

S C E N A R I I T A L I A N I

TERRITORIO / AMBIENTE / SOCIETÀ / ECONOMIA

XVII RAPPORTO

Paesaggi sommersi

*Geografie della crisi climatica nei territori
costieri italiani*



XVII Rapporto della Società Geografica Italiana

PAESAGGI SOMMERSI

Geografie della crisi climatica nei territori costieri italiani

AUTORI E AFFILIAZIONI

Alberto Diantini, Università degli Studi di Ferrara, alberto.diantini@unife.it
Alessandra Colocci, Università degli Studi di Brescia, alessandra.colocci@unibs.it
Andrea Zinzani, Università degli Studi di Bologna, andrea.zinzani4@unibo.it
Annaclaudia Martini, Università degli Studi di Bologna, annaclaudia.martini@unibo.it
Antonella Dosolina Pietta, Università degli Studi di Brescia, antonella.pietta@unibs.it
Arturo Gallia, Università degli Studi di Roma Tre, arturo.gallia@uniroma3.it
Arturo Lanzani, Politecnico di Milano, arturo.lanzani@polimi.it
Beatrice Ruggieri, Università degli Studi di Milano Bicocca, beatrice.ruggieri@unimib.it
Carlo Bisci, Università degli Studi di Camerino, carlo.bisci@unicam.it
Carlo Donadio, Università degli Studi di Napoli, donadio@unina.it
Carlo Perelli, Università degli Studi di Cagliari, perelli@unica.it
Carolina Falaguasta, Università degli Studi di Firenze, carolina.falaguasta@unifi.it
Chiara Spadaro, Università Ca' Foscari di Venezia, chiara.spadaro@unive.it
Damiano Abbatini, Istituto Nazionale di Statistica, abbatini@istat.it
Daniel Andrew Finch-Race, Università degli Studi di Bologna, daniel.finchrace@unibo.it
Daniele Codato, Università degli Studi di Padova, daniele.codato@unipd.it
Edoardo Crescini, Università degli Studi di Padova, edoardo.crescini@unipd.it
Eleonora Gioia, Università Politecnica delle Marche, e.gioia@staff.univpm.it
Eleonora Guadagno, Università degli Studi di Napoli L'Orientale, eguadaagno@unior.it
Enrico Squarcina, Università degli Studi di Milano Bicocca, enrico.squarcina@unimib.it
Fausto Marincioni, Università Politecnica delle Marche, f.marincioni@univpm.it
Federico Martellozzo, Università degli Studi di Firenze, federico.martellozzo@unifi.it
Federico Spagnoli, Consiglio Nazionale delle Ricerche, federico.spagnoli@cnr.it
Federico Zanfi, Politecnico di Milano, federico.zanfi@polimi.it
Filippo Celata, Università degli Studi di Roma La Sapienza, filippo.celata@uniroma1.it
Filippo Menga, Università degli Studi di Bergamo, filippo.menga@unibg.it
Filippo Randelli, Università degli Studi di Firenze, filippo.randelli@unifi.it
Francesco Curci, Politecnico di Milano, francesco.curci@polimi.it
Francesco Facchinelli, Università degli Studi di Padova, francesco.facchinelli@unipd.it
Fulvio Toseroni, Università Politecnica delle Marche, f.toseroni@staff.univpm.it
Giacomo Zanolin, Università degli Studi di Genova, giacomo.zanolin@unige.it
Gianluigi Salvucci, Istituto Nazionale di Statistica, salvucci@istat.it
Gino Cantalamessa, Università degli Studi di Camerino, gino.cantalamessa@unicam.it
Giovanni De Falco, Consiglio Nazionale delle Ricerche, giovanni.defalco@cnr.it
Giovanni Modaffari, Università degli Studi di Napoli L'Orientale, giovanni.modaffari@unior.it
Giovanni Sistu, Università degli Studi di Cagliari, sistug@unica.it
Giuseppe Della Fera, Associazione GIShub, dellafera.urbanplanner@gmail.com
Marco Grasso, Università degli Studi di Milano Bicocca, marco.grasso@unimib.it
Marco Maria Bagliani, Università degli Studi di Torino
Maria Luisa Ronconi, Università della Calabria, marialuisa.ronconi@unical.it
Mario Tramontana, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, mario.tramontana@uniurb.it

Massimo De Marchi, Università degli Studi di Padova, massimo.de-marchi@unipd.it
Matteo Dalle Vaglie, Università degli Studi di Firenze, matteo.dallevaglie@unifi.it
Mauro Varotto, Università degli Studi di Padova, mauro.varotto@unipd.it
Olga Nardini, Università degli Studi di Firenze, olga.nardini@unifi.it
Paola Minoia, Università degli Studi di Torino, paola.minoia@unito.it
Salvatore Pappalardo, Università degli Studi di Padova, salvatore.pappalardo@unipd.it
Salvo Torre, Università degli Studi di Catania, s.torre@unict.it
Sara Bonati, Università degli Studi di Genova, sara.bonati@unige.it
Stefania Benetti, Università degli Studi del Piemonte Orientale, stefania.benetti@uniupo.it
Stefano Malatesta, Università degli Studi di Milano Bicocca, stefano.malatesta@unimib.it
Stefano Morelli, Università degli Studi di Urbino Carlo Bo, stefano.morelli@uniurb.it
Stefano Soriani, Università Ca' Foscari di Venezia, soriani@unive.it
Teresa Graziano, Università degli Studi di Catania, teresa.graziano@unict.it
Valentina Albanese, Università degli Studi dell'Insubria, ve.albanese@uninsubria.it

Il Rapporto è stato curato da Filippo Celata e Stefano Soriani. Il testo finale è il risultato di una riflessione comune tra tutte le autrici e tutti gli autori, il cui contributo specifico è stato il seguente:

Introduzione: F. Celata, S. Soriani.

Capitolo primo: paragrafi 1.1, 1.4: S. Soriani; paragrafi 1.2, 1.3: E. Guadagno; paragrafo 1.a: P. Minoia, S. Soriani.

Capitolo secondo: paragrafi 2.1, 2.2, 2.3: S. Bonati, E. Gioia, F. Marincioni, S. Morelli, O. Nardini, F. Toseroni, M. Tramontana; paragrafo 2.a: S. Bonati, G. Zanolin; paragrafo 2.b: A. Gallia, S. Malatesta; paragrafo 2.4: P. Minoia, S. Torre, A. Zinzani.

Capitolo terzo: paragrafi 3.1, 3.2: F. Martellozzo, M. Dalle Vaglie, F. Randelli, C. Falaguasta; paragrafo 3.a: G. De Falco, C. Perelli, G. Sistu; paragrafo 3.b: M.L. Ronconi; paragrafo 3.3: C. Falaguasta, F. Martellozzo, F. Randelli, M. Dalle Vaglie, F. Celata; paragrafo 3.4: M. Dalle Vaglie, F. Randelli, F. Martellozzo.

Capitolo quarto: paragrafi 4.1, 4.2, 4.3: G. Salvucci, D. Abbatini, F. Celata*; scheda: B. Ruggieri; paragrafo 4.a: F. Curci, A. Lanzani, F. Zanfi**.

Capitolo quinto: paragrafi 5.1, 5.2, 5.3: F. Celata, E. Gioia; prima scheda: G. Modaffari; seconda scheda: B. Ruggieri, F. Celata; paragrafo 5.a: C. Bisci, G. Cantalamessa, E. Gioia, F. Marincioni, S. Morelli, F. Spagnoli, M. Tramontana; paragrafo 5.b, terza scheda: C. Donadio, E. Guadagno.

Capitolo sesto: paragrafi 6.1, 6.2, prima scheda: S. Soriani; seconda scheda: E. Guadagno, M. Grasso; paragrafo 6.3: M. De Marchi, D. Codato, F. Facchinelli, A. Diantini, S. Pappalardo, terza scheda: E. Crescini, G. Della Fera, M. De Marchi.

Capitolo settimo: paragrafo 7.1: V. Albanese, T. Graziano; paragrafo 7.2: E. Gioia, E. Guadagno; paragrafo 7.3: F. Menga, C. Perelli, G. Sistu; scheda: E. Squarcina; paragrafo 7.a: C. Spadaro.

Capitolo ottavo: paragrafi 8.1, 8.2, 8.3: S. Soriani; paragrafo 8.4: M. Bagliani, A. Colocci, A. Pietta; paragrafo 8.a: S. Benetti; paragrafo 8.5: E. Guadagno, M. Grasso; paragrafo 8.b: D.A. Finch-Race, A. Martini, P. Minoia, A. Zinzani.

Postfazione: M. Varotto.

* Gli autori desiderano ringraziare l'Istituto Geografico Militare, il Ten. Col. Ing. Silvio Massimo Capaldo e la dottoressa Cinzia Tafi.

** Gli autori appartengono a un gruppo di docenti e ricercatori del Dipartimento di Architettura e Studi Urbani del Politecnico di Milano che dal 2018, nel quadro di una convenzione stipulata con il Comune di Lecce, hanno condotto ricerche e laboratori didattici dedicati alla fascia costiera leccese e che in particolare, da febbraio 2022, è incaricato dell'affiancamento scientifico dell'amministrazione e dell'Ufficio di Piano nella redazione del nuovo Piano Urbanistico Generale.

Si ringraziano tutti gli ospiti che sono intervenuti ai due workshop preparatori per la redazione del Rapporto: Daniela Addis, Associazioni “Generazione Mare” e “Mare Amico”; Giorgio Alleva, Sapienza Università di Roma; Marica Di Pierri, ASud; Michele Manigrasso, Osservatorio Paesaggi Costieri – Legambiente; Paola Mercogliano, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici; Michele Munafò, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale; Francesco Musco, Università Iuav di Venezia; Marie-Helene Rio, European Spatial Agency; Francesca Santoro, Unesco; Alessio Satta, MedSea Foundation; Donatella Spano, Università di Sassari.

Un sentito ringraziamento a Eleonora Gioia per il suo prezioso aiuto in tutte le fasi di preparazione del Rapporto.

Il Rapporto è dedicato alla memoria di Marco Bagliani, studioso appassionato di questioni ambientali e climatiche che ha accompagnato e contribuito alla stesura del Rapporto, senza poterne leggere l'ultima pagina.

ISBN 978-88-85445-28-4

È vietata la riproduzione e l'archiviazione, anche parziale e per uso didattico, con qualsiasi mezzo, sia del contenuto di quest'opera sia della forma editoriale con la quale è pubblicata (legge 22/4/1941, n. 633 e legge 18/08/2000, n. 248). La riproduzione in fotocopia è consentita esclusivamente per uso personale e per una porzione non superiore al 15% delle pagine del volume, con le modalità e il pagamento del compenso stabiliti a favore degli aventi diritto.

© 2025 by Società Geografica Italiana
Via della Navicella 12 (Villa Celimontana), Roma
Tel. 06-7008279 – fax 06-77079518 – e-mail: segreteria@societageografica.it

Finito di stampare nel giugno 2025

Copertina: Pietro Palladino

Indice

Introduzione		9
Capitolo primo	Come siamo arrivati fin qui: crisi ambientale e «questione coste» in Italia	17
	1.1. <i>L'evoluzione del territorio costiero: «questione coste» e crisi climatica</i>	17
	<i>Turismo, artificializzazione della spiaggia e crisi cronica dei sedimenti</i>	
	<i>I porti e l'industria costiera</i>	
	<i>Occupazione delle coste, iper-territorializzazione, incuria e illegalità</i>	
	1.2. <i>Tassonomie, dinamiche e problematiche costiere</i>	24
	1.3. <i>Pressioni e vulnerabilità</i>	27
	1.4. <i>La crisi climatica come moltiplicatore di stress</i>	31
	1.a. <i>Gestione e difesa della Laguna di Venezia. Un difficile equilibrio tra terra e mare</i>	34
Capitolo secondo	Vulnerabilità e crisi climatica	39
	2.1. <i>La vulnerabilità fisica</i>	40
	2.2. <i>La vulnerabilità sociale</i>	42
	2.a. <i>Vulnerabilità e (mal)adattamento sulla costa e lo spazio marino ligure</i>	44
	<i>L'impatto sul rischio di disastri in Liguria</i>	
	2.3. <i>L'approccio integrato: dove la geografia fisica incontra quella umana</i>	48
	2.b. <i>Piccole isole e crisi climatica: vulnerabilità e geografie umane</i>	49
	2.4. <i>Per un'ecologia politica della crisi climatica nei territori costieri italiani</i>	52
Capitolo terzo	I litorali italiani al 2100	57
	3.1. <i>Previsioni e conseguenze dell'innalzamento del livello del mare in Italia</i>	57
	3.2. <i>Stima e cartografia dei paesaggi sommersi</i>	59
	3.a. <i>Cambiamento climatico e fragilità costiera in Sardegna</i>	66
	3.3. <i>Funzioni e caratteristiche dei territori a rischio</i>	69
	3.4. <i>Salinizzazione del suolo e impatto sull'agricoltura</i>	71
	3.b. <i>Dinamiche costiere in prospettiva storica: il Golfo di Taranto e la Piana di Sibari</i>	73
Capitolo quarto	L'urbanizzazione costiera di fronte alla sfida della crisi climatica	79
	4.1. <i>Dinamiche di urbanizzazione lungo le coste italiane</i>	79
	4.2. <i>L'impatto della crisi ambientale sui litorali urbanizzati: la popolazione a rischio</i>	85
	<i>Ricollocare le popolazioni a rischio?</i>	89
	4.3. <i>L'impatto sui litorali urbanizzati: gli edifici a rischio</i>	91
	4.a. <i>Pianificazione costiera e territori dell'abusivismo: le marine di Lecce</i>	94
Capitolo quinto	Crisi climatica, spiagge ed erosione costiera: impatti e alternative	101
	5.1. <i>Crisi climatica ed erosione costiera: le spiagge italiane a rischio</i>	101
	5.2. <i>Spiagge a rischio, concessioni marittime e stabilimenti balneari</i>	106
	<i>Le difese costiere: storia, problematiche e implicazioni</i>	109
	5.3. <i>Arretrare o resistere? Implicazioni e alternative</i>	114
	<i>Rinaturalizzare le coste: il riallineamento e arretramento gestito</i>	117
	5.a. <i>Erosione costiera e crisi climatica nelle Marche</i>	119
	<i>L'erosione della costa marchigiana dal XIX secolo a oggi</i>	

