



Valutazione dei Rischi Climatici e della Vulnerabilità del Sistema AQP

Convenzione Operativa n° 2 Report finale dell'attività CG01.52.2.3

POZZI – Analisi della variazione della linea di costa
per effetto del sea level rise e implicazioni sul pericolo
di salinizzazione degli acquiferi

Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui
Cambiamenti Climatici
Acquedotto Pugliese S.p.A.



Autori

Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Giuliana Barbato Paola Mercogliano Davide Morale Roberta Padulano
---	--

Acquedotto Pugliese S.p.A.	Gianluigi Fiori Vincenzo Patruno Davide Ritossa Luciano Venditti Gerardo Ventafridda
----------------------------	--

In copertina: Le Sorgenti AQP (Fonte: <https://www.aqp.it/scopri-acquedotto/gli-impianti/sorgenti>)

Sommario

Premessa	4
1. Inquadramento territoriale	4
2. Nota metodologica	9
2.1 Il dataset C3S	9
2.2 Il Digital Elevation Model	11
2.3 Il modello bathtub	12
2.4 Interazione tra il Digital Elevation Model e il dataset di Sea Level Rise	14
2.5 Restituzione dei risultati	15
2.5 Criticità e opportunità nell'utilizzo del dataset nella Convenzione	17
3. Risultati: arretramento della linea di costa	18
3.1 Macro-area di Taranto	19
3.2 Macro-area di Taranto-Lecce	21
3.3 Macro-area di Lecce	22
3.4 Macro-area di Lecce-Brindisi	23
3.5 Macro-area di Brindisi-Bari	25
3.6 Macro-area di Bari-Barletta	27
3.6 Macro-area di Barletta- Foggia	28
3.6 Macro-area di Foggia	30
4. Risultati: impatto su pozzi e corpi idrici	31
5. Discussione	34
6. Conclusioni e messaggi chiave	35
Appendice I	37
Appendice II	43
Appendice III: Impianti di dissalazione	49
Appendice IV: Aree critiche	51
Appendice V: Isole Tremiti	54
Bibliografia	55

Premessa

Il presente Report è riferito all'attività CG01.52.2.3: Analisi della risalita della linea di costa (target "Pozzi – qualità"). L'attività consiste nell'analisi dell'innalzamento del livello del mare – con conseguente arretramento della linea di costa – per effetto del cambiamento climatico. Lo scopo è quello di valutare, seppure in modo estremamente qualitativo, i potenziali pericoli in termini di aumento del grado di salinità degli acquiferi di interesse per il Servizio Idrico Integrato di Acquedotto Pugliese S.p.A. (AQP). L'assunzione di base, ovviamente semplicistica, è che un avvicinamento futuro della linea di costa all'acquifero, rispetto alle condizioni attuali, possa rendere tale acquifero più vulnerabile al pericolo di intrusione salina. Le semplificazioni e le limitazioni connesse a tale ragionamento sono significative (ad esempio, le analisi prescindono dalle caratteristiche geo-litologiche dei suoli e idrogeologiche degli acquiferi), e saranno illustrate nel capitolo di discussione.

Per l'analisi è stata utilizzata la variabile "Mean Sea Level" (MLS), che fa parte del dataset "Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections" distribuito dalla piattaforma Copernicus Climate Change Service (C3S)¹. Come precisato più avanti nel testo, il dataset prende in considerazione specifiche combinazioni di orizzonti temporali e scenari di concentrazione, e, potenzialmente, fornisce tutte le componenti del Total Water Level (TWL), incluso l'innalzamento del livello del mare, ma anche l'effetto delle mareggiate e delle maree. Il dataset in oggetto, nella sua forma grezza, non è però "pronto" per essere utilizzato per valutazioni di impatto del cambiamento climatico, ma ha bisogno di un intenso post-processing, che è appunto il cuore del presente documento. In definitiva, i dati scaricati dalla piattaforma C3S non sono stati, in questa attività, semplicemente consultati, bensì sono stati utilizzati per produrre nuova conoscenza e risultati originali.

1. Inquadramento territoriale

Per il target "pozzi", Acquedotto Pugliese S.p.A. (nel seguito AQP) ha fornito un file vettoriale, in formato shape, che riporta l'ubicazione e alcune informazioni relative ai pozzi utilizzati per l'approvvigionamento, nonché agli acquiferi di riferimento.

Per quanto concerne i pozzi, si evince dalle informazioni trasmesse che in tutta la regione Puglia vi sono un totale di 294 pozzi gestiti da vari enti che risultano così ripartiti:

- 95 di proprietà di AQP di cui 87 in uso, 6 destinati ad un uso emergenziale e 2 dismessi;
- 78 di proprietà privata di cui 36 in uso, 34 pozzi in precedenza di proprietà di AQP, 2 risultano dismessi, 3 vengono utilizzati per scopi irrigui e 3 per uso emergenziale
- 61 appartengono alla regione Puglia di cui 36 utilizzati per scopi irrigui, 24 destinati ad un uso emergenziale e solamente un pozzo in uso;
- 32 appartenenti al Consorzio di Bonifica Terre d'Apulia (CBTA) di cui 15 in uso per acquedotti rurali, 9 destinati ad uso emergenziale, 7 risultano in uso e un pozzo risulta dismesso;
- 17 appartenenti al Consorzio di Bonifica Umbra (CBU) di cui 14 in uso e 3 destinati ad un uso emergenziale;
- 7 di proprietà del Consorzio speciale per la bonifica di Arneo di cui 4 risultano in uso e 3 destinati ad usi emergenziali;

¹ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-water-level-change-indicators?tab=overview>

- 1 di proprietà del comune di Torricella destinato ad un uso emergenziale e 1 del comune di Poggiorini che risulta in uso;
- Per i pozzi di Lecce 4 e Lecce 5 non si hanno informazioni riguardanti la proprietà.

Di questi 294 pozzi, 41 si trovano nella provincia di Taranto, 140 nella provincia di Lecce, 18 nella provincia di Brindisi, 66 nella provincia di Bari, 18 nella provincia di Barletta-Andria-Trani e 9 nella provincia di Foggia. Si riporta in Figura 1 la distribuzione spaziale dei pozzi nella regione Puglia.

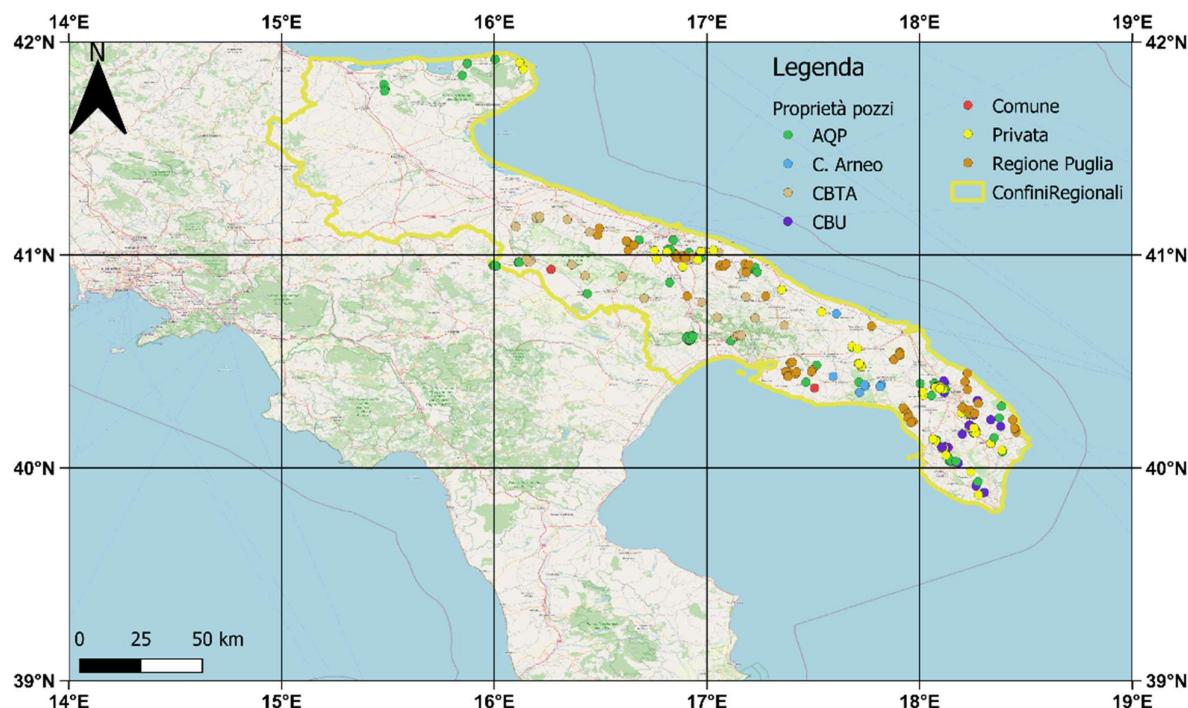


Figura 1. Visualizzazione della distribuzione spaziale dei pozzi e relativa proprietà.

Per poter effettuare, seppure in modo qualitativo, un'analisi spaziale dei rischi relativi all'emungimento di acqua con grado di salinità troppo elevato, in ambiente GIS (Geographic Information System), si è misurata, per ogni pozzo, la minima distanza dalla linea di costa. Le informazioni di dettaglio per ogni singolo pozzo sono riportate in dettaglio nell'Appendice I, mentre in Tabella 1 è riportata una più utile sintesi per provincia. Come evidenziato dalla Tabella 1, la distanza media dei pozzi dalla costa è sempre dell'ordine della decina di km, con il valore medio più basso raggiunto nella provincia di Foggia. Localmente, però, si possono avere singoli pozzi molto più vicini alla costa attuale, come accade in particolare nella provincia di Lecce, dove la distanza minima è di circa 700 m, e Foggia, dove la distanza minima è di 1.2 km.

Tabella 1. Distanza media, massima e minima, in km, dei pozzi di emungimento in Figura 1 dalla linea di costa attuale, per provincia.

Provincia	Distanza media (km)	Distanza minima (km)	Pozzo più vicino alla costa
Taranto	12.0	5	#266
Lecce	11.5	0.7	#246
Brindisi	13.9	5.1	#229
Bari	14.9	4.7	#187
Barletta-Andria-Trani	35.9	13.8	#181
Foggia	7.1	1.2	#37

Per quanto riguarda i corpi idrici sotterranei, la regione Puglia, in collaborazione con Planetek s.r.l., ha attuato un progetto, denominato “Progetto Tiziano – Monitoraggio qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee della Puglia” (SIT Puglia)², che ha consentito di realizzare una rete stabile e diffusa di monitoraggio e di migliorare le conoscenze di carattere idrogeologico e idrogeochimico delle risorse idriche sotterranee. Sulla base dei dati raccolti nel suddetto progetto e da altri monitoraggi, come riportato nel Piano di tutela delle acque regione Puglia³, è stato possibile individuare e perimetrire i complessi idrogeologici. Una prima classificazione è stata effettuata sulla base di considerazioni litogenetiche delle rocce e dei terreni che sono sede di circolazione idrica sotterranea. Sulla base di tale classificazione i corpi idrici sotterranei si dividono in:

Complessi idrogeologici di natura calcarea:

- 1-CAL – Complesso idrogeologico del Gargano: comprendente la falda carsica del Gargano e la falda sospesa di Vico-Ischitella.
- 2-CAL – Complesso idrogeologico delle Murge e del Salento.
- 3-CAL – Complesso idrogeologico comprendente la falda miocenica del Salento centro orientale e la falda miocenica del Salento centro meridionale.
- Complessi idrogeologici classificabili come detritici (DET):
- 4-DET – Complesso idrogeologico comprendente le acque circolanti nella copertura plio-pleistocenica della piana del Tavoliere di Puglia e del margine settentrionale delle Murge;
- 5-DET – Complesso idrogeologico dell’Arco Jonico;
- 6-DET – Complesso idrogeologico Piana Brindisina;
- 7-DET – Complesso idrogeologico delle serre Salentine.
- Complessi idrogeologici di natura alluvionale:
- 8-ALL – Complesso idrogeologico Torrente Saccione;
- 9-ALL – Complesso idrogeologico del Fiume Fortore;
- 10-ALL – Complesso idrogeologico del Fiume Ofanto.

Si riporta in Figura 2 la rappresentazione dei 29 corpi idrici sotterranei, alcuni dei quali risultano in sovrapposizione. In prossimità delle aree costiere l’unione tra le acque dolci e le acque marine di intrusione continentale comporta la salinizzazione delle falde, che dipende in definitiva da vari fattori naturali e antropici. Lo shapefile in Figura 2 è stato trasmesso da AQP, ed è lo stesso presente sul SIT della Regione Puglia²: esso risale al summenzionato progetto Tiziano, e può essere datato all’anno 2013. Il Piano di tutela delle acque della Regione Puglia (Aggiornamento 2015-2021)⁴ individua le falde maggiormente colpite dal fenomeno di contaminazione salina, che risultano:

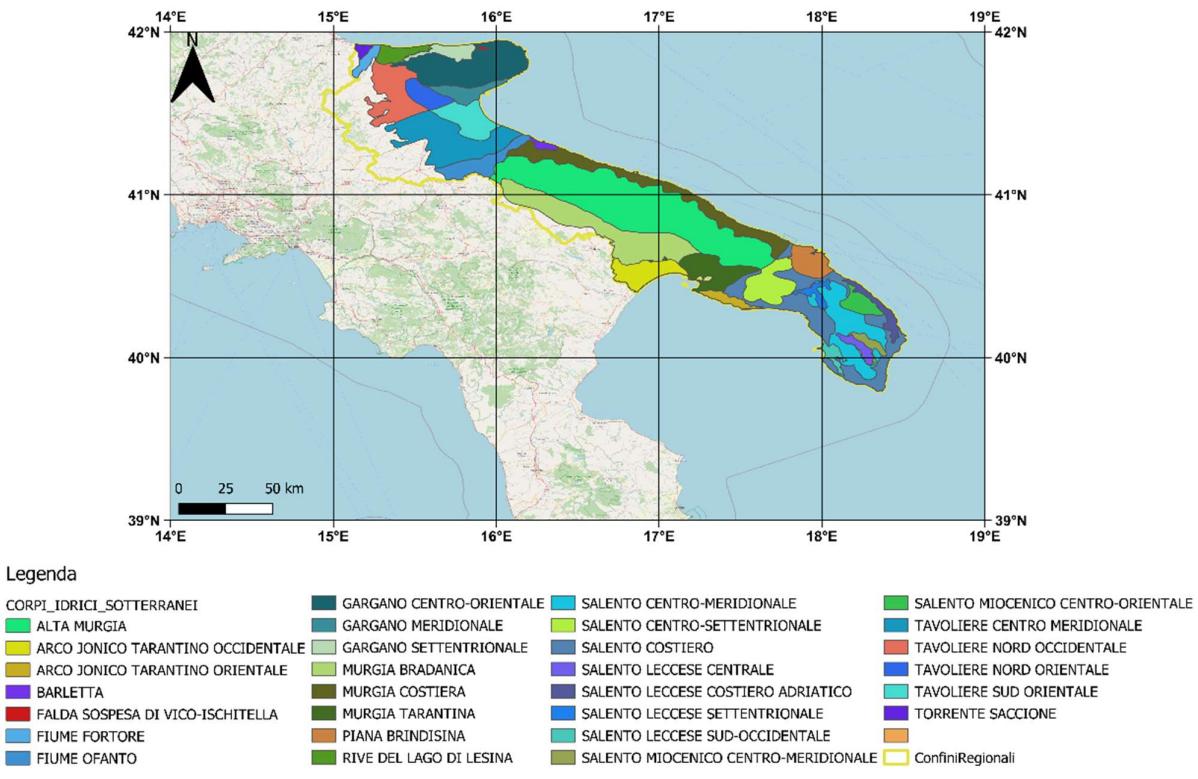
- Gargano meridionale, interessato dal contatto con le acque marine di invasione continentale dalla costa meridionale;
- Gargano settentrionale, interessato dal contatto con le acque marine di invasione continentale dalla costa settentrionale.
- Murgia costiera, caratterizzata da acque che risultano alquanto salinizzate poiché la falda risulta a diretto contatto con le acque marine di intrusione continentale;
- Murgia Tarantina, caratterizzata da contaminazione salina dovuta alla vicinanza alla costa ionica;

² http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cis/Corpi%20Idrici%20Sotterranei

³ <https://giac.consiglio.puglia.it/web/files/view/8006>

⁴ <https://giac.consiglio.puglia.it/web/files/view/8033>

- Salento costiero, che si estende dalla linea di costa fino all'entroterra e le cui acque risultano notevolmente salinizzate;
- Rive del Lago di Lesina, caratterizzate da acque salinizzate poiché in prossimità dell'area costiera.



