno sviluppando programmi di adattamento e mitigazione del rischio di allagamento marino.

La finalità è quella di tutelare la popolazione, le infrastrutture, il patrimonio ambientale, culturale e immobiliare esposto.



AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

+CO₂

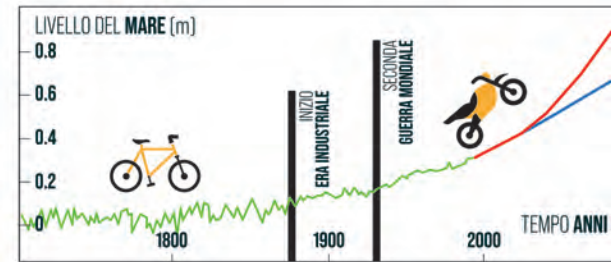
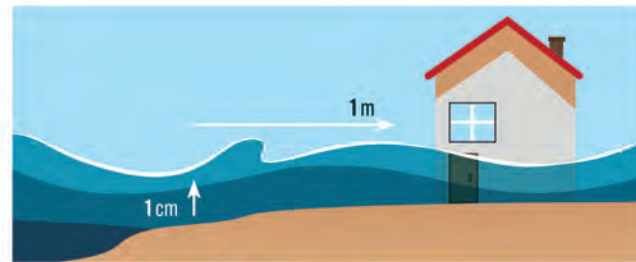
CAUSE



EFFETTI SULLA COSTA



SCENARI

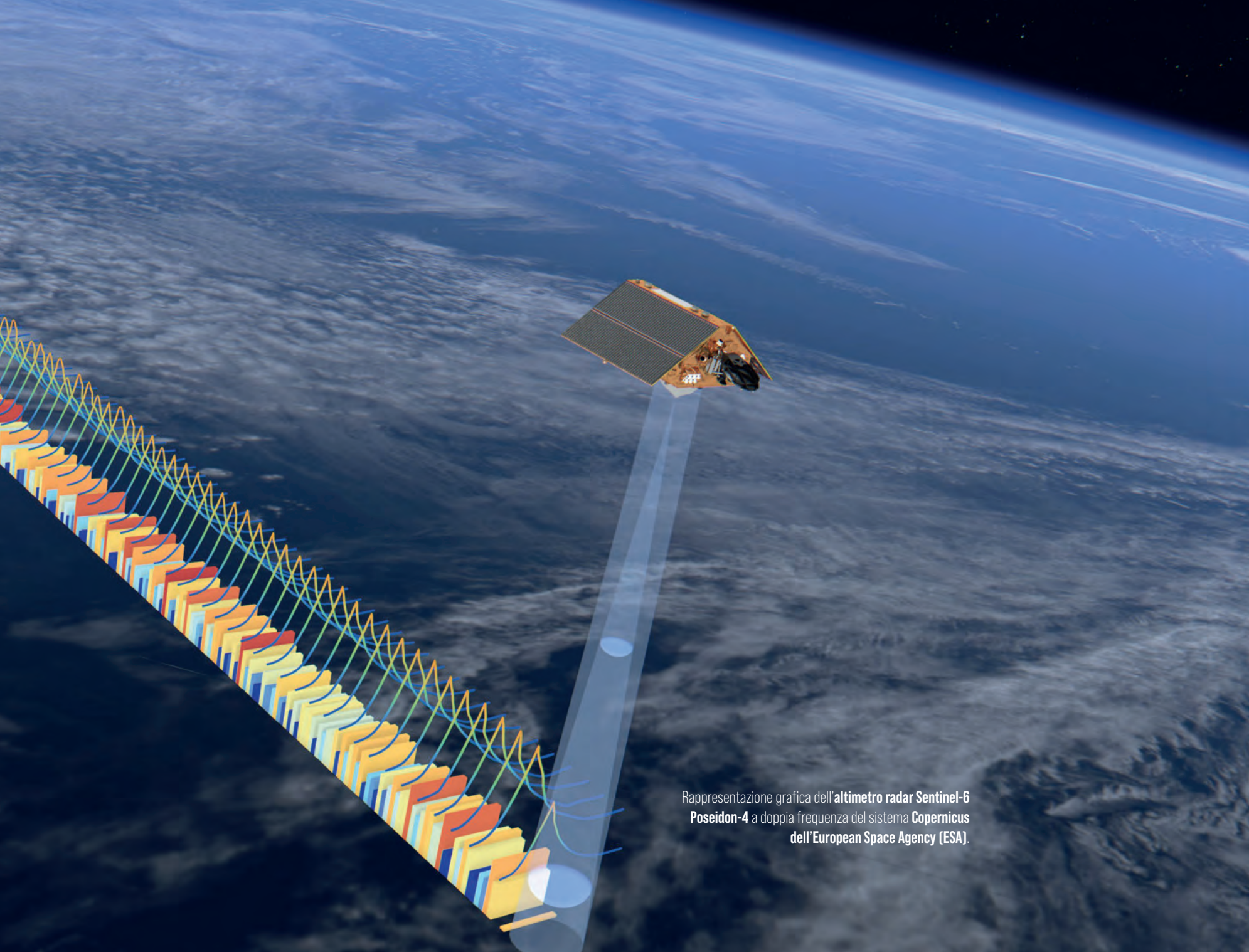


COSA FARE



AZIONI DI RISPOSTA





Rappresentazione grafica dell'**altimetro radar Sentinel-6 Poseidon-4** a doppia frequenza del sistema **Copernicus** dell'**European Space Agency (ESA)**.

MISURARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

Misurare l'altezza del livello marino è importante per comprendere se le variazioni osservate sono causate da eventi periodici (ad es. le maree), episodici (ad es. mareggiate o maremoti) o continui nel tempo (ad es. variazioni a più lungo periodo) e se queste possono essere legate a particolari situazioni locali. Monitorare la sua superficie è importante anche per fare delle ipotesi su quale potrebbe essere il livello del mare nel prossimo futuro.

Per questo gli scienziati, attraverso strumenti di misura molto sofisticati, calcolano la **velocità con cui aumentano gli oceani e i movimenti verticali delle coste**.

Vengono impiegate tecniche di misura geodetiche (che misurano la forma della Terra e i suoi movimenti), da terra e dallo spazio, capaci di rilevare variazioni millimetriche della superficie marina. I metodi tradizionali, usati da oltre 200 anni, sono costituiti da sensori mareografici disposti in vari luoghi delle coste di tutto il globo, che registrano in modo continuo il livello del mare.

Dalle analisi, si possono individuare anomalie che potrebbero portare nel tempo a cambiamenti significativi della fascia costiera. I valori e le proiezioni di riferimento sull'aumento di livello marino globale sono fornite dall'IPCC, che sintetizza i risultati di numerosi studi pubblicati sulle principali riviste internazionali.

Il livello del mare può essere misurato attraverso differenti tecniche.

Quelle più avanzate sono basate sui sistemi satellitari, come gli **altimetri radar** e il **sistema GNSS**.

Informazioni sulle variazioni del livello del mare in epoche precedenti si possono ricavare da osservazioni geologiche e archeologiche.

Per definire le aree a potenziale rischio di sommersione, è necessario disporre di **cartografia digitale ad alta risoluzione** su cui riportare la superficie di terraferma che potrà essere inondata in base ai valori ipotizzati di aumento del livello marino.

ALTIMETRIA SATELLITARE

Gli altimetri radar satellitari misurano le variazioni di livello marino nel tempo attraverso il calcolo della distanza tra la superficie marina e il satellite su cui sono collocati. La tecnica si basa sulla conoscenza precisa delle orbite che percorrono i satelliti e la misura dell'intervallo di tempo che intercorre tra la trasmissione di impulsi elettromagnetici emessi dai satelliti e quelli ricevuti dopo essere stati riflessi dalla superficie del mare.

SISTEMI GNSS | GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

I Sistemi GNSS sono simili a quelli che utilizziamo con il telefono cellulare per rilevare la nostra posizione ma, grazie a componenti elettronici più sofisticati, sono molto più precisi e riescono a rilevare nel tempo

variazioni di quota anche di pochi millimetri. I dati GNSS si utilizzano per misurare la quantità di movimento e in quale direzione si sposta la superficie terrestre. Si può quindi calcolare qual'è il contributo della subsidenza o del sollevamento del suolo alla variazione del livello del mare lungo tratti specifici di costa. Recenti metodi di analisi permettono di misurare la variazione del livello del mare a partire dallo studio del segnale GNSS. In particolare quando questo giunge alle antenne dopo essere stato riflesso dalla superficie marina da stazioni di rilevamento poste vicino al mare.

LIDAR (acronimo di Light Detection and Ranging) Tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser da terra o da aereo.

MODELLI DIGITALI DEL TERRENO | DTM - DIGITAL TERRAIN MODEL

Modelli numerici che descrivono e riproducono l'andamento della superficie terrestre attraverso una quantità finita di punti rappresentati da coordinate.

AEROFOTOGRAMMETRIA DIGITALE

Si tratta di una tecnica di misura e rappresentazione della superficie terrestre attraverso l'analisi di fotografie della sua superficie. Le immagini sono scattate da aerei o da piccoli droni dotati di macchine fotografiche ad alta risoluzione. Da queste si ottengono ortofoto aeree, cioè geometricamente corrette e rappresentate in un sistema di coordinate geografiche, tale che la loro scala sia uniforme e al pari di una carta geografica.



Stazione GNSS della rete INGV a Panarea, isole Eolie, Sicilia.



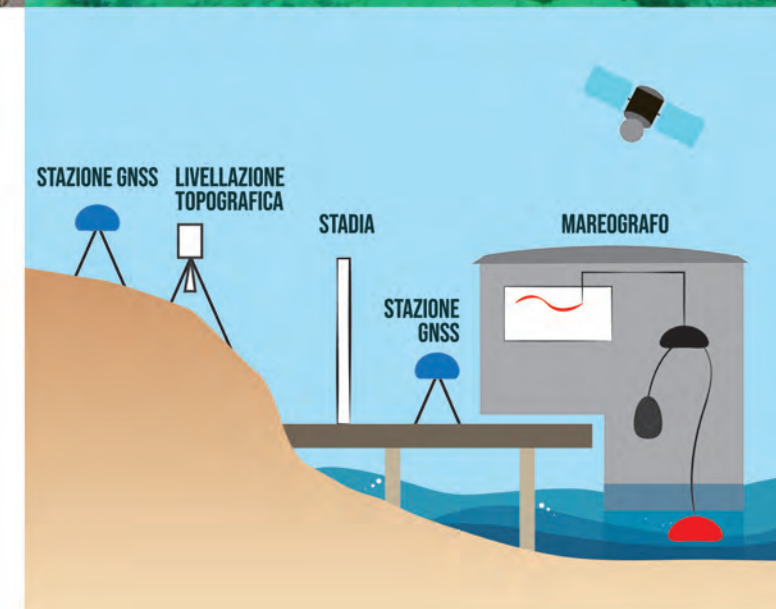
Il sito archeologico sommerso di Kaulonia, in Calabria ionica.

I resti di costruzioni e cave greche e romane si trovano oggi a circa 6 m di profondità a causa di movimenti tettonici e dell'aumento del livello marino per cause climatiche.

Per questo scopo, si usano le moderne tecnologie **LIDAR** e aerofotogrammetriche digitali che consentono di creare **Modelli Digitali del Terreno** molto dettagliati (con risoluzione di pochi cm o decine di cm). Questi modelli sono utili anche per valutare gli effetti di variazioni improvvise del livello del mare dovute a eventi estremi, come mareggiate, maree eccezionali e maremoti.

Per mitigare i rischi costieri e prepararsi agli scenari futuri, nelle aree maggiormente esposte al fenomeno è importante aggiornare periodicamente le analisi climatiche, le proiezioni di aumento di livello marino e gli scenari multi temporali di inondazione costiera.

Strumenti per la misura del livello del mare.





Il fiume Nilo.

VARIAZIONI DI LIVELLO MARINO: LEGGERE IL PASSATO PER CAPIRE IL FUTURO

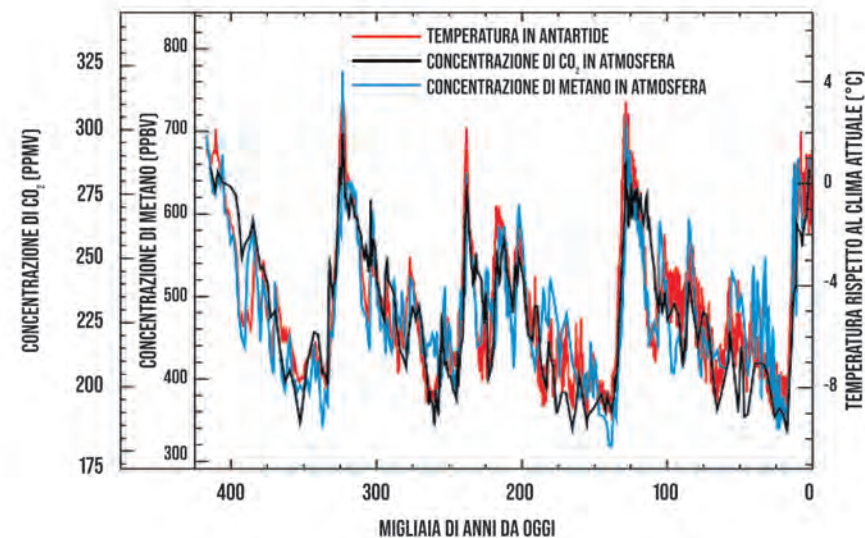
Il clima della Terra è cambiato molte volte nel passato geologico. Nel corso delle ultime centinaia di migliaia di anni si sono verificati sulla Terra più cicli climatici con alternanza di periodi caldi (interglaciali) e freddi (glaciali). Le variazioni di temperatura tra un periodo e l'altro sono legate ai cambiamenti periodici dell'orbita terrestre, al bilancio della radiazione solare assorbita e riflessa dalla superficie terrestre, alla composizione dell'atmosfera, alla circolazione delle correnti oceaniche. I cicli climatici hanno prodotto periodicamente importanti variazioni del livello del mare e dei ghiacci nel passato e continueranno a farlo nel futuro.