	<i>Percezioni e strategie di risposta: verso un cambio di paradigma?</i>	
5.b.	<i>Pressioni e problematiche di governance delle aree costiere campane</i>	127
	<i>Dinamiche osservabili in tre contesti litoranei campani</i>	129
Capitolo sesto	<i>Blue economy: infrastrutture costiere, crisi climatica e territorializzazione del mare</i>	133
6.1.	<i>Crisi climatica, infrastrutture costiere e adattamento: il caso dei porti</i>	133
	<i>I casi dei porti di Genova e Venezia</i>	139
6.2.	<i>Infrastrutture energetiche e territorializzazione del mare in Italia</i>	142
	<i>Energia eolica e governance costiera: il parco Bealeolico di Taranto</i>	146
6.3.	<i>Combustibili fossili, petroleumscapes e giustizia climatica</i>	148
	<i>Verso un trattato di non proliferazione dei combustibili fossili</i>	152
Capitolo settimo	<i>Percezioni e narrative della crisi ambientale</i>	155
7.1.	<i>Narrazioni della crisi climatica sui media tradizionali e sul web</i>	156
	<i>La crisi climatica nei media tradizionali</i>	
	<i>La crisi climatica sul web sociale e i nuovi movimenti per il clima</i>	
7.2.	<i>Crisi climatica e percezione del rischio</i>	162
	<i>Crisi e percezioni: evidenze dal Golfo di Gaeta</i>	
	<i>Percezione del rischio, politiche e governance dei territori costieri</i>	
7.3.	<i>La percezione del clima che cambia tra gli studenti</i>	167
	<i>Mare alto e brutto. Percezioni dell'oggi e del domani</i>	
	<i>L'educazione ambientale e al mare: Ocean literacy e Ocean citizenship</i>	172
7.a.	<i>Il Delta del Po: precarietà anfibia, pressioni antropiche e nuove percezioni</i>	175
Capitolo ottavo	<i>Politiche e problematiche di gestione della costa</i>	183
8.1.	<i>Il quadro di riferimento della gestione e della governance costiera</i>	183
	<i>Gestione Integrata della Zona Costiera e evoluzione della governance costiera</i>	
	<i>Territorializzazione del mare e regolazione degli usi: la Pianificazione Spaziale Marittima e le sue implicazioni</i>	
8.2.	<i>Gestione e governance della costa: la situazione italiana</i>	188
	<i>Piani spaziali del mare, Piano del Mare e Piano Nazionale di Adattamento</i>	
8.3.	<i>La gestione della costa di fronte alla crisi climatica: un «cantier aperto»</i>	194
8.4.	<i>Strategie e piani di adattamento nazionali e regionali per i sistemi costieri</i>	195
	<i>Il confronto con le politiche di adattamento regionali</i>	
8.a.	<i>Aree protette e patrimonio naturale e culturale nelle zone costiere</i>	202
8.5.	<i>Problemi di governance costiera e attori</i>	204
8.b.	<i>Cittadinanza attiva, governance socio-ambientale e salvaguardia di Venezia</i>	208
	<i>Le reti locali e la salvaguardia del sistema lagunare</i>	
Postfazione	<i>Geografie, paesaggi e pubblici sommersi</i>	215
Riferimenti bibliografici		219

Capitolo terzo

I litorali italiani al 2100

In questo capitolo si presentano alcune evidenze sugli scenari più probabili di innalzamento del livello del mare in Italia e sui loro possibili effetti nei prossimi decenni. Sono in molti casi i risultati di elaborazioni originali, realizzate ai fini di questo rapporto, sulla base di quelle che sono le previsioni considerate più attendibili dalla comunità scientifica internazionale.

Il primo elemento rilevante riguarda l'individuazione delle aree costiere a rischio inondazione nei prossimi decenni. A questo tema è principalmente dedicato questo capitolo. Il passaggio successivo è comprendere cosa comporterà tutto ciò per quelli che sono attualmente gli usi, i valori e le specificità di questi «paesaggi sommersi». A tal fine si presentano nel rapporto diverse evidenze e riflessioni sulle caratteristiche dei territori a rischio di inondazione e i relativi valori coinvolti, a cominciare – in questo capitolo – da un'analisi della loro attuale copertura del suolo. Considerata l'incidenza e l'ampiezza dei terreni agricoli a rischio, il capitolo si concluderà con un *focus* sull'agricoltura costiera, alla luce delle dinamiche di salinizzazione in atto e degli scenari che su queste dinamiche proietta la crisi climatica. È bene sottolineare che le previsioni presentate in questo come in altri capitoli sono soggette a una notevole incertezza rispetto a quelle che saranno le effettive dinamiche future, soprattutto sulla base di se e quanto saremo in grado, nei prossimi anni, di ridurre le emissioni di gas climalteranti. Ancora più incerti sono gli effetti specifici che la crisi climatica produrrà nel medio e lungo termine su ogni tratto di costa. Prevedere quali territori costieri saranno, nel prossimo futuro, oggetto di inondazioni temporanee o permanenti, fino al vero e proprio ridisegno della linea di costa, e qua-

le sarà l'entità, la frequenza e il ruolo degli eventi meteorologici estremi, richiede necessariamente modellizzazioni più puntuali e più complesse di quelle globali utilizzate di seguito, che devono inevitabilmente essere effettuate a scala locale sulla base delle specificità di ogni contesto. Alcune di queste analisi più puntuali sono presentate nei paragrafi dedicati agli approfondimenti locali, a cominciare da quello sulla Sardegna che conclude questo capitolo. Ma anche in questo caso l'esito finale dipenderà fortemente da come le diverse regioni costiere saranno in grado di adattarsi e difendersi, con quali strumenti e con quali esiti.

3.1. Previsioni e conseguenze dell'innalzamento del livello del mare in Italia

Uno degli effetti più problematici della crisi climatica è, come noto, l'innalzamento del livello del mare, ovvero l'aumento graduale del livello dei corpi idrici aperti, già in corso a livello planetario e destinato ad inasprirsi nei prossimi anni. Due fattori sono la causa principale: in primo luogo, la crisi climatica contribuisce all'espansione termica degli oceani, dunque, le masse d'acqua riscaldate si espandono, occupando più volume e di conseguenza più spazio. In secondo luogo, con l'aumento delle temperature i ghiacciai e le calotte glaciali nelle regioni polari si sciolgono, contribuendo ulteriormente all'innalzamento del livello del mare. Questi esiti sono una diretta conseguenza del riscaldamento globale, derivante principalmente dal trasporto del calore in eccesso dall'atmosfera all'idrosfera e alla litosfera, aumentato nel corso dell'ultimo secolo a causa delle attività umane – come l'uso di combustibili fossili e la de-

forestazione – che hanno rilasciato gas serra a un ritmo senza precedenti. Si stima che ciò abbia già causato un aumento del livello medio globale del mare di circa 21-24 cm dal 1880 (Lindsey, 2020).

Tali dinamiche meritano di essere attentamente monitorate per via dei loro impatti significativi sulle comunità e sugli ecosistemi costieri, anche al fine di pervenire ad adeguate strategie di adattamento. Poiché il livello del mare continua a salire, le inondazioni e l'erosione costiera diventano più frequenti e gravi, causando danni crescenti agli edifici, alle infrastrutture e alle attività che si svolgono nelle zone costiere. Per affrontare questo problema, molte comunità stanno attuando strategie come la costruzione di barriere naturali e/o semi-naturali (argini, dighe, difese costiere di diverso tipo) e in alcuni casi innalzando o arretrando edifici e infrastrutture. Di tali strategie si discuterà più estesamente nei capitoli successivi del Rapporto.

L'innalzamento del livello del mare presenta sfide significative per regioni specifiche, che vanno dalle piccole nazioni insulari alle città costiere, dalle aree dei delta fluviali alle regioni artiche. Isole basse e intere città sono particolarmente sensibili a causa della loro localizzazione in aree costiere pianeggianti. Questa vulnerabilità può comportare la potenziale inabitabilità di questi territori e notevoli ripercussioni su infrastrutture e comunità insediate, rendendo nei casi estremi necessario anche il ricollocamento delle popolazioni (si veda il prossimo capitolo). Regioni vitali per la produzione alimentare affrontano poi il duplice rischio delle inondazioni e dell'intrusione di acqua salata, come si approfondirà nell'ultimo paragrafo di questo capitolo, con conseguenze economiche e sociali significative il cui impatto va ben al di là dei territori direttamente colpiti.

Nel complesso, l'innalzamento del livello del mare può esercitare impatti sostanziali e la natura di questi effetti dipende da vari fattori quali l'entità dell'innalzamento, le caratteristiche geomorfologiche e la topografia delle aree costiere, la su-

scettibilità delle infrastrutture locali e l'eventuale presenza di funzioni strategiche, le condizioni più o meno favorevoli al verificarsi di fenomeni meteorologici intensi, i modelli di uso del territorio, la più o meno elevata densità della popolazione e le capacità adattative delle comunità locali.

Sebbene il fenomeno influenzi innegabilmente diversi settori, alcune attività mostrano una maggiore vulnerabilità. In particolare, gli effetti sono particolarmente problematici per: *a)* le infrastrutture di trasporto, laddove l'innalzamento del livello del mare può compromettere strade, ponti, aeroporti e porti, interrompendo potenzialmente le reti di trasporto e provocando notevoli ripercussioni economiche e sociali; *b)* gli insediamenti urbani, poiché l'innalzamento del livello del mare rischia di svalutare le proprietà costiere, aumentare i costi assicurativi e, in casi estremi, rendere inabitabili interi quartieri o città a causa di inondazioni ricorrenti o permanenti; *c)* la produzione agricola, in particolare nelle aree costiere pianeggianti più esposte alle inondazioni e all'intrusione di acqua salata, laddove la salinizzazione provoca il danneggiamento dei raccolti, rese ridotte e conseguenti effetti sulla sicurezza alimentare nonché sull'economia delle regioni colpite; *d)* le aree costiere più turisticizzate, che dovranno affrontare potenziali interruzioni, danni, compromissione delle infrastrutture e aggravamento dell'erosione costiera; *e)* le infrastrutture strategiche – quali centrali elettriche, raffinerie di petrolio, centrali nucleari – che potrebbero subire danni e/o interruzioni nella produzione e nella distribuzione. Tutto ciò non comporta solo impatti diretti, ma contribuisce anche a ulteriori cambiamenti climatici.

L'impatto diretto è inoltre aggravato dalla maggiore intensità di eventi meteorologici estremi. Si prevede che questi eventi, seppur a intermittenza, genereranno mareggiate più estese e distruttive, esacerbando le inondazioni e l'erosione delle coste, con un crescente impatto dannoso sulle strutture sia naturali che antropiche lungo le coste.

L'effetto combinato dell'innalzamento del livello del mare e dell'aumento dell'intensità degli eventi meteorologici viene definito «innalzamento del livello del mare estremo» (ILME).

L'identificazione precisa delle aree geografiche a rischio è fondamentale per valutare localmente il grado di vulnerabilità rispetto agli scenari globali di crisi climatica ed elaborare strategie efficaci di mitigazione e adattamento. A tale scopo nelle prossime pagine si presenteranno delle elaborazioni originali che hanno l'obiettivo di integrare le proiezioni relative alla componente estrema dell'innalzamento del livello del mare fornite dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), per riflettere sulle conseguenze, sulla vulnerabilità e sulla resilienza dei paesaggi costieri italiani.