Sulla base dello stato chimico, quantitativo e qualitativo dei risultati del monitoraggio, risalente al 2013, è stata effettuata la classificazione dei corpi idrici sotterranei in base al grado di rischio (Tabella 2). Dalla Tabella 2 si può notare che solamente due corpi idrici sotterranei, ovvero Alta Murgia e Murgia Bradanica, sono definiti "non a rischio". I restanti corpi idrici vengono classificati come a rischio o probabilmente a rischio in quanto, come riportato dalla relazione redatta dalla regione Puglia, in vari casi si evidenziano prevalentemente situazioni riconducibili a contaminazioni diffuse di tipo agricolo o zootecnico per l'eccesso di nitrati nelle acque sotterranee, oltre che ad alterazioni antropiche del fondo naturale attribuibili a stress quantitativi per effetto dell'eccessivo emungimento, soprattutto lungo la fascia costiera. In definitiva, la classificazione proposta non si limita al problema della salinizzazione, ma contempla anche altre fonti di contaminazione.

Successivamente, ARPA Puglia, per il triennio 2016-2018, ha elaborato una più aggiornata classificazione dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei⁵ (Tabella 3). Tuttavia, la mappatura più aggiornata dei corpi idrici utilizzata per questa classificazione è disponibile solo su richiesta presso il SIT della regione Puglia)⁶. Infine, si nota che è stata di recente (giugno 2023) approvata una versione più aggiornata del Piano di Tutela

⁵ www.arpa.puglia.it/pagina2939_acque-sotterranee.html

⁶ http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cis/Procedimenti https

delle Acque della Regione Puglia⁷. Tuttavia, ad oggi lo stato di qualità delle acque non risulta variato rispetto alla versione qui considerata.

Tabella 2. Classificazione corpi idrici sotterranei elaborata dalla Regione Puglia (2013).

NOME	STATO_CHIM	STAT_QUANT	STATO	A RISCHIO
GARGANO CENTRO-ORIENTALE	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
GARGANO MERIDIONALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
GARGANO SETTENTRIONALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
FALDA SOSPESA DI VICO-ISCHITELLA	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
MURGIA COSTIERA	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
ALTA MURGIA	BUONO	BUONO	BUONO	NON A RISCHIO
MURGIA BRADANICA	BUONO	BUONO	BUONO	NON A RISCHIO
MURGIA TARANTINA	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO COSTIERO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO CENTRO-SETTENTRIONALE	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO CENTRO-MERIDIONALE	BUONO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO MIOCENICO CENTRO-ORIENTALE	SCARSO	N.D.	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO MIOCENICO CENTRO-MERIDIONALE	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
RIVE DEL LAGO DI LESINA	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
TAVOLIERE NORD OCCIDENTALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
TAVOLIERE NORD ORIENTALE	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
TAVOLIERE CENTRO MERIDIONALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
TAVOLIERE SUD ORIENTALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
BARLETTA	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
ARCO JONICO TARANTINO OCCIDENTALE	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
ARCO JONICO TARANTINO ORIENTALE	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
PIANA BRINDISINA	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
SALENTO LECCESI SETTENTRIONALE	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
SALENTO LECCESI COSTIERO ADRIATICO	BUONO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO
SALENTO LECCESI CENTRALE	BUONO	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
SALENTO LECCESI SUD-OCCIDENTALE	N.D.	N.D.	N.D.	PROBABILMENTE A RISCHIO
TORRENTE SACCIONE	SCARSO	BUONO	SCARSO	A RISCHIO
FIUME FORTORE	SCARSO	N.D.	SCARSO	A RISCHIO
FIUME OFANTO	SCARSO	SCARSO	SCARSO	A RISCHIO

Tabella 3. Classificazione corpi idrici sotterranei elaborata da ARPA Puglia (triennio 2016-2018).

Nome	Stato chimico	Parametri critici rispetto ai limiti D.Lgs 30/2009
GARGANO CENTRO-ORIENTALE	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Solfati, Boro, Mercurio
GARGANO MERIDIONALE	SCARSO	Cond. Elettrica, Cloruri, Ammonio, Solfati, Boro
GARGANO SETTENTRIONALE	SCARSO	Cond. Elettrica, Cloruri
FALDA SOSPESA DI VICO-ISCHITELLA	BUONO	
MURGIA COSTIERA	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Solfati,
ALTA MURGIA	BUONO	
MURGIA BRADANICA	SCARSO	Cloruri, Nitrati, Solfati
MURGIA TARANTINA	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Ammonio,
SALENTO COSTIERO	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Solfati,
SALENTO CENTRO-SETTENTRIONALE	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Fluoruri
SALENTO CENTRO-MERIDIONALE	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Cond. Elettrica, Triclorometano
SALENTO MIOCENICO CENTRO-ORIENTALE	N.D.	
SALENTO MIOCENICO CENTRO-	N.D.	
RIVE DEL LAGO DI LESINA	SCARSO	Cloruri, Cond. Elettrica, Ammonio
TAVOLIERE NORD OCCIDENTALE	SCARSO	Cond. Elettrica, Cloruri, Nitrati, Solfati, Fluoruri, Selenio
TAVOLIERE NORD ORIENTALE	SCARSO	Cond. Elettrica, Nitrati, Cloruri, Fluoruri, Solfati
TAVOLIERE CENTRO MERIDIONALE	SCARSO	Nitrati, Nitriti, Ammonio, Cloruri, Fluoruri
TAVOLIERE SUD ORIENTALE	SCARSO	Nitrati, Cloruri, Cond. Elettrica, Fluoruri, Solfati, Ammonio, Selenio, Nitrati,

⁷ https://burp.regione.puglia.it/documents/20135/2165761/DET_81_29_5_2023.pdf/52d54ebe-2a49-570e-af89-8232eeb47499?t=1686231895137

BARLETTA	SCARSO	Nitrati, Triclorometano, Tetrachloroetilene, Cloruri, Fluoruri, Nitriti
ARCO JONICO TARANTINO OCCIDENTALE	SCARSO	Nitrati, Cond. Elettrica, Cloruri, Solfati, Ammonio, Cromo (VI), Arsenico
ARCO JONICO TARANTINO ORIENTALE	SCARSO	Nitrati, Cloruri, Solfati, Cond. Elettrica, Ammonio, Nitriti
PIANA BRINDISINA	SCARSO	Nitrati, Cloruri, Solfati, Cond. Elettrica, Ammonio, Dibenz(a,h)antracene, Selenio
SALENTO LECCES SETTENTRIONALE	SCARSO	Cond. Elettrica, Cloruri, Fluoruri, Solfati, Arsenico
SALENTO LECCES COSTIERO ADRIATICO	N.D.	
SALENTO LECCES CENTRALE	BUONO	
SALENTO LECCES SUD-OCCIDENTALE	SCARSO	Nitrati, Cloruri, Ammonio, Dibenz(a,h) antracene
TORRENTE SACCIONE	SCARSO	Ammonio, Nitrati, Cloruri, Nitriti
FIUME FORTORE	SCARSO	Ammonio, Nitrati, Fluoruri
FIUME OFANTO	SCARSO	Nitrati, Cond. Elettrica, Cloruri, Fluoruri, Nitriti, Solfati

2. Nota metodologica

Questa sezione contiene le informazioni più rilevanti per comprendere sia la genesi dei dati di Mean Sea Level messi a disposizione da C3S, sia la stima dell’arretramento della linea di costa ottenuta utilizzando tali dati come input.

2.1 Il dataset C3S

Le proiezioni di innalzamento del livello del mare, sintetizzate in opportuni indicatori e incluse nel dataset “Water level change indicators for the European coast from 1977 to 2100 derived from climate projections” derivano dall’applicazione di una catena modellistica articolata, formata dalle seguenti componenti:

- Come input climatico vi sono le proiezioni climatiche fornite dal modello regionale HIRHAM5, forzato dal modello globale EC-EARTH.
- Sempre come input, è usata l’ensemble mean delle informazioni di Sea Level Rise (SLR) contenute nei modelli globali facenti parte del programma CMIP5⁸.
- Il primo strumento modellistico che usa tali input è il Global Tide and Surge Model (GTSv3.0), sviluppato da Deltares, che consente di modellare i fenomeni mareali e di mareggiata basandosi su una griglia non strutturata, ovvero con una risoluzione orizzontale variabile, che poggia dunque su un grigliato più fitto vicino alla costa, più rado in alto mare.
- Il secondo strumento modellistico è Stand Alone Wave Model (SAW) sviluppato da ECMWF, che consente di modellare il moto ondoso.

Ulteriori dettagli sulla catena modellistica e sui dati utilizzati, come ad esempio la batimetria di fondo, sono riportati nella Guida⁹ del dataset. Ai fini della presente attività, è importante sottolineare che l’output del modello consiste nell’informazione di Total Water Level, nelle sue varie componenti di Mean Sea Level (livello medio mare), Tidal Level (componente mareale) e Surge Level (componente di mareggiata), in forma di time series su alcune finestre temporali di interesse, ed in particolare:

- L’orizzonte futuro a medio termine 2041-2070, in cui le informazioni climatiche sono tratte, come detto, dal modello regionale HIRHAM5 forzato dal modello globale EC-EARTH, sotto lo scenario di concentrazione RCP 8.5, mentre le informazioni di SLR sono tratte, come detto, dall’ensemble mean dei globali CMIP5 sotto lo stesso scenario.

⁸ <https://wcrp-cmip.org/cmip-phase-5-cmip5/>

⁹ <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/Product+user+guide+for+sea+level+and+ocean+wave+products+-+time+series+and+indicators#heading-1ProjectSummary>

- L'orizzonte futuro a lungo termine 2071-2100, in cui le informazioni climatiche sono tratte, come detto, dal modello regionale HIRHAM5 forzato dal modello globale EC-EARTH, sotto lo scenario di concentrazione RCP 4.5, mentre le informazioni di SLR sono tratte, come detto, dall'ensemble mean dei globali CMIP5 sotto lo stesso scenario.
- Il periodo 1977-2005, in cui vengono usate come input le simulazioni climatiche della summenzionata catena. Il confronto tra tali risultati e quelli al primo e secondo punto di questo elenco fornisce informazioni utili per la stima degli effetti del cambiamento climatico.

La scelta di considerare gli scenari RCP in successione, e non in parallelo, è dettata dalla semplice osservazione, fatta in fase di attivazione di questo Sectoral Information System (SIS)¹⁰ di C3S, che lo scenario RCP 4.5, la cui realizzazione necessita dell'implementazione di importanti politiche di mitigazione, risulta più plausibile solo nell'ultima parte del secolo, mentre lo scenario RCP 8.5, definito solitamente come "business as usual", risulta più credibile nell'immediato futuro. La scelta è inoltre frutto di un'attività di raccolta dei requisiti espressi dai potenziali utenti del dataset nella fase iniziale di definizione delle caratteristiche del SIS. Per l'attività in oggetto, sono stati utilizzati i dati relativi al trentennio 2041-2070 (RCP 8.5), ritenuto, tra le due possibilità, quello più vicino all'orizzonte temporale futuro di interesse per la Convenzione (2021-2050). tra le varie componenti del Total Water Level risulta di interesse la sola parte legata al Mean Sea Level (MSL), che dunque fornisce la variazione del livello medio del mare (Sea Level Rise) sul periodo presente e sugli orizzonti futuri. Non si tiene invece conto dei fenomeni mareali e delle mareggiate. Nelle analisi presentate, Mean Sea Level è disponibile come una serie temporale di valori annui: il Sea Level Rise è quindi fornito dalla differenza tra il valore medio di MSL sul periodo futuro (2041-2070) e il valore medio di MSL sul periodo corrente (1977-2005). La Figura 3 mostra un estratto dei risultati, in termini di SLR atteso sul periodo 2041-2070 rispetto al 1977-2005, sotto lo scenario RCP 8.5, per i mari italiani. La Figura 4 mostra il dettaglio dei punti griglia per i quali il dataset fornisce i valori di MSL (e quindi di SLR) nell'area di interesse.



Figura 3. Innalzamento del livello del mare (SLR) atteso sul periodo 2041-2070 rispetto al periodo 1977-2005 sotto lo scenario RCP 8.5.

¹⁰ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-coastal-indicators-waves-projections?tab=overview>

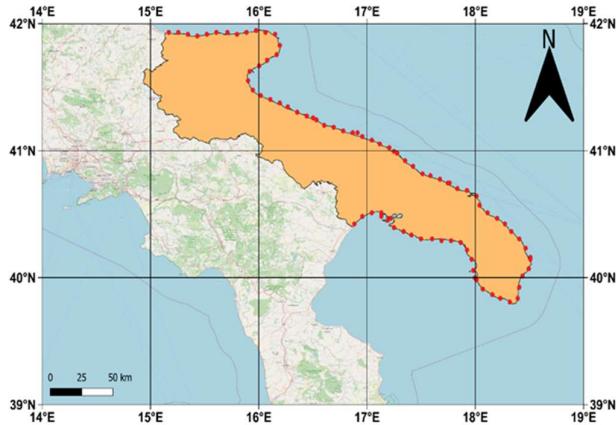


Figura 4. Distribuzione dei punti griglia per la regione Puglia.

2.2 Il Digital Elevation Model

La rappresentazione 3D della superficie terrestre si definisce Digital Elevation Model (DEM) ed è strutturata come una griglia in cui a ciascun nodo (coincidente con il centro della cella) presenta il valore della quota (Alcaras et al. 2020). Si definisce Digital Terrain Model (DTM) la rappresentazione 3D della superficie terrestre costituita da coordinate tridimensionali (cioè X, Y e Z) memorizzate in formato digitale (Miller 1958) che permettono di rappresentare l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi antropici e vegetazionali; invece, con il termine Digital Surface Model (DSM) si intende la rappresentazione della superficie terrestre comprendente l'elevazione degli elementi antropici, come edifici o strutture, e vegetazionali. Per l'applicazione del modello bathtub risulta più corretto utilizzare il DTM, poiché esso consente di rappresentare più fedelmente la connessione idrologica tra le aree di possibile inondazione. Con l'utilizzo del DSM, poiché sono riportate le quote di edifici, alberi o strutture, si potrebbero introdurre delle pseudo barriere che contrastano l'avanzamento dell'acqua falsando la connettività idrologica e sottostimando l'estensione delle possibili aree di inondazione (Poppenga & Worstell 2016).

Per questa attività, è stato scelto di utilizzare un DTM quanto più risoluto possibile tra quelli a disposizione: alte risoluzioni sono infatti particolarmente utili in questo tipo di analisi in quanto consentono di migliorare in modo significativo gli studi costieri per stimare i cambiamenti futuri della linea di costa in relazione all'innalzamento del livello del mare (Antonioli et al. 2017). Il dataset utilizzato in questa attività è il modello digitale messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Geoportale Nazionale)¹¹, sviluppato appositamente per studi di natura costiera: tale modello copre infatti solo la fascia costiera dell'intera penisola, con una risoluzione geometrica di 2 metri. Il DTM in oggetto deriva da un'elaborazione di immagini LIDAR (Light Detection And Ranging) acquisite da piattaforma aerea: la maggior parte dei rilievi LIDAR utilizzati per ottenere tale DTM risalgono al 2008 e sono caratterizzati da una risoluzione verticale media di 15 cm e planimetrica di 30 cm.

Il DTM così ottenuto pone significative questioni di *storage*: per questo motivo, e come di solito accade in generale per i DEM, il modello viene fornito come un mosaico di "tavolette" (*tiles*), identificabili tramite un codice identificativo a mezzo di un quadro di unione che è fornito, nel caso in esame, in formato *shapefile*. Per la regione Puglia, il quadro di unione è mostrato in Figura 5: il mosaico delle tavolette rappresentate in

¹¹ <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>

Figura 7 costituisce l'input di altitudine dell'attività in oggetto. Tale DTM, così "ritagliato", è gestito mediante il sistema di coordinate geografiche WGS84, e le quote ivi riportate sono riferite al datum altimetrico italiano stabilito dall'IGMI (Istituto Geografico Militare Italiano). Come si può notare dalla Figura 5, per il tratto di costa compreso tra Barletta e Margherita di Savoia non risulta disponibile il DTM con risoluzione geometrica di 2 metri; tuttavia, per analizzare tale area è stato utilizzato un DTM con risoluzione geometrica pari a 1 metro, parimenti disponibile sul Geoportale Nazionale. L'aggravio computazionale dato dalla maggiore risoluzione, gestito su un'area piccola come quella in Figura 5, è risultato accettabile.