Nei primi anni del Novecento il matematico serbo **Milutin Milankovic** confrontò le variazioni periodiche dei parametri orbitali della Terra (eccentricità, inclinazione dell'asse terrestre, precessione degli equinozi) con l'entità dell'irraggiamento solare.

Milankovic calcolò le variazioni cicliche dell'insolazione terrestre in funzione della variazione dei suddetti parametri. Arrivò quindi a identificare l'alternarsi di periodi glaciali freddi e periodi interglaciali caldi negli ultimi 600.000 anni, oggi noti come **cicli di Milankovic**. Sono stati riconosciuti 5 cicli glaciali-interglaciali con periodicità prevalenti di 100.000 e 41.000 anni, associati ad altrettanti cicli di variazione del livello del mare. Con il proseguire degli studi altri scienziati confermarono l'ipotesi di Milankovic, osservando le successioni stratigrafiche di rocce sedimentarie.

Durante i periodi climatici freddi, il livello del mare era più basso perché gran parte dell'acqua presente sulla Terra era accumulata sotto forma di ghiaccio nelle calotte polari dell'Artide, dell'Antartide e sulle catene alpine. Nell'emisfero nord, le coltri glaciali si estendevano fino alla Russia e alle isole Britanniche.

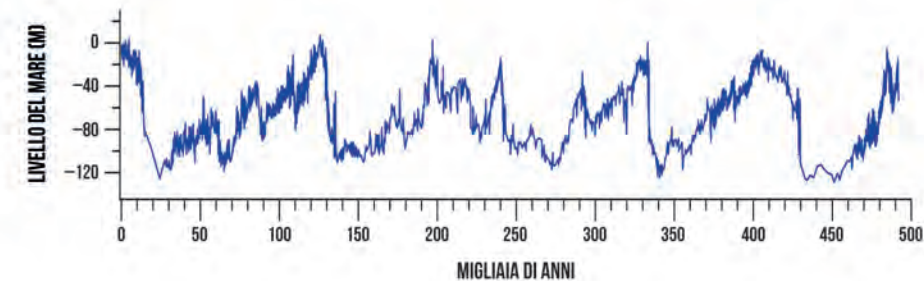
Durante l'ultimo massimo glaciale, avvenuto tra 21.000 e 18.000 anni fa, la temperatura media globale era più bassa di quella attuale. Il ghiaccio ricopriva gran parte delle terre emerse e il livello del mare era più basso di circa 120-130 metri rispetto ad oggi. Molte isole erano collegate alla terraferma, come ad es. l'isola di Malta, che era unita alla Sicilia. Ciò favorì la diffusione dell'uomo e delle specie animali e vegetali.



Variazione negli **ultimi 400.000 anni** della temperatura e delle concentrazioni di **metano e CO₂** dell'aria intrappolata nel ghiaccio dell'**Antartide**.

Durante i **periodi interglaciali**, cioè tra un periodo glaciale e quello successivo, le temperature globali erano più alte e il livello del mare era anch'esso più alto. Nel corso dell'ultimo interglaciale caldo, tra 129.000 e 116.000 anni fa, il livello medio del mare era più alto di circa 6 metri rispetto all'attuale e la temperatura media globale era circa 1 °C più alta rispetto al periodo preindustriale. Il livello raggiunto dal mare in quel periodo è marcato da fossili che si rinvenivano nei depositi

di spiaggia, nei **solchi di battente** e nelle grotte costiere. In particolare da un gasteropodo, lo *Strombus Bubonius*, ospite caldo che invase il Mediterraneo in quel periodo. Durante l'ultimo periodo climatico freddo, tra 21.000 e 18.000 anni fa, la temperatura media globale era più bassa di oggi (circa 9 gradi Celsius) e il livello del mare era più basso di circa 120 metri rispetto a quello attuale. Buona parte dell'emisfero settentrionale era ricoperto dai ghiacci.



Variazioni del livello marino negli ultimi 500.000 anni correlabili agli ultimi cinque cicli glaciali.

Gli ultimi 18.000 anni

Dopo la fine dell'ultima glaciazione, la temperatura è gradualmente aumentata, seppur con alcune oscillazioni e il livello medio globale del mare è salito progressivamente di circa 120-130 metri. I paesaggi costieri e insulari cambiarono profondamente nel corso di poche migliaia di anni e molte terre vennero rapidamente sommerse dal mare.

Da 12.000 anni circa siamo entrati in una nuova fase interglaciale. Questo periodo, definito Olocene, è caratterizzato dal grande sviluppo della civiltà umana.

Ad esempio, la nascita e lo sviluppo della civiltà egizia sono state messe in relazione con una fase climatica calda, avvenuta intorno a 3400 anni fa. Tra il 900 e il 1200, la colonizzazione della Groenlandia da parte delle popolazioni del Nord Europa venne facilitata da una nuova fase calda.

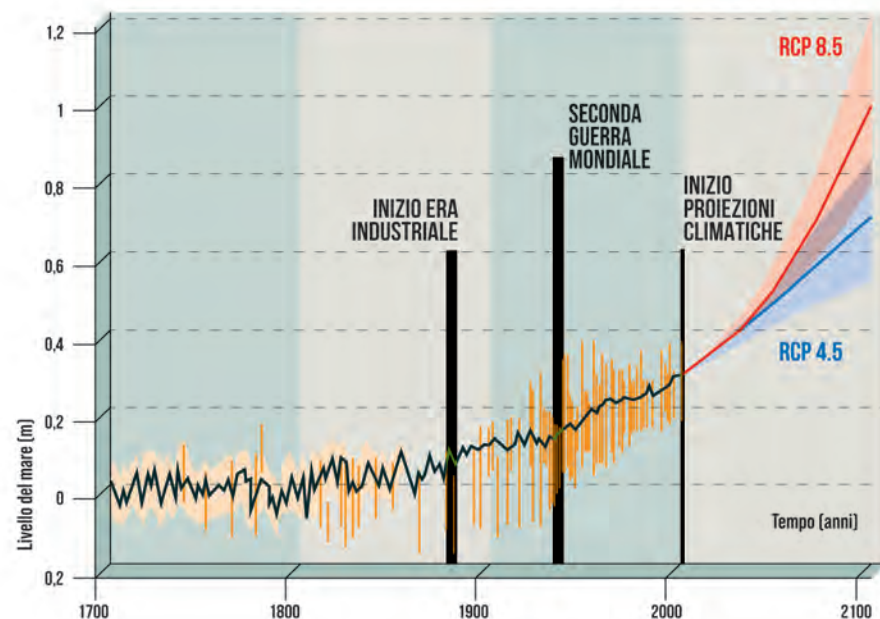
Negli ultimi 4.000 anni circa, il progressivo aumento delle temperature ha causato un costante aumento del livello del mare. Questo cambiamento è testimoniato anche da resti archeologici di costruzioni in origine realizzate in terra ma che ora sono sommerse lungo molte coste del Mediterraneo.

Tra il 1600 circa e il 1880, il livello medio marino globale è stato perlopiù stabile e con piccole variazioni. Dall'inizio dell'era industriale ha cominciato ad aumentare. La velocità di risalita non è stata costante ma si è osservata un'accelerazione già nella seconda metà del Novecento, dopo la seconda guerra mondiale. Più di recente, nel periodo che va dal 2005 al 2015, il livello del mare è cresciuto di 3,6 mm all'anno. La velocità con cui sta aumentando, quindi continua a crescere nel tempo. La recente accelerazione rispecchia in parte il fatto che nel periodo 2007 - 2016, la fusione dei ghiacci polari è stata

Nel Mediterraneo l'aumento del livello del mare è più contenuto rispetto agli oceani. Nell'ultimo secolo la velocità calcolata dai dati mareografici è stata di circa 2 mm all'anno. Tuttavia, recenti studi che hanno analizzato i dati dei radar altimetri, calcolano velocità maggiori e più simili a quelle degli oceani. Essendo un bacino quasi chiuso, il Mediterraneo ha dinamiche differenti rispetto agli oceani, con acque più calde, più salate e di conseguenza più dense.

RIMBALZO POST GLACIALE

è un processo geologico che si verifica in seguito a variazioni della massa glaciale che grava sulla superficie terrestre. Quando i ghiacci continentali fondono in seguito al riscaldamento climatico, la crosta terrestre, liberata dal peso, si solleva.

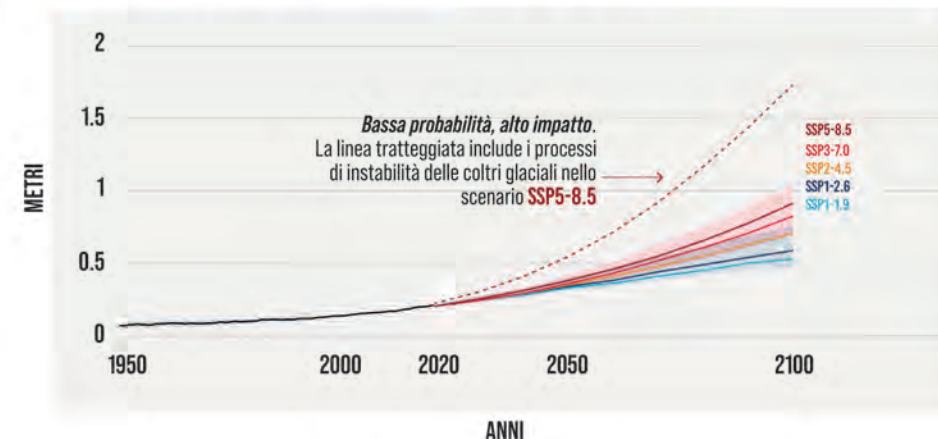


Variazione del livello del mare dal 1700 a oggi e proiezioni fino al 2100.

pari a tre volte (Antartide) e due volte (Artide) quella osservata nel periodo 1997 - 2006. Questo ha provocato l'arrivo di sempre maggiori quantità d'acqua negli oceani. Il livello del mare però non aumenta ovunque alla stessa velocità: vi sono differenze regionali dovute a variazioni della densità delle acque degli oceani

e della circolazione delle correnti oceaniche. Inoltre, il fenomeno del rimbalzo post glaciale in aree prossime al polo nord porta la crosta terrestre, alleggerita dal ritiro dei ghiacci, a sollevarsi in funzione della distanza dal centro delle calotte glaciali.

VARIAZIONE GLOBALE DEL LIVELLO MARINO RISPETTO AL 1900



Proiezioni future del livello medio del mare globale secondo l'IPCC.

Altre differenze locali sono causate da movimenti di subsidenza o sollevamento del suolo.

Cosa dobbiamo aspettarci nel futuro

Se il riscaldamento del pianeta non si fermerà anche il livello del mare continuerà a salire. Per cercare di comprendere gli effetti del fenomeno in atto e gli scenari attesi nei prossimi anni, la comunità scientifica internazionale ha elaborato proiezioni climatiche attraverso studi specifici che hanno analizzato con complesse elaborazioni, differenti serie di dati.

L'IPCC (negli ultimi Rapporti AR5, 2014 e AR6, 2021), ha sintetizzato i risultati di centinaia di studi, ipotizzando una serie di possibili scenari climatici e il conseguente aumento atteso di livello marino fino al 2150. In particolare, gli scenari climatici pubblicati dall'IPCC sono basati sulle emissioni in atmosfera della CO₂ e degli altri gas serra. Vanno da quello più favorevole, per il quale si prevede per il 2100 un aumento di temperatura media globale di 1,5 °C a quello più critico, che vedrà per il 2100 un aumento medio di circa 5 °C.

Gli scenari di emissione. L'IPCC definisce una serie di scenari climatici. Nel Rapporto AR5 (2014), quello più critico è denominato RCP8.5 mentre nel Report AR6 (2021) viene indicato con SSP5-8.5. Entrambi corrispondono alla massima emissione di gas serra in atmosfera, secondo il modello di *business as usual*. Gli scenari RCP2.6 (Rapporto IPCC AR5) e SSP1-1.9 (Rapporto IPCC AR6), definiscono invece gli scenari climatici più favorevoli e corrispondono alla drastica riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera.

Quest'ultimo scenario rappresenta ciò che potrebbe accadere se le emissioni continueranno ad aumentare, secondo il modello cosiddetto *business as usual*. Diviene quindi indispensabile adottare comportamenti virtuosi e una severa riduzione delle emissioni di gas serra da parte di ogni Paese.

Oltre a questi scenari climatici estremi, sono stati calcolati anche scenari intermedi. Per ognuno di questi si hanno diverse proiezioni di aumento del livello medio del mare. Per lo **scenario a basse emissioni** l'aumento potrà essere contenuto tra **29 e 59 centimetri** rispetto al 2005. Nello **scenario più pessimista**,

si ipotizza un aumento medio tra **61 e 100 centimetri** rispetto ad oggi. Poiché l'aumento del livello del mare non è uniforme ma varia da luogo a luogo nello spazio e nel tempo, si possono aspettare variazioni locali fino a circa il 30% rispetto al valore globale medio. Tutto ciò senza contare l'effetto della subsidenza.





CAPITOLO 2

I CASI DI STUDIO DI SAVEMEDCOASTS-2



Delta del fiume Nilo, Egitto.

AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: IL MEDITERRANEO

L'aumento del livello del mare è un fenomeno che investe gran parte delle coste della Terra e mette a rischio la sicurezza di milioni di persone.

Nelle zone costiere più esposte del mare Mediterraneo, i progetti **SAVEMEDCOASTS** e **SAVEMEDCOASTS-2** studiano gli effetti dell'aumento del livello del mare e della subsidenza. La combinazione di questi due fenomeni porterà nei prossimi decenni alla progressiva sommersione delle coste basse prospicienti il mare.

Lo scopo è proteggere le comunità costiere attraverso il trasferimento delle conoscenze scientifiche, indispensabili per comprendere le cause del fenomeno, e fronteggiare con adeguata consapevolezza gli effetti dell'aumento del livello del mare.

Come sarà il Mediterraneo nel 2100

Nel 2100 il livello del mare Mediterraneo potrebbe essere più alto da 60 a 100 centimetri circa. In tali condizioni verranno amplificati gli effetti di mareggiate e di **tsunami** (maremoti) con conseguente rischio di inondazione marina. Il Mediterraneo è infatti una **zona altamente sismica** e con numerosi vulcani attivi, capaci di innescare forti terremoti e violente eruzioni, come già avvenuto nel passato.