3.2. Stima e cartografia dei paesaggi sommersi

Il Joint Research Center (JRC) offre diversi scenari di innalzamento del livello del mare derivati da modelli climatici e proiezioni future (Vousdoukas e altri, 2018). Questi scenari incorporano i vari fattori citati nel paragrafo precedente, tra cui lo scioglimento dei ghiacciai e l'espansione termica degli oceani. La selezione degli scenari appropriati è fondamentale per mappare accuratamente l'impatto dell'innalzamento del livello del mare sul territorio. In questo Rapporto, abbiamo utilizzato i dati relativi agli scenari RCP 4.5 e 8.5 dell'IPCC. Tali scenari fanno ciascuno riferimento a un determinato obiettivo climatico, che corrisponde a sua volta a un determinato andamento previsto delle emissioni. Per esempio, lo scenario RCP 8.5 suppone che non venga intrapresa nessuna strategia di riduzione delle emissioni (*business as usual*), il che corrisponde a un forzante radiativo di, appunto, 8,5 Watt per m² alla fine del secolo. Lo scenario RCP 4.5 è invece più ottimistico, prevede la «stabilizzazione» delle emissioni, e corrisponde a un forzante radiativo di 4.5 Watt per m² nell'anno

2100. Lo scenario assume un percorso di riduzione delle emissioni globali di gas a effetto serra in linea con gli impegni presi in tal senso a livello globale. Le proiezioni del JRC si estendono fino al 2050 e al 2100, coprendo tutte le coste europee, inclusa quindi l'Italia.

Queste proiezioni sono fornite per diversi livelli di probabilità, che rappresentano l'incertezza della previsione. Si va da stime più basse di ILME e più «conservative», equivalenti ai percentili maggiori, a una stima mediana e più probabile equivalente al 50° percentile, fino a stime più severe. Nell'analisi sono stati considerati tutti i valori per tener conto dell'incertezza associata alle stime utilizzate. I risultati sono presentati di seguito sulla base di diversi scenari, anche per dare conto dell'incertezza della stima. Si vedrà tuttavia anche che l'area del Mediterraneo, soprattutto fino al 2050, non mostra un'elevata variabilità all'interno dei valori di ILME, vale a dire che le stime relative ai vari percentili sono abbastanza simili. Si tenga conto che la metodologia utilizzata ai fini di queste proiezioni è inevitabilmente guidata dalla scala e dall'estensione della regione di interesse. Una comprensione più dettagliata e precisa degli scenari prevedibili e dei loro effetti richiederebbe analisi più approfondite a scala locale, quali quelle presentate di seguito per le aree di Cagliari e Oristano in Sardegna (paragrafo 3.a).

Al fine di individuare le aree costiere a rischio inondazione temporanea o permanente, la previsione di innalzamento del livello del mare è stata confrontata con l'attuale elevazione del terreno. A tal fine, si è utilizzato il *dataset* sull'altitudine del terreno (Digital Terrain Elevation Data) dell'USGS, con una risoluzione spaziale di circa 30 metri (USGS, 2018), associando a ciascuna porzione di territorio il suo valore di previsione ILME più vicino. In questo modo è stato possibile ottenere una rappresentazione cartografica completa per ciascuno dei due scenari (IPCC RCP 4.5 e 8.5).

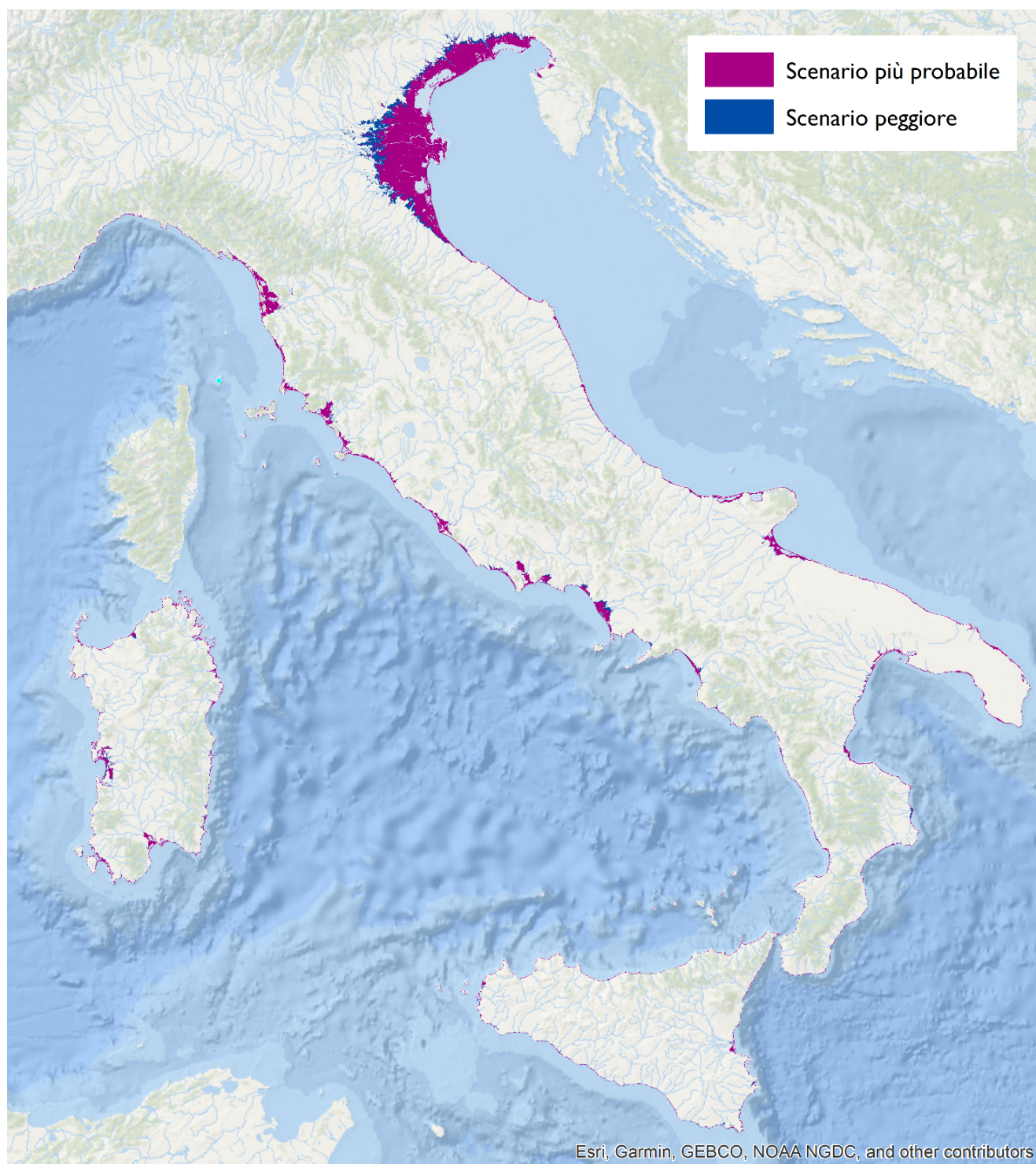


Fig. 3.1. Aree costiere italiane a rischio inondazione al 2100

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Vousdoukas e altri, 2018

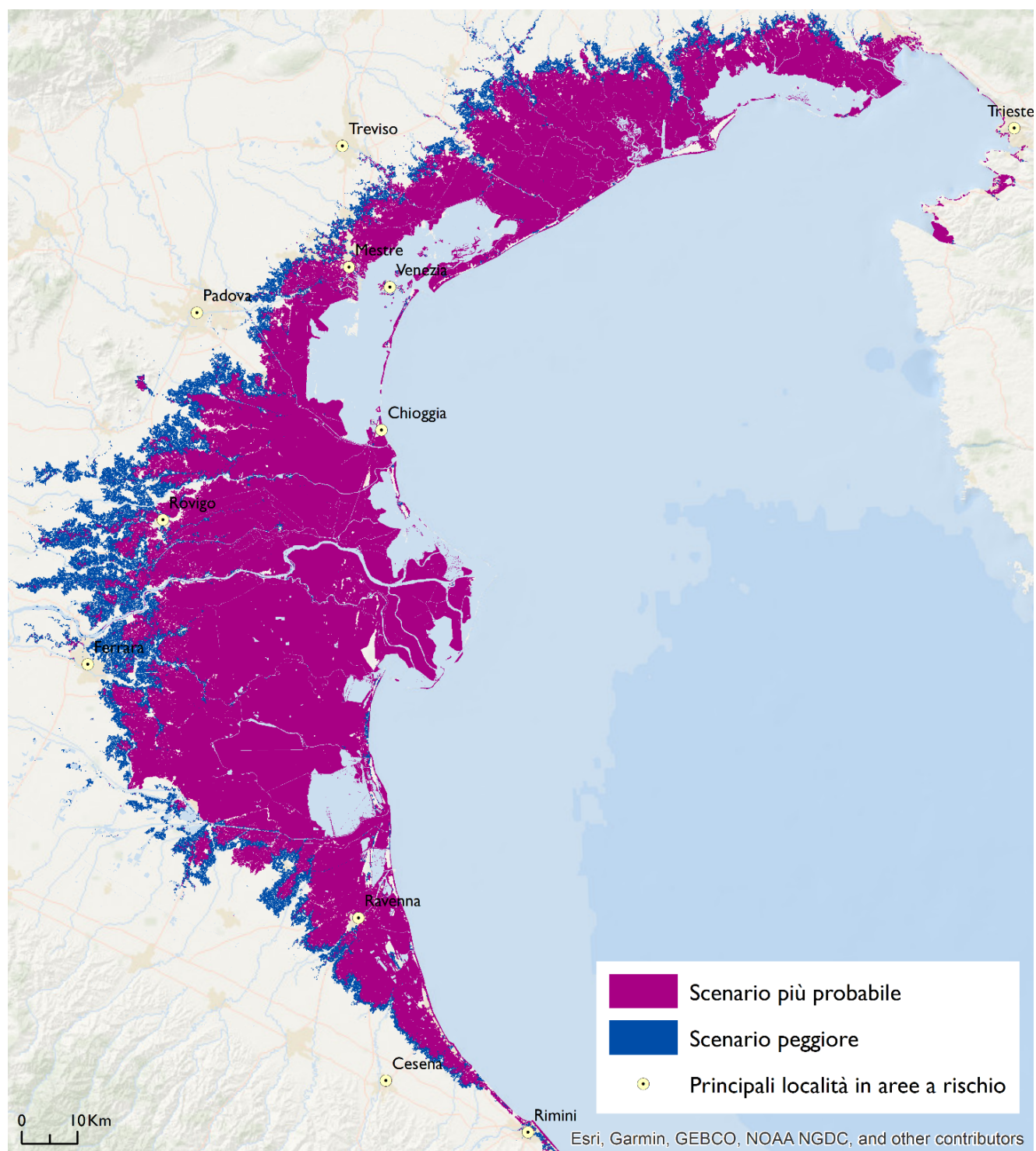


Fig. 3.2. Aree costiere a rischio inondazione al 2100: Alto Adriatico

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Voudoukas e altri, 2018

L'elaborazione consente quindi di individuare i territori di elevazione inferiore al livello futuro previsto del mare. Tuttavia, questa operazione può identificare anche aree che non hanno alcuna contiguità spaziale con le acque aperte e più o meno distanti dalla costa. Ai fini della previsione si è quindi adottato un semplice criterio di continuità spaziale (Fereshtehpour e Karamouz, 2018), che incorpora considerazioni sulla connettività idrologica. Studi precedenti hanno mostrato che tale metodo produce risultati più allineati con la realtà (Neumann e Ahrendt, 2013). In sostanza, i risultati delle elaborazioni sono stati sovrapposti alla rete dei corpi idrici persistenti (la fonte dei dati è *Co-*

pernicus EU-Hydro e Global HydroSheds) e sono state selezionate le porzioni di territorio che mostrano contiguità spaziale con questi corpi idrici permanenti e la costa, consentendo una tolleranza di 30 metri, escludendo in tal modo tutte le porzioni di territorio prive di continuità, ovvero isolate.

Nelle figure 3.1 e seguenti si riportano i risultati relativi alle previsioni di ILME al 2100, includendo da un lato quelle relative al 95° percentile nell'ambito dello scenario IPCC RCP 4.5 – la relativa previsione è definita “scenario più probabile” – e dall'altro quelle relative al quinto percentile di probabilità nell'ambito dello scenario IPCC RCP 8.5 – definito “scenario peggiore”.