Figura 5. Visualizzazione in Quantum GIS in coordinate equirettangolari del quadro di unione delle circa 800 tavolette il cui mosaico fornisce il DTM dell'intera costa pugliese.

2.3 Il modello bathtub

La stima dell'arretramento della linea di costa effettuata nel presente documento si basa su un approccio largamente convalidato in ambito scientifico, applicato soprattutto per la valutazione delle inondazioni costiere su vaste aree, denominato "modello *bathtub*" o "vasca da bagno" (Yunus et al. 2016). Questo modello consente di effettuare delle stime sulle possibili aree inondate in assenza di dati idrologici dettagliati, in quanto richiede i soli dati di elevazione del suolo e innalzamento del livello del mare (Williams et al. 2020), in altre parole un modello digitale del terreno (DTM) e un dato di Sea Level Rise (SLR). Il modello bathtub si basa sull'assunzione che un'area con una quota inferiore al livello di inondazione venga considerata come allagata: le aree soggette a inondazione sono determinate mediante una procedura di calcolo in cui l'elevazione in ogni cella del DTM viene confrontata con i valori di SLR in maniera tale che tutte le celle con valori di quota inferiori al livello del mare vengano considerate come allagate. La Figura 6 mostra una schematizzazione del processo di allagamento considerando un innalzamento del livello del mare di 1 metro: in questo caso, il modello bathtub considera inondate tutte le località con una quota pari o inferiore a 1 metro (Hansen et al. 2016).

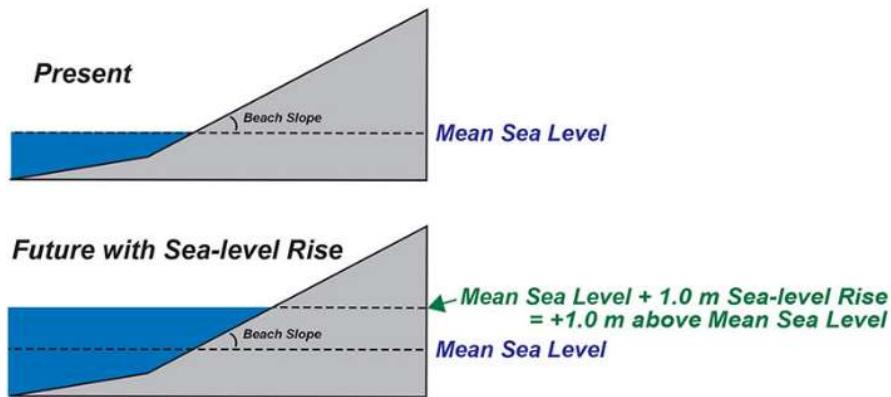


Figura 6. Rappresentazione del modello bathtub. Fonte: Hansen et al. (2016).

Il modello bathtub può essere applicato con un duplice approccio, con o senza connettività idrologica: il secondo caso, che è quello utilizzato in questa attività, è certamente più realistico (Van de Sande et al. 2012), mentre il primo, più semplificato, presenta un onere computazionale significativamente ridotto. In caso di connettività idrologica “attivata”, affinché un’area sia considerata sommersa le relative celle del DTM, oltre ad avere un’elevazione inferiore al livello di inondazione, devono essere fisicamente raggiungibili dall’acqua: il passaggio dell’acqua deve avvenire tra celle adiacenti, ovvero l’area deve essere collegata alla fonte di inondazione che, nel caso in esame, è rappresentata dal mare (l’approccio è potenzialmente applicabile anche per tipi diversi di inondazione, ad esempio fluviale). La Figura 7 schematizza l’effetto della connettività idrologica: in caso di assenza di connettività, risultano inondate anche celle (ad esempio quelle in alto a sinistra in Figura 7a) lontane dal corpo idrico, solo in virtù della loro altitudine. Al contrario, in Figura 7b le stesse celle risultano asciutte considerando attiva la connettività idrologica.

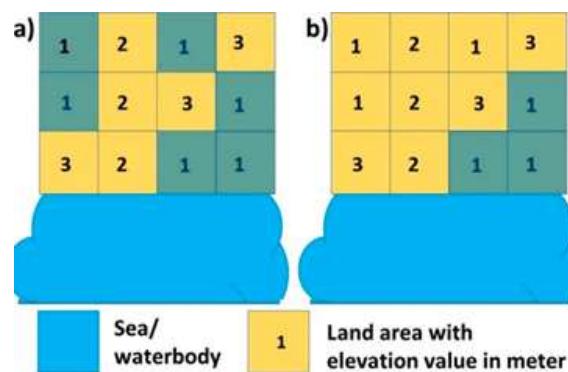


Figura 7. Diversi casi del modello bathtub per $SLR = 1 m$: la condizione (a) non considera la connettività e tutte le celle con elevazione $\leq 1 m$ sono allagate; la condizione (b) si considera la connettività idrologica, per cui una cella è allagata solo se collegata a un corpo idrico direttamente o tramite celle adiacenti.

I limiti del modello bathtub sono associati alla risoluzione del DTM: se la risoluzione è bassa, le connessioni idrauliche e le eventuali barriere all’ avanzamento dell’acqua non sono rappresentate fedelmente, per cui la mappatura può risultare non accurata (Gallien et al. 2014). Tale problematica in questo progetto si verifica soprattutto in prossimità di zone paludose, saline o bacini che sono caratterizzati da barriere che contrastano l’ avanzamento dell’acqua marina; infatti, la risoluzione del DTM utilizzato in questa analisi (che comunque è elevata, come verrà mostrato nei seguenti paragrafi) non consente una rappresentazione accurata della continuità di tali barriere, lasciando nel modello piccoli canali in cui l’acqua riesce a scorrere e a provocare l’ inondazione. Affinché si possa effettuare un’analisi esaustiva e affidabile, diventa necessario conoscere lo stato di evoluzione delle barriere in quanto esse influenzano, in maniera diretta, l’ estensione delle possibili

arie inondate. Rispetto, infine, ad altri modelli di inondazione, si segnala che il metodo bathtub può sovrastimare l'estensione della possibile inondazione rispetto ad altri metodi idraulicamente più complessi (Didier et al. 2019): tuttavia, esso resta comunque il modello più utilizzato per modellare i processi di inondazione su vaste aree, potendo eventualmente incrementare il livello di accuratezza mediante l'utilizzo di DTM a risoluzione sempre più alta.

2.4 Interazione tra il Digital Elevation Model e il dataset di Sea Level Rise

I dati di altitudine forniti dal dataset MSL e dal DTM non hanno la stessa quota di riferimento (ovvero lo stesso datum altimetrico): il primo fa riferimento al livello medio marino globale (Amin et al. 2019), mentre il secondo, come detto, fa riferimento al datum IGMI. Pertanto, i due sistemi sono stati armonizzati prima di effettuare qualsivoglia operazione, ed in particolare il dato di SLR è stato riportato nello stesso datum altimetrico del DTM. Successivamente, sottraendo i valori di SLR dal DTM, si ottiene un DTM delle differenze (DTMD): le aree che hanno valori inferiori o uguali a zero nel DTMD sono quelle potenzialmente soggette a inondazione e possono essere facilmente individuate. Una volta individuate le aree sommerse, si procede con la perimetrazione di tali aree e si converte il file raster in formato vector per ottenere dei poligoni che rappresentano le aree di possibile inondazione. Per tali poligoni si considera la connettività idrologica, eliminando quelle aree che non sono collegate alla fonte di inondazione o a celle adiacenti a quest'ultima, tramite l'utilizzo di opportuni tool di Q-GIS. I file poligonali di tipo vector si convertono in file di tipo linea e si estraggono i confini che rappresentano la massima estensione delle aree sommerse e quindi la nuova linea di costa. Infine, per determinare la stima dell'arretramento della linea di costa, si generano dei transetti perpendicolari alla linea di costa attuale: misurando tali transetti si determina la distanza dalla linea di costa futura necessaria per stimare l'arretramento medio. Per ogni tratto di costa analizzato sono stati generati numerosi transetti, con una spaziatura media di 50 m circa, al fine di ottenere un'analisi spaziale più accurata e, contemporaneamente, dei tempi computazionali non troppo elevati.

È da notare che, per poter effettuare le analisi, è stato necessario associare ad ogni tratto di costa (più precisamente, ad ogni cella costiera del DTM) un valore univoco di SLR, ricordando che quest'ultimo non è disponibile in modo spazialmente distribuito, bensì su una serie di punti che sono quelli rappresentati in Figura 4 per la regione Puglia. Per poter comparare i valori puntuali del SLR con il DTM si è utilizzata la tecnica dei diagrammi di Voronoi, un particolare tipo di decomposizione di uno spazio metrico che consiste nell'assegnare ad ogni punto in cui sia disponibile un valore una corrispondente area di competenza (un esempio generico è presentato in Figura 8). L'area di competenza si ottiene partizionando il piano in n poligoni derivanti da n punti principali (ovvero in cui siano disponibili valori della quantità di interesse, in questo caso SLR), dove ciascun poligono contiene uno solo punto degli n punti principali e dove ogni altro punto del poligono risulta più vicino al punto principale del poligono che a tutti gli altri punti.

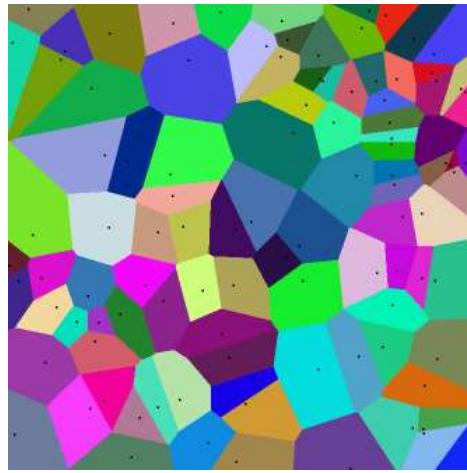


Figura 8. Un esempio di diagramma di Voronoi: aree di influenza associate a ciascun punto di misura. In ciascun poligono, il valore può essere considerato costante e pari al valore misurato nel punto. Fonte: Wikipedia.

2.5 Restituzione dei risultati

In questo studio, al fine di ridurre i tempi computazionali e allo stesso tempo garantire risultati attendibili, l'analisi è stata ripartita per macro-aree, invece di considerare l'intera regione in un'unica elaborazione. Poiché le Province risultavano ancora troppo estese per essere gestite efficacemente, la scelta è ricaduta sulle seguenti macroaree, che in taluni casi coincidono con il territorio provinciale, in altri ne sono una zonazione ulteriore:

1. Taranto
2. Taranto-Lecce
3. Lecce
4. Lecce-Brindisi
5. Brindisi-Bari
6. Bari-Barletta
7. Foggia.



Figura 9. Suddivisione del territorio analizzato nelle sette macroaree di interesse.

Tuttavia, anche a seguito della ripartizione in macroaree, l'onere computazionale di ciascuna analisi rimane elevato, pur ricorrendo a macchine ad elevata prestazione. Il workflow delle analisi da applicarsi per ciascuna macroarea è composto dai seguenti step:

- I. Omogeneizzazione dei datum altimetrici e calcolo del DTMD con risoluzione orizzontale pari a 2 m.
- II. Individuazione delle aree sommerse come quelle aventi un valore negativo di DTMD. L'output di questo step sono aree in formato raster formate da insiemi di celle con risoluzione pari a 2 m.
- III. Trasformazione delle aree sommerse dal formato raster al formato vettoriale. L'output di questo step è un insieme di poligoni (un esempio di poligono sommerso è riportato in Figura 10).
- IV. Estrazione della linea di costa da attendersi in futuro, per effetto dell'innalzamento del livello del mare, a partire dai confini dei poligoni (la linea di costa futura è in particolare il confine più interno dei poligoni sommersi). Un esempio di linea di costa da attendersi in futuro è riportato in Figura 11.
- V. Generazione dei transetti perpendicolari alla linea di costa di riferimento, con passo di 50 m. Un esempio è riportato in Figura 12.
- VI. Stima dell'arretramento della linea di costa, ottenuta misurando la distanza tra la linea di costa di riferimento e quella così prodotta lungo i transetti. Valutazione delle caratteristiche medie sulla macroarea.

Tutte le operazioni descritte sono state effettuate tramite i software ARCGIS e Q-GIS. La Figura 13 mostra una sintesi del workflow in tre fasi fondamentali.



Figura 10. Visualizzazione in Quantum GIS di un esempio un'area soggetta a possibili sommissioni (provincia di Taranto).



Figura 111. Visualizzazione in Quantum GIS della linea di costa futura estratta dal poligono sommerso in Figura 9.



Figura 12. Visualizzazione in Quantum GIS dei transetti generati, necessari per stimare l'arretramento della linea di costa nell'area in Figura 10 e 11.

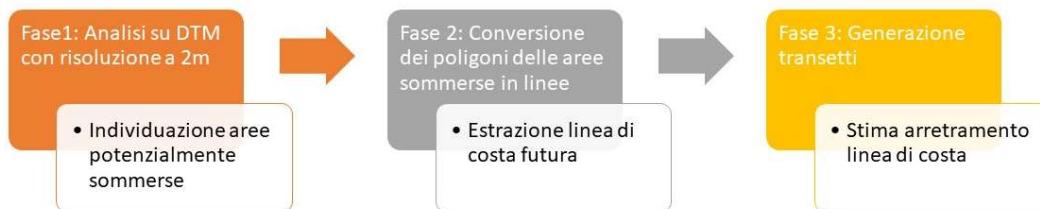


Figura 13. Sintesi del workflow delle analisi.

2.5 Criticità e opportunità nell'utilizzo del dataset nella Convenzione

In base alla descrizione proposta per il dataset oggetto di studio, emergono alcune criticità relative al suo impiego all'interno delle attività della Convenzione:

- Dal punto di vista dell'informazione climatica, il numero di catene di simulazione climatica (1) è inferiore a quello di default scelto per la convenzione (14). Anche per l'informazione legata all'innalzamento del livello del mare, vi è un solo input fornito dall'ensemble mean dei modelli globali dell'iniziativa CMIP5. Ciò implica che non è possibile, all'interno di questa attività, la valutazione delle incertezze legate all'utilizzo di un ensemble di catene. Si segnala comunque che tutti i modelli globali utilizzati per le altre attività della Convenzione sono anch'essi parte dell'iniziativa CMIP5.
- Le informazioni climatiche e oceaniche sono processate all'interno di una catena modellistica articolata: essendo tale elaborazione un *unicum*, non è possibile quantificare le relative incertezze poiché non vi sono strumenti alternativi con i cui risultati effettuare confronti. Tuttavia, ciò è rilevante essenzialmente per la variabile TWL, mentre MSL è funzione per lo più dell'informazione di innalzamento del livello marino ereditata dalle proiezioni globali CMIP5.
- Non vi è una corrispondenza esatta tra i periodi temporali del dataset in oggetto e quelli di interesse della Convenzione (periodo di riferimento 1977-2005 vs. 1981-2010, orizzonte futuro 2041-2070 vs. 2021-2050). Inoltre, l'orizzonte futuro considerato viene analizzato considerando un unico scenario di concentrazione, RCP 8.5. Questo rende i risultati di questa attività non completamente sovrapponibili a quelli delle altre attività della Convenzione.
- I risultati della singola catena di simulazione climatica utilizzata per la definizione del dataset non sono bias corretti.

Molte delle criticità elencate, ed in particolare l’ultima, possono avere un effetto significativo sull’affidabilità dei risultati soprattutto per la componente – locale – legata alle mareggiate, che non è di interesse per questa attività. Esse sono invece poco significative per la componente di Sea Level Rise: infatti, tale innalzamento può essere attribuito per il 30% all’espansione termica degli oceani e per il restante 70% allo scioglimento dei ghiacciai terrestri dell’Antartide e dalle calotte glaciali della Groenlandia¹². Non a caso, la componente di SLR del dataset è mutuata dai modelli climatici globali, mentre le proiezioni climatiche – anche nel caso in cui fossero bias corrette – servono a valutare le altre componenti del Total Water Level. A valle di tali valutazioni, si ritiene che il contenuto informativo del dataset sia rilevante. Si fa inoltre notare che si tratta dell’unico prodotto del servizio C3S, messo quindi a disposizione dalla Comunità Europea, che fornisca proiezioni di SLR sul territorio di interesse e alla scala di interesse per la Convenzione.