Da diversi anni, inoltre, si osservano nel Mediterraneo cicloni simili a quelli tropicali, chiamati *medicane*, molto più violenti rispetto ai comuni cicloni mediterranei.

Anche questi eventi possono causare mareggiate, con effetti più intensi se in condizioni di livello del mare più alto. Considerando questi aspetti, in futuro molte aree pianeggianti lungo la costa mediterranea saranno allagate in modo permanente o soggette a inondazioni più gravi durante gli eventi estremi.

MEDICANE

Neologismo che mette insieme le parole **MEDI**terraneo e hurri**CANE**, uragano. Si tratta di temporanei sistemi di bassa pressione associati a temporali, fortissimi venti e aumento del moto ondoso.

Gli effetti delle inondazioni della fascia costiera includono la contaminazione delle acque dolci superficiali e sotterranee con acqua salata marina, l'erosione accelerata della costa, il degrado delle zone umide prospicienti il mare e la **perdita di biodiversità**.

La rapida e incontrollata urbanizzazione avvenuta dal '900 in poi lungo gran parte delle coste del Mediterraneo, con l'espansione di insediamenti abitativi e lo sviluppo di importanti nuclei industriali e turistici, ha aumentato l'esposizione al pericolo di persone e beni materiali. Infine, anche numerosi **siti costieri di interesse culturale e naturalistico** si potrebbero perdere nel prossimo futuro, se non adeguatamente protetti.

Il primo progetto SAVEMEDCOASTS ha individuato nel Mediterraneo **163 pianure costiere principali** e alcuni tra i più importanti **delta fluviali**, posti entro la quota di 2-3 metri al di sopra dell'attuale livello marino. Queste rappresentano le aree costiere più esposte al pericolo di allagamento entro il 2100, con una superficie complessiva di circa 39.000 chilometri quadrati, pari a circa cinque milioni e mezzo di campi di calcio o all'estensione della Svizzera.

Il progetto **SAVEMEDCOASTS-2** ha preso in considerazione sei casi di studio corrispondenti ad altrettante zone a rischio: il **delta del fiume Ebro**, in Spagna, la **laguna di Venezia** e l'area di **Metaponto**, in provincia di Matera, in Italia, la **pianura di Chalastra** (Salonicco) in Grecia, il **delta del fiume Rodano**, in Francia e il **delta del fiume Nilo**, in Egitto.

Marsiglia, Francia.





Uno sguardo d'insieme alle coste del Mediterraneo. In rosso sono evidenziate 163 piane costiere principali che si trovano entro circa due metri di altezza sul livello del mare. Queste zone, la cui superficie totale è di circa 38.529 km², pari a circa 5,5 milioni di campi di calcio o alla Svizzera, sono esposte al rischio di aumento del livello marino e ai conseguenti effetti. In condizioni di livello marino più alto di oggi, nei prossimi decenni potrebbero essere in parte sommerse e subire l'amplificazione degli effetti di tempeste e tsunami.



Delta del fiume Bradano, Metaponto, Matera, Italia.

ALCUNI POSSIBILI SCENARI IN ITALIA, GRECIA, SPAGNA EGITTO E FRANCIA

METAPONTO BERNALDA ITALIA

Metaponto è un piccolo insediamento di circa 1000 abitanti nel comune di **Bernalda**, in provincia di **Matera**. Si trova nella pianura compresa tra il **Bradano** e il **Basento**, fiumi che sfociano nel Mar Ionio. L'abitato originario di Metaponto, una delle colonie più importanti della Magna Grecia, risale al VII secolo a.C. Oggi Metaponto è una meta di interesse turistico, archeologico e naturalistico. La costa si estende per circa 6,5 km² con spiagge sabbiose pianeggianti, separate dalla zona interna residenziale da dune oloceniche, cioè formatesi negli ultimi diecimila anni. La zona costiera ospita chioschi, spiagge attrezzate, manufatti a uso turistico ed è esposta a venti e mareggiate che colpiscono la costa prevalentemente da sud-est. Il litorale comprende la **Riserva Naturale Statale di Metaponto**, un *bosco sul mare*

realizzato dall'uomo dopo la bonifica della zona costiera paludosa negli anni '30, e la **Riserva Statale Marinella Stornara**. La riserva di Metaponto ospita essenze arboree mediterranee e pinete, proprio a ridosso delle dune sabbiose. Nell'entroterra, i terreni di origine alluvionale sono prevalentemente pianeggianti e ad alta vocazione agricola. Tuttavia, sono soggetti ad effetti di salificazione della falda acquifera superficiale indotti dall'avanzamento del mare verso l'entroterra.

Fenomeni associati all'aumento del livello del mare

Il paesaggio costiero di Metaponto è dominato da dune che sono soggette a forte erosione eolica e marina. Il litorale sabbioso risente di una progressiva diminuzione dei sedimenti, causata dalle opere artificiali realizzate lungo il Bradano e il Basento a partire dagli anni '50, e da interventi diffusi nei bacini idrografici di contrasto al dissesto idrogeologico.



Litorale di Metaponto.

Le spiagge sono erose dal mare, non solo per il continuo moto ondoso, ma anche a causa di effetti locali indotti da una struttura portuale posta a ridosso della foce del Basento. Le alluvioni di origine fluviale interessano anche la viabilità principale, come la Strada Statale 106 Jonica, direttrice di traffico di rilevanza nazionale, per un'area di almeno 40-50 km² solo nel tratto costiero del comune di Bernalda.

Effetti dell'aumento del livello del mare

La bassa altitudine della fascia costiera di Metaponto entro 5 km dal mare (tra 0 e +5 m s.l.m.) è causa della sua vulnerabilità agli

allagamenti dei corsi d'acqua e alle mareggiate. Le frequenti alluvioni avvenute negli ultimi decenni hanno danneggiato migliaia di ettari di coltivazioni nella piana. Le fattorie e gli allevamenti di bestiame hanno inoltre subito ingenti perdite alle loro attività. Da un punto di vista infrastrutturale, la rete stradale principale è stata più volte danneggiata. Inoltre, le reti fognarie e il reticolo dei canali di bonifica, presenti nella fascia costiera retrostante le dune, sono stati sommersi più volte, generando problemi ambientali e sanitari. L'arretramento costiero dovuto all'azione dell'erosione, unitamente all'aumento del livello del

mare, provoca danni all'*habitat* agroecologico, alle infrastrutture stradali, alle reti fognarie e di bonifica. Non sono trascurabili inoltre gli effetti di intrusione salina nelle falde acquifere costiere, che causano processi di salinizzazione. Gli scenari di riscaldamento globale stimano nella zona di Metaponto un **aumento medio del livello del mare fino a un massimo di circa 80 cm nel 2100.**

L'area potenzialmente esposta al rischio di inondazioni per esondazioni fluviali e mareggiate potrebbe raggiungere un'estensione di circa 500 ettari. Questa risulterebbe molto più ampia se si considerassero anche gli effetti indiretti. Senza interventi tempestivi di protezione costiera, l'impatto dell'aumento del livello marino potrebbe portare a conseguenze più drammatiche di quelle che osserviamo oggi.

Il sistema costiero di Metaponto è fragile e ha bassi margini di resilienza all'avanzamento dal mare. Quindi, diviene strategico definire fin da ora opportuni interventi di mitigazione e contrasto degli impatti diretti e a cascata, per far fronte agli scenari attesi nei prossimi decenni.



MAPPA DI SCENARIO DELL'AUMENTO DEL LIVELLO MARINO

Valore di subsidenza del suolo (1,63 ± 1 mm/anno)

centimetri | ANNO



Scenario climatico RCP8.5 (secondo il Report AR5 dell'IPCC). La mappa tiene conto del contributo della subsidenza che nella zona considerata è pari a circa 1,63 millimetri all'anno calcolata dai dati analizzati nel progetto SAVEMEDCOASTS-2.

Le aree colorate mostrano l'estensione delle aree costiere a potenziale rischio sommersione negli anni 2030 (in giallo), 2050 (in arancione) e 2100 (in rosso).

Eventi di piogge estreme nella parte medio-alta dei fiumi Basento e Bradano, come quelle di marzo 2011 e ottobre e dicembre 2013 (150-200 mm di pioggia in 12-24 ore), possono provocare straripamenti dei fiumi e inondazioni in ampie zone del metapontino.



Delta del fiume Axios, Chalastra e Kalochori, Grecia.

CHALASTRA KALOCHORI GRECIA

Chalastra è una città di circa 7.300 abitanti situata ad una altezza di 11 metri sul livello del mare, 20 km a ovest di **Salonico**, nella pianura costiera percorsa dai fiumi **Axios, Aliakmones, Loudias e Gallikos**.

Questi fiumi formano un delta che costituisce un'area umida di importanza internazionale appartenente ai siti protetti dall'**UNESCO** con il *Parco Nazionale Axios - Loudias - Aliakmonas*. L'ambiente del delta è caratterizzato da una grande **biodiversità di fauna e flora**, inclusi rari uccelli migratori. Nella pianura, a pochi chilometri a ovest di Salonico, si trova il villaggio di **Kalochori** (circa 4.700 abitanti) con la vicina laguna, che appartiene all'Unità Regionale di Salonico. Il villaggio è situato vicino alla costa del Mar Mediterraneo, sulla riva orientale del delta del fiume Gallikos (Echedoros), nel **Golfo Termaico**. La laguna di Kalochori fa parte della *Rete Ecologica Europea delle Aree NATURA 2000*, un network di aree naturali protette nel territorio dell'Unione Europea.

Fenomeni associati all'aumento del livello del mare

La laguna di Kalochori e l'area di Chalastra sono costantemente soggette a inondazioni, a causa dell'aumento del livello del mare che viene accelerato localmente da una significativa subsidenza del suolo.

In particolare tra il 2014 e la metà del 2019, la subsidenza ha avuto una velocità di circa 12 mm all'anno, che si è sommata all'aumento del livello del mare di circa **2 mm** all'anno nel periodo **1993 - 2000**.

L'area è altamente vulnerabile in quanto i fiumi scorrono in una zona caratterizzata da debole pendenza con scarso deflusso delle acque, quindi soggetta a frequenti straripamenti in caso di forti piogge. Inoltre, il drenaggio dell'acqua è reso difficile dalla grande quantità di sedimenti che riempiono il letto dei fiumi e dalla presenza di resti di alberi.

Effetti dell'aumento del livello del mare

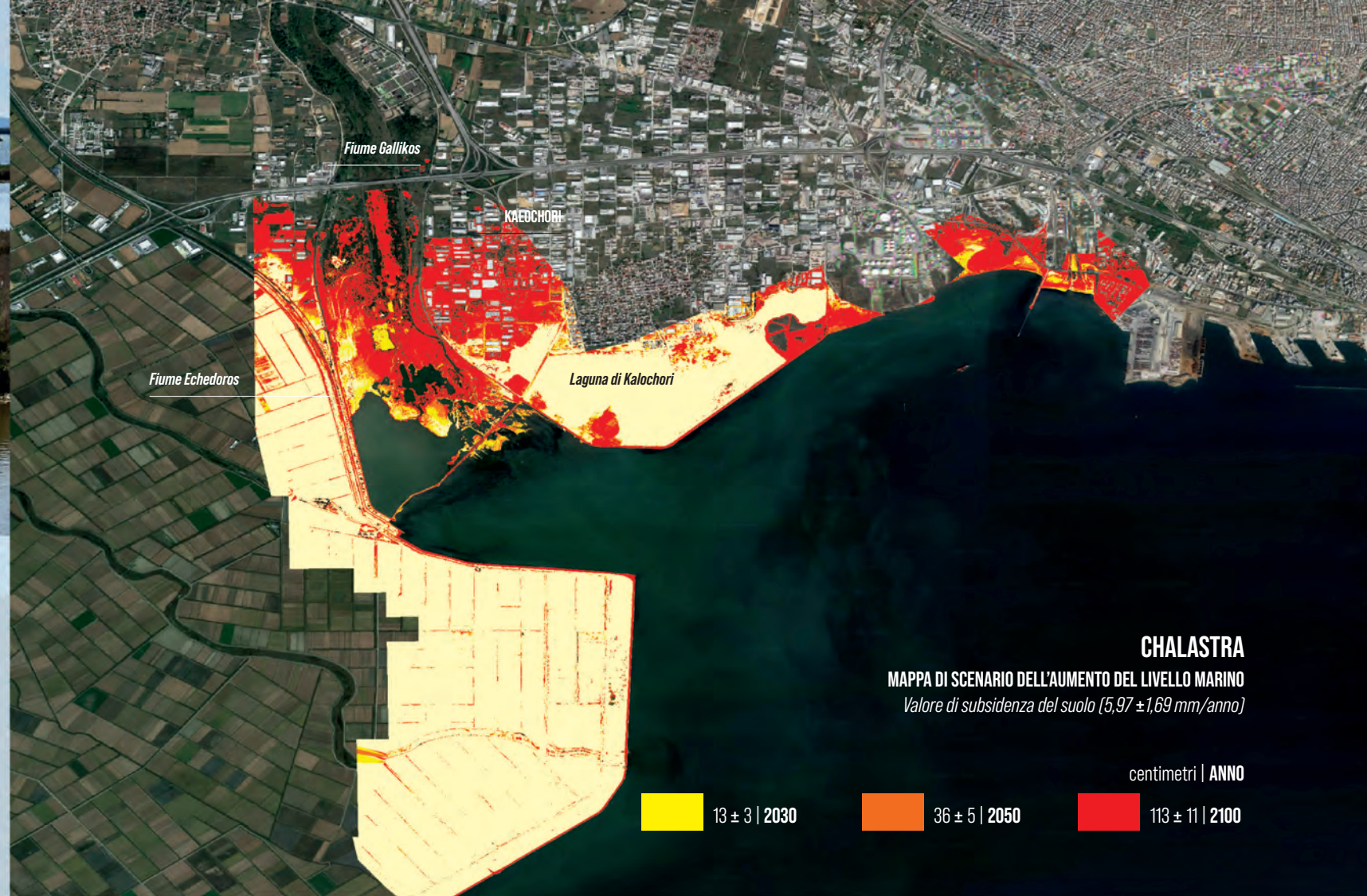
Il caso della laguna di Kalochori è unico in Grecia perché è una zona umida che si è formata gradualmente dalla metà degli anni Sessanta a seguito della subsidenza causata dalla compattazione naturale dei sedimenti e dall'eccessiva estrazione delle acque di falda dal sottosuolo. Prima della deviazione del fiume Axios, avvenuta nel 1934, l'area era spesso soggetta a impaludamento. Nel periodo 1955-1980 la *Water Supply Company* di Salonico e altre società private hanno realizzato un gran numero di pozzi per l'approvvigionamento idrico della città.