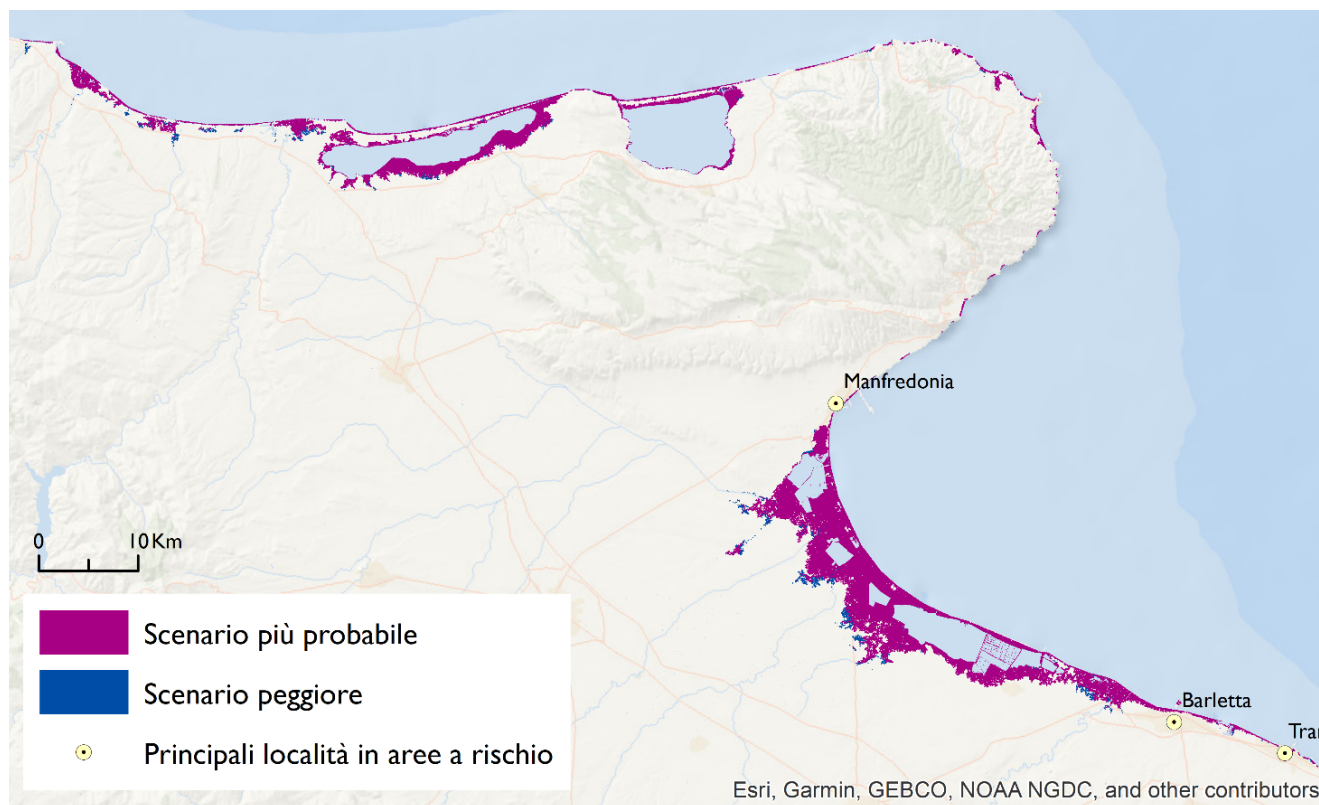


Fig. 3.3. Aree costiere italiane a rischio inondazione al 2100: area garganica

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Vousdoukas e altri, 2018

Complessivamente, sulla base del più verosimile tra i due scenari (RCP 4.5), al 50° percentile di probabilità, l'area a rischio inondazione al 2100 equivale al 4,7% del territorio italiano. Le differenze tra i due scenari non sono come detto e come si vede elevate: la porzione di territorio italiano a rischio sulla base del 50° percentile dello scenario RCP 8.5 è pari al 5,15%.

Le aree più colpite sono facilmente identificabili. A cominciare dall'Alto Adriatico, la regione con i cambiamenti più pronunciati, in tutte e tre le re-

gioni Friuli Venezia-Giulia, Veneto e Emilia-Romagna. Nell'area è prevedibile un arretramento della linea di costa che si estende su tutto il Delta del Po, fino ai Colli Euganei e addirittura a Ferrara nello scenario peggiore (figura 3.2).

Proseguendo verso sud, si osservano altre aree critiche lungo la costa adriatica, sebbene di minore estensione e profondità. In particolare, la costa pugliese intorno al Gargano, nell'area del Golfo di Manfredonia, mostra una marcata probabilità di inondazione (figura 3.3).

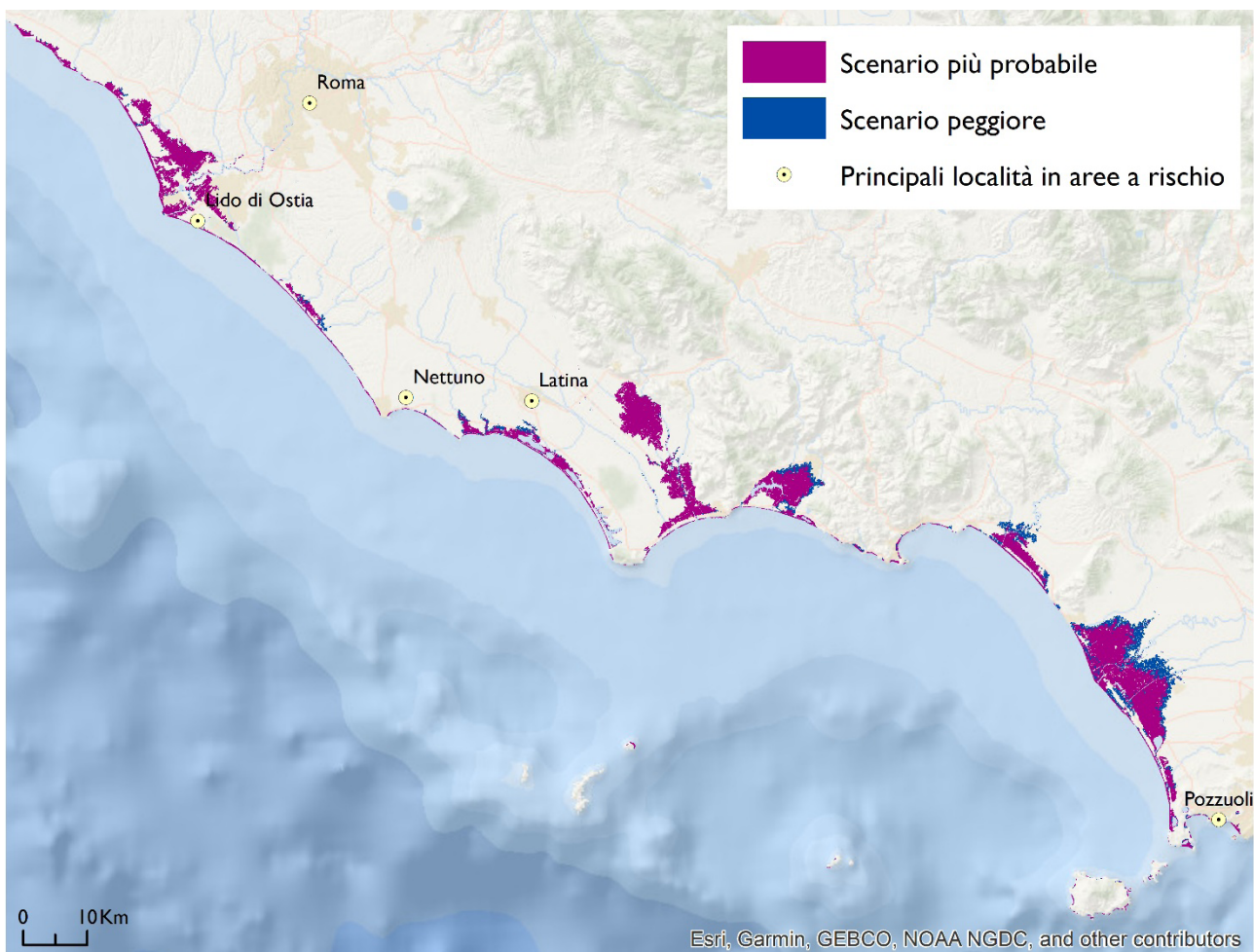


Fig. 3.4. Aree costiere italiane a rischio inondazione al 2100: Tirreno centrale

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Voudoukas e altri, 2018

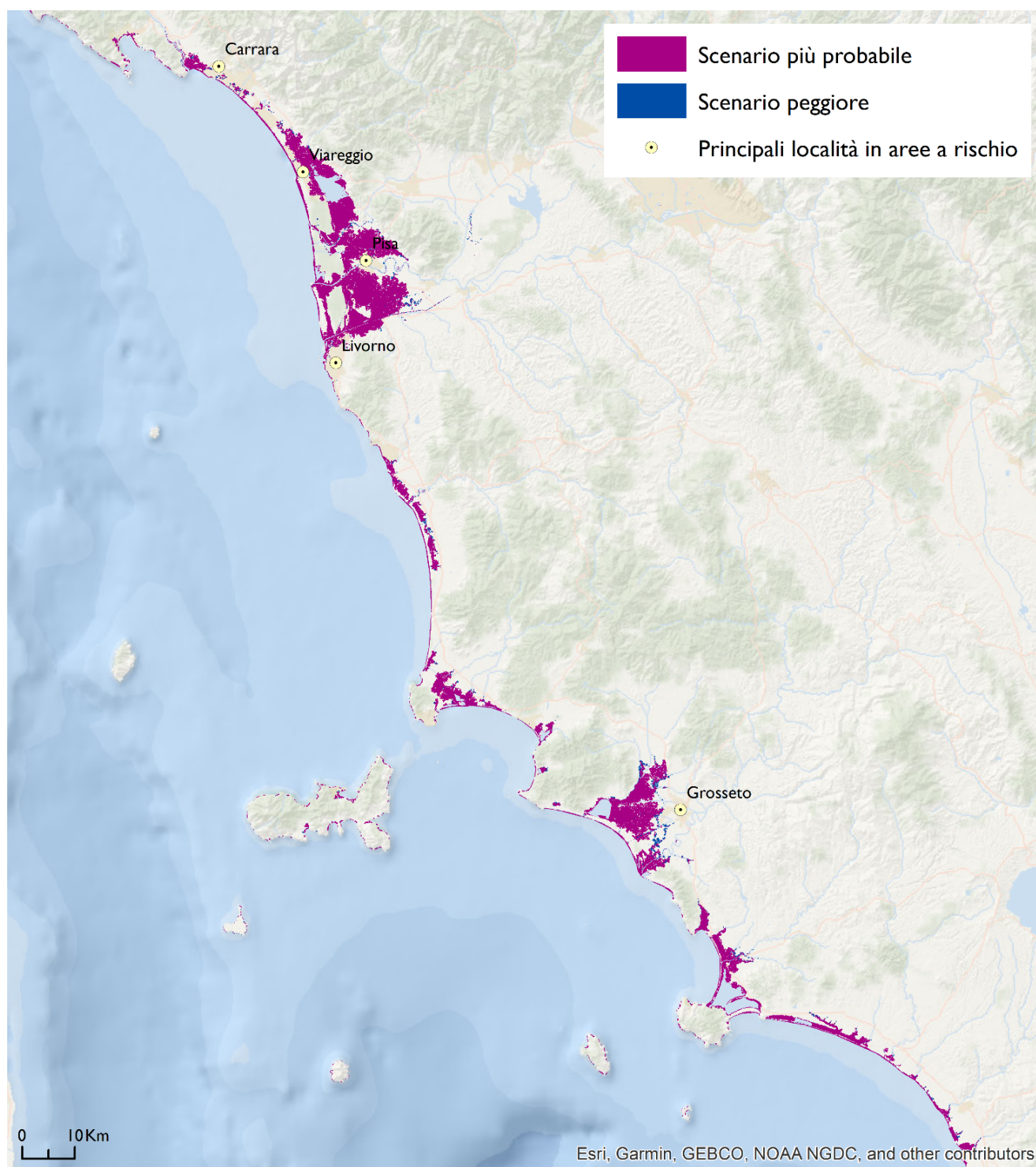


Fig. 3.5. Aree costiere italiane a rischio inondazione al 2100: Tirreno settentrionale