L’impossibilità di valutare l’incertezza legata all’uso di un ensemble di proiezioni climatiche rende la visualizzazione dei risultati più immediata. Atteso che la variabile di interesse è l’arretramento della linea di costa, il riferimento è considerato essere la posizione della linea di costa desumibile dal DTM, mentre la linea di costa attesa in futuro è l’output del workflow illustrato nel paragrafo precedente. L’arretramento della linea di costa, stimato lungo un insieme di transetti, è la variazione, in unità di lunghezza, tra le due linee di costa. L’arretramento della costa, valutato in questo modo, è da considerarsi dovuto esclusivamente al cambiamento climatico, mentre non tiene conto di altre dinamiche generali influenti, quali i processi di subsidenza, e alcuni processi del tutto locali, quali gli interventi antropici in generale, e quelli di difesa in particolare. La linea di costa “futura” individuata dalle analisi non può quindi tenere conto di tutte quelle azioni che potrebbero comportare una sua variazione indipendentemente dal cambiamento climatico.

3. Risultati: arretramento della linea di costa

In questo capitolo vengono commentati i risultati ottenuti per l’intera costa pugliese, mediante una tabella riassuntiva che esplicita l’arretramento medio della linea di costa, il valore massimo e l’area sommersa (in km²). Quindi, vengono presentati i valori di dettaglio ottenuti per macro-area, e vengono inoltre visualizzate, a titolo esemplificativo, le aree maggiormente colpite, ovvero quelle dove si stima un valore massimo di arretramento della linea di costa (puramente a scopo di visualizzazione sono state utilizzate come *base map* le immagini satellitari messe a disposizione da Google-Earth, caratterizzate da una elevata risoluzione). Per ogni macro-area sono tabellate le distanze dei pozzi dalla linea di costa ricavate dalla proiezione RCP 8.5, la variazione rispetto alla situazione attuale e la variazione media per macro-area.

Come già menzionato nella Nota metodologica, è utile segnalare che, all’interno di ciascuna macro-area, è possibile ritrovare delle zone in cui le risoluzioni in gioco non consentono di modellare efficacemente la connettività idrologica. Nel caso in esame, ciò è accaduto in prossimità di paludi, saline o bacini, in cui sono presenti barriere naturali (ad esempio sistemi dunali) o artificiali che contrastano l’avanzamento dell’acqua marina. In effetti, la risoluzione del DTM utilizzato (in ogni caso la massima disponibile) potrebbe non consentire di modellare con esattezza il loro sviluppo lineare e soprattutto la loro continuità, elementi critici per il modello bathtub. Per queste aree, il modello restituisce dei valori di arretramento dell’ordine di centinaia di metri, dunque, come si vedrà, di molto (anche di alcuni ordini di grandezza) superiori ai valori usuali. Data la minore attendibilità, in queste zone, dei risultati del modello, i relativi risultati sono esclusi dal

¹² <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-level>

calcolo dei valori sintetici. Tuttavia, si segnala l'utilità, in futuro, e per altri scopi, di perfezionare gli strumenti modellistici utilizzati per meglio cogliere tali peculiarità, dal momento che spesso tali zone sono caratterizzate da alti valori ecosistemici, quali ad esempio la biodiversità e il ruolo di protezione dell'entroterra. Allo stesso modo, non sono riportate nella sezione dei risultati le mappe relative a queste zone; sebbene, come detto, i risultati siano meno attendibili, per completezza essi sono comunque riportati in Appendice.

La Tabella 4 riassume i risultati, per macro-area, relativi all'arretramento media della linea di costa da attendersi in futuro per effetto dei cambiamenti climatici, in termini di valore medio e massimo, in [m], deviazione standard, in [m], e l'area sommersa, in [km²]. Viene inoltre riportata la lunghezza del tratto di costa analizzato, in [km].

Tabella 4. Sintesi dei risultati

Macro-area	Lunghezza linea di costa (km)	Stima arretramento medio (m)	Deviazione standard (m)	Area sommersa totale (km ²)	Arretramento massimo (m)	Valore medio di Sea Level rise (m)
Taranto	296.8	8.8	11.7	1.80	352.8	0.26
Taranto-Lecce	186.5	14.5	15.1	1.5	96.7	0.26
Lecce	256.2	6.6	7.3	1	88.9	0.26
Lecce-Brindisi	269.1	10.0	10.7	1.6	258.1	0.26
Brindisi-Bari	305.6	9.0	10.6	1.6	291.5	0.25
Bari-Barletta	140.6	11.3	16.5	0.8	186.5	0.25
Barletta-Foggia	205.4	15.8	14.3	1.7	123.3	0.25
Foggia	218.2	13.2	11.2	2.2	219.3	0.25

Dai risultati riportati in Tabella 4, per tutta la costa pugliese si prevede un'area totale di possibile inondazione pari a 12.2 km² da attendersi in futuro, per effetto dei cambiamenti climatici, secondo lo scenario RCP 8.5, associata ad un arretramento medio pari a 11.2 m. Il valore massimo di arretramento medio, pari a 15.8 m, si verifica per il tratto compreso tra Barletta e Foggia; si evidenzia che questo tratto di costa risulta soggetto, allo stato attuale, a fenomeni di erosione costiera, che potrebbero ulteriormente aggravare le condizioni di rischio. Il valore massimo di possibile area sommersa si verifica per la macro-area di Foggia, con un valore pari a 2.2 Km²; per l'intero tratto di costa si misurano dei valori omogeni di arretramento della linea di costa che determinano un arretramento medio pari 13.2 m. Infine, è da notare che i valori massimi di scostamento della linea di costa si verificano principalmente in prossimità di spiagge, fiumi o aree non urbanizzate che sono caratterizzate da valori di elevazione prossimi al livello del mare, e quindi naturalmente già esposti al rischio di inondazione.

3.1 Macro-area di Taranto

Per la provincia di Taranto l'estensione della linea di costa analizzata è di circa 296.8 km, considerando anche le isole, e si estende da Marina di Ginosa a Marina di Lizzano. Per questo tratto si stima un arretramento medio della linea di costa pari a 8.8 m con un'area totale sommersa di circa 1.8 km². Le aree caratterizzate da valori massimi di arretramento della linea di costa si trovano in prossimità del fiume Galeso, all'interno del golfo di Taranto, dove esso assume un valore pari a 352.8 m, e nei pressi di Praia a Mare (frazione di Taranto), dove si stima un arretramento pari a 171.5 m. Si riporta in Figura 14 la mappa del tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di scostamento, esplose nelle Figure 15 e 16.



Figura 14. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento fiume Galeso; (2) Inquadramento frazione di Praia a Mare (Taranto).



Figura 15. Arretramento della linea di costa nei pressi del fiume Galeso. Mappa in scala 1:5000.



Figura 16. Arretramento della linea di costa nei pressi della frazione di Praia a Mare (frazione di Taranto). Mappa in scala 1:15000.

3.2 Macro-area di Taranto-Lecce

L'area analizzata comprende le province di Taranto e Lecce, e si estende per circa 186.6 km da Marina di Lizzano (Taranto) a Santa Maria al Bagno, frazione di Nardò (Lecce). In questa area si stima che la linea di costa arretri in media di circa 14.5 m, mentre l'area sommersa totale risulta di 1.5 km². I valori massimi di scostamento tra linea di costa attuale e proiezione RCP 8.5 si verificano nei pressi della penisola di Strea (96.2 m), e nella frazione di Torre Lapillo (Comune di Porto Cesareo) dove si stima un arretramento della linea di costa pari a 96.7 m. Si riporta in Figura 17 l'intero tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di scostamento, esplose nelle Figure 18 e 19.

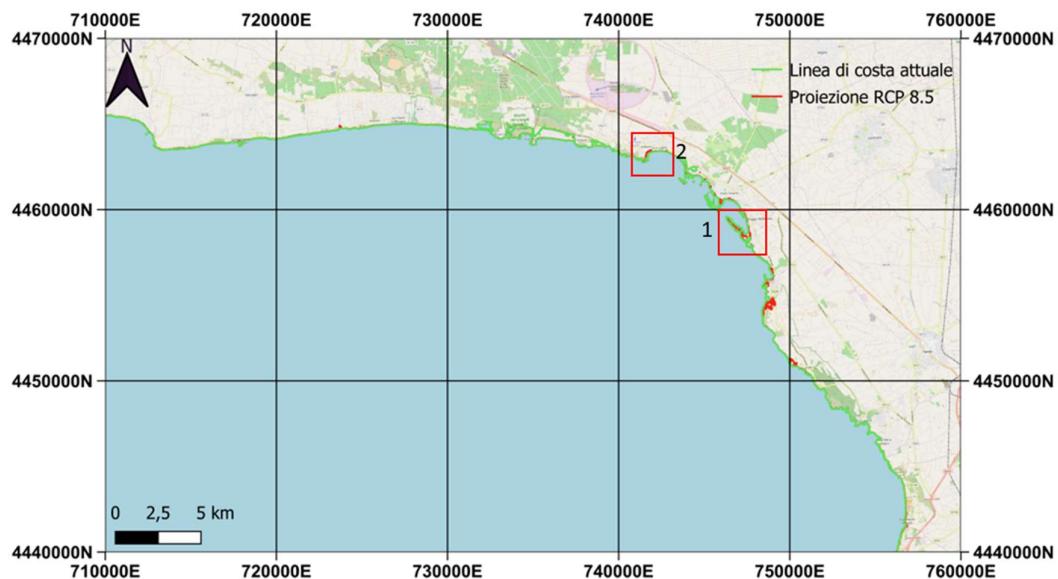


Figura 17. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento Penisola della Strea; (2) Inquadramento frazione Torre Lapillo (Porto Cesareo).

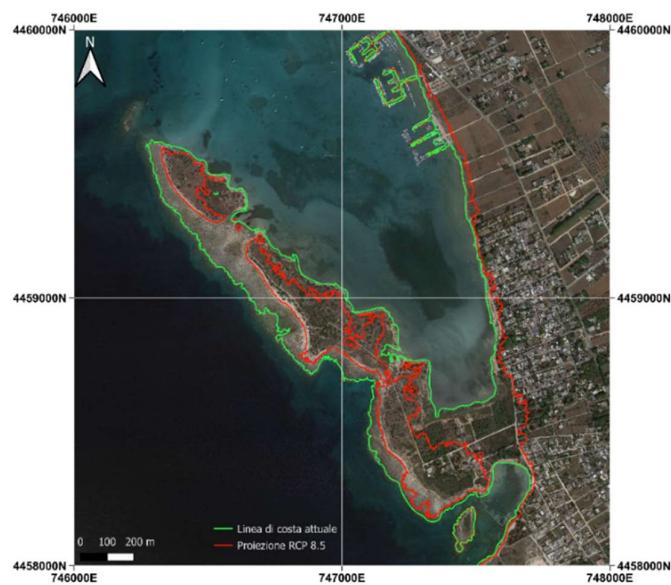


Figura 18. Arretramento della linea di costa Penisola della Strea. Mappa in scala 1:1000.



Figura 19. Arretramento della linea di costa frazione Torre Lapillo (Porto Cesareo). Mappa in scala 1:5000.

3.3 Macro-area di Lecce

Il tratto di costa analizzato riguarda la provincia di Lecce e si estende da Santa Maria al Bagno frazione di Nardò (Lecce) a Otranto, con una lunghezza complessiva della costa pari a 256.2 km. Per l'intero tratto si stima un arretramento media della linea di costa pari a 6.6 m, mentre l'area sommersa totale è di 1 km². Il valore massimo di arretramento della linea di costa, pari a 88.9, m si verifica in prossimità della spiaggia di Torre San Giovanni (frazione di Ugento). Si riporta in Figura 20 la mappa dell'intero tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; è inoltre evidenziata, all'interno di un riquadro, la zona in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplosa nella Figura 21.



Figura 20. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento spiaggia di Ugento.

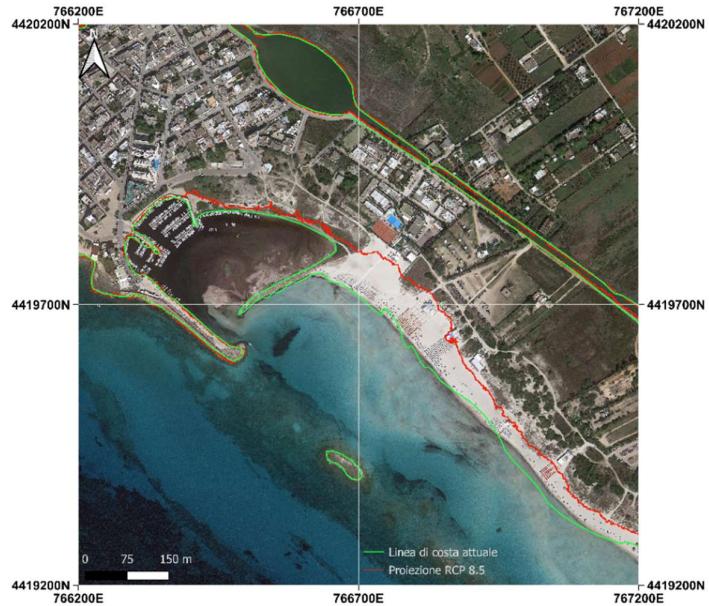


Figura 21. Arretramento della linea di costa nella spiaggia di Ugento. Mappa in scala 1:5000.

3.4 Macro-area di Lecce-Brindisi

In questo paragrafo sono esplicitati i risultati ottenuti per il tratto di costa compreso tra Otranto e Brindisi, che si estende per una lunghezza di circa 269.1 km. Per questo tratto è previsto un arretramento medio della linea di costa pari a 10 m, mentre l'area sommersa totale risulta di 1.6 km². I valori massimi di arretramento della linea di costa si verificano in prossimità di Torre Rinalda, frazione di Lecce (258.1 m), e a San Cataldo, sempre frazione di Lecce (85.2 m). Nella Figura 22 è riportata la mappa dell'intero tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplose nelle Figure 23 e 24.

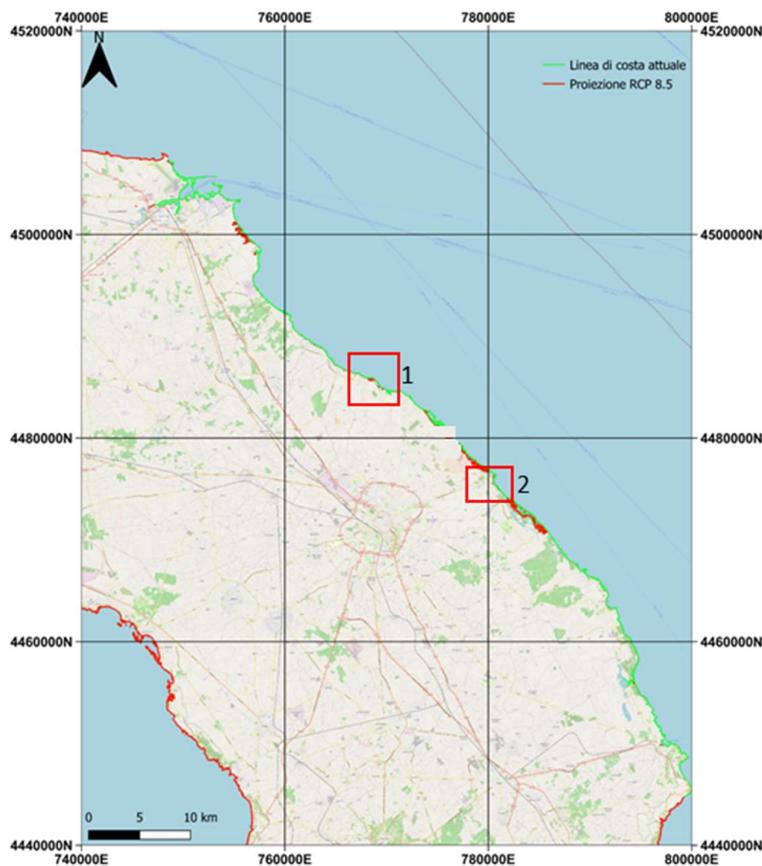


Figura 22. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento spiaggia Torre Rinalda; (2) Inquadramento frazione di San Cataldo

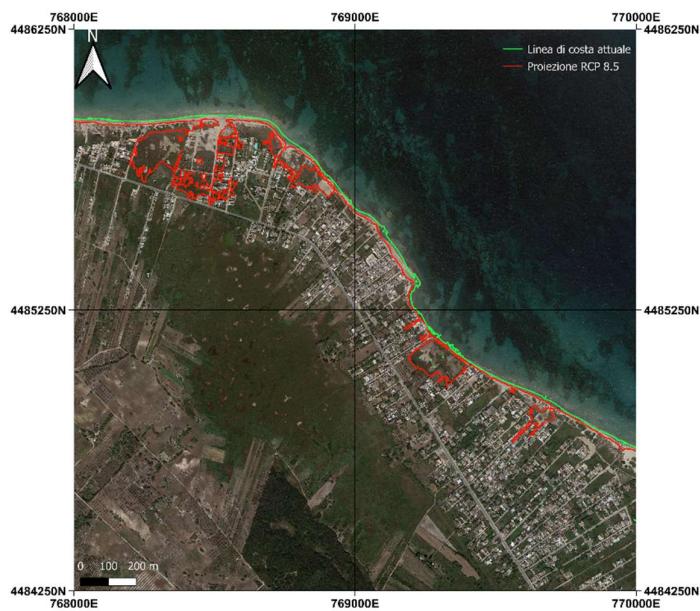


Figura 23. Arretramento della linea di costa in prossimità di Torre Rinalda (Lecce). Mappa in scala 1:5000.