Di conseguenza, dal 1976 l'altezza della falda acquifera della zona è diminuita di **36 metri** e i sedimenti della pianura si sono rapidamente abbassati in varie parti della laguna, fino a una profondità di **3-4 metri al di sotto del livello del mare**, formando un nuovo bacino che nel tempo si è collegato al mare. La laguna è alimentata dall'acqua del mare che penetra attraverso i sedimenti costieri e dall'acqua piovana proveniente da Kalochoi. La subsidenza alla foce del fiume Gallikos è così rilevante che i pali

della linea telefonica si trovano oggi immersi nella laguna. Nel 1970 venne costruita una diga per prevenire le inondazioni. Tuttavia, a causa della subsidenza, questa necessita di importanti lavori di manutenzione e restauro che sono stati rinviati nel corso degli anni a causa degli alti costi. Ulteriori ritardi potrebbero causare conseguenze gravi per la zona nel caso di eventi meteorologici estremi.

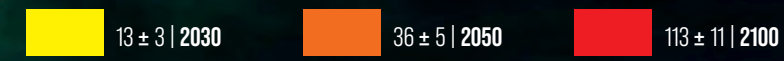
La costruzione dell'argine costiero realizzato nel 1976 per proteggere Kalochoi dal rischio di inondazioni, ha contribuito alla formazione della laguna. Questa occupa un'area di oltre 9 km quadrati. Gran parte del suo fondo si trova attualmente a circa un metro sotto il livello del mare.



CHALASTRA

MAPPA DI SCENARIO DELL'AUMENTO DEL LIVELLO MARINO
Valore di subsidenza del suolo (5,97 ± 1,69 mm/anno)

centimetri | ANNO



Scenario climatico RCP8.5 (secondo il Report AR5 dell'IPCC).
La mappa tiene conto del contributo della forte subsidenza che è stata calcolata in circa 6 millimetri all'anno dal progetto SAVEMEDCOASTS-2.

Delta del fiume Ebro, Tarragona, Spagna.



DELTA DEL FIUME EBRO TARRAGONA SPAGNA

Il **parco naturale del Delta dell'Ebro** si trova nella provincia di **Tarragona**, nella parte sud-occidentale della **Catalogna**. È attraversato dal fiume Ebro, che sfocia nel Mediterraneo nel **Golfo di Valencia**.

Per il suo alto valore ecologico, economico, culturale, scientifico e ricreativo, nel 1993 è stato incluso nella Convenzione di Ramsar, che elenca zone umide di rilevanza internazionale. Con i suoi 320 chilometri quadrati di estensione, è un punto di sosta per più di 300 specie di uccelli migratori, come i fenicotteri selvatici e la più grande colonia esistente al mondo di **gabbiani di Audouin**. La geologia dell'area è costituita da strati sovrapposti di sedimenti fluviali soffici. Il delta è continuamente modellato dai processi sedimentari, caratterizzati dall'equilibrio tra deposizione di sedimenti ed erosione. La grande quantità di sedimenti trasportati dal fiume Ebro ha provocato l'insabbiamento e il conseguente abbandono del porto di Amposta. Questo era ancora porto marittimo nel IV secolo mentre oggi si trova nell'entroterra, lontano dalla foce del fiume. La foce primaria del fiume Ebro comprende diverse piccole isole fluviali, come le **isole di**

Garxal (2,8 km²), **Sant Antoni** (1,7 km²) e **Buda** (12,31 km²).

Fenomeni associati all'aumento del livello del mare

A causa della bassa elevazione sul mare, il delta dell'Ebro è altamente esposto agli effetti dell'aumento del livello marino, delle mareggiate e dell'erosione costiera. Le dighe idroelettriche situate lungo il fiume (**Mequinenza, Ribarroja de Ebro e Flix**), hanno ridotto nel tempo la deposizione di sedimenti all'imbocco del fiume, provocando il successivo ritiro del delta. Allo stesso tempo, l'erosione marina sta provocando l'arretramento della spiaggia e la distruzione delle infrastrutture costiere, come il vecchio faro, attualmente sommerso. Come tutti i delta del mondo, anche quello dell'Ebro è in subsidenza per cause naturali (compattazione del suolo) e antropiche (prelievo di acqua dalla falda freatica). Questo fenomeno sta provocando un'accelerazione locale dell'aumento del livello del mare, favorendo le esondazioni dei fiumi dopo forti piogge. Inoltre, l'intrusione di acqua marina nelle falde acquifere sta contaminando le riserve di acqua dolce.



Delta del fiume Ebro, Spagna.

Effetti dell'aumento del livello del mare

La tempesta **Gloria** del 2020 (vedi box laterale) oltre ai danni arrecati ad aziende e proprietà locali, ha danneggiato i sistemi fognari e di drenaggio, causando il persistente allagamento di alcune zone che sono rimaste inaccessibili per giorni. Anche molte spiagge sono state gravemente colpite dalla tempesta. Ad esempio, l'istmo noto come **Barra del Trabucador**, vicino alla città di **Sant Carles de la Ràpita**, è rimasto sommerso per diversi giorni, così come molte strade.

Un'altra zona del delta a rischio inondazione è l'area protetta dell'**isola di Buda**, che si è formata attraverso processi sedimentari durati migliaia di anni. Attualmente è l'habitat naturale di oltre 300 specie di uccelli.

A gennaio 2020, il delta del fiume Ebro è stato colpito dalla forte tempesta "Gloria" che ha causato gravi danni all'economia locale. L'area è stata dichiarata disastrosa dal governo spagnolo. I forti venti hanno spinto il mare nell'entroterra causando la sommersione di circa 3.000 ettari di terreno e un terzo delle risaie del delta. Sebbene l'invasione di acqua marina all'interno delle risaie fosse un fenomeno già avvenuto in precedenza, non aveva mai raggiunto una tale estensione.



EBRO

MAPPA DI SCENARIO DELL'AUMENTO DEL LIVELLO MARINO
Valore di subsidenza del suolo [1,11 ± 1,87 mm/anno]

centimetri | ANNO



Mappa secondo lo Scenario climatico RCP8.5
(Report AR5 dell'IPCC).

La mappa tiene conto del contributo della subsidenza che nella zona considerata è pari a 1,1 millimetri all'anno, calcolata dai dati analizzati nel progetto SAVEMEDCOASTS-2.



Alessandria d'Egitto, Egitto.

DELTA DEL FIUME NILO ALESSANDRIA d'EGITTO EGITTO

La città di **Alessandria d'Egitto**, con oltre 5 milioni di abitanti, è la città costiera più grande del Mediterraneo. Si estende per circa 40 km lungo la costa ad occidente del **delta del Nilo**. Questo è il più grande delta fluviale del Mediterraneo e uno dei più grandi del mondo, con una superficie di circa 24.000 km².

La città sorge su una striscia di terra che separa il mare Mediterraneo dalla **palude Mareotide (Mariout)**. Oggi è una meta turistica molto frequentata e anche un importante centro industriale.

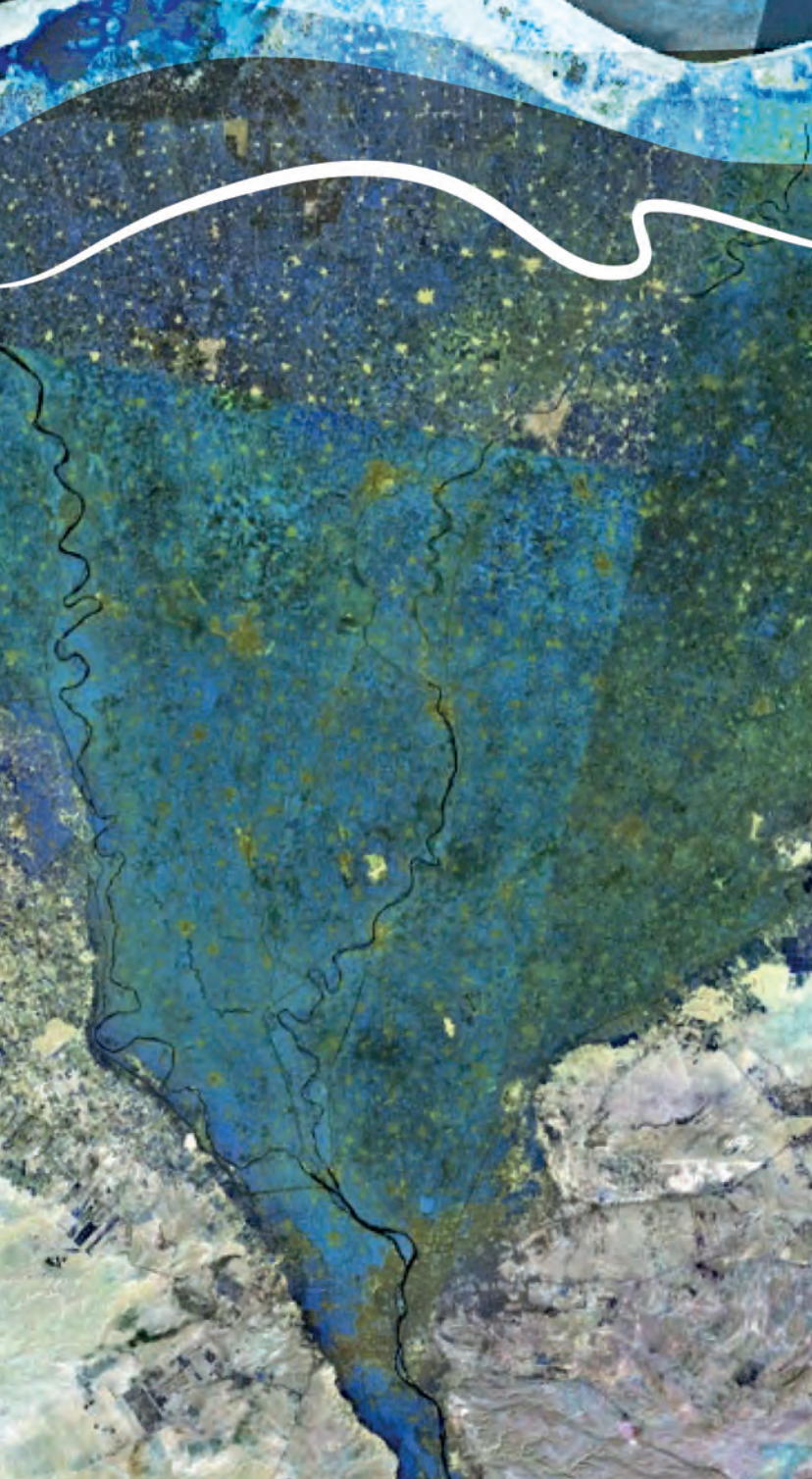
Fin dall'antichità è stata un importante centro portuale e commerciale. Ancora oggi si possono osservare importanti resti di edifici di epoca greco-romana ed egizia.

Le rovine dell'antica città cristiana di **Abu Mena**, a sud-est di Alessandria, sono presenti nell'elenco dei patrimoni dell'UNESCO dal 1979.

Fenomeni associati all'aumento del livello marino

Tutta l'area occupata dal delta del Nilo, inclusa la costa di Alessandria d'Egitto, è posta a quote poco al di sopra del livello del mare attuale e in alcune aree anche al di sotto di questo. L'area è interessata da subsidenza che raggiunge valori anche di **molti millimetri all'anno** ed è dovuta alla natura geologica del delta del Nilo, i cui sedimenti si compattano nel tempo.

La subsidenza del delta viene oggi misurata da terra e dallo spazio ma i suoi effetti nel tempo sono testimoniati dai resti di edifici, costruiti in terra nel periodo romano ed egiziano, che oggi sono sommersi nel mare prospiciente la città fino alla profondità di vari metri.



Effetti dell'aumento del livello del mare

L'aumento del livello marino e la subsidenza espongono la popolazione residente nel delta del Nilo ad un alto rischio costiero, in particolare nell'area di Alessandria d'Egitto, dove la densità di popolazione raggiunge quasi i 2000 abitanti per km².

A rischio sono anche i tanti beni culturali presenti, già in gran parte sommersi dal mare. Diviene quindi estremamente importante disporre di scenari attendibili di aumento del livello marino per i prossimi decenni, tali da supportare adeguate strategie d'intervento.

Immagine satellitare con falsi colori del delta del fiume Nilo.



La proiezione di aumento di livello marino per la costa di Alessandria d'Egitto per lo scenario climatico RCP8.5 (secondo il Report AR5 dell'IPCC) fornisce valori di aumento fino a circa 1,08 m nel 2100. Il calcolo tiene conto del contributo della subsidenza che nella zona considerata raggiunge circa 4,5 millimetri all'anno, calcolata dai dati analizzati nel progetto SAVEMEDCOASTS-2.

Le aree delimitate dalla linea rossa sono quelle individuate dal progetto SAVEMEDCOASTS-2. Rappresentano la zona costiera a potenziale rischio sommersione nei prossimi decenni, fino al 2100. L'area delimitata dal rettangolo rosso individua la zona portuale



DELTA DEL FIUME RODANO CAMARGUE FRANCIA

Con una superficie di oltre 930 km², la **foce del fiume Rodano** (Francia meridionale) è il più grande delta fluviale del Mediterraneo occidentale. Questa zona, conosciuta come **Camargue**, è un parco naturale caratterizzato da una vasta pianura affacciata sul Mar Mediterraneo, dove defluiscono i due bracci principali del fiume Rodano, denominati **Grand Rhône** (nel versante orientale) e **Petit Rhône** (nel versante occidentale).