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Voudoukas e altri, 2018

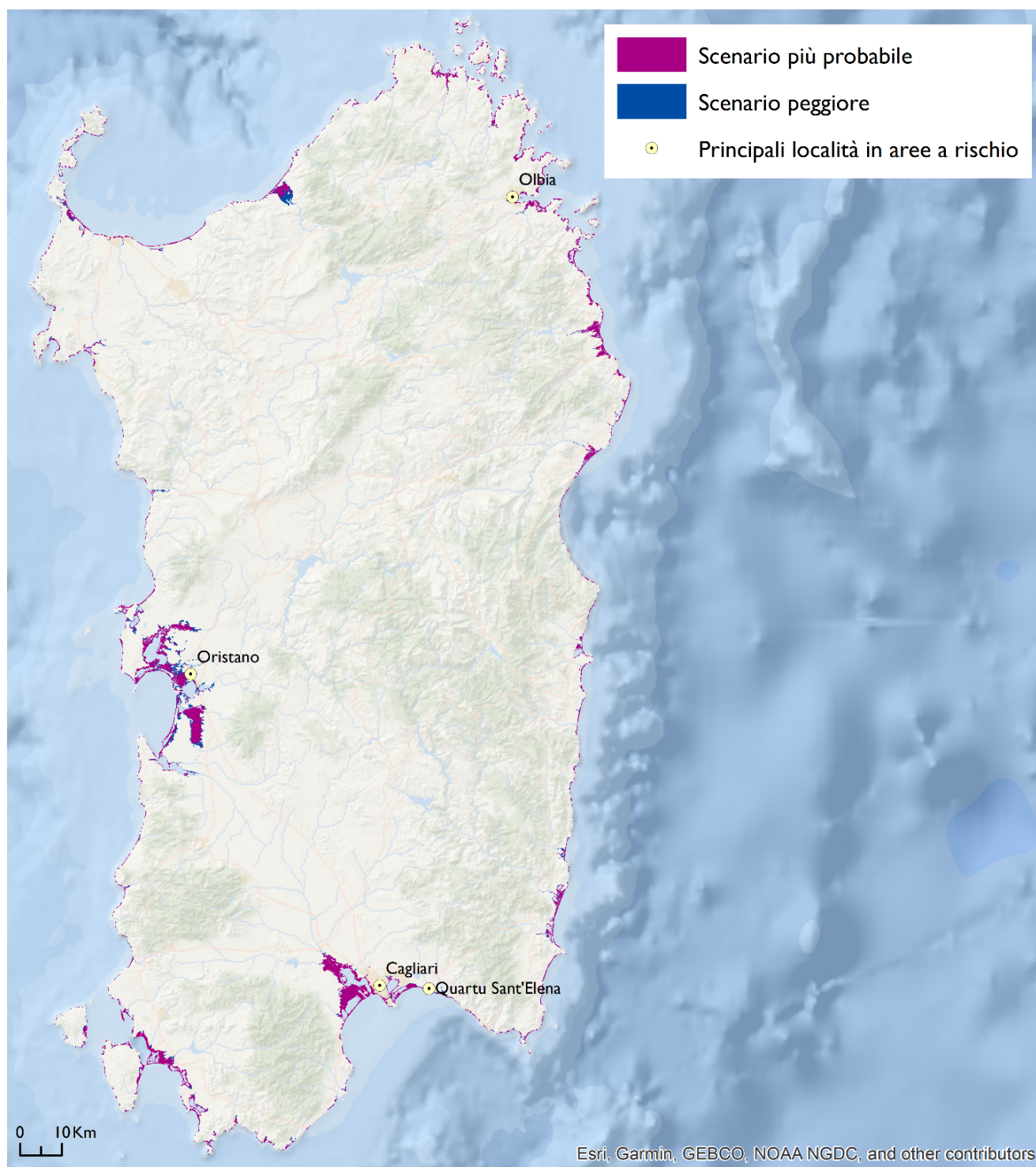


Fig. 3.6. Aree costiere italiane a rischio inondazione al 2100: Sardegna

Scenario più probabile: IPCC RCP4.5 95° percentile; scenario peggiore: IPCC RCP8.5 quinto percentile. Fonte: elaborazione su dati Voudoukas e altri, 2018

Lungo la costa tirrenica, si nota che la Toscana, il Lazio e la Campania presentano anch'esse diverse aree a rischio, sebbene di estensione più limitata rispetto al nord-est, ma che comunque coinvolgono tratti di costa importanti, oltre a territori densamente urbanizzati (figure 3.4 e 3.5). Ad esempio, in Toscana si prevede il contornamento di Pisa già nello scenario al 2050 e di Grosseto al 2100 da parte delle acque marine, mentre nel Lazio le criticità si concentreranno a Fiumicino, inclusa la zona dell'omonimo Aeroporto, a Ostia, e più a sud nel Golfo di Gaeta. Per quanto riguarda le isole maggiori, si rilevano significative zone a rischio di inondazione principalmente in alcune parti della costa orientale della Sicilia, e lungo le coste occidentali della Sardegna, alla quale è dedicata la prossima scheda, in particolare nelle aree di Cagliari e Oristano (figura 3.6).

3.a. Cambiamento climatico e fragilità costiera in Sardegna

I tassi di risalita del livello del mare sono già considerevolmente superiori negli ultimi decenni rispetto a quanto osservato nei millenni precedenti. L'innalzamento accelererà nei decenni futuri e, per quanto riguarda le coste della Sardegna, potrà superare i 1300 mm. Tale dinamica avrà un impatto rilevante in particolare lungo le piane alluvionali del Campidano sia nel settore Nord (Campidano di Oristano) che nel settore Sud (Campidano di Cagliari).

Gli studi effettuati negli ultimi dieci anni (Antonoli e altri, 2017) hanno simulato l'effetto dell'inondazione «passiva» nelle piane alluvionali del Campidano, utilizzando i modelli digitali del terreno ad alta risoluzione disponibili per la fascia costiera grazie a un rilievo dettagliato effettuato dalla Regione Sardegna nel 2008. Per inondazione passiva si intende il semplice effetto di ingressione marina dovuto all'innalzamento del livello

del mare e alla sommersione di aree topograficamente poco elevate, senza tenere in considerazione i processi di riorganizzazione dinamica delle coste. Ai fini di una stima per la Sardegna e per altri tratti di costa italiana, più puntuale e accurata delle stime complessive presentate nei paragrafi precedenti, la risalita globale del livello del mare è stata corretta per alcuni fattori locali (Antonoli e altri, 2017). Anche queste stime sono in ogni caso incerte e variano in considerazione dei diversi scenari prevedibili. Gli effetti che questo processo comporterà sulle aree costiere della Sardegna come altrove non sono facilmente prevedibili.

Con questi valori di innalzamento del livello del mare si può tuttavia prevedere un'inondazione delle zone umide e delle aree di foce, con perdita di *habitat* e di aree produttive per la pesca, a meno di complessi e costosi interventi di protezione costiera. Gli scenari previsivi ci dicono che nel 2100 sia il golfo di Cagliari sia quello di Oristano potrebbero trasformarsi in un articolato arcipelago costiero, dove nuovi attracchi saranno possibili in quello che è oggi il maggior distretto agricolo dell'isola e nel suo principale bacino cerealicolo (figura 3.7).

La simulazione dell'ingressione marina per il golfo di Cagliari prevede in particolare la sommersione di un'area compresa tra 45 km² e 60 km², con una penetrazione del mare fino a 12 km nell'entroterra. Nel golfo di Oristano l'estensione delle aree sommerse è stata valutata tra 86 km² e 124 km² con una ingressione marina fino a 10 km (Antonoli e altri, 2017). La piana di Oristano è stata inoltre soggetta negli ultimi 100 anni a imponenti lavori di bonifica che hanno compreso anche il prosciugamento di aree lagunari e la predisposizione di pompe idrovore per il drenaggio delle acque. Chiaramente tutto il sistema idraulico andrà riprogettato per essere adeguato al nuovo scenario.

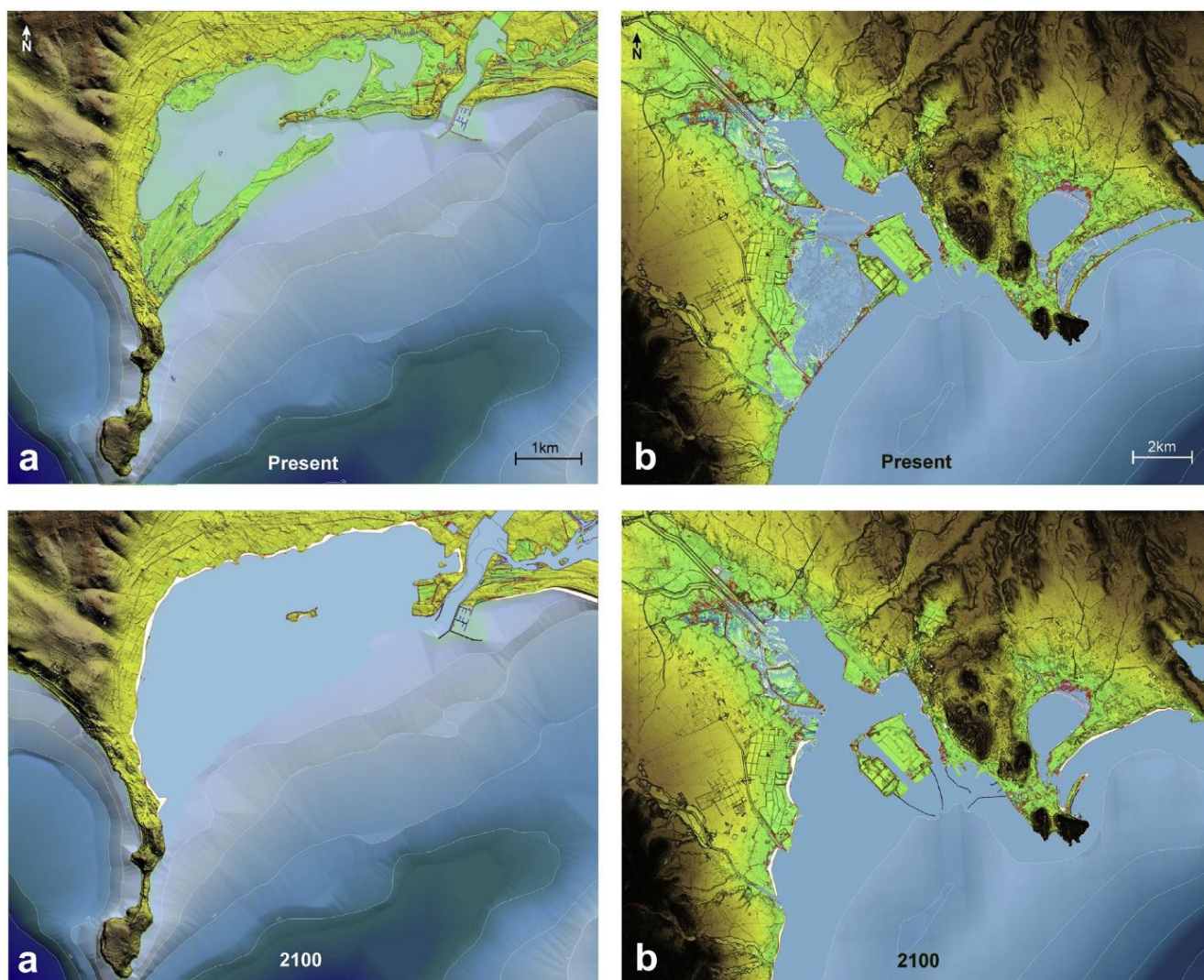


Fig. 3.7. Modifica della linea di costa atteso al 2100 nelle aree di Oristano (a) e Cagliari (b)

Fonte: Antonioli e altri, 2017

Scenari futuri e scenari passati si stratificano selettivamente nella memoria. Cagliari ospita ad esempio, nel promontorio di Calamosca, lo stratotipo del Tirreniano II, che rende visibile una realtà di 300.000 anni fa, con un livello dei mari di circa un metro superiore rispetto al livello attuale. Dalla parte opposta del Golfo degli Angeli, le piccole terme della città romana di Nora si trovano oggi a oltre un metro di profondità. La storia lunga della

presenza antropica lungo queste coste rende leggibili gli interventi di contenimento degli effetti erosivi sulla costa, come mostrano recenti studi sul litorale della laguna di Mistras, nell'Oristanese (Pascucci e altri, 2018). La coevoluzione tra livello del mare, dinamica dei fondali e opere a mare è leggibile in continuità almeno dal periodo Punico, a partire dal quale si può parlare di un ridisegno continuo del fronte mare, attraverso modifiche

alla morfologia della costa realizzate prima con barriere e poi con infrastrutture portuali. L'assetto attuale, e dunque la proiezione per il futuro prossimo, mostrano la fragilità di questo tratto di costa e la sua sensibilità a variazioni anche minime legate ai cambiamenti climatici, in termini di erosione e dunque di progradazione della linea di riva.

L'assetto urbano si è progressivamente proiettato verso il mare, di pari passo con la sicurezza percepita rispetto alle aggressioni da mare, con una giustapposizione del costruito che proprio alla prossimità con il mare ha attribuito il maggiore valore economico. Solo nel recentissimo periodo, la moltiplicazione di eventi climatici estremi, con un pesante tributo di vite umane e danni infrastrutturali, ha evidenziato la vulnerabilità dei sistemi territoriali in esame e ha attirato l'attenzione delle comunità su un tema finora ignorato nella comunicazione istituzionale e nel dibattito pubblico.

Al contempo, il valore simbolico ed economico delle spiagge dell'isola, intrinsecamente fragili in un contesto di costante riduzione degli apporti sabbiosi, giustifica l'attenzione a loro riservata, in un contesto nel quale sono finora mancate strategie complessive di adattamento e mitigazione. L'incrocio fra gli effetti dei cambiamenti climatici e l'azione di altri fattori, quali il moto ondoso, le piogge e i venti, sembra poter dare luogo a risultati non scontati, in particolare con riferimento alla riconfigurazione e alla conseguente capacità di carico dei litorali sabbiosi (Sulis e altri, 2023).