Figura 24. Arretramento della linea di costa in prossimità di San Cataldo (Lecce). Mappa in scala 1:5000.

3.5 Macro-area di Brindisi-Bari

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti per il tratto di costa compreso tra Brindisi e Bari, che si estende per una lunghezza di circa 305.6 km. Si prevede un arretramento medio della linea di costa pari a 9.0 m, mentre l'area totale di possibile inondazione risulta pari a 1.7 km². In questo tratto di costa i valori massimi di arretramento della linea di costa si verificano nella frazione di San Giorgio, Bari (291.5 m), nella frazione di Pantanagianni-Pezze Morelli (139.9 m) e nei pressi di Mola di Bari, in prossimità di un litorale sabbioso (83.4 m). Si riporta in Figura 25 la mappa che rappresenta il tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplose nelle Figure 26, 27 e 28.

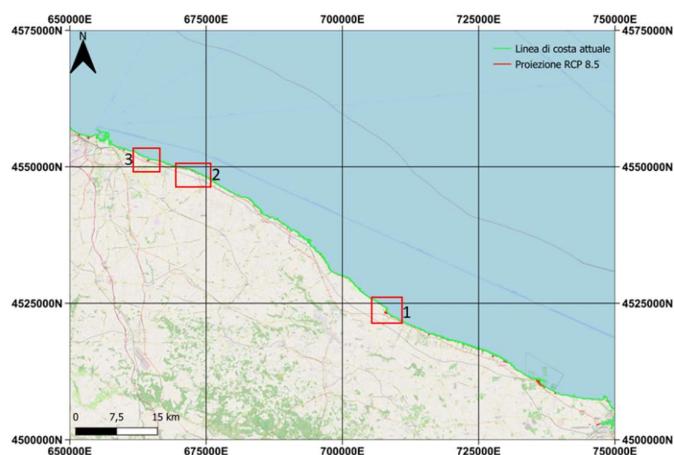


Figura 25. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5;(1) Inquadramento Pantanagianni-Pezze Morelli frazione di Carovigno; (2) Inquadramento in prossimità di Mola di Bari; (3) Inquadramento frazione di San Giorgio (Bari).

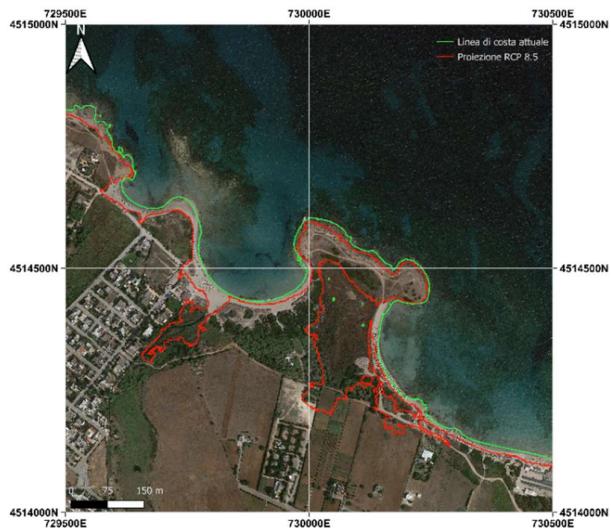


Figura 26. Arretramento della linea di costa in prossimità di Pantanagianni-Pezze Morelli, frazione di Carovigno. Mappa in scala 1:5000.

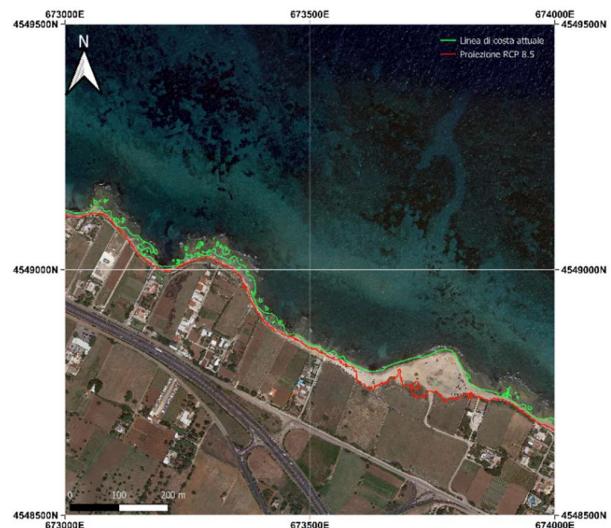


Figura 27. Arretramento della linea di costa in prossimità di Mola di Bari. Mappa in scala 1:5000.



Figura 28. Arretramento della linea di costa in prossimità di San Giorgio. Mappa in scala 1:5000.

3.6 Macro-area di Bari-Barletta

In questo paragrafo si riportano i risultati ottenuti per il tratto di costa compreso tra Bari e Barletta, che si estende per lunghezza pari a 140.6 km. Si stima un arretramento medio della linea di costa pari a 11.3 m, mentre l'area sommersa risulta di circa 0.8 km². I valori massimi di arretramento della linea di costa si verificano a Bari nel quartiere Marconi-San Girolamo-Fesca nei pressi della spiaggia "Canalone" (186.5 m) e nei pressi del porto di Barletta, in prossimità della spiaggia (108.5 m). Si riporta nella Figura 29 la mappa del tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplose nelle Figure 30 e 31.

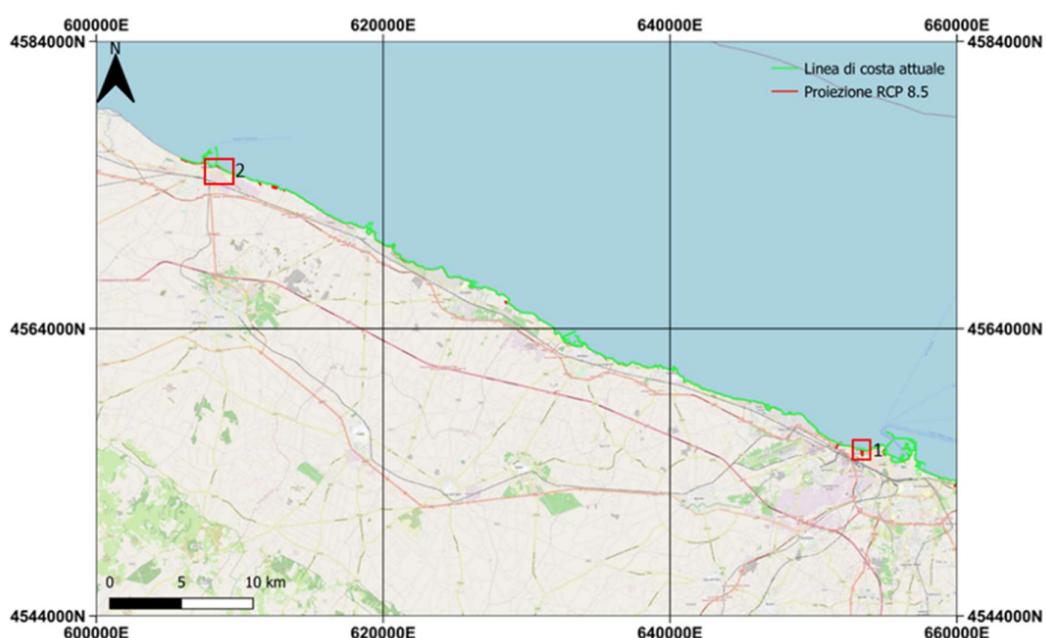


Figura 29. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento Spiaggia "Canalone" Bari; (2) Inquadramento porto di Barletta.



Figura 30. Potenziale arretramento linea di costa spiaggia "Canalone" di Bari. Mappa in scala 1:5000.



Figura 31. Potenziale arretramento linea di costa in prossimità del porto di Barletta. Mappa in scala 1:5000.

3.6 Macro-area di Barletta- Foggia

In questo paragrafo si riportano i risultanti inerenti all’arretramento della linea di costa per il tratto che si estende da Margherita di Savoia (Barletta) a Vieste (Foggia) per una lunghezza di circa 205.4 km. Per il tratto di costa compreso tra Margherita di Savoia e Vieste si stima una arretramento medio della linea di costa pari a 15.8 m, mentre l’area totale di possibile inondazione risulta pari a 1.7 km². I valori massimi di arretramento della linea di costa si verificano in prossimità del comune Margherita di Savoia (123.3 m) e nella frazione di Siponto, Manfredonia (73.8 m). Si riporta nella Figura 32 la mappa del tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all’interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplose nelle Figure 33 e 34.



Figura 32. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento spiaggia nei pressi di Margherita di Savoia; (2) Inquadramento in prossimità di Siponto (Manfredonia).

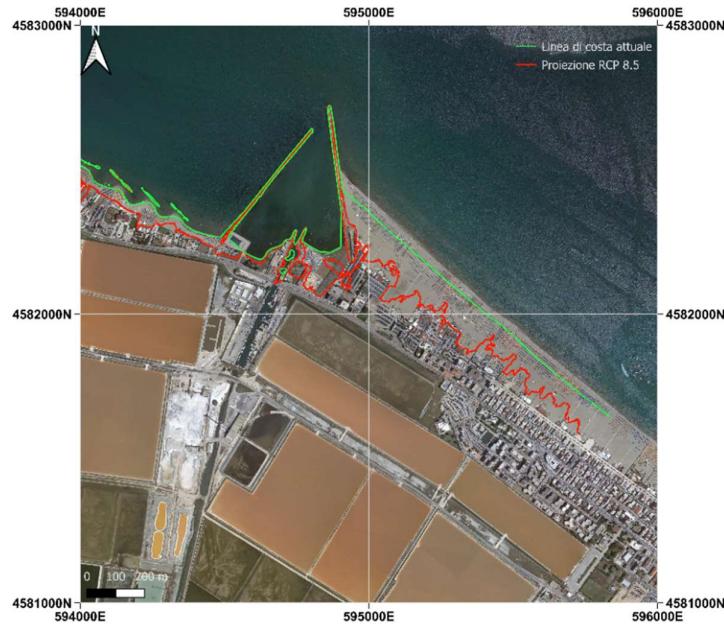


Figura 33. Arretramento della linea di costa zona Margherita di Savoia. Mappa in scala 1:10000.



Figura 34. Arretramento della linea di costa in prossimità di Siponto (Manfredonia). Mappa in scala 1:5000.

Si nota nelle Figure 32 e 33 che non vi è una esatta coincidenza della linea di costa attuale con l'immagine satellitare. Ciò è dovuto al fatto è che tale area è stata soggetta a ripascimento nel 2016, al fine di aumentare l'estensione della spiaggia, usualmente soggetta a fenomeni di erosione costiera. Tale informazione è visualizzabile dall'immagine satellitare Google, ma il DTM è antecedente e dunque le analisi non ne tengono conto.

3.6 Macro-area di Foggia

In questo paragrafo sono riportati i risultati ottenuti per il tratto di costa che si estende da Vieste a Marina di Chieuti per una lunghezza pari a 218.2 km. In quest'area si stima un arretramento medio della linea di costa di circa 13.2 m, mentre l'area sommersa totale corrisponde a 2.2 km². Inoltre, in questa macroarea l'elaborazione della linea di costa futura è stata effettuata anche per le isole Tremiti. I valori massimi di arretramento della linea di costa si verificano nei pressi della spiaggia di Gusmay, Peschici (219.3 m), nei pressi di Marina di Vieste, zona portuale (92.2 m) e nella spiaggia di Portonuovo (87.2 m). Per quanto riguarda le isole Tremiti si ha un arretramento medio della linea di costa pari a 2.1 m e l'area sommersa totale risulta di 0.04 Km²; il valore massimo di arretramento risulta pari a 24.3 m. Si riporta nella Figura 35 la mappa del tratto di costa analizzato, in cui sono riportate la linea di costa attuale e quella ottenuta considerando la proiezione RCP 8.5; sono inoltre evidenziate, all'interno di riquadri, le zone in cui si verificano i valori massimi di arretramento, esplose nelle Figure 36, 37 e 38.



Figura 35. Confronto linea di costa attuale e futura considerando la proiezione RCP 8.5; (1) Inquadramento Marina di Vieste; (2) Inquadramento spiaggia di Portonuovo; Inquadramento Fiume Fortore; (3) Inquadramento spiaggia Gusmay (Peschici).



Figura 36. Arretramento della linea di costa zona Marina di Vieste. Mappa in scala 1:10000.

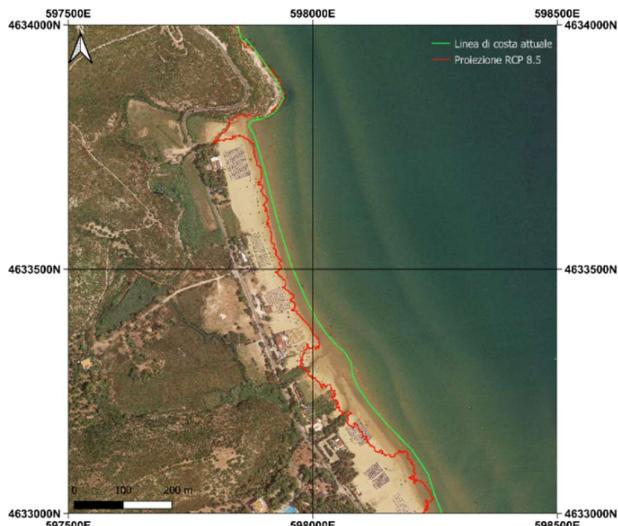


Figura 37. Arretramento della linea di costa spiaggia di Portonuovo. Mappa in scala 1:5000.

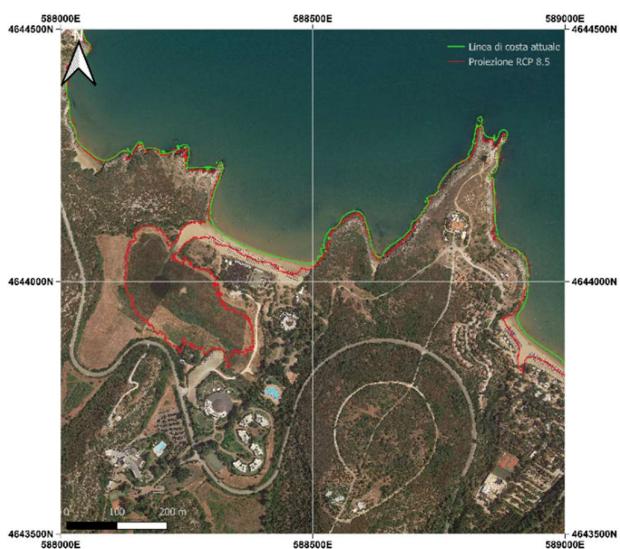


Figura 38. Arretramento della linea di costa spiaggia di Gusmay (Peschici). Mappa in scala 1:5000.

4. Risultati: impatto su pozzi e corpi idrici

In questo capitolo vengono valutati, in via qualitativa, gli impatti che l'arretramento della linea di costa potrebbe comportare sugli asset AQP, considerando sia i singoli pozzi, sia i corpi idrici sotterranei nel loro complesso.

Per quanto riguarda i pozzi, la Tabella 5 mostra, per ciascuna provincia, la distanza, mediata tra i vari pozzi, dalla linea di costa attuale (già riportata in Tabella 1), la distanza media dalla linea di costa futura (attesa sull'orizzonte futuro 2041-2070 per lo scenario RCP 8.5) e la variazione (in altre parole, l'“avvicinamento”). I risultati per singolo pozzo sono riportati in Appendice II. Si può notare che la provincia dove si verifica il maggiore avvicinamento medio tra pozzi e linea di costa è Barletta-Andria-Trani dove si misura una variazione media di 35.9 m.

Tabella 5. Sintesi per provincia della relazione tra i pozzi e la linea di costa futura. Si è utilizzata una maggiore precisione per permettere di cogliere differenze minute.