Una vasta laguna salmastra è separata dal mare da banchi di sabbia circondati da paludi ricoperte di canneti e ampie aree coltivate. La città storica di **Arles**, famosa per gli edifici di epoca romana, è il principale insediamento di questa regione. Lungo la costa si trovano villaggi già oggi molto esposti a erosione marina e mareggiate.

Fenomeni associati all'aumento del livello del mare

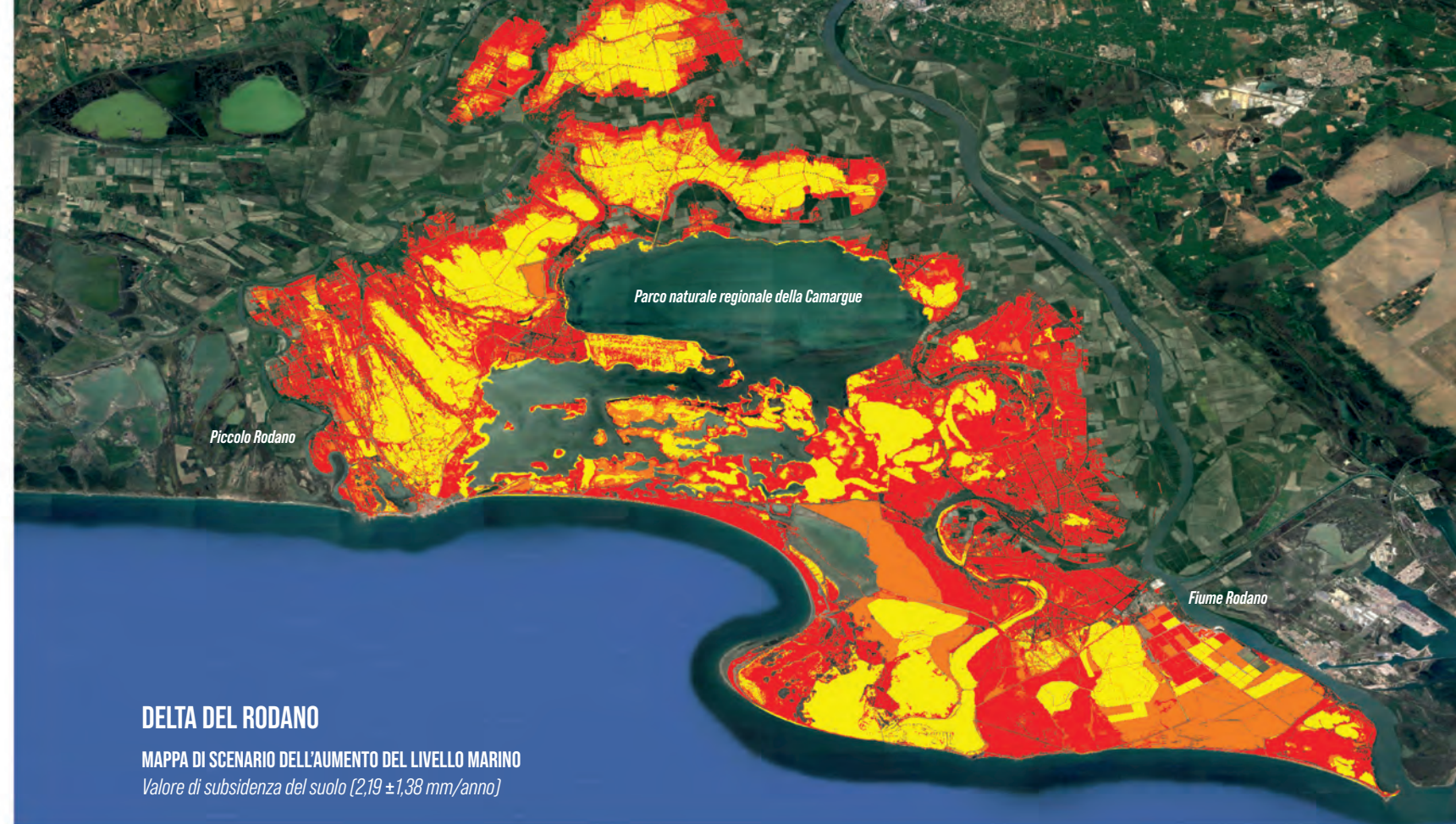
Il delta del fiume Rodano si è sviluppato negli ultimi 7000 anni, dopo la fine dell'ultimo massimo glaciale, circa 18.000 anni fa. Le caratteristiche geomorfologiche di quest'area sono condizionate dall'evoluzione del delta e dalla subsidenza. Questa zona, posta a quote molto basse rispetto al livello del mare, è spesso soggetta ad allagamenti perché debolmente digradante e pertanto interessata da straripamenti in caso di forti piogge. Inoltre, poiché la maggior parte di quest'area si trova a meno di 1 metro al di sopra dell'attuale livello medio del mare o addirittura al di sotto di questo, è molto esposta non solo all'aumento del livello marino ma anche ad eventi estremi (mareggiate e maremoti).

Delta del fiume Rodano, Francia.



Effetti dell'aumento del livello del mare

Negli ultimi decenni sono stati costruiti frangiflutti e barriere per proteggere la costa dall'erosione e dalle frequenti inondazioni e tempeste. Proprio a causa dell'erosione costiera e della subsidenza, queste strutture richiedono frequenti e costosi lavori di manutenzione, soprattutto dopo eventi meteorologici estremi. Per le sue caratteristiche, il delta del Rodano sarà fortemente esposto all'aumento del livello del mare già prima del 2100. Inoltre, la subsidenza ne sta amplificando gli effetti, causando erosione e arretramento accelerato della costa.



centimetri | ANNO



Mapa di aumento del livello marino nello scenario climatico RCP8.5 (secondo il Report AR5 dell'IPCC).

La mappa tiene conto del contributo della subsidenza che nella zona considerata è pari a circa 2,2 millimetri all'anno, calcolata dai dati analizzati nel progetto **SAVEMEDCOASTS-2**.



QUALE VENEZIA NEL 2100?

Venezia è una città di circa 260.000 abitanti, di cui oltre 60.000 vivono nel centro storico e nelle isole della laguna. **È visitata ogni anno da oltre 30 milioni di turisti.**

Fin dell'epoca romana la città si è sviluppata in un ambiente lagunare, sebbene molto diverso da come lo vediamo oggi.

Il centro storico si estende su circa 120 isole separate da 175 canali e collegate da oltre 400 ponti; la restante parte della città è costruita su terraferma.

Per le sue peculiarità ambientali e le sue straordinarie opere architettoniche e artistiche, Venezia è un bene culturale e naturale che deve essere preservato con

cura per le generazioni future. Dal 1987, la città e la sua laguna sono state riconosciute dall'UNESCO **Patrimonio dell'Umanità.**

La laguna di Venezia è periodicamente soggetta al fenomeno dell'acqua alta. Questa è causata dalle alte maree astronomiche, che inducono l'allagamento di gran parte delle isole e della costa della laguna con conseguenti disagi per gli abitanti. Costringono inoltre alla continua manutenzione dei beni culturali e delle infrastrutture locali.

Quale futuro attende Venezia nei prossimi anni rispetto alle proiezioni di aumento di livello marino globale e della subsidenza?



Acqua alta a Venezia.

Venezia e l'innalzamento del livello del mare

Quando l'**alta marea supera la soglia di 80 cm sul livello medio del mare**, è comunemente indicata come *acqua alta* e Piazza San Marco inizia ad essere sommersa. Negli ultimi anni gli eventi di acqua alta sono diventati sempre più frequenti e con ampiezze a volte eccezionali. In particolare, durante l'ultimo evento del **novembre 2019**, la marea misurata dal mareografo di *Punta della Salute*, vicino piazza San Marco, ha raggiunto i 187 centimetri

di altezza. L'aumento della frequenza degli eventi di acqua alta nel corso degli ultimi decenni è dovuto al progressivo aumento del livello medio del mare causato dal riscaldamento globale. Il fenomeno viene aumentato dalla **subsidenza** del suolo, naturale e antropica. Quest'ultima, in particolare, è stata causata tra il 1930 e il 1970 dalla estrazione di fluidi dal sottosuolo per usi industriali. Talvolta, in condizioni meteorologiche particolari, il fenomeno viene amplificato dalla presenza di depressioni atmosferiche localizzate nel mare Tirreno centrale

che favoriscono lo spirare dei venti di **scirocco**. Quando ciò si verifica durante i periodi di alta marea astronomica, le acque del mare Adriatico vengono ulteriormente sospinte verso Nord e quindi all'interno della laguna, causando il superamento dei livelli di guardia. Dagli inizi del 1900, considerando anche l'effetto della subsidenza, **il livello medio del mare a Venezia è aumentato di circa 35 cm**, valore più alto di quello medio del Mediterraneo nello stesso periodo, che è pari a circa 18 cm.



Dal IX secolo ad oggi, la Basilica di S. Marco è stata allagata sei volte, ma ben tre di questi eventi sono avvenuti negli ultimi venti anni.



Quando l'acqua alta arriva ad una altezza di 80 centimetri, inizia ad allagarsi Piazza San Marco.

194 centimetri è invece la massima altezza che ha raggiunto l'acqua alta a Venezia nel 1966.

Effetti dell'aumento del livello del mare

Attualmente, il piano di calpestio della città si trova in media a **+135 cm sul livello del mare**. Alcune zone sono situate ad altezze minori (piazza San Marco a circa +80 cm), altre sono maggiori (zona S. Elena + 200 cm). Quando l'acqua alta raggiunge la quota di 110 cm, circa il 12% della città storica è invaso dall'acqua. **Un'altezza di 140 cm provoca allagamenti pari al 59% delle aree abitate.**

I frequenti allagamenti causano condizioni di vita sempre meno sostenibili per i cittadini, arrecando gravi danni al patrimonio culturale, al turismo e all'economia.

La velocità di aumento del livello marino misurata dai mareografi e quella dei movimenti verticali della superficie terrestre, misurata dai dati geodetici, sono state integrate con le proiezioni dell'andamento del livello marino dell'IPCC. Sono stati ipotizzati due possibili scenari per il futuro di Venezia: uno più virtuoso

29 ottobre 2018_12 novembre 2019.

Acqua alta nel centro storico.

(RCP 2.6) e uno più critico (RCP 8.5), secondo le proiezioni del Report AR5 dell'IPCC, basati su due differenti livelli di aumento di gas serra in atmosfera. Nello scenario climatico più favorevole indicato dall'IPCC, in base ai dati e ai modelli utilizzati nel progetto SAVEMEDCOASTS-2, **entro il 2100 l'aumento del livello medio del mare a Venezia potrebbe raggiungere il valore di +45 cm (RCP2.6).**

Nello scenario più pessimistico invece (RCP8.5), il livello medio del mare a Venezia potrà salire fino a +84 cm rispetto a quello del 2005.

Questi valori differiscono dai valori medi globali perché tengono conto della subsidenza e delle caratteristiche del mare Mediterraneo.

Per avere un'idea di come sarà il futuro, basta osservare le aree allagate temporaneamente durante gli episodi estremi di acqua alta e immaginare che questa potrà essere una situazione permanente.

In più, gli eventi futuri di acqua alta potranno arrivare ad allagare zone fino ad ora mai interessate dal fenomeno.

VENEZIA

MAPPA DI SCENARIO DELL'AUMENTO DEL LIVELLO MARINO

Valore di subsidenza del suolo ($1,52 \pm 0,58$ mm/anno)

centimetri | ANNO

6 ± 3 | 2030

21 ± 4 | 2050

72 ± 12 | 2100



Scenario di aumento di livello marino calcolato per l'isola di Venezia, nello scenario climatico RCP8.5 (secondo il Report AR5 dell'IPCC).

La mappa tiene conto del contributo della subsidenza che per questa zona è in media circa 1,5 millimetri all'anno, calcolata dai dati analizzati nel progetto SAVEMEDCOASTS-2.

Le aree colorate mostrano l'estensione delle aree costiere a potenziale rischio sommersione negli anni 2030 (in giallo), 2050 (in arancione) e 2100 (in rosso).

La mappa mostra solo una parte della Laguna Veneta, la quale è tutta interessata dagli effetti di subsidenza e aumento del livello marino. Nella Laguna Veneta il continuo aumento del livello del mare viene oggi contrastato con sofisticati e costosi sistemi di protezione, come il MOSE.



CAPITOLO 3

AFFRONTARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE



Delta del fiume Nilo, Egitto.

AFFRONTARE L'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

«Non esiste alcun vaccino contro la crisi climatica ma possiamo ancora combatterla e prepararci ai suoi effetti inevitabili».

Questo è ciò che ha detto Frans Timmermans, vicepresidente della Commissione Europea e Commissario europeo per il clima e il *Green Deal*. Consapevole degli effetti della crisi climatica a cui si sta andando incontro, la UE ha infatti messo al primo posto nelle sue scelte politiche il contrasto ai cambiamenti climatici attraverso un programma da realizzare nei prossimi anni. Comprendere il problema, definire soluzioni e realizzarle, sono gli obiettivi da raggiungere per contenere entro il valore di 1,5 °C il riscaldamento globale, causa dell'aumento del livello del mare. Recentemente, i Paesi partecipanti alla **COP26** (vedi box nelle pagine successive) hanno presentato **piani aggiornati di riduzione delle proprie emissioni di gas serra**. Ciò perché le azioni previste nel corso degli Accordi di Parigi del 2015 si sono rivelate insufficienti per l'obiettivo da raggiungere e ci si è resi conto che non si può attendere

ancora: i prossimi dieci anni saranno decisivi per contenere il riscaldamento globale.

Gli obiettivi prefissati dalla COP26 sono ambiziosi ma raggiungibili se si riusciranno ad attuare le seguenti azioni fondamentali:

- 1. Azzerare le emissioni di gas serra** entro il 2050 per contenere l'aumento delle temperature globali entro 1,5°C.
- 2. Salvaguardare le comunità e gli habitat naturali** attraverso strategie di adattamento
- 3. Destinare fondi pubblici e privati** per finanziare questi obiettivi generali.
- 4. Governi, imprese e cittadini** devono collaborare tutti insieme al raggiungimento degli obiettivi.