Con riferimento a quello che potrebbe essere un plausibile scenario futuro, non può non evidenziarsi come la trasformazione morfodinamica costiera, del tutto insensibile agli effetti del cambiamento climatico, è stata finora fortemente condizionata dalla realizzazione di opere portuali e di difesa costiera improprie, che hanno prodotto nuove fragilità in contesti complessi, fra tutti la baia di Alghero. La debolezza strutturale degli interventi di difesa appare evidente sia consideran-

do le interferenze con le dinamiche di deposito dei sedimenti sabbiosi dipendenti dal corso dei fiumi (deviati, regimentati o intercettati dalle lagune costiere come a Cagliari, Oristano e Alghero), sia con riferimento agli effetti delle concessioni demaniali costiere.

Nell'isola si è consolidata una tradizione di interventi di ripascimento delle spiagge, a partire dagli anni '90, con i primi interventi a Cala Gonone (Dorgali), e con esiti temporanei ma comunque focalizzati sul valore estetico-ricreativo-economico delle spiagge. L'intervento più noto e controverso per le modalità di approvvigionamento delle sabbie, che ha modificato radicalmente i depositi originari, è quello della spiaggia Poetto di Cagliari, dove compare per la prima volta la motivazione legata all'esigenza di mitigare il rischio di inondazioni marine, in questo caso legate all'enorme asporto di sabbie del litorale per la ricostruzione post-bellica della città e alla sterilizzazione di nuovi apporti di sedimenti in ragione della cementificazione costiera. Sempre per motivazioni di riduzione del rischio, nell'ambito del Programma di Azione Coste dell'Assessorato dell'Ambiente, dal 2013 sono stati condotti vari interventi su falesie indebolite dall'erosione. Nelle aree sabbiose la protezione della fascia dunale è al centro della maggior parte degli interventi di mitigazione, raramente con una logica di integrazione tra le varie dinamiche che definiscono l'accumulo dei sedimenti. Da parte di alcuni si contesta l'approccio riduzionista al tema della tutela delle coste sabbiose, quasi esclusivamente attraverso le opere di cattura e consolidamento della sabbia nei sistemi dunari. Ancora una volta appaiono sottostimate le interazioni complesse tra spiaggia emersa e sommersa, morfodinamiche naturali e pratiche artificiali, quali il deflusso solido dai numerosi laghi artificiali, che condiziona il volume dei sedimenti (Tilocca, 2019). In un contesto nazionale nel quale l'approccio all'adattamento climatico è ancora caratterizzato da un'elevata eterogeneità delle modalità di declinazio-

ne regionale, la Sardegna, che pure ha investito significativamente in un Piano di Adattamento ai cambiamenti climatici e in una Strategia regionale per lo sviluppo sostenibile, sul tema delle fragilità idrogeologiche diffuse, affrontato con una produzione scientifica molto settoriale e dunque non strategica, ha privilegiato interventi a posteriori e molto puntuali, non in grado di generare un percorso virtuoso di pianificazione di lungo periodo, capace di cogliere l'importanza delle trasformazioni indotte dai processi in atto (Tilocca, 2019; Corsale e altri, 2020). Ciò emerge, anche con drammaticità, se si considerano gli interventi idraulici di mitigazione, derivati da approcci puntuali all'insorgere degli effetti di scelte infrastrutturali drammaticamente negative di fronte agli eventi estremi in precedenza richiamati. In ragione di opportunismi politici con diversa motivazione, non trovano ad oggi soluzione casi estremi quali quello della piana costiera di Olbia o del tratto terminale del fiume Temo nella cittadina costiera di Bosa. Nel momento in cui gli scenari per i prossimi decenni impongono di individuare una serie di possibili alternative future sul destino degli ecosistemi e delle attività antropiche con alta probabilità di scomparsa, nel contesto regionale si pone la necessità di ripensare gli strumenti di pianificazione, quali Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico della Regione Autonoma della Sardegna del 2015, con una profonda riconsiderazione delle aree alluvionabili e inondabili dal mare, per ora affrontata solo nelle indicazioni di indirizzo politico del governo regionale.

3.3. Funzioni e caratteristiche dei territori a rischio

In questo paragrafo si riportano alcuni dati che consentono di comprendere quali funzioni svolgono i territori costieri italiani identificati a rischio nei paragrafi precedenti, sulla base delle tipologie della loro attuale copertura del suolo. I dati di copertura del suolo sono di fonte Copernicus (Agenzia euro-

pea dell'ambiente, *Corine Land Cover*, 2018).

Nella tabella 3.1, nell'ultima colonna, compare il rapporto tra le zone a rischio inondazione per copertura rispetto al totale della superficie di tali coperture di suolo sull'intero territorio nazionale. Particolarmente a rischio sono, da questo punto di vista, le tipologie e funzioni la cui frequenza è inevitabilmente maggiore nelle aree costiere basse, a cominciare dalle saline – che risultano quasi interamente a rischio – come anche le paludi e le lagune costiere, la cui superficie rischia di essere più che dimezzata, con conseguenze molto gravi per via delle importanti funzioni ecologiche svolte da queste aree. Sono poi inevitabilmente coinvolte anche quasi la metà delle strutture portuali italiane.

Più peculiare è l'elevato rischio che si riscontra in aree che ospitano attività non necessariamente costiere, quali quelle ricreative, sportive e soprattutto gli aeroporti: più del 10% delle aree attualmente occupate da infrastrutture aeroportuali risultano a rischio. Elevato anche l'impatto potenziale sulle aree agricole coltivate a seminativi, sia in termini percentuali – l'Italia rischia di perdere circa il 12% di queste aree – che in termini assoluti: quasi un milione di ettari, la copertura del suolo a rischio di gran lunga più ampia. Preoccupante anche l'impatto sulle superfici attualmente destinate a risaie. Si aggiunga che le aree agricole costiere, e le risaie in primo luogo, subiscono un impatto relevantissimo anche per via della salinizzazione del suolo. A tale problematica è dedicato l'ultimo paragrafo del capitolo.

Sempre nella tabella 3.1, nella seconda colonna, compaiono le tipologie di copertura del suolo le cui aree a rischio inondazione risultano complessivamente più estese. In primo luogo, come detto, si tratta delle aree attualmente destinate a seminativi, alle quali si aggiungono ingenti perdite di superfici agricole anche per altre tipologie colturali, per un totale di più di un milione di ettari: il 7% degli attuali suoli agricoli italiani tra i quali, oltre alle risaie, spiccano i vigneti e i frutteti.

Tab. 3.1. Tipologie di suolo a maggior rischio inondazione, scenario IPCC RCP 4.5, 50° percentile, al 2100

	<i>Area a rischio inondazione (ettari)</i>	<i>Percentuale sul totale nazionale</i>
Seminativi	956.079	11,9%
Colture temporanee o miste	117.618	2,6%
Lagune costiere	55.787	56,0%
Zone residenziali a tessuto discontinuo	46.959	4,5%
Paludi	40.358	69,2%
Risaie	34.987	11,9%
Vigneti e frutteti	21.481	2,2%
Aree industriali, commerciali e dei servizi	18.468	6,0%
Saline	9.032	97,7%
Boschi	8.210	0,1%
Zone con vegetazione arbustiva o erbacea	7.600	0,3%

Fonte: elaborazioni su dati Vousdoukas e altri, 2018, e EEA, 2018

Per quel che riguarda i suoli artificiali, particolarmente preoccupanti sono gli scenari che investono le aree urbanizzate e residenziali più frammentate e prevalentemente a bassa densità. Minore è invece il rischio – anche in termini percentuali – per le aree urbane più compatte e dense. Complessivamente a rischio risultano quasi 50.000 ettari di aree residenziali, il 4% del totale nazionale, oltre a 18.000 ettari

di aree produttive. Il caso dei litorali urbanizzati sarà ulteriormente approfondito nel prossimo capitolo.

Nella tabella 3.2 si riportano le proiezioni per tutte le tipologie di suolo destinate a insediamenti o infrastrutture, particolarmente rilevanti in termini di impatto, valore, vulnerabilità, nonché ai fini della necessaria predisposizione di adeguate strategie di adattamento.

Tab. 3.2. Insediamenti e infrastrutture a rischio inondazione, scenario IPCC RCP 4.5, 50° percentile, al 2100

	<i>Area a rischio inondazione (ettari)</i>	<i>Percentuale sul totale nazionale</i>
Zone residenziali a tessuto continuo	1.097	0,7%
Zone residenziali a tessuto discontinuo	46.959	4,5%
Aree industriali, commerciali e dei servizi	18.468	6,0%
Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture	1.280	6,6%
Aree portuali	5.324	49,8%
Aeroporti	3.034	13,3%
Aree verdi urbane	759	6,7%
Aree ricreative e sportive	4.915	15,4%

Fonte: elaborazioni su dati Vousdoukas e altri, 2018, e EEA, 2018

3.4. Salinizzazione del suolo e impatto sull'agricoltura

La salinizzazione delle risorse idriche è un fattore cruciale di degrado del suolo, in particolare nelle regioni aride e semi-aride. A lungo termine il fenomeno, se non adeguatamente gestito, può compromettere anche in Italia porzioni ampie di territorio. La salinizzazione impoverisce il suolo dei nutrienti fondamentali ed è una componente significativa dei processi di desertificazione. Essa diminuisce la qualità dell'acqua e la fornitura complessiva adatta al settore alimentare, portando potenzialmente al collasso dei sistemi agricoli. Molte fonti d'acqua sono diventate in questo modo inadatte al consumo umano o agli scopi agricoli, determinando da un lato un'ampia gamma di rischi per la salute, dall'altro una possibile riduzione della produzione di cibo. La salinizzazione rappresenta quindi un rischio significativo per la sicurezza alimentare, ancor più in un contesto globale di crescita demografica.

La salinizzazione non è un evento nuovo, ha infatti già contribuito in passato alla crisi di aree agricole, come nel caso dell'antica Mesopotamia e della valle del Tigri e dell'Eufrate (Gelburd e altri, 1985). Essa è anche il risultato di processi antropici più recenti, quali gli eccessivi prelievi idrici e l'uso massiccio di fertilizzanti chimici. La crisi climatica in corso può accelerare notevolmente la salinizzazione del suolo. Preoccupanti sono in particolare il prolungamento dei periodi di siccità e l'innalzamento dei mari che, unitamente ai cambiamenti dei regimi delle precipitazioni, provocano inondazioni, facilitano l'intrusione di acqua di mare nelle falde acquifere e nelle aree degli estuari, aumentano il rischio di inondazioni costiere con conseguente deposizione di sale, aggravano l'erosione costiera incidendo sul trasporto del sale e alterano i modelli idrologici che influenzano l'equilibrio tra acqua salata e acqua dolce.

In questo contesto, la creazione di una cartografia dettagliata della salinità del suolo si rivela uno strumento fondamentale per comprendere l'entità e la distribuzione del problema, fornendo informazioni indispensabili per lo sviluppo di strategie di adattamento e mitigazione mirate per la sicurezza alimentare, la protezione degli ecosistemi vulnerabili e la sostenibilità delle pratiche agricole in scenari di crescente salinità. L'estensione odierna del terreno salinizzato è tuttavia difficile da individuare con precisione, seppur ci siano studi che valutano in circa un miliardo gli ettari l'area globalmente interessata dal fenomeno, in più di 100 paesi (Ivushkin e altri, 2019). Circa il 10% delle terre coltivabili globali (Shahid e altri, 2018) e il 20% dei suoli irrigati (Ghassemi e altri, 1995) sono colpiti dalla salinizzazione. Tuttavia, le stime variano ampiamente tra i diversi paesi, con punte fino al 50% dei terreni irrigati (Metternicht e Zinck, 2003).

Nella figura 3.8 si riporta la situazione attuale in Italia, ottenuta tramite un modello che utilizza una serie di indicatori di salinità del suolo e si basa sull'algoritmo *LightGBM*, noto per la sua efficacia in questo ambito. L'analisi si basa su tecniche di *machine learning*, che consente di gestire e considerare grandi quantità di dati ambientali e geospaziali, per offrire una comprensione più dettagliata e accurata delle dinamiche del fenomeno. Il metodo è fondamentale per prevedere con precisione la distribuzione spaziale della salinità in diverse regioni e condizioni ambientali, anche in assenza di osservazioni dirette.

Si può facilmente constatare che molte delle zone che già oggi registrano un elevato grado di salinizzazione, corrispondano alle zone più esposte agli effetti dell'innalzamento del livello del mare identificate nel capitolo precedente.