Provincia	Distanza media dalla linea di costa attuale (km)	Distanza media dalla linea di costa futura (km)	Distanza minima dalla linea di costa attuale	Distanza minima dalla linea di costa futura (km)	Variazione media (m)
Taranto	12.01	12.00	5.00	4.99	8.87
Lecce	11.54	11.53	0.67	0.63	13.50
Brindisi	13.977	13.970	5.1	5.1	7.32
Bari	14.89	14.87	4.72	4.72	22.25
Barletta-Andria-Trani	35.98	35.95	13.81	13.81	35.9
Foggia	7.1	7.09	1.23	1.23	16.07

Naturalmente, l'informazione della distanza dei pozzi dalla costa non è particolarmente rilevante ai fini della comprensione del pericolo di richiamare acqua troppo salinizzata, poiché il pozzo stesso richiama risorsa idrica dalla falda circostante, tanto più lontana quanto più rilevante è il prelievo. Entrano poi in gioco altri fattori quali la trasmissività e permeabilità dell'acquifero, il gradiente, l'equilibrio dinamico tra acqua dolce e acqua salata, etc. (Mirzavand et al. 2020). In modo semplificato, si può comunque ritenere che una vicinanza eccessiva tra il pozzo e la costa possa essere un “campanello d'allarme” per il rischio di emungere una risorsa idrica eccessivamente salinizzata.

Per quanto concerne i corpi idrici sotterranei, per ciascuno di essi si sono considerati i transetti ricadenti negli areali e si sono così valutate le aree inondate e l'arretramento medio della linea di costa, insieme alla relativa deviazione standard (Tabella 6). Sulla base di tali valori (ed in particolare del valore di arretramento medio) è proposta una classificazione dei corpi idrici da quello più interessato a quello meno interessato dal fenomeno di arretramento. Si riporta in Figura 39 la mappa dei corpi idrici sotterranei che, a causa dei cambiamenti climatici, potrebbero essere soggetti a fenomeni di intrusione di acqua marina e quindi alla possibile salinizzazione delle acque (escludendo dunque i corpi idrici non colpiti affatto dal fenomeno, mentre in Figura 40 è riportata la classificazione proposta, indicando con il colore verde i corpi idrici caratterizzati da un valore medio di arretramento della linea di costa compreso tra 9 e 25 m, con il giallo tra 25 e 40 m, con il rosso i corpi idrici con un arretramento medio della linea di costa maggiore di 40 m e con il grigio si indicano i corpi idrici in cui non è stato possibile determinare l'arretramento della linea di costa in quanto non sono disponibili i dati relativi al DTM).

Tabella 6. Sintesi della relazione tra corpi idrici sotterranei e la linea di costa futura

Nome	Valore medio di arretramento (m)	Deviazione standard (m)	Valore massimo di arretramento (m)
Gargano centro-orientale	15.1	9.3	69.4
Gargano meridionale	9.8	6.6	45.3
Gargano settentrionale	27.8	19.0	166.9
Murgia costiera	15.5	13.4	157.2
Murgia tarantina	49.1	66.5	492.5
Salento costiero	24.6	22.7	423.8
Salento miocenico centro-orientale	19.4	30.6	210.1
Rive del lago di lesina	31.2	35.8	295.4
Tavoliere centro meridionale	246.2	57.8	395.4
Tavoliere sud orientale	74.5	85.8	292.9
Barletta	NO DATA	NO DATA	NO DATA
Arco jonico tarantino orientale	21.0	16.8	114.0
Piana brindisina	22.7	22.4	110.3
Salento leccese costiero adriatico	27.4	28.2	210.1
Salento leccese sud-occidentale	41.4	21.9	104.4
Torrente Saccione	59.1	22.1	147.9

Fiume Fortore	226.0	100.9	441.2
Fiume Ofanto	NO DATA	NO DATA	NO DATA

* La dicitura "NO DATA" si riferisce al tratto di costa privo di dati di elevazione (Figura 5).

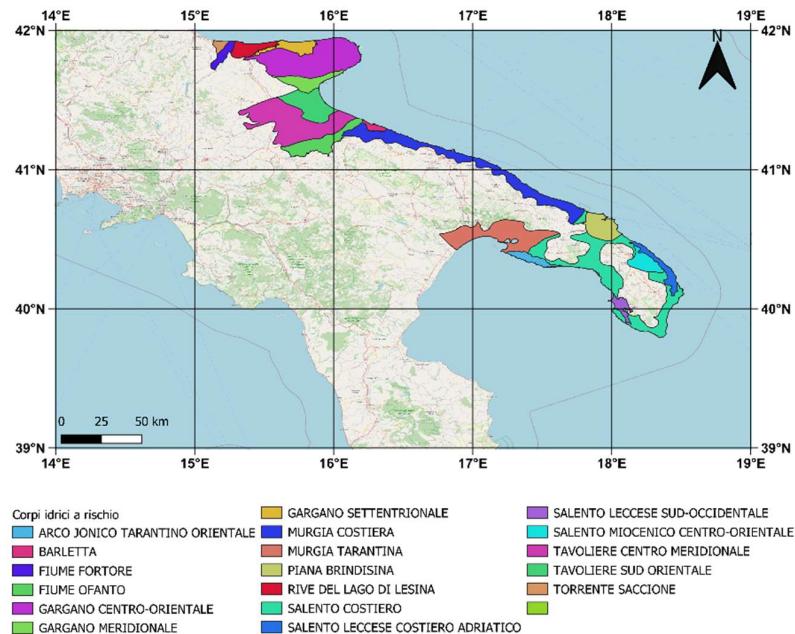


Figura 39. Possibili corpi idrici sotterranei soggetti al fenomeno di salinizzazione delle acque.

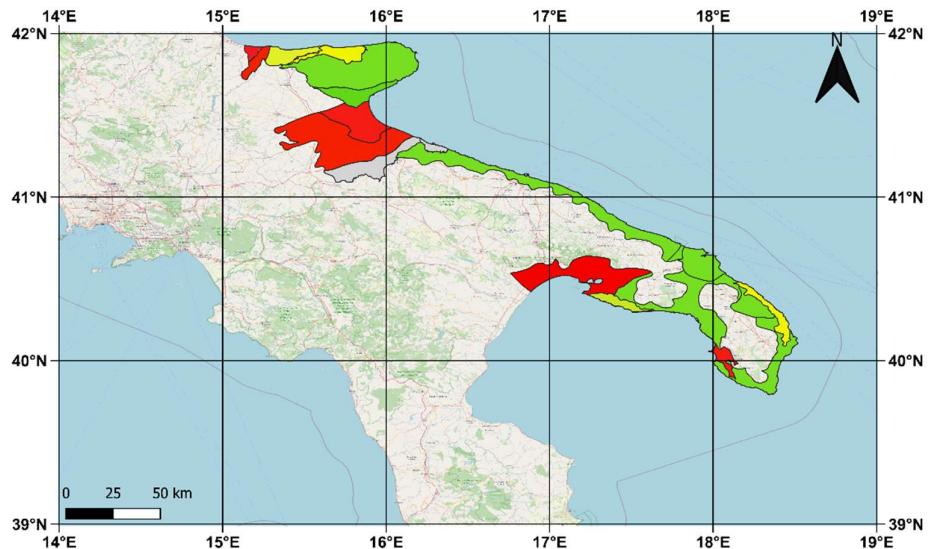


Figura 40. Classificazione corpi idrici sotterranei in base al valore di arretramento della linea di costa. Verde: arretramento tra 9 e 25 metri; giallo: arretramento tra 25 e 40 m; rosso: arretramento maggiore di 40 m; grigio: nessun dato.

È da segnalare che l'analisi spaziale effettuata per i corpi idrici sotterranei non consente di stabilire con assoluta certezza la stima di arretramento medio della linea di costa per ogni corpo idrico sotterraneo, in quanto il relativo file vettoriale risulta caratterizzato da una pessima risoluzione rispetto ai dati utilizzati per determinare la linea di costa futura. Basti pensare che la cartografia disponibile per i corpi idrici risulta già

intersecare, in alcuni punti, la linea di costa estrapolata dal DTM di riferimento utilizzato per le analisi. Tale problematica si verifica in particolare per i corpi idrici Tavoliere centro meridionale, Tavoliere Sud Orientale e Fiume Fortore, i cui confini superano la linea di costa di oltre 50 m in alcuni punti.

5. Discussione

Le analisi presentate in questo documento presuppongono che la “vicinanza” fisica tra gli acquiferi (o i pozzi di emungimento) e la costa possa essere considerato un utile *proxy*, seppur qualitativo, dei pericoli connessi alla salinizzazione dei corpi idrici. Naturalmente, il fenomeno è molto più complesso e articolato, con più di un driver anche soltanto dal punto di vista climatico: ad esempio, un elemento importante è costituito dai livelli di falda (e dai conseguenti gradienti rispetto al mare), che potrebbero subire variazioni in futuro a causa dei molteplici effetti del cambiamento climatico sul bilancio idrologico. In questo documento, l’unico driver di interesse è l’innalzamento del livello del mare.

La classificazione proposta per i corpi idrici in Figura 40 è da intendersi, rispetto al problema della salinizzazione, come puramente qualitativa e intrinsecamente parziale, dal momento che prende in considerazione esclusivamente l’effetto del cambiamento climatico sul livello del mare e trascura elementi che potrebbero rendere un acquifero più o meno vulnerabile al fenomeno, quali le caratteristiche geologiche e geomorfologiche e i gradienti piezometrici.

Le proiezioni riguardanti il livello del mare non tengono conto di possibili variazioni nella morfologia dei luoghi, che può avvenire per cause naturali o più probabilmente per cause antropiche, come ad esempio interventi di protezione oppure realizzazione o variazione di infrastrutture di pertinenza costiera. Tutti questi elementi, anche i più minimi, concorrono ad alterare la connettività idrologica, bloccando le vie di ingresso dell’acqua o, all’opposto, creando percorsi alternativi.

La cartografia di base utilizzata per misurare la “distanza” degli acquiferi dalla linea di costa presente e futura presenta una bassa risoluzione spaziale, certamente più grezza rispetto alla risoluzione pari a 2 m del DTM utilizzato per le analisi. Poiché l’arretramento della linea di costa si esprime, in definitiva, in poche unità di lunghezza, i risultati sono da considerarsi affidabili in termini di ordine di grandezza, e sui valori medi, ma meno precisi localmente. La stessa risoluzione del DTM potrebbe non essere sufficiente a cogliere gli aspetti più minimi della connettività idrologica: tuttavia, essa è la risoluzione più fine a disposizione, ed inoltre una scala di ancor maggiore dettaglio potrebbe comportare la necessità di ridurre l’area investigata per contenere l’effort computazionale.

I valori di Sea Level Rise utilizzati sono il frutto di una catena modellistica articolata, che tiene conto di un ensemble di proiezioni globali piuttosto ampio, per il quale non sono però disponibili informazioni riguardanti l’incertezza. Non è stato dunque possibile valutare in che misura tale incertezza si possa propagare in termini di arretramento della linea di costa. L’unica misura di incertezza, in questa analisi, riguarda la sola variabilità spaziale del fenomeno, che si trova, nel presente documento, sintetizzato per macro-area, per provincia o per corpo idrico. Si nota inoltre che l’unico scenario qui considerato è RCP 8.5, semplicemente perché esso è l’unico disponibile per un orizzonte temporale futuro che si avvicini a quello della Convenzione (2041-2070 vs. 2021-2050). Proiezioni sotto lo scenario RCP 4.5 sono invece disponibili solo per l’orizzonte 2071-2100, ritenuto troppo lontano per gli scopi della Convenzione.

Con riferimento all'area di Taranto, i risultati ottenuti in questo documento sono in accordo con precedenti ricerche scientifiche condotte da ISPRA (Antonioli et al. 2017), le cui mappe, pubblicate dal sito ISPRA¹³, mostrano dei risultati simili a quelli ottenuti per la presente attività. Ciò costituisce motivo di validazione per la metodologia proposta per determinare l'arretramento della linea di costa per effetto del cambiamento climatico.

In accordo con AQP, l'Appendice III presenta un approfondimento che confronta la distanza della linea di costa da attendersi in futuro dalla posizione di alcuni impianti di dissalazione di interesse AQP, al fine di comprenderne la fattibilità e la convenienza di realizzazione e/o di esercizio. Tali considerazioni potranno essere utilmente incluse in successive valutazioni connesse alla sicurezza della parte impiantistica del Servizio Idrico Integrato rispetto al cambiamento climatico.

6. Conclusioni e messaggi chiave

La posizione della linea di costa nella regione Puglia è considerata in questa attività come rappresentativa dei pericoli connessi alla salinizzazione degli acquiferi, e dunque al pericolo di richiamare dai pozzi di emungimento risorsa idrica eccessivamente salata, con conseguenti maggiori oneri di potabilizzazione. In altre parole, **una variazione positiva (avvicinamento, o “arretramento”) di questa variabile rappresenta un aumento del pericolo di salinizzazione degli acquiferi per effetto del cambiamento climatico** ed è quindi ciò da cui ci si vuole cautelare; una variazione negativa (allontanamento) rappresenta invece una diminuzione del pericolo, per effetto del cambiamento climatico. Non sono presi dunque in considerazione ulteriori elementi che certamente concorrono a una possibile variazione futura del grado di salinità, sia per cause naturali (comprese altre cause di natura climatica) sia per cause antropiche.

L'aumento del livello del mare fa sì che **sull'intero territorio considerato** (la regione Puglia) sia da attendersi una variazione positiva, ovvero **un arretramento verso l'entroterra della linea di costa**. Non è possibile in questo caso estrapolare il ruolo dello scenario di concentrazione, poiché sull'orizzonte temporale a breve termine (2041-2070) i dati a disposizione riguardano solo lo scenario RCP 8.5.

La valutazione dell'arretramento della linea di costa è stata effettuata sulla base di otto macro-aree, al puro fine di ridurre l'onere computazionale. Complessivamente, **la macro-area in cui l'arretramento (medio nello spazio) della linea di costa è maggiore è Barletta-Foggia (+15.8 m), seguita da Taranto-Lecce (+14.5 m)**, mentre la macro-area per la quale l'arretramento è minore è Lecce (+6.6 m), seguita da Brindisi-Bari (+9 m). **Se invece si va a guardare le aree potenzialmente sommerse, è Foggia l'area più colpita (2.2 km²), seguita da Taranto (1.8 km²)**, mentre l'area meno interessata è quella di Bari-Barletta (+0.8 km²). La non perfetta corrispondenza tra le aree caratterizzate dal maggior valore di arretramento e quelle caratterizzate dalla maggiore superficie inondata è spiegabile considerando la diversa morfologia dei luoghi.

Intersecando l'informazione sulla posizione attesa in futuro della linea di costa e la posizione dei pozzi di emungimento, ripartiti per provincia, in media non si riscontra un avvicinamento significativo, nel senso che **la distanza iniziale media dei pozzi dalla costa è significativamente più alta rispetto all'arretramento atteso, che quindi non dovrebbe comportare particolari aumenti del pericolo**. Localmente (ovvero pozzo per pozzo)

¹³ <http://portalesgi.isprambiente.it/it/news/news/scenari-di-innalzamento-del-livello-del-mare-su-alcune-aree-costiere-italiane>

vi sono avvicinamenti anche importanti (in particolare per la provincia di Lecce, dove uno dei pozzi viene a trovarsi più vicino alla costa di +40 m): tuttavia, anche valutando i casi peggiori la distanza tra il pozzo più vicino e la linea di costa futura rimane ampia.

Se invece si sposta l'attenzione sugli acquiferi, è importante notare che già da ora tutti gli acquiferi costieri (ovvero che già oggi si trovano a ridosso della costa) sono di interesse per l'emungimento di risorsa idropotabile da parte di AQP. Valutando l'arretramento medio della linea di costa per ciascuno di questi corpi idrici, **gli acquiferi più colpiti risultano quelli in rosso in Figura 40, ovvero Salento leccese sud-occidentale (+41.4 m), Murgia tarantina (+49.1 m), fiume Fortore (+226 m), Tavoliere centro-meridionale (+246.2 m) e sud-orientale (+74.5 m)**. Il corpo idrico meno colpito è invece il Gargano meridionale (+9.8 m). È da notare che tutti questi corpi idrici presentano uno stato chimico che è già valutato come "scarso" secondo la classificazione ARPA riferita al triennio 2016-2018. Secondo invece la classificazione regionale del 2013, risultano "a rischio" i corpi idrici del Fortore, Murgia Tarantina, Tavoliere centro-meridionale e sud-orientale, mentre risulta "probabilmente a rischio" il corpo idrico del Salento leccese sud-occidentale. **In media, dunque, l'aumento maggiore del pericolo si ha per quegli acquiferi che sono già caratterizzati da uno stato precario in termini sia qualitativi che quantitativi.**

Tutte le valutazioni appena riportate sono basate su motivazioni, assunzioni e limitazioni ampiamente descritte nella Nota metodologica e nella Discussione.