I partecipanti hanno concordato sulla necessità di sostenere i Paesi in via di sviluppo nel contrasto ai cambiamenti climatici, riservando loro maggiori finanziamenti se questi si impegneranno fattivamente per la riduzione delle emissioni di gas serra.



Il Green Deal europeo è un insieme di iniziative proposte nel 2021 dalla Commissione Europea con l'obiettivo di fare dell'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050. L'obiettivo si può raggiungere riducendo le emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

Le Conferenze delle Parti (COP) sul cambiamento climatico vengono organizzate annualmente dall'ONU. L'ultima, la COP26, è stata la 26ª edizione e si è tenuta nel novembre 2021 a Glasgow, nel Regno Unito. Nel 2020 l'aumento della temperatura globale media è stato di +1,2 °C. Tuttavia, vaste regioni del nord Europa e polari hanno subito aumenti molto più consistenti. Il segretario delle Nazioni Unite Antonio Guterres ha sollecitato i governi ad adottare immediatamente i piani climatici specifici per fronteggiare l'emergenza. In particolare, i finanziamenti che i Paesi più sviluppati investiranno per la ripresa dalla pandemia del Covid-19, dovranno essere allineati con gli obiettivi di sviluppo sostenibile indicati dalla COP26.

Ciò significa abbandonare il carbone come fonte di energia, ridurre la deforestazione, adottare fonti di energia rinnovabili, realizzare infrastrutture e agricolture più resilienti, costruire sistemi di allerta e difesa, mobilitando globalmente investimenti annuali pari ad almeno 100 miliardi di dollari.

La transizione ecologica: una questione di energia

I nostri stili di vita e la nostra economia richiedono grandi consumi di risorse energetiche che implicano l'immissione in atmosfera di grandi quantità di CO₂ e di altri gas serra che causano l'aumento delle temperature e del livello marino. Per ridurre le emissioni è dunque necessario un importante cambiamento tecnologico nella produzione di energia, ma anche del cibo e nei sistemi di trasporto. È indispensabile passare dalle fonti energetiche fossili a quelle rinnovabili, più rispettose dell'ambiente, attuando la cosiddetta **transizione ecologica**. Si tratta di una soluzione che però richiede tempi lunghi. Nell'immediato futuro diviene urgente individuare strategie efficaci per rendere le comunità più capaci di adattarsi ai cambiamenti in corso, per affrontare gli effetti del **riscaldamento globale** e del conseguente **aumento del livello marino**, rendendo meno vulnerabili le città e gli ambienti costieri. Per affrontare i rischi derivanti dall'aumento del livello del mare, compresi gli effetti a cascata, è importante adottare un approccio multidisciplinare che tenga conto dei molteplici fattori e rischi esistenti. **Mitigazione e adattamento** sono quindi azioni complementari per fare fronte al riscaldamento globale e all'aumento del livello del mare.

Mitigazione dell'aumento del livello del mare

Poiché le variazioni della temperatura globale e del livello del mare sono tra loro fenomeni strettamente correlati, diviene possibile mitigare entrambi i fenomeni riducendo la quantità di gas serra presenti in atmosfera. Questi possono essere ridotti attraverso due azioni: da una parte **sottraendo** quelli presenti in atmosfera e dall'altra **tagliando** le emissioni di CO₂ e di altri gas serra.

Come far diminuire la CO₂ già presente in atmosfera

Piantare nuovi alberi, estendere le aree destinate a verde con boschi e foreste, sono soluzioni facilmente attuabili. Più complesso è invece il processo di **sequestrazione** della CO₂, cioè della sua cattura e stoccaggio in cavità sotterranee.

Come ridurre le emissioni di gas serra

Un'azione importante è investire nella **ricerca scientifica e tecnologica** per approfondire la conoscenza del fenomeno, delle cause, degli effetti e delle possibili soluzioni. Sarà fondamentale perseguire

politiche energetiche tese all'eliminazione dei combustibili fossili e all'adozione di fonti rinnovabili ma anche azioni concrete, come, ad esempio:

- preferire e incentivare l'uso di mezzi di trasporto pubblici ed ecologici;
- migliorare l'efficienza energetica degli edifici;
- ridurre i consumi e produrre meno rifiuti, riciclarli con la raccolta differenziata, riutilizzare i materiali per non sprecare le risorse naturali;
- preferire prodotti alimentari di stagione e a chilometro zero;
- investire in nuove tecnologie più rispettose dell'ambiente.

Le azioni proposte non ridurranno solo le conseguenze del cambiamento climatico, ma miglioreranno la qualità della vita umana e degli ecosistemi.

ACCORDI DI PARIGI

Durante la ventunesima Conferenza Internazionale sul clima (COP21) organizzata dalle Nazioni Unite nel 2015 a Parigi, molti governi dei Paesi partecipanti hanno preso impegni per contenere l'aumento della temperatura globale entro 2°C e possibilmente entro 1,5 °C. Gli accordi prevedevano che ogni Paese avrebbe investito fondi su questo obiettivo, individuando possibili strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, pianificando azioni per ridurre le emissioni di gas serra.

FONTI ENERGETICHE FOSSILI

Si basano sul consumo di carbone, gas naturali, petrolio e suoi derivati.

FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI

Si basano sullo sfruttamento di risorse naturali come la luce solare, il vento, l'acqua, il mare e il calore della Terra di origine interna.



ADATTAMENTO ALL'AUMENTO DEL LIVELLO DEL MARE: ALCUNE STRATEGIE

1 La **protezione** riduce il rischio e gli effetti dell'aumento del livello del mare sulle coste, attraverso la realizzazione di barriere capaci di bloccare l'ingresso del mare nell'entroterra.

2 L'**adeguamento** comprende diversi tipi di soluzioni atte a ridurre la vulnerabilità degli insediamenti e consentire l'abitabilità della fascia costiera nonostante l'aumento del pericolo.

3 Il **reinsediamento** verso zone più lontane dalla costa riduce l'esposizione al pericolo di persone, infrastrutture e beni.

4 Nel pianificare nuovi insediamenti nella fascia costiera, **non costruire** abitazioni e infrastrutture nelle aree più esposte al pericolo di avanzamento del mare verso la costa.



Case sopraelevate in Texas, U.S.A.



ADATTAMENTO: UNA NECESSITÀ

Ridurre le emissioni di gas serra e contenere le temperature globali non è sufficiente a fermare l'aumento del livello del mare. Il processo di recupero richiede tempi molto lunghi e l'**inerzia termica degli oceani** fa sì che, anche se riuscissimo a eliminare completamente le emissioni di gas serra e contenere le temperature globali nei limiti di 1,5°C, il mare continuerà a salire per secoli.

Nel frattempo, diviene necessario adattarsi al cambiamento, preparandosi ad affrontarne le conseguenze.

Dovremo quindi rendere meno vulnerabili le città e gli ambienti costieri, aumentando la resilienza dei territori, cioè la loro capacità di affrontare e superare eventi negativi.

Tra le possibili soluzioni, le più diffuse misure di protezione delle coste sono dighe, paratie, sopraelevazioni e terrapieni, fino a piccoli muri, palizzate e saracinesche mobili.

Queste opere sono state realizzate negli ultimi anni in molte città costiere e delta fluviali in varie parti del mondo. Tuttavia, non sempre si tratta di scelte sostenibili.

Non solo per gli alti costi di realizzazione e mantenimento, ma anche per l'impatto ambientale che possono produrre. Per questo, si stanno sempre più sperimentando nuove strategie di difesa costiera rispettose dell'ambiente naturale (*Nature Based Solutions*).

Un approccio multidisciplinare e multirischio

Le azioni di adattamento devono tenere conto delle diverse variabili, secondo un approccio **multidisciplinare** e **multirischio**. La progettazione deve considerare i valori dell'aumento del livello marino atteso nei prossimi anni e i conseguenti scenari di allagamento, utilizzando mappe ad alta risoluzione della fascia costiera che mostrino le aree esposte.

Grandi infrastrutture, come porti, zone industriali, strade, ferrovie e aeroporti, se situati vicino al mare, dovranno avere protezioni adeguate alle nuove condizioni

Case galleggianti ad **Amsterdam**, Paesi Bassi.



Un approccio multirischio costiero è quello che considera simultaneamente, oltre all'aumento del livello del mare, le tempeste, gli tsunami, l'erosione accelerata e gli effetti a cascata, come ad esempio il rischio sanitario. Quest'ultimo ad esempio indotto da possibili epidemie conseguenti alla trasformazione delle coste in lagune.

La vulnerabilità di un elemento (persone, edifici, infrastrutture) è la sua propensione a subire danneggiamenti in conseguenza di un evento pericoloso, in questo caso l'aumento del livello marino.

Panorama di **Singapore**.



e, ove necessario, essere trasferiti in zone più distanti dalla costa. Per raggiungere risultati efficaci, progetti e azioni dovranno coinvolgere non solo scienziati, tecnici, amministrazioni locali e nazionali ma anche la popolazione residente. È necessario quindi agire in modo coordinato sapendo che si dovranno affrontare situazioni e condizioni differenti nel tempo.

Poiché il fenomeno dell'aumento del livello marino è globale, il processo decisionale richiede un **superamento delle divisioni geografiche e amministrative**, agendo secondo obiettivi che vadano oltre la visione locale. I piani di adattamento devono prevedere interventi atti a ridurre anche effetti secondari, ma non meno gravi, come l'**inquinamento delle falde**

acquifere da parte delle acque marine. In generale, l'approccio deve tener conto della **geografia**, delle **caratteristiche fisiche e socioeconomiche** di ciascuna area dove risiedono le comunità locali e le parti interessate.



In particolare, i piani di adattamento dovranno essere frutto di scelte condivise secondo soluzioni eco-sostenibili.

Tra le possibili soluzioni di adattamento all'aumento del livello del mare, vi sono il **ripristino** e il **rafforzamento degli ecosistemi costieri** con sistemi di canali per il controllo delle inondazioni.

Esempi dal mondo

I **Paesi Bassi** hanno una lunga esperienza nel fronteggiare l'avanzamento del mare. Negli ultimi 50 anni hanno realizzato il **Piano Delta**, un imponente sistema di dighe, chiuse e barriere, capaci di contrastare l'ingresso del mare in terra e mantenere asciutte ampie zone di territorio che oggi si trovano al di sotto del livello del mare.

Mangrovie a **Cuba**.



Fiume Mississippi, Louisiana, U.S.A.

La città di **Rotterdam** è diventata un modello da seguire con le sue barriere, opere di drenaggio e soluzioni architettoniche innovative, come le piazze dell'acqua (*water squares*) con stagni temporanei in cui far confluire l'acqua.

Il sistema olandese è per ora efficiente ma potrebbe non esserlo più in futuro quando il livello del mare

sarà più elevato di quello attuale. Negli **Stati Uniti**, a **Miami**, il piano di adattamento prevede di alzare il livello di strade e case con riempimenti artificiali o con sistemi di palafitte, spostare le nuove costruzioni nell'entroterra, creare una rete di canali per far defluire l'acqua durante le alte maree, ristrutturare la rete fognaria.

Tutte queste costose opere però potrebbero essere insufficienti. Sempre negli Stati Uniti, in **Louisiana**, un imponente progetto prevede di ripristinare le preesistenti paludi costiere, attraverso una parziale deviazione del fiume **Mississippi**.

Miami, Florida, U.S.A.



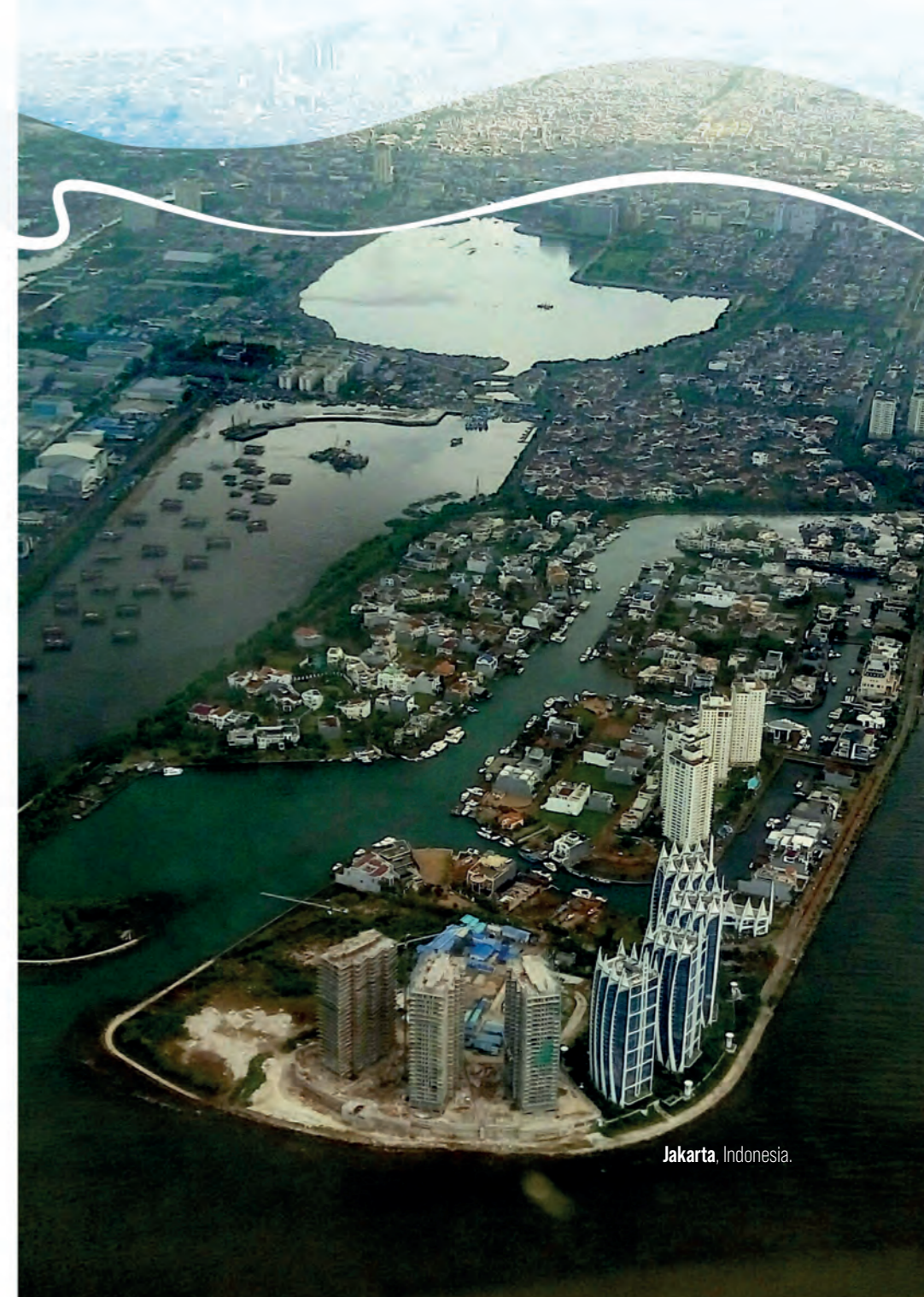
I sedimenti trasportati dal fiume verrebbero riportati verso un'area umida attualmente molto degradata. In questo modo si potrebbe tornare alle condizioni naturali esistenti prima che il paesaggio venisse alterato dall'uomo. Questo piano si integra con quello per il ripristino della costa dopo le distruzioni causate dagli uragani Rita e Katrina, entrambi avvenuti nel 2005.