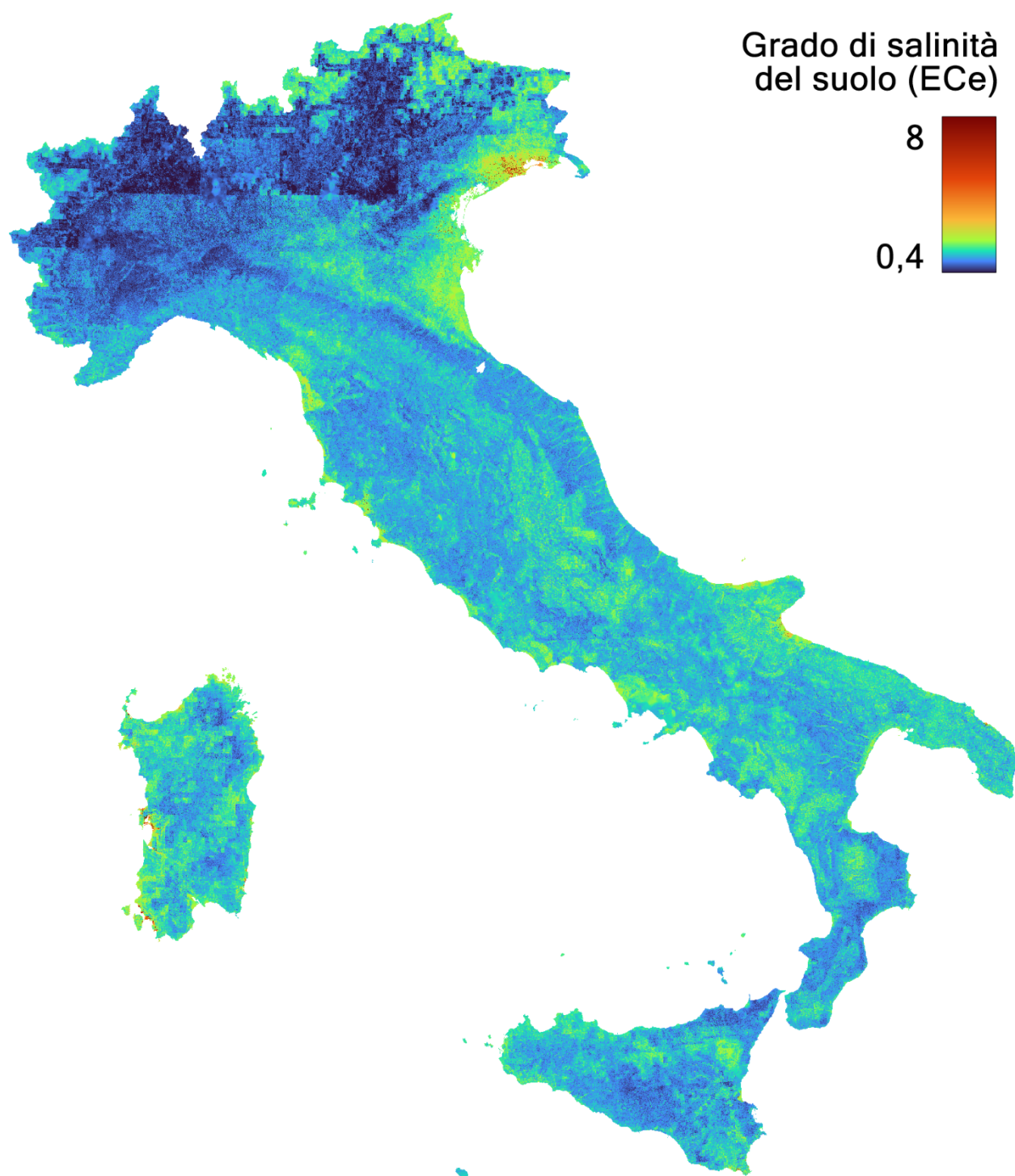


Fig. 3.8. Carta della salinità del suolo in Italia

Fonte: elaborazione propria, 2023

Le variabili che sono state identificate come determinanti nel modellare la salinità del suolo e che quindi hanno un impatto significativo sull'efficacia del modello, comprendono la profondità dell'osservazione, l'esposizione rispetto all'azimut, la presenza di periodi di siccità antecedenti l'osservazione, la composizione del suolo e la prossimità al mare (Hassani e altri, 2021). La natura e numerosità delle variabili che più influenzano il grafo di salinità riflettono la complessità e la multidimensionalità del fenomeno. In particolare, la profondità dell'osservazione e la composizione del suolo forniscono indicazioni dirette sulla potenziale accumulazione di sali, mentre l'esposizione e la distanza dal mare influenzano indirettamente la salinità attraverso processi come l'evaporazione e il trasporto di sali. Il problema è anche l'identificazione e la sperimentazione di strategie di mitigazione e adattamento alla salinizzazione. Tali strategie comprendono la gestione sostenibile del territorio, la realizzazione di barriere per frenare l'intrusione di acqua salata e l'introduzione di colture tolleranti al sale nelle zone colpite. Le strategie di mitigazione mirano a spostare i sali solubili a profondità inferiori attraverso lisciviazione, sistemi di drenaggio naturali o artificiali, o rimuovendo il sale attraverso mezzi meccanici e/o biologici. Inoltre, piante alofite con proprietà desalinizzanti sono state utilizzate con successo per la bonifica del suolo. Accanto alle tecniche di mitigazione salina, esiste un campo crescente di conoscenze e pratiche di adattamento che riconosce nella cosiddetta agricoltura salina – la sostituzione con colture che possono sopportare quantità relativamente elevate di sali accumulati nelle zone radicali – una pratica molto promettente.

Al fine di mitigare la salinizzazione e la carenza di acqua dolce dovute ai cambiamenti climatici e alle pressioni antropiche per soddisfare la crescente domanda alimentare, saranno necessari nei prossimi anni cambiamenti radicali a partire, in questa fase iniziale, da iniziative sperimentali e di

nicchia. Uno dei primi esempi risale al 1954, quando fu lanciato il laboratorio statunitense Salinity. La quantità di iniziative che esplorano l'agricoltura salina è aumentata esponenzialmente negli ultimi due decenni, come evidenziato da esempi come l'International Centre for Biosaline Agriculture, fondato nel 2000 negli Emirati Arabi Uniti. Iniziative comparabili, seppur di dimensioni e portata minori, si possono trovare in varie parti del mondo, tra cui il Mediterraneo.

La transizione richiede inoltre innovazioni di sistema che trascendono i singoli attori e costruiscono relazioni tra soggetti privati e pubblici. La salinizzazione è infatti una problematica complessa, che si posiziona in un panorama istituzionale frammentato, dove sono coinvolti numerosi attori privati, pubblici e ibridi. Nessun percorso o soluzione semplice può risolvere i problemi causati dalla salinità, rendendo la problematica ancora più intricata. In tale contesto, è necessario adottare un approccio sistematico, strutturato e interdisciplinare.

3.b. Dinamiche costiere in prospettiva storica: il Golfo di Taranto e la Piana di Sibari

I diversi paesaggi di quella parte di Costa Ionica che forma il Golfo di Taranto, compreso tra Punta Meliso in Provincia di Lecce e Punta Alice in Provincia di Crotone, hanno origini comuni nelle dinamiche naturali e climatiche come negli impatti antropici che da sempre caratterizzano questo come altri territori costieri.

La tettonica attiva e la complessa geomorfologia dell'Appennino Meridionale e dell'Arco Calabro-Peloritano, insieme alle crisi climatiche passate, sono all'origine dei paesaggi attuali, costituiti da depositi alluvionali e terrazzati, da sempre soggetti a processi contrapposti di erosione e progredizione della linea di costa, sebbene su cicli temporali molto lunghi. La dichiarata «Baia Storica»,

infatti, si è formata in seguito alla chiusura di un gigantesco canale che presenta al centro una depressione, detta Valle di Taranto, che arriva a circa 1.500 metri di profondità.

Nel Golfo converge il moto ondoso formatosi dai venti spiranti dal suo quadrante NE, che causa sulla costa una forte erosione (figura 3.9), mentre la linearità dell'arco costiero ostacola sotto costa l'apporto di sedimenti dei corsi d'acqua, disperdendoli in due correnti a direzioni opposte. Lo stesso ripascimento naturale da parte delle fiumare è complicato ulteriormente dall'instabilità idrogeologica della zona retrostante l'arenile, che porta a progradazioni per sovralluvionamento, e dallo sbarramento o prelievo di sedimenti, causa altresì di arretramenti della linea di costa (Cocco e altri, 1978; Gentile e altri, 1994).

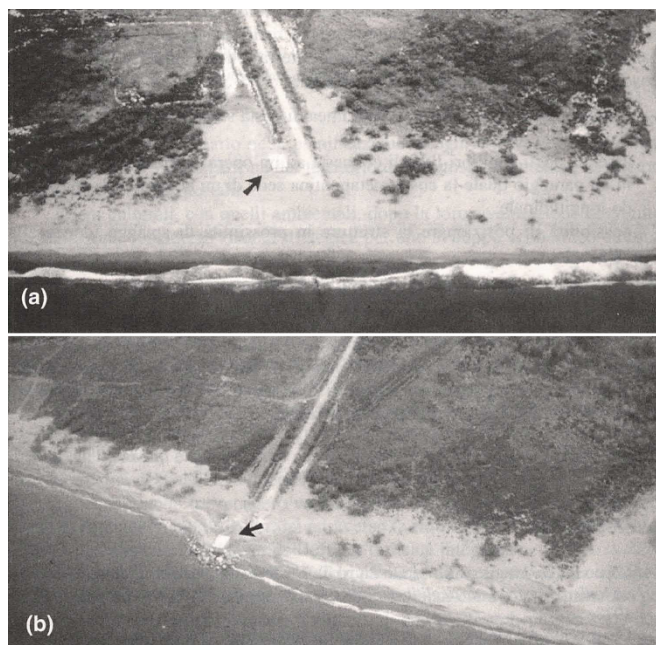


Fig. 3.9. Erosione costiera alla Foce del Sinni. Arretramento della linea di costa di 30 metri dal 1974 (a) al 1977 (b), si evince dalla presenza del manufatto. Fonte: Guerricchio e Ronconi, 1997

A tale instabilità contribuiscono anche le oscillazioni del livello del mare imputabili, come anche il sovralluvionamento, alle crisi climatiche che hanno interessato i territori costieri dell'intero Golfo a intervalli di circa 500 anni. Uno dei primi effetti, rilevato circa 15.000 anni fa, è la regressione marina di fine Tirreniano la quale, provocando l'abbassamento del livello del mare di circa 100-120 metri sotto l'attuale, determina un'erosione retrogressiva nei bacini idrografici dell'intero versante ionico, con notevole apporto di sedimenti a fondo valle da parte dei corsi d'acqua. Nella successiva fase di ingressione marina, i sedimenti fluviali vanno a colmare le paleovalle incise in precedenza, formando le attuali pianure costiere nonché interessanti paesaggi sommersi (Guerricchio e Melidoro, 1986).

La Piana di Sibari diventa così testimone, nel Golfo di Taranto, di importanti esempi di paesaggi sommersi, fin dalla fondazione dell'antica Sybaris, nonché espressione dei processi di sovralluvionamento e subsidenza.

La pianura deltizia dei fiumi Crati e Coscile, anticamente Sibari, si forma nell'Olocene a nord del litorale ionico-calabrese, quando l'insenatura cuspidata viene ricoperta da aree lagunari-palustri e l'anfiteatro pedemontano dell'arco calabro risulta interessato dalla formazione di conoidi, prodotte da più foci fluviali e successivamente terrazzate (Turco e altri, 1992). La Piana è bordata da differenti sistemi di faglie di rilevanza regionale, in parte ancora attive (Cherubini e altri, 1994; Guerricchio e altri, 1996). La natura alluvionale e la subsidenza, oggi con tassi ridotti e cause da imputare più alla compattazione del sedimento per emungimenti in falda che alla tettonica, sono stati i processi evolutivi dei paesaggi costieri dal Neolitico ad oggi. Tali processi, insieme all'instabilità dell'idrografia superficiale e alla massima risalita eustatica postglaciale del livello marino,

hanno portato la linea di riva prossima all'attuale altimetria dei 25 metri sul livello del mare (Guerricchio e Ronconi, 1996).

Tettonica e idrografia hanno condotto rispettivamente nella Piana alla formazione di superfici terrazzate alte e, nei rilievi, di terrazzi di ordine inferiore a 15-65 metri sul livello del mare, nelle conoidi di deiezione a valle. Uno di questi terrazzi diventa, nel Neolitico inferiore, sede del primo insediamento: il villaggio di Favella della Corte, mentre la linea di riva bordava tale ter-

razzo con un livello del mare 20 metri più basso dell'attuale (Pagliarulo, 2006). L'insediamento sorgeva a destra del Fiume Crati, il cui apporto di sedimenti determinava la progradazione della linea di costa sfociando in mare a circa 5-6 km più ad ovest della recente linea di riva e 2 km più a sud dell'attuale corso. Più a nord il Fiume Coscile formava un'area lagunare-palustre simile a un lago costiero poiché non in grado, per apporto solido, di colmare come il Crati l'inse-natura (figura 3.10).