Appendice I

Tabella A1: Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Taranto: identificativo, Comune di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale, in [km], valutata sulla base del DTM.

id	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
132	Castellaneta	AQP	in uso	14.4
133	Castellaneta	AQP	in uso	14.0
134	Castellaneta	AQP	" "	13.7
135	Castellaneta	AQP	" "	13.3
136	Castellaneta	AQP	" "	13.2
137	Castellaneta	AQP	" "	13.2
138	Castellaneta	AQP	" "	13.2
139	Castellaneta	AQP	" "	14.9
140	Castellaneta	AQP	" "	15.1
141	Castellaneta	AQP	" "	15.4
142	Manduria	AQP	" "	11.1
143	Castellaneta	AQP	" "	14.8
144	Castellaneta	AQP	" "	14.6
145	Castellaneta	AQP	" "	13.6
146	Castellaneta	AQP	" "	14.6
147	Lizzano	AQP	" "	8.2
148	Avetrana	C. Arneo	" "	9.5
149	Avetrana	C. Arneo	" "	10.0
150	Manduria	C. Arneo	" "	14.3
151	Massafra	AQP	" "	8.4
183	Torricella	Comune	in uso emergenziale	7.1
198	Castellaneta	AQP	" "	14.2
199	Avetrana	C. Arneo	" "	5.8
265	S.Giorgio Jonico	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete potabile	6.1
266	S.Giorgio Jonico C.da Le	Regione Puglia	" "	5.0
267	Faggiano	Regione Puglia	" "	6.9
268	Faggiano	Regione Puglia	" "	7.2
269	Monteparano	Regione Puglia	" "	9.0
270	Monteparano	Regione Puglia	" "	9.0
271	S. Marzano	Regione Puglia	" "	14.6
272	S. Marzano	Regione Puglia	" "	14.2
273	Monteiasi	Regione Puglia	" "	5.5
274	Monteiasi	Regione Puglia	" "	6.4
157	Martina Franca	CBTA	in uso CBTA per acquedotti rurali	19.1
158	Mottola	CBTA	" "	21.0
159	Martina Franca	CBTA	" "	22.2
207	Massafra	CBTA	" "	10.9
208	Massafra	CBTA	" "	11.6
209	Massafra	CBTA	" "	12.0
210	Massafra	CBTA	" "	12.0
211	Crispiano	CBTA	" "	11.9

Tabella A2 : Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Lecce: identificativo, Comune (Provincia) di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale (in [km]) valutata sulla base del DTM.

id	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
121	Salice Salentino	C. Arneo	in uso	10.5
191	Salice Salentino	C. Arneo	in uso emergenziale	9.6
258	Nardò - C.da Pittuini	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete	2.8
259	Nardò - C.da Ascanio	Regione Puglia	" "	3.2
260	Nardò	Regione Puglia	" "	3.0
261	Nardò - C.Builli	Regione Puglia	" "	2.9
262	Nardò	Regione Puglia	" "	2.1
263	Nardò	Regione Puglia	" "	3.6
264	Nardò	Regione Puglia	" "	2.9
67	Acquarica del Capo	CBU	in uso	8.7
68	Alessano	AQP	" "	6.0
113	Alessano	CBU	" "	6.2
114	Specchia	AQP	" "	10.2
236	Ruffano	Privata	Dismesso	14.0
240	Salve	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP,	4.3
41	Caprarica	AQP	in uso	14.1
42	Sternatia	AQP	in uso	14.4
43	Sternatia	AQP	" "	14.4
44	Sternatia	AQP	" "	14.3
45	S.Donato	Privata	" "	14.4
46	S.Donato	Privata	" "	14.3
47	S.Donato	Privata	" "	14.4
48	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	17.1
49	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.9
50	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.9
51	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.9
52	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.0
53	Trepuzzi	AQP	" "	11.6
54	Campi Salentina	AQP	" "	15.1
55	Melendugno	AQP	" "	6.3
56	Poggiardo	AQP	" "	6.8
57	Poggiardo	AQP	" "	6.8
58	Lecce	CBU	" "	13.8
59	Vernole	CBU	" "	6.9
60	Martignano	CBU	" "	13.3
61	Carpignano	CBU	" "	5.7
62	Carpignano	CBU	" "	9.6
63	Surbo	CBU	" "	9.3
64	Lecce	AQP	" "	12.1
65	Lecce	CBU	" "	8.8
66	Zollino	CBU	" "	18.2
69	Galatone	AQP	" "	6.3
70	Galatone	AQP	" "	6.2
71	Galatone	AQP	" "	6.2
72	Galatone	AQP	" "	6.3
73	Tuglie	AQP	" "	8.3
74	Neviano	AQP	" "	8.2
75	Neviano	AQP	" "	8.4
76	Matino	AQP	" "	10.1
77	Matino	AQP	" "	10.4
78	Neviano	CBU	" "	10.4
79	Neviano	CBU	" "	9.1
80	Neviano	Privata	" "	7.7
81	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	17.0
82	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	17.0
83	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.
84	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.9
85	Lecce	Privata	" "	12.7

86	Lecce	Privata	" "	12.7
87	Lecce	Privata	" "	12.6
88	Lecce	Privata	" "	17.1
89	Lecce	Privata	" "	17.0
90	Carmiano	Privata	" "	13.2
91	S.Donato	Privata	" "	16.0
92	Lecce	Privata	" "	12.0
93	Lecce	Privata	" "	12.1
94	Lecce	Privata	" "	12.1
95	Novoli	Privata	" "	12.7
96	Novoli	Privata	" "	12.7
97	Novoli	Privata	" "	12.7
98	Novoli	Privata	" "	12.7
99	Novoli	Privata	" "	13.3
100	Novoli	Privata	" "	13.4
101	Muro Leccese	Privata	" "	13.1
102	Muro Leccese	Privata	" "	13.1
103	Muro Leccese	Privata	" "	13.1
104	Soleto	Privata	" "	18.0
105	Soleto	Privata	" "	18.0
106	Lecce	Privata	" "	12.7
107	Tuglie	Privata	" "	8.2
108	Tuglie	Privata	" "	8.6
109	Tuglie	Privata	" "	8.6
110	Tuglie	Privata	" "	8.0
111	Capratica	AQP	" "	13.9
112	Capratica	AQP	" "	14.0
115	Casarano	AQP	" "	12.5
116	Bagnolo	AQP	" "	10.6
117	Neviano	CBU	" "	8.0
118	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	17.1
119	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	17.1
120	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	17.1
122	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.8
123	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.8
124	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.9
125	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.8
126	Casarano	CBU	" "	13.6
127	Parabita	AQP	" "	9.8
128	Parabita	AQP	" "	9.8
129	Parabita	AQP	" "	9.8
130	Matino	AQP	" "	10.8
131	Corigliano d'Otranto	AQP	" "	16.8
185	Melendugno	AQP	in uso emergenziale	2.0
192	Corigliano d'Otranto	Privata	in uso emergenziale	16.9
193	Soleto	Privata	" "	18.1
194	Soleto	Privata	" "	18.0
195	Zollino	CBU	" "	17.9
196	Zollino	CBU	" "	17.8
197	Galatina	CBU	" "	17.1
203	Corigliano d'Otranto	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP,	15.8
204	Corigliano d'Otranto	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP,	16.4
205	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.0
206	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.1
207	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.4
208	Parabita	Privata	" "	9.4
209	Corigliano d'Otranto	Privata	" "	16.4
210	Carmiano	AQP	Dismesso	15.8
235	Galatone	Privata	Dismesso	5.4
237	Corigliano	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP,	16.4
238	Poggiodi	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP,	7.4
239	Galatone	Privata	" "	5.8

241	Novoli	Privata	" "	13.5
242	Novoli	Privata	" "	13.4
243	Galatone	Privata	" "	5.3
244	Casarano	AQP	Dismesso	12.7
245	Lecce	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete	4.0
246	Lecce	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete	0.67
247	Lecce	Regione Puglia	" "	6.2
248	Cavallino	Regione Puglia	" "	13.7
249	Cavallino	Regione Puglia	" "	13.6
250	Pisignano	Regione Puglia	" "	7.7
251	Caprarica	Regione Puglia	" "	12.4
252	Caprarica	Regione Puglia	" "	13.9
253	Caprarica	Regione Puglia	" "	12.5
254	Otranto	Regione Puglia	" "	2.1
255	Otranto	Regione Puglia	" "	1.6
256	Otranto	Regione Puglia	" "	1.5
257	Otranto	Regione Puglia	" "	2.0
275	Carmiano	Privata	" "	14.6
276	Lecce	Privata	" "	13.0
277	Lecce	Privata	" "	12.8

Tabella A3 : Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Brindisi: identificativo, Comune (Provincia) di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale (in [km]) valutata sulla base del DTM.

ID	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
31	Francavilla Fontana	AQP	in uso	15.8
32	Francavilla Fontana	AQP	in uso	15.9
33	Ostuni	C. Arneo	in uso	6.2
184	Latiano	AQP	in uso emergenziale	18.5
221	Fasano	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, riutilizzabile tramite esproprio/requisizione	6.3
222	Ostuni	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, riutilizzabile tramite esproprio/requisizione	7.3
223	Latiano	Privata	" "	18.0
224	Latiano	Privata	" "	18.0
225	Torre S.S	Privata	" "	19.3
226	Oria	Privata	" "	20.7
227	Torre S.S	Privata	" "	20.2
228	Torre S.S	Privata	" "	20.6
229	Brindisi - C.da Grottamiranda	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete potabile	5.1
230	Brindisi	Regione Puglia	Utilizzato per scopi irrigui da collegare alla rete potabile	11.5
231	Brindisi	Regione Puglia	" "	10.3
232	Brindisi	Regione Puglia	" "	10.7
233	Brindisi	Regione Puglia	" "	14.7
234	Brindisi	Regione Puglia	" "	11.5

Tabella A4 : Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Bari: identificativo, Comune (Provincia) di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale (in [km]) valutata sulla base del DTM.

id	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
1	Poggiosini	Comune	in uso	39.6
2	Palo del Colle	AQP	in uso	11.5
3	Gravina	AQP	" "	44.6
4	Ceglie del Campo	AQP	" "	6.4
5	Acquaviva	AQP	" "	27.5
6	Cellamare	AQP	" "	10.0
7	Rutigliano	AQP	" "	11.6
8	Rutigliano	AQP	" "	11.7
9	Rutigliano	AQP	" "	9.0
10	Rutigliano	AQP	" "	8.9
11	Monopoli	AQP	" "	5.8
12	Ceglie del Campo	AQP	" "	6.5
13	Casamassima	CBTA	" "	11.6
14	Casamassima	CBTA	" "	12.8
15	Monopoli	AQP	" "	5.9
16	Alberobello	Regione Puglia	" "	12.5
17	Monopoli	AQP	" "	4.7
152	Palo	Regione Puglia	in uso emergenziale	14.0
153	Palo	Regione Puglia	in uso emergenziale	18.1
154	Palo	Regione Puglia	" "	14.8
155	Polignano	CBTA	" "	8.6
156	Polignano	CBTA	" "	6.7
157	Polignano	CBTA	" "	9.7
158	Ruvo di Puglia	Regione Puglia	" "	15.0
159	Ruvo di Puglia	Regione Puglia	" "	11.7
160	Adelfia	Regione Puglia	" "	12.6
161	Adelfia	Regione Puglia	" "	13.9
162	Adelfia	Regione Puglia	" "	14.3
163	Adelfia	Regione Puglia	" "	14.7
164	Adelfia	Regione Puglia	" "	14.9
165	Adelfia	Regione Puglia	" "	12.6
166	Adelfia	Regione Puglia	" "	12.4
167	Adelfia	Regione Puglia	" "	12.9
168	Gioia del Colle	Regione Puglia	" "	32.2
169	Ruvo di Puglia	CBTA	" "	15.7
170	Polignano	Regione Puglia	" "	5.2
171	Polignano	Regione Puglia	" "	4.8
172	Polignano	Regione Puglia	" "	8.9
173	Conversano	Regione Puglia	" "	12.2
174	Conversano	Regione Puglia	" "	11.1
175	Conversano	Regione Puglia	" "	11.2
176	Conversano	Regione Puglia	" "	9.8
177	Casamassima	Regione Puglia	" "	13.3
178	Casamassima	Regione Puglia	" "	13.3
186	Palo	Regione Puglia	" "	13.8
187	Monopoli	AQP	" "	6.2
188	Bitritto	AQP	" "	12.0
189	Bitritto	AQP	" "	11.8
200	Mola	CBTA	Dismesso	6.09
211	Bitritto	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, rutilizzabile tramite esproprio/requisizione	13.3
212	Bitritto	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, rutilizzabile tramite esproprio/requisizione	13.3
213	Grumo Appula	Privata	" "	17.8
214	Bitetto	Privata	" "	14.2
215	Casamassima	Privata	" "	12.8
216	Casamassima	Privata	" "	18.5
217	Casamassima	Privata	" "	17.8
218	Rutigliano	Privata	" "	6.2

219	Noicattaro	Privata	" "	8.3
220	Noicattaro	Privata	" "	8.3
17	Altamura	CBTA	in uso CBTA per acquedotti rurali	33.6
18	Minervino Murge	CBTA	in uso CBTA per acquedotti rurali	25.6
19	Gravina	CBTA	" "	36.3
20	Santeramo in Colle	CBTA	" "	39.1
21	Gioia del Colle	CBTA	" "	30.0
22	Noci	CBTA	" "	18.1
161	Altamura	CBTA	" "	32.0

Tabella A5 : Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Barletta-Andria-Trani: identificativo, Comune di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale (in [km]) valutata sulla base del DTM.

id	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
18	Spinazzola	AQP	in uso	42.1
19	Spinazzola	AQP	in uso	42.0
20	Spinazzola	AQP	" "	41.9
21	Spinazzola	AQP	" "	47.3
22	Spinazzola	AQP	" "	47.2
23	Spinazzola	AQP	" "	48.3
24	Spinazzola	AQP	" "	47.4
25	Spinazzola	AQP	" "	47.3
26	Spinazzola	CBTA	" "	39.5
27	Spinazzola	CBTA	" "	40.7
28	Spinazzola	CBTA	" "	39.5
29	Spinazzola	CBTA	" "	40.5
30	Spinazzola	CBTA	" "	39.5
179	Andria	CBTA	in uso emergenziale	18.0
180	Andria	CBTA	in uso emergenziale	17.8
181	Trani	CBTA	" "	13.8
182	Andria	CBTA	" "	17.3
190	Andria	CBTA	" "	16.8

Tabella A6 : Caratteristiche dei pozzi di emungimento per la provincia di Foggia: identificativo, Comune (Provincia) di riferimento, ente proprietario, stato del pozzo, distanza dalla linea di costa attuale (in [km]) valutata sulla base del DTM.

id	COMUNE	PROPRIETÀ	STATO POZZO	Distanza dalla linea di costa attuale (km)
34	Apricena	AQP	in uso	11.7
35	Ischitella	AQP	in uso	3.1
36	Ischitella	AQP	" "	3.3
37	Peschici	AQP	" "	3.0
38	Apricena	AQP	" "	14.2
39	Apricena	AQP	" "	15.2
40	Carpino	AQP	" "	9.1
201	Vieste	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, riutilizzabile tramite esproprio/requisizione	2.9
202	Peschici	Privata	Pozzo privato a suo tempo utilizzato da AQP, riutilizzabile tramite esproprio/requisizione	1.2

Appendice II

Tabella A7. Sintesi della relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Taranto.

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione distanza (m)
132	Castellaneta	14.4	6.4
133	Castellaneta	14.0	5.9
134	Castellaneta	13.7	3.8
135	Castellaneta	13.3	3.4
136	Castellaneta	13.2	6.2
137	Castellaneta	13.2	5.6
138	Castellaneta	13.2	9.2
139	Castellaneta	14.9	26.4
140	Castellaneta	15.1	8.2
141	Castellaneta	15.4	6.
142	Manduria	11.1	11.9
143	Castellaneta	14.8	5.5
144	Castellaneta	14.6	3.8
145	Castellaneta	13.6	3.7
146	Castellaneta	14.6	6.6
147	Lizzano	8.2	12.7
148	Avetrana	9.5	5.8
149	Avetrana	10.0	8.3
150	Manduria	14.3	7.6
151	Massafra	8.4	5.9
183	Torricella	7.1	17.4
198	Castellaneta	14.2	10.5
199	Avetrana	5.8	11.9
265	S.Giorgio Jonico	6.1	5.7
266	S.Giorgio Jonico	5.0	8.5
267	Faggiano	6.9	7.6
268	Faggiano	7.2	8.6
269	Monteparano	9.0	10.1
270	Monteparano	9.0	6.2
271	S. Marzano	14.6	7.5
272	S. Marzano	14.2	6.4
273	Monteiasi	5.5	6.7
274	Monteiasi	6.4	19.6
157	Martina Franca	19.1	7.8
158	Mottola	21.0	12.1
159	Martina Franca	22.2	17.3
207	Massafra	10.9	9.5
208	Massafra	11.6	8.0
209	Massafra	12.0	9.1
210	Massafra	12.0	10.8
211	Crispiano	11.9	7.8

Dai risultati riportati in tabella A7 per i pozzi che ubicati nella provincia di Taranto si evince una variazione media della distanza dalla linea di costa di circa 8.8 metri.