La **Repubblica di Singapore** sta investendo oltre 250 miliardi di euro per realizzare sistemi di adattamento, tra cui l'adeguamento della rete fognaria. L'equivalente di oltre 6 miliardi di euro saranno invece impiegati nella ricerca scientifica per lo studio di soluzioni per il cambiamento climatico e l'aumento del livello marino.

A **Cuba** si vogliono recuperare gli ecosistemi costieri favorendo lo sviluppo di foreste palustri e boschi di mangrovie, per assicurare una maggiore protezione da mareggiate ed eventi estremi. Inoltre, con tecniche ecosostenibili, saranno ripristinati i sistemi di drenaggio negli ambienti costieri per ridurre l'intrusione salina.

Nel **Mediterraneo**, si studia come le praterie di posidonia possano difendere le coste dall'erosione accelerata.

Tuttavia non è sempre possibile trovare una soluzione. L'**Indonesia**, ad esempio, si appresta a spostare la megalopoli di **Jakarta** in una nuova zona. Questa città, con oltre 10 milioni di abitanti e distribuita su circa cento isole, rischia di essere inondata presto dal mare. La forte subsidenza del suolo per cause naturali e antropiche si somma all'aumento del livello del mare che sta avanzando molto **velocemente**.



Jakarta, Indonesia.

EUROPEAN
CIVIL PROTECTION

CAPITOLO 4

IL PROGETTO SAVEMEDCOASTS-2



IL PROGETTO SAVEMEDCOASTS-2

SAVEMEDCOASTS-2 è l'acronimo di **Sea Level Rise Scenarios Along the Mediterranean Coasts-2**.

Il progetto studia gli effetti combinati dell'**aumento del livello del mare** e della **subsidenza** nelle zone costiere del Mediterraneo.

SAVEMEDCOASTS-2 elabora scenari di rischio di inondazione costiera fino all'anno 2100, tenendo in conto anche gli effetti di eventi estremi come le mareggiate e gli tsunami, in condizioni di livello marino più alto di oggi. Una parte del progetto è dedicata al supporto e alla comunicazione verso i principali attori decisionali, i cittadini e le scuole.

Le aree in studio

SAVEMEDCOASTS-2 nasce dopo il progetto SAVEMEDCOASTS, che ha censito le aree del Mediterraneo maggiormente esposte all'aumento del livello del mare, mettendo a punto una metodologia di studio per la valutazione degli scenari di inondazione costiera.

SAVEMEDCOASTS-2



SAVEMEDCOASTS-2 concentra le attività verso i delta fluviali, le lagune, le pianure costiere e le aree di bonifica del Mediterraneo. In particolare, i casi di studio sono il delta del fiume Ebro in Spagna, la laguna di Venezia e l'area di bonifica del fiume Basento, presso Metaponto in Italia, la pianura di Chalastra presso Salonico in Grecia, il delta del fiume Rodano in Francia, la città di Alessandria d'Egitto, nel delta del Nilo. Nelle prime quattro aree si realizzano anche azioni di comunicazione del rischio, rivolte alle scuole e ai settori maggiormente coinvolti dal fenomeno.

Perché proprio i delta fluviali, le lagune e le aree di bonifica
 Questi luoghi sono fortemente esposti sia al fenomeno dell'aumento del livello del mare sia al processo geologico della subsidenza, cioè l'abbassamento verticale del suolo. La subsidenza accelera la risalita del mare e aumenta la vulnerabilità dei luoghi in cui si verifica. In questi ecosistemi è inoltre più alta la probabilità di inondazioni, soprattutto durante le alte maree, gli tsunami e gli eventi meteorologici estremi. Tutti i fenomeni descritti minacciano seriamente le condizioni di vita delle popolazioni locali e degli stessi *habitat*.

Che cosa fanno i ricercatori che lavorano al progetto
 Nel progetto si realizzano mappe digitali ad alta risoluzione con gli scenari di inondazione costiera attesi per il 2100. Le mappe sono basate sulle velocità di subsidenza misurate in ciascuna area e sui valori di aumento del livello del mare stimati dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Si svolgono anche attività di divulgazione e preparazione rivolte a scuole e a categorie selezionate, per aumentare la consapevolezza del rischio nelle comunità costiere.

Oltre alla parte scientifica e tecnica, una parte del lavoro del coordinatore si concentra sulla gestione organizzativa, amministrativa e finanziaria del progetto. Lo scopo è quello di garantire che il progetto raggiunga tutti i suoi obiettivi nei tempi previsti con un elevato livello di qualità e nel rispetto del budget assegnato. Inoltre, gestisce e facilita un flusso continuo di informazioni e scambi tra il progetto e la Commissione Europea, nonché tra il consorzio e con altre attività e progetti di ricerca con tematiche correlate.

I destinatari del progetto
 Sono le popolazioni e i soggetti pubblici e privati interessati perché residenti o operanti nelle aree a rischio, individuate dal progetto. Gli attori coinvolti sono incoraggiati a considerare i potenziali impatti dell'aumento del livello del mare per una gestione sostenibile delle coste. Essi sono invitati a cooperare con la comunità scientifica e individuare misure di mitigazione e adattamento. Ai giovani sono dedicati programmi specifici di educazione al rischio.

Da chi è finanziato
 Il progetto SAVEMEDCOASTS-2 è finanziato dalla Direzione generale per la protezione civile e le operazioni di aiuto umanitario europee (DG ECHO, Grant Agreement 874398). In accordo con i principi di solidarietà definiti nel Trattato di Lisbona (articoli 196 e 214), l'UE attraverso la DG ECHO fornisce assistenza, soccorso e protezione alle vittime di calamità naturali o provocate dall'uomo e incoraggia la cooperazione tra gli Stati membri.

Il progetto è gestito da un consorzio di otto istituti ed enti ed è coordinato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV | www.ingv.it).

PARTNERS

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA
INGV | *Coordinatore del progetto*
 Italia

CENTRO DI GEOMORFOLOGIA INTEGRATA PER L'AREA DEL MEDITERRANEO
CGIAM
 Italia

FONDAZIONE CENTRO EURO- MEDITERRANEO SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI
CMCC
 Italia

ISOTECH LTD
ISOTECH
 Cipro

ARISTOTELIO PANEPISTIMIO THESSALONIKIS
AUTH
 Grecia

CENTRE TECNOLOGIC DE TELECOMUNICACIONS DE CATALUNYA
CTTC
 Spagna

COMUNE DI VENEZIA
COV
 Italia

FONDAZIONE AMBIENTE RICERCA BASILICATA
FARBAS
 Italia





FONTI DELLE IMMAGINI

in copertina
*Molte coste basse e sabbiose sono in arretramento
a causa dell'aumento del livello marino*

Marco ANZIDEI | INGV



Ghiacciaio del Rodano, *Cantone Vallese, Svizzera*, da
"Ultimate Landscapes" di Claudio **ORLANDI**
www.claudiorlandi.it

*«I cambiamenti climatici mi hanno spinto ad approfondire
l'argomento sulla preservazione dei ghiacciai perché nel 2035
non esisteranno più sull'intero arco alpino».*



4



14



26



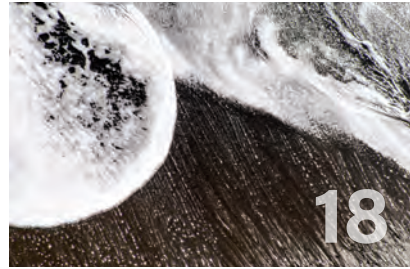
29



44



6



18



27



35



46



8



22

a pagina
4 | 6 | 8 | 10 | *Le coste dell'Asia sono tra le più esposte all'aumento del livello marino. Azioni di adattamento spontaneo vengono messe in atto già negli ultimi decenni.*
Marco ANZIDEI | INGV

24 | *Isola Mauritius. I coralli sbiancano a causa dell'aumento della temperatura dell'Oceano.*
Marco ANZIDEI | INGV

18 | 22 | *Panorami costieri.* Marco ANZIDEI | INGV

24 | *Un tipico effetto di erosione costiera accelerata.*
Alex DECICCIO | CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons.

26 | *Le coste basse sono le più esposte all'aumento del livello del mare, trasformandosi in lagune.*
Luca TREVISAN | distribuita via imageo.egu.eu.

27 | *Gli eventi meteomarinari estremi sono aumentati di intensità negli ultimi decenni, mettendo in pericolo milioni di persone che vivono lungo le coste di tutto il mondo, in particolare nei delta fluviali.*
Kompas/Hendra A. Setyawan/WMO.



35



49

a pagina
29 | *Le coste rocciose calcaree, come quelle dell'isola di Tavolara, in Sardegna, mostrano spesso solchi di battente causati dall'azione erosiva meccanica e chimica del mare.*
Marco ANZIDEI | INGV

35 | *Una stazione geodetica GNSS per il monitoraggio delle deformazioni del suolo all'isola di Panarea (Isole Eolie).*
Marco ANZIDEI | INGV

35 | *Resti archeologici sommersi, come quelli della città greca di Kaulonia (Calabria), mostrano gli effetti della progressiva sommersione delle coste nelle ultime migliaia di anni.*
Marco ANZIDEI | INGV

36 | *Il delta del Nilo è la zona del Mediterraneo tra le più esposte all'aumento del livello del mare.*
<https://pixabay.com/it/photos/nilo-aswan-elefantino-deserto-495098/>

44 | *Le praterie di Posidonia Oceanica proteggono le coste dall'erosione e sono l'habitat di numerosi organismi animali e vegetali.*
Marco ANZIDEI | INGV

46 | *Moschea a Zagazig, nel delta del fiume Nilo.*
Pubblico dominio wikipedia
https://it.wikipedia.org/wiki/File:Egypt_Zagazig_Aug-2007.jpg

49 | *Molte città del Mediterraneo, come Marsiglia, sono minacciate dall'aumento del livello marino.*

52 | *Le coste presso le foci dei fiumi, come il Bradano, sono sistemi dinamici in continua trasformazione.*
Marco ANZIDEI | INGV



10



24



36



52



54



62



70



72



77



86



56



64

a pagina

54 | *Le coste basse del mare Mediterraneo sono esposte all'aumento del livello del mare. Nei prossimi decenni, molte di queste potrebbero venire sommerse.*

Marco ANZIDEI | INGV

56 | *L'aumento del livello del mare provoca perdita di biodiversità, con conseguenze sulla pesca e sull'economia delle comunità costiere.*

Marco ANZIDEI | INGV

58 | *Il delicato ambiente del delta del fiume Axios, in Grecia.*

Marco ANZIDEI | INGV

60 | **62** | **68** | **70** | *Le aree umide dei delta fluviali sono habitat naturali per gli uccelli migratori.*

60, 62, 68 Marco ANZIDEI | INGV

70 Ilona BELLOTTO <https://unsplash.com/photos/Witdb2cBIC4>

64 | *Alessandria d'Egitto (<https://www.viaggiomag.it/>)*

66 | *Parte dei resti archeologici dell'antica città di Alessandria d'Egitto sono sommersi a causa della subsidenza e dell'aumento del livello del mare.*

Marco ANZIDEI | INGV



74



80



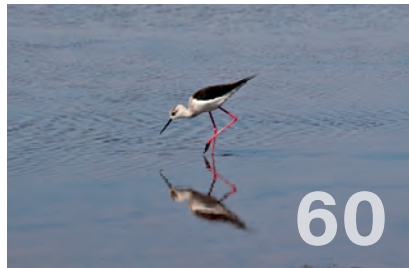
88



58



66



60



68



75



82



76



85

a pagina

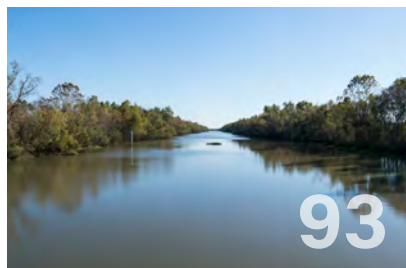
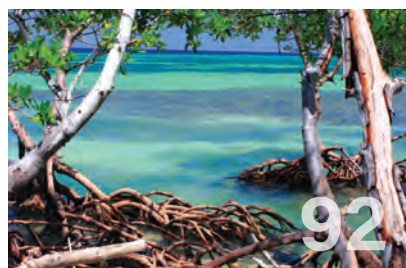
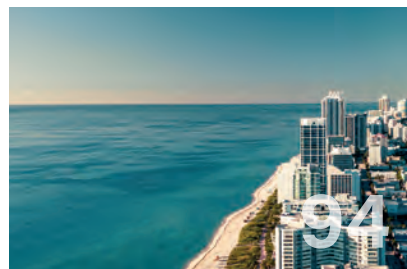
72 | **74** | **75** | **76** | **77** | *Venezia è la città d'arte più minacciata del mondo dall'aumento del livello marino e dalle sempre più frequenti acque alte.*