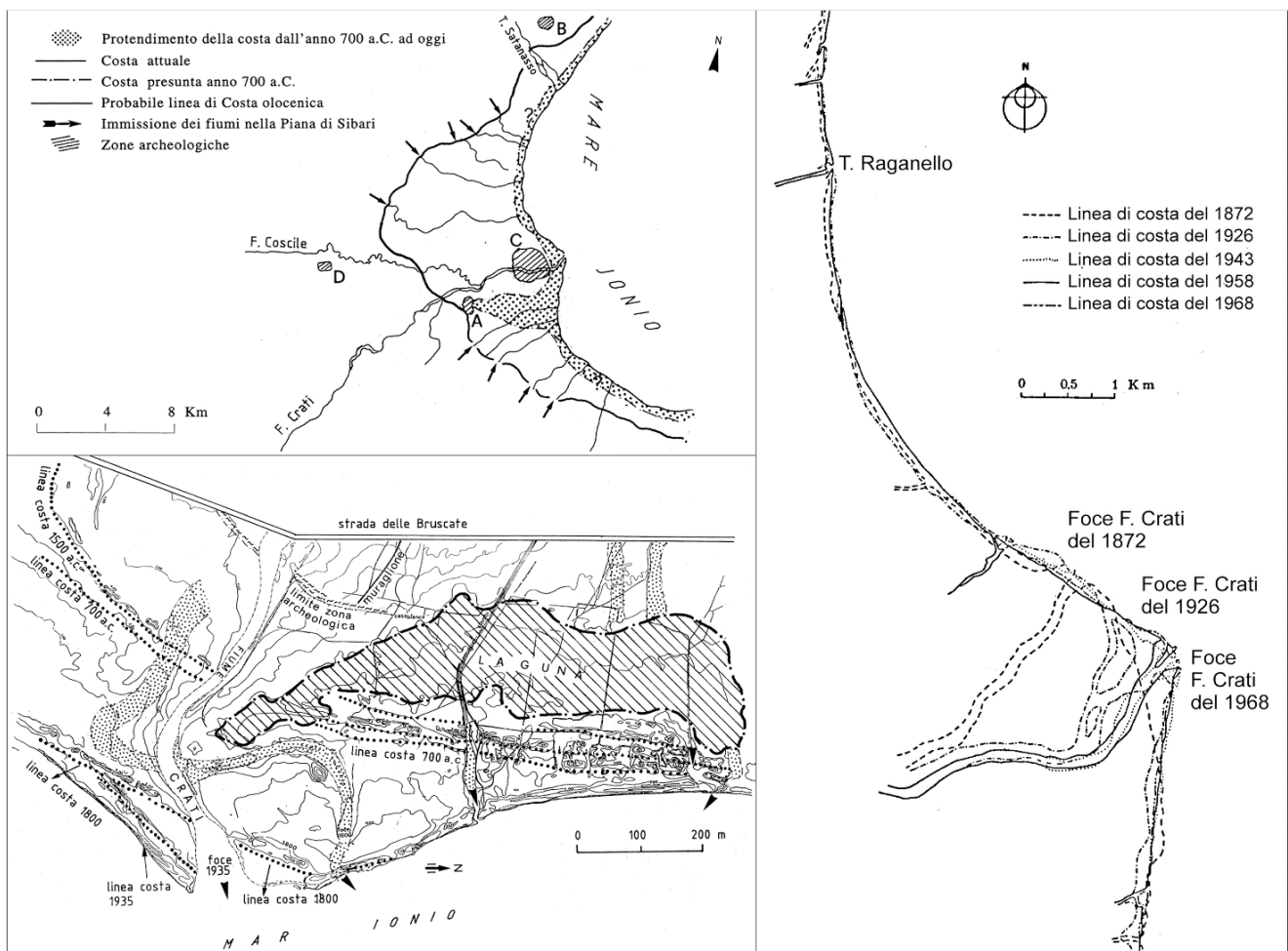


Fig. 3.10. Piana di Sibari e foce del Crati, andamento della linea di costa

In alto a sinistra: dal Neolitico ad oggi (dedotta dalla localizzazione degli insediamenti preistorici A, B, C, D); in basso a sinistra: dall'età del Bronzo al 1935 (con i tratti terminali dei paleo-alvei, le «ali» dei cordoni dunari delle vecchie foci, e l'antica laguna); a destra: a inizio e fine delle operazioni di bonifica. Fonte: Guerricchio e Ronconi, 1997

Tali sedimenti oggi sono a oltre 30 metri di profondità rispetto al piano di campagna, ma già in età arcaica il paesaggio neolitico alla base dei terrazzi era stato sommerso da metri di sedimenti, quando il livello del mare era a meno 2-3 metri rispetto all'attuale. La scarpata del terrazzo era quindi più bassa quando, al margine del paesaggio lagunare, si formava il cordone dunale su cui sorgerà la città di Sybaris, protetta dall'instabilità idraulica della Piana dalle prime opere idrauliche. Il Crati, infatti, continuava ad avanzare rispetto alla linea di costa, spostando il delta verso nord, alimentando tramite canali secondari l'area lagunare topograficamente più depressa e ancora oggi soggetta ad allagamenti durante i suoi periodi di piena. Testimonianza di ciò sono i suoi paleoalvei visibili da foto-interpretazione (Guerricchio e Ronconi, 1997).

Il controllo dell'idrografia richiede da sempre azioni e attenzioni costanti, cosa non facile all'epoca a causa dei conflitti con Crotone. Era un periodo a clima fresco e umido, definito Piccola età glaciale arcaica, caratterizzato da eventi alluvionali che ebbero ripercussioni inevitabili sul controllo dell'instabilità idrografica dell'area (Ortolani e Pagliuca, 2007). Si narra che fu la probabile rottura, da parte dei Crotonesi, di uno «sbarramento» del Crati a monte della città a seppellire Sybaris e il paesaggio arcaico fino a 8 metri sotto l'attuale piano di campagna. Tale sbarramento, infatti, era stato realizzato con la funzione di protezione dalle piene mediante il riempimento della valle con blocchi di roccia nel sito dell'attuale diga di Tarsia (Cotecchia e altri, 1994).

Nel contesto climatico sfavorevole della Piccola età glaciale arcaica solo un intervento organizzato come quello ateniese permise la fondazione di Thurii, in parziale sovrapposizione con la distrutta Sybaris. Con il seguire del Periodo caldo-romano, gran parte del paesaggio greco-romano vive un miglioramento climatico che determina la riduzione degli eventi alluvionali e della progradazione

della linea di costa. Tale sicurezza idraulica porta la popolazione del centro abitato, conquistato dai romani e rinominato Copia, a spostarsi in ville e fattorie sparse nella Piana.

Il peggioramento climatico della successiva Piccola età glaciale altomedievale conduce però a una nuova fase alluvionale. Copia e il mondo romano entrano in crisi e la popolazione si sposta sulle zone collinari abbandonandola definitivamente. Con lo spopolamento vennero meno risorse umane ed economiche necessarie al controllo dei corsi d'acqua, proprio quando una maggiore cura del territorio sarebbe stata indispensabile. Nonostante il successivo Periodo caldo medievale, nella Piana non sorse alcun insediamento urbano e le uniche ad essere riprese furono le attività agricole (Tinè e altri, 2003). Gli eventi alluvionali e una significativa subsidenza trasformarono il paesaggio greco-romano in una palude malsana, colmando di sedimenti quella laguna divenuta importante porto fluviale. Il piano archeologico romano e tardo romano, infatti, oggi soggiace sepolto sotto depositi sabbioso-limosi di spessore mediamente non inferiore ai 4 metri rispetto all'attuale livello del mare.

La geomorfologia e l'idrografia della Piana, quindi, ci dicono che la scomparsa dell'antica Sybaris, sorta al centro della vasta e fertilissima pianura tra i fiumi Crati e Coscile, a quell'epoca con foci distinte, è dovuta a una sinergia di processi che continuano a caratterizzare la storia della costa ionica calabrese quali: sovralluvionamento, in occasione di violenti piene da parte dei corsi d'acqua; movimenti tettonici e subsidenza anche indotta; variazioni climatiche e della linea di costa. Il popolamento della Piana di Sibari ha quindi seguito l'evoluzione geomorfologico-climatica dell'area, con i neandertaliani nel bacino mediano del Coscile e l'*Homo sapiens sapiens* sui terrazzi quaternari che bordano i territori in cui si stabilirono le popolazioni neolitiche e, in tempi storici successivi,

i Sibariti. Fa eccezione il periodo tra l'alto medioevo e l'arrivo dei Normanni (1017 circa) quando la Piana fu definitivamente abbandonata, non rilevandosi tracce di insediamenti, a causa soprattutto delle condizioni ambientali malsane e dell'incapacità di gestirle.

Le foci dei due fiumi, infatti, confluirono e si separarono più volte a conferma dell'instabilità idrografica che ha continuato ad affliggere la Piana per lungo tempo. Una pianura alluvionale dagli spartiacque indecisi, infatti, è visibile nel paesaggio del Rinascimento, i cui tratti si leggono sulla cartografia storica. Nell'Atlantino idrografico del Regno di Napoli di Stigliola e Cartaro (1610) come nell'Atlante geografico d'Italia di Magini (1620), infatti, i fiumi Coscile e Crati scorrono tra paludi e laghi costieri con foci separate e circondati dal gran bosco di Cassano. La situazione attuale a foce unica dei due fiumi, riportati ancora separati nell'Atlante Rizzi Zannoni del 1769, è rappresentata pochi anni dopo nella carta redatta dal regio ingegnere don Giuseppe Astarita, con una confluenza a pochi chilometri dalla riva.

Un paesaggio lacustre in contrada Casabianca, nel XVII secolo, è formato da tre piccoli laghi, due dei quali andranno a formare il laghetto di Abottatura (Lanza, 1884), oggi trasformato nel villaggio e porto turistico «Laghi di Sibari». L'instabilità della pianura e del delta del Crati continua con un protendimento di circa 500 metri verso il mare e 1.300 metri verso nord ovest, che prosegue anche oggi verso sud a causa dell'azione delle correnti marine e dei venti dominanti da nord est.

Le operazioni di bonifica idraulica hanno mitigato l'instabilità idrografica dell'intero Golfo e gli effetti si vedono nell'andamento della linea di costa dal loro inizio al loro completamento negli anni sessanta (figura 3.6). L'arginatura dei fiumi Crati e Coscile, iniziata nel 1882 e terminata nel 1930, è l'opera di sistemazione idraulica che ha consentito la ripresa dell'agricoltura. È necessaria la riforma

agraria, tuttavia, per avviare le pratiche agricole nella Piana di Sibari come in quella di Metaponto. Prima di essa, infatti, i paesaggi sono descritti, da Lenormant (2022/1879), come un'immensa distesa di terre «che non si falciano mai e sono deserte», regno del latifondo e della malaria, «poz-zanghere d'acqua morta [...] bassure paludose».

Le dinamiche che hanno fatto la storia dei paesaggi sommersi della pianura più fertile della Calabria, tuttavia, continuano anche oggi ad interessare con fenomeni di subsidenza e sovralluvionamento l'area archeologica della Sibaritide e con fenomeni di sollevamento l'anfiteatro montuoso che la circonda.

L'erosione costiera e l'innalzamento del livello del mare, comune a molti territori costieri, rimangono altresì i maggiori responsabili del disegno della linea di costa in tutto il Golfo di Taranto. Le cause di tale dinamismo sono naturali ma anche antropiche, come il prelievo incontrollato delle acque di falda che aumenta il tasso di subsidenza, o la costruzione di sbarramenti che, seppur necessari a laminare le piene, sottraggono notevoli quantità di sedimenti utili al ripascimento dell'arenile e al contrasto dell'erosione costiera.

I territori costieri, in conclusione, sono luogo di co-presenza storica di rischi e impatti dovuti ai vari «tipi di modernità», ma quello che emerge di rilevante è come sistemi ambientali complessi e dinamici, ma anche strategici, diventino risorsa solo in epoche di stabilità politica ed economica, cioè quando si rendono possibili azioni di controllo del territorio e dei suoi insediamenti. La storia della Sibaritide insegna come i territori costieri possono essere punti di forza per lo sviluppo, come hanno saputo fare gli ateniesi con il controllo della Piana, o diventare punti di debolezza, come accaduto nel periodo tardoantico per incapacità di gestire le criticità ambientali.

La natura idrodinamica del Golfo di Taranto e le variazioni della linea di costa, la tettonica attiva e i cambiamenti climatici continuano a fare la storia delle popolazioni e dei paesaggi mostrando come

ambiente e popolamento siano stati e siano ancora strettamente correlati. Mare, spiaggia e pianure costiere sono punti di forza e attrattori di tale popolamento proprio in quanto risorse ambientali, pertanto classificate nel tempo tra le zone a maggior conflitto per funzioni strategiche come per uso del suolo nei diversi periodi.

Nel Golfo, come in gran parte del Mediterraneo, tali scenari rivelano l'importanza di una maggiore attenzione nei confronti dei territori costieri e di una più approfondita conoscenza delle loro dinamiche sistemiche, al fine di ripensare gli aspetti paesaggistici, ma anche socio-economici e ambientali, come si è voluto sottolineare in tutto il Rapporto.