80 | **82** | **86** | *Interventi per la protezione della erosione costiera.*

85 | *Impianti industriali sulle rive del Mississippi, in Louisiana (USA).*

88 | *Case rialzate per resistere agli eventi meteorologici estremi, Texas, USA.*

Marco ANZIDEI | INGV
Claudia FERRARI | COMUNE DI VENEZIA
Greg HENSHALL | FEMA www.fema.gov



a pagina

90 | *Convivere con l'aumento del livello del mare: case galleggianti in Olanda.*
<https://www.spaceandmatter.nl/work/schoonschip>

91 | *Singapore.*
<https://unsplash.com/photos/Ncmd8uLe8H0>
Kelvin ZYTENG

92 | *Le mangrovie, con le loro radici, rallentano l'erosione della costa.*
<https://www.flickr.com/photos/lorenzoridi/7765115736/>
Lorenzo RIDI

85 | **93** | *Il delta del Mississippi (USA), perde ogni ora una superficie pari ad un campo di calcio a causa della subsidenza naturale e indotta dall'uomo e dell'aumento del livello marino.*

94 | *Miami (USA) è fortemente esposta all'aumento del livello del mare.*
<https://unsplash.com/photos/3CQQWwPn70>
Shawn HENLEY

95 | *A causa della subsidenza e dell'aumento del livello marino, la città di Jakarta si sta spostando verso le aree interne.*
<https://pxhere.com/it/photo/1422229>

96 | *La Protezione Civile Europea si sta sempre più interessando agli effetti dei cambiamenti climatici sulle popolazioni.*

98 | *L'iconica statua di Nettuno, dio del mare dei Romani, emerge dalle onde (Ostia, Roma).*

VIDEO DIVULGATIVI REALIZZATI NEI PROGETTI SAVEMEDCOASTS

SAVEMEDCOASTS KICK OFF
<https://www.youtube.com/watch?v=Bw0Mn70sUx8>

THE SAVEMEDCOASTS PROJECT
<https://www.youtube.com/watch?v=ypWpMNOkGkE>

SAVEMEDCOASTS SOCIOECONOMIC ASSESSMENT OF SEA LEVEL RISE
<https://www.youtube.com/watch?v=its3pkcp79U&t=13s>

THE SAVEMEDCOASTS WEBGIS
<https://www.youtube.com/watch?v=B506xvka8RY>

SAVEMEDCOASTS AT PRESS CONFERENCE EGU2018 VIENNA
<https://www.youtube.com/watch?v=BP0G9hXoPcl>

SAVEMEDCOASTS AND THE STAKEHOLDER ANALYSIS
<https://www.youtube.com/watch?v=JMBD5u-00ok>

SAVEMEDCOASTS FOR STORM SURGES
<https://www.youtube.com/watch?v=2z16taLWK6s>

DRONES FOR SAVEMEDCOASTS
<https://www.youtube.com/watch?v=uCMbxHP9Tl8>

SAVEMEDCOASTS FOR CIVIL PROTECTION FORUM 2018
<https://www.youtube.com/watch?v=mo042y6VD4c>

SAVEMEDCOASTS A LIPARI CON MARCO ANZIDEI
<https://www.youtube.com/watch?v=9JIDB1Uuv3o>

SAVEMEDCOASTS-2 - SEA LEVEL RISE SCENARIOS ALONG THE MEDITERRANEAN COASTS
https://www.youtube.com/watch?v=RJ0TICfnKY&list=PLAtS-fEINrqlrogngxG0Gzj_QSDRfeVY3&index=1&t=7s

OUR MISSION
https://www.youtube.com/watch?v=LH0mcjpbkT4&list=PLAtS-fEINrqlrogngxG0Gzj_QSDRfeVY3&index=2

SIMULATIONS OF SEA LEVEL RISE ALONG THE MEDITERRANEAN COASTS
https://www.youtube.com/watch?v=Wn-08BfmBdg&list=PLAtS-fEINrqlrogngxG0Gzj_QSDRfeVY3&index=3

COLOSSEUM UNDER THE SEA
<https://www.youtube.com/watch?v=C3XLaaM9IOY>

SCIENZAPERTA: SCHOOLS MEET THE SAVEMEDCOASTS2 KNOW-RISK-FLOOD CAMPAIGN
<https://www.youtube.com/watch?v=E0JjfAMub0k&t=3s>

VIDEO DIDATTICI SUL MEDITERRANEO PRODOTTI DALL'INGV

LE VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE NEL MEDITERRANEO
<https://www.youtube.com/watch?v=WS4YjAP0VeQ&t=112s> <https://www.youtube.com/watch?v=C98xsljdkfQ&t=553s>

MEDITERRANEO ATTIVO
<https://www.youtube.com/watch?v=TbKMvxMLKBg>



LETTURE CONSIGLIATE

Foresta Martin, F. (2021). *C'era una volta Kyoto: la lunga storia delle trattative climatiche*. In: S. Peppoloni, a cura di, *PIANETA TERRA, ReWriters Magazine*, n. 10, 32-42.

<https://sealevel.nasa.gov/>

<https://www.mse.gov.sg/resource-room/category/2021-09-13-written-reply-to-pq-on-sea-level-rise-and-polder-development.md/>

<https://aulascienze.scuola.zanichelli.it/come-te-lo-spiego/2021/03/01/il-2020-e-stato-lanno-piu-caldo-mai-registrato/>

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/indicators/sea-level-rise>

<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/history.html>

<https://ilbolive.unipd.it/it/news/clima-puo-cambiare-lha-sempre-fatto>

<https://ingvambiente.com>

<https://ingvambiente.com/2021/01/25/savemedcoasts-2-un-sito-web-per-la-consapevolezza-degli-effetti-dellinnalzamento-del-livello-del-mare/>

<https://ingvambiente.com/2020/03/12/venezia-tra-acqua-alta-subsidenza-e-cambiamenti-climatici-qual-e-futuro/>

<https://ingvambiente.com/2018/08/07/quanto-aumentera-il-livello-marino/>

<https://ingvambiente.com/2019/08/07/un-porto-romano-sommerso-a-lipari/>

<https://ingvambiente.com/2020/10/23/i-movimenti-del-mare/>

<https://ingvambiente.com/2020/11/17/lorigine-delle-maree/>

<https://ingvambiente.com/2020/05/22/geotavola-vi-quanto-e-profondo-il-mare/>

<https://ingvambiente.com/2022/01/20/unonda-speciale-londa-di-tsunami/>

<https://ingvambiente.com/2021/07/30/osservare-il-mare-profondo-puo-contribuire-a-capire-meglio-che-clima-ci-attende/>
<https://ingvambiente.com/2020/04/16/mediterraneo/>
<https://ingvambiente.com/2020/05/04/lintenso-scioglimento-della-calotta-groenlandese-nellestate-2019/>
<https://ingvambiente.com/2020/09/11/ocean-literacy-conoscere-per-amare-e-proteggere-loceano/>
<https://ingvambiente.com/2018/12/11/eventi-climatici-catastrofici-lultima-grande-deglaciazione-quale-lezione-per-il-futuro/>
<https://ingvambiente.com/2021/03/18/perche-mantenere-il-riscaldamento-globale-sotto-1-5c/>
<https://ingvambiente.com/2018/06/14/lantartide-si-scioglie-i-mari-salgono-di-8-mm-in-25-anni/>
<https://ingvambiente.com/2021/10/14/perche-i-cambiamenti-climatici-odierni-sono-diversi-da-quelli-del-passato/>
<https://ingvambiente.com/2020/10/16/il-2020-conferma-la-costante-riduzione-del-ghiaccio-marino-artico/>
<https://ingvambiente.com/2019/12/10/breve-storia-sulla-scoperta-delle-variazioni-climatiche-a-scala-geologica-prima-parte-da-aristotele-a-milankovic/>
<https://ingvambiente.com/2019/06/25/lamplificazione-polare/>
<https://ingvambiente.com/2019/12/10/breve-storia-sulla-scoperta-delle-variazioni-climatiche-a-scala-geologica-prima-parte-da-aristotele-a-milankovic/>
https://media.rff.org/documents/Florida_Climate_Outlook.pdf
<https://miami-dade-county-sea-level-rise-strategy-draft-mdc.hub.arcgis.com/>
<https://news.un.org/en/story/2021/04/1090072>

<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
<https://ukcop26.org/it/iniziale/>
<https://www.comune.venezia.it/it/content/variazioni-livello-medio-mare>
<https://www.consilium.europa.eu/it/meetings/international-summit/2021/11/01/>
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6/New_sea-level_monitoring_satellite_goes_live
<https://www.italianostra.org/news/appello-per-next-generation-eu-venezia/>
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/sea-level-rise-1>
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/sinking-land-rising-seas-dual-crises-facing-coastal-communities>
<https://www.savemedcoasts2.eu/index.php/en/>
<https://www.scientificamerican.com/article/mississippi-mud-might-stop-louisiana-from-disappearing/>
<https://www.socgeol.it/N2067/il-clima-del-nostro-pianeta-fra-realta-e-mito.html>
IPCC AR5 . <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>
IPCC AR6 (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*
IPCC SROCC (2019) *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*
Venezia affonda, di Marco Anzidei, Antonio Vecchio e Fabio Florindo, *Le Scienze*, 3 marzo 2020



PARTNERS

**ISTITUTO NAZIONALE DI
GEOFISICA E VULCANOLOGIA**
INGV
Coordinatore del progetto
Italia



**CENTRO DI GEOMORFOLOGIA INTEGRATA PER L'AREA
DEL MEDITERRANEO**
CGIAM
Italia



**FONDAZIONE CENTRO
EURO- MEDITERRANEO
SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI**
CMCC
Italia



ISOTECH LTD
ISOTECH
Cipro



ARISTOTELIO PANEPISTIMIO THESSALONIKIS
AUTH
Grecia



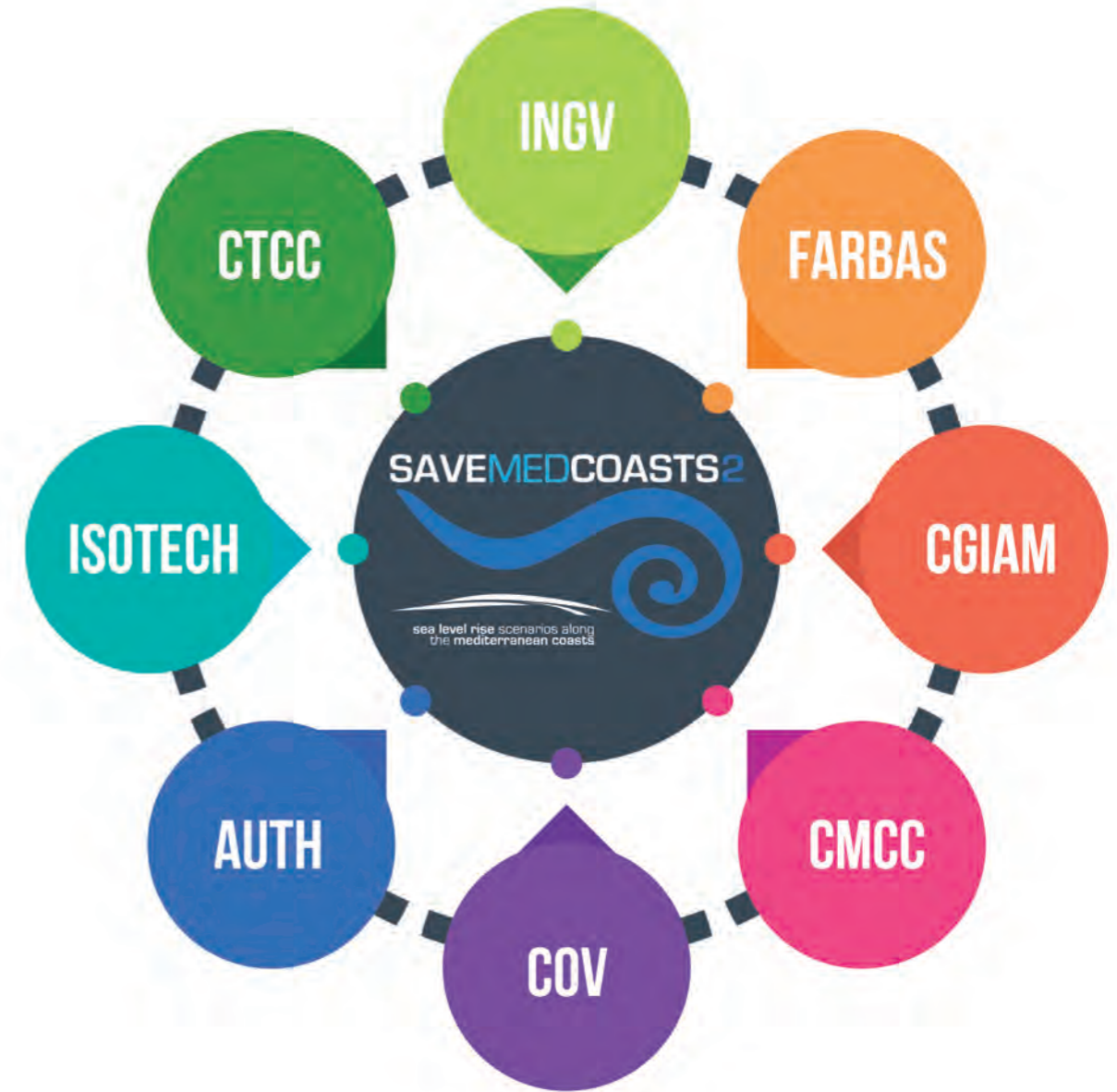
**CENTRE TECNOLOGIC DE TELECOMUNICACIONS DE
CATALUNYA**
CTTC
Spagna



COMUNE DI VENEZIA
COV
Italia



**FONDAZIONE AMBIENTE
RICERCA BASILICATA**
FARBAS
Italia



Finanziato dalla Unione Europea - Direzione Generale per la Protezione Civile e le
Operazioni di Aiuto Umanitario Europee
(DG-ECHO). Grant Agreement 874398.
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma.

ISBN 9791280282040

© Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Prima edizione, Giugno 2022 | Stampato presso Rotoform s.r.l., Roma