Tabella A8. Relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Lecce

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione distanza (m)
121	Salice Salentino	10.5	8.5
191	Salice Salentino	9.6	8.1
258	Nardò	2.8	11.8
259	Nardò	3.2	37.6
260	Nardò	3.0	26.5
261	Nardò	2.9	8.2

262	Nardò	2.1	8.1
263	Nardò	3.6	23.3
264	Nardò	2.9	22.4
67	Acquarica del Capo	8.7	19.9
68	Alessano	6.0	8.9
113	Alessano	6.2	8.9
114	Specchia	10.2	4.9
236	Ruffano	14.0	3.8
240	Salve	4.3	2.7
41	Caprarica	14.0	1.0
42	Sternatia	14.4	26.9
43	Sternatia	14.4	8.8
44	Sternatia	14.3	11.9
45	S.Donato	14.4	2.4
46	S.Donato	14.3	2.5
47	S.Donato	14.4	5.3
48	Corigliano d'Otranto	17.1	3.1
49	Corigliano d'O	16.9	13.6
50	Corigliano d'O	16.9	0.09
51	Corigliano d'O	16.9	0.02
52	Corigliano d'O	16.0	3.5
53	Trepuzzi	11.6	62.6
54	Campi Salentina	15.08	15.0
55	Melendugno	6.33	6.7
56	Poggiardo	6.86	2.2
57	Poggiardo	6.83	2.2
58	Lecce	13.82	14.7
59	Vernole	6.90	3.2
60	Martignano	13.38	3.8
61	Carpignano	5.73	0.5
62	Carpignano	9.64	11.7
63	Surbo	9.34	15.9
64	Lecce	12.12	0
65	Lecce	8.81	48.8
66	Zollino	18.29	0
69	Galatone	6.30	10.7
70	Galatone	6.22	10.4
71	Galatone	6.23	10.1
72	Galatone	6.29	10.4
73	Tuglie	8.30	32.9
74	Neviano	8.21	17.9
75	Neviano	8.4	18.4
76	Matino	10.1	4.5
77	Matino	10.4	0.8
78	Neviano	10.4	13.3
79	Neviano	9.1	14.8
80	Neviano	7.7	14.3
81	Corigliano d'Otranto	17.0	0
82	Corigliano d'Otranto	17.0	0.2
83	Corigliano d'Otranto	16.9	0.5
84	Corigliano d'Otranto	16.9	0.7
85	Lecce	12.7	0.7
86	Lecce	12.7	9.6
87	Lecce	12.6	14.5
88	Lecce	17.0	5.8
89	Lecce	17.0	0.2
90	Carmiano	13.2	18.8
91	S.Donato	15.9	83.3
92	Lecce	12.0	8.5
93	Lecce	12.1	9.1
94	Lecce	12.1	10.0
95	Novoli	12.7	0.3

96	Novoli	12.7	0
97	Novoli	12.7	0.1
98	Novoli	12.7	55.1
99	Novoli	13.3	57.2
100	Novoli	13.4	57.2
101	Muro Leccese	13.1	5.9
102	Muro Leccese	13.1	2.1
103	Muro Leccese	13.1	23.2
104	Soleto	18.0	3.3
105	Soleto	18.0	9.4
106	Lecce	12.7	0
107	Tuglie	8.2	41.7
108	Tuglie	8.6	35.7
109	Tuglie	8.6	13.9
110	Tuglie	8.0	12.8
111	Caprarica	13.9	0.6
112	Caprarica	14.0	3.7
115	Casarano	12.5	1.4
116	Bagnolo	10.6	0.5
117	Neviano	8.0	13.2
118	Corigliano d'Otranto	17.1	3.7
119	Corigliano d'Otranto	17.1	6.5
120	Corigliano d'Otranto	17.1	3.2
122	Corigliano d'Otranto	16.8	6.9
123	Corigliano d'Otranto	16.8	1.6
124	Corigliano d'Otranto	16.9	2.5
125	Corigliano d'Otranto	16.8	17.8
126	Casarano	13.6	7.3
127	Parabita	9.8	34.0
128	Parabita	9.8	9.8
129	Parabita	9.8	21.7
130	Matino	10.8	1.8
131	Corigliano	16.8	2.2
185	Melendugno	2.0	12.0
192	Corigliano	16.9	3.5
193	Soleto	18.1	0.6
194	Soleto	18.0	7.3
195	Zollino	17.9	7.0
196	Zollino	17.8	11.1
197	Galatina	17.1	11.1
203	Corigliano d'Otranto	15.8	7.8
204	Corigliano d'Otranto	16.4	15.0
205	Corigliano d'Otranto	16.0	0.8
206	Corigliano d'Otranto	16.1	2.1
207	Corigliano d'Otranto	16.4	3.5
208	Parabita	9.4	22.2
209	Corigliano d'Otranto	16.4	15.1
210	Carmiano	15.8	11.3
235	Galatone	5.4	4.3
237	Corigliano	16.4	8.8
238	Poggiodi	7.4	2.2
239	Galatone	5.8	11.0
241	Novoli	13.5	56.1
242	Novoli	13.4	56.5
243	Galatone	5.3	4.3
244	Casarano	12.7	0
245	Lecce	4.0	0
246	Lecce	0.63	43.3
247	Lecce	6.2	1.7
248	Cavallino	13.7	2.3
249	Cavallino	13.6	1.2
250	Pisignano	7.7	6.4

251	Caprarica	12.4	86.8
252	Caprarica	13.9	28.0
253	Caprarica	12.5	25.2
254	Otranto	2.1	0.3
255	Otranto	1.6	20.9
256	Otranto	1.5	8.4
257	Otranto	2.0	0.9
275	Carmiano	14.6	30.7
276	Lecce	13.0	2.9
277	Lecce	12.8	4.6

Dai risultati riportati in tabella A8 si evince che per i pozzi della provincia di Lecce si ha una variazione media della distanza dalla linea di costa pari a circa 13.5 metri.

Tabella A9. Relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Brindisi.

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione distanza (m)
31	Francavilla Fontana	15.8	26.0
32	Francavilla Fontana	15.9	24.8
33	Ostuni	6.2	1.7
184	Latiano	18.5	13.6
221	Fasano	6.3	0.3
222	Ostuni	7.3	15.3
223	Latiano	18.0	4.5
224	Latiano	18.0	9.9
225	Torre S. Susanna	19.3	1.3
226	Oria	20.7	0
227	Torre S.S	20.2	3.4
228	Torre S.S	20.6	1.4
229	Brindisi	5.1	4.6
230	Brindisi	11.5	5.4
231	Brindisi	10.3	4.2
232	Brindisi	10.7	4.0
233	Brindisi	14.7	6.4
234	Brindisi	11.5	4.1

Dai risultati riportati in tabella A9 si ha una variazione media della distanza dei pozzi, della provincia di Brindisi, dalla linea di costa pari a 7.3 metri.

Tabella A10. Relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Bari.

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione (m)
1	Poggiorini	39.6	10.7
2	Palo del Colle	11.5	4.1
3	Gravina	44.6	10.8
4	Ceglie del Campo	6.4	1.0
5	Acquaviva	27.3	190.6
6	Cellamare	10.0	5.5
7	Rutigliano	11.6	8.9
8	Rutigliano	11.7	8.9
9	Rutigliano	9.0	7.7
10	Rutigliano	8.9	7.7
11	Monopoli	5.8	7.2
12	Ceglie del Campo	6.5	5.2
13	Casamassima	11.6	57.9
14	Casamassima	12.6	156.1
15	Monopoli	5.9	8.9
16	Alberobello	12.5	25.0
17	Monopoli	4.7	7.0

152	Palo	14.0	8.1
153	Palo	18.1	7.0
154	Palo	14.8	6.1
155	Polignano	8.6	14.7
156	Polignano	6.7	16.4
157	Polignano	9.7	14.9
158	Ruvo di Puglia	15.0	12.9
159	Ruvo di Puglia	11.7	14.3
160	Adelfia	12.6	5.8
161	Adelfia	13.9	5.3
162	Adelfia	14.3	6.7
163	Adelfia	14.7	7.9
164	Adelfia	14.9	4.1
165	Adelfia	12.4	229.3
166	Adelfia	12.4	9.4
167	Adelfia	12.9	8.3
168	Gioia del Colle	32.2	18.8
169	Ruvo di Puglia	15.7	5.0
170	Polignano	5.2	3.4
171	Polignano	4.8	14.1
172	Polignano	8.9	23.9
173	Conversano	12.2	17.9
174	Conversano	11.1	4.9
175	Conversano	11.2	7.4
176	Conversano	9.8	7.4
177	Casamassima	13.3	2.0
178	Casamassima	13.3	5.3
186	Palo	13.8	11.8
187	Monopoli	6.2	1.6
188	Bitritto	12.0	5.9
189	Bitritto	11.6	201.6
200	Mola	6.0	14.8
211	Bitritto	13.3	3.2
212	Bitritto	13.3	5.2
213	Grumo Appula	17.8	15.3
214	Bitetto	14.2	17.9
215	Casamassima	12.8	7.7
216	Casamassima	18.5	2.5
217	Casamassima	17.8	13.6
218	Rutigliano	6.2	8.5
219	Noicattaro	8.3	7.6
220	Noicattaro	8.3	7.6
17	Altamura	33.6	13.1
18	Minervino Murge	25.5	89.4
19	Gravina	36.3	8.0
20	Santeramo in Colle	39.1	5.5
21	Gioia del Colle	30.0	9.8
22	Noci	18.1	7.0
161	Altamura	32.0	3.5

Dai risultati riportati in tabella A10 si evince che i pozzi della provincia di Bari sono caratterizzati da una variazione media della distanza dalla linea di costa pari a 22.2 metri.

Tabella A11. Relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Barletta.

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione (m)
18	Spinazzola	42.1	49.2
19	Spinazzola	41.9	51.1
20	Spinazzola	41.9	50.0
21	Spinazzola	47.3	30.6
22	Spinazzola	47.2	80.6
23	Spinazzola	48.3	15.2
24	Spinazzola	47.4	47.0
25	Spinazzola	47.3	55.1
26	Spinazzola	39.5	5.0
27	Spinazzola	40.7	13.2
28	Spinazzola	39.5	1.1
29	Spinazzola	40.5	13.4
30	Spinazzola	39.5	29.1
179	Andria	17.9	46.1
180	Andria	17.7	42.0
181	Trani	13.8	18.4
182	Andria	17.3	48.1
190	Andria	16.8	50.2

Dai risultati riportati in tabella A11 per i pozzi della provincia di Barletta-Andria-Trani si ottiene una variazione media della distanza dalla linea di costa pari a 35.9 metri.

Tabella A12. Relazione tra i pozzi e la linea di costa futura per la provincia di Foggia.

id	COMUNE	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione (m)
34	Apricena	11.7	3.3
35	Ischitella	3.1	22.0
36	Ischitella	3.3	21.1
37	Peschici	3.0	3.6
38	Apricena	14.2	16.5
39	Apricena	15.2	4.0
40	Carpino	9.1	16.5
201	Vieste	2.9	36.2
202	Peschici	1.2	21.1

Dai risultati riportati in tabella A12 si evince che i pozzi della provincia di Foggia sono caratterizzati da una variazione media della distanza dalla linea di costa pari a 16.0 metri.

Appendice III: Impianti di dissalazione

In questa sezione si riportano le distanze degli impianti di dissalazione, la cui ubicazione è stata fornita da AQP, dalla linea di costa attuale, dalla linea di costa attesa in futuro e la conseguente variazione per effetto dei cambiamenti climatici.

Tabella A13. Distanza dissalatori-Linea di costa attuale e futura.

Comune dissalatore	Distanza dalla linea di costa attuale (Km)	Distanza dalla linea di costa RCP 8.5 (km)	Variazione (m)
Taranto	2.73	2.70	31.5
Brindisi	0.6	0.6	1.8
Margherita di Savoia	3.45	3.43	17.1

Si riportano nelle figure successive (Figure A1, A2 e A3) le mappe relative alle distanze tra gli impianti di dissalazione e la linea di costa attuale/futura.

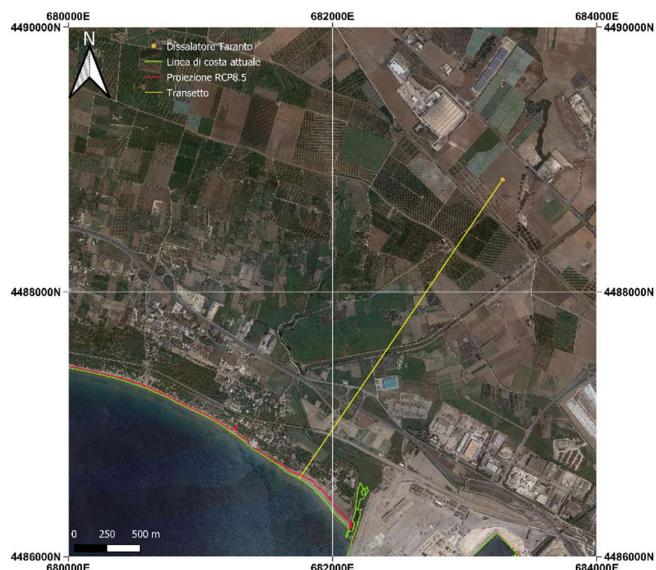


Figura A1. Distanza dissalatore Taranto-Linea di costa attuale e futura. Mappa in scala 1/20000.



Figura A2. Distanza dissalatore Brindisi-Linea di costa attuale e futura. Mappa in scala 1/10000.

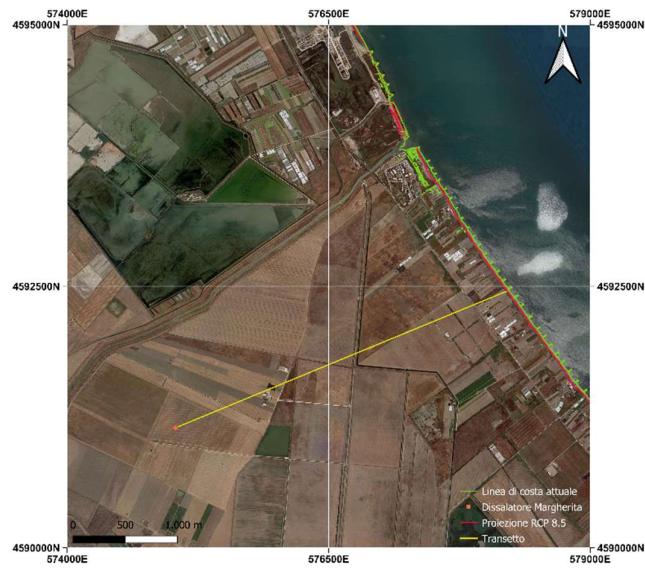


Figura A3. Distanza dissalatore Margherita di Savoia-Linea di costa attuale e futura. Mappa in scala 1/20000.

Appendice IV: Aree critiche

In questa sezione si riportano le mappe delle aree critiche che sono state escluse per la valutazione dell'arretramento medio della linea di costa in quanto, come riportato nella nota metodologica, si tratta di zone paludose, bacini, saline oppure aree già interessate da fenomeni di inondazione, come ad esempio il tratto di costa compreso tra il comune di Zapponeta e la frazione di Ippocampo (Manfredonia). Tali aree richiedono ulteriori approfondimenti, sia perché la Pubblica Amministrazione sta attuando strategie di contrasto, sia perché il modello bathtub potrebbe dare risultati meno attendibili.

Si riporta in Figura A4 l'inquadramento delle aree critiche indicando con il numero 1 la Palude Le Cesine, con il numero 2 il Bacino di Acquatina, con il numero 3 il Parco Naturale regionale Salina di punta della Contessa, con il numero 4 il tratto di costa in cui non sono presenti i dati e con il 5 il tratto di costa compreso tra Zapponeta e Ippocampo.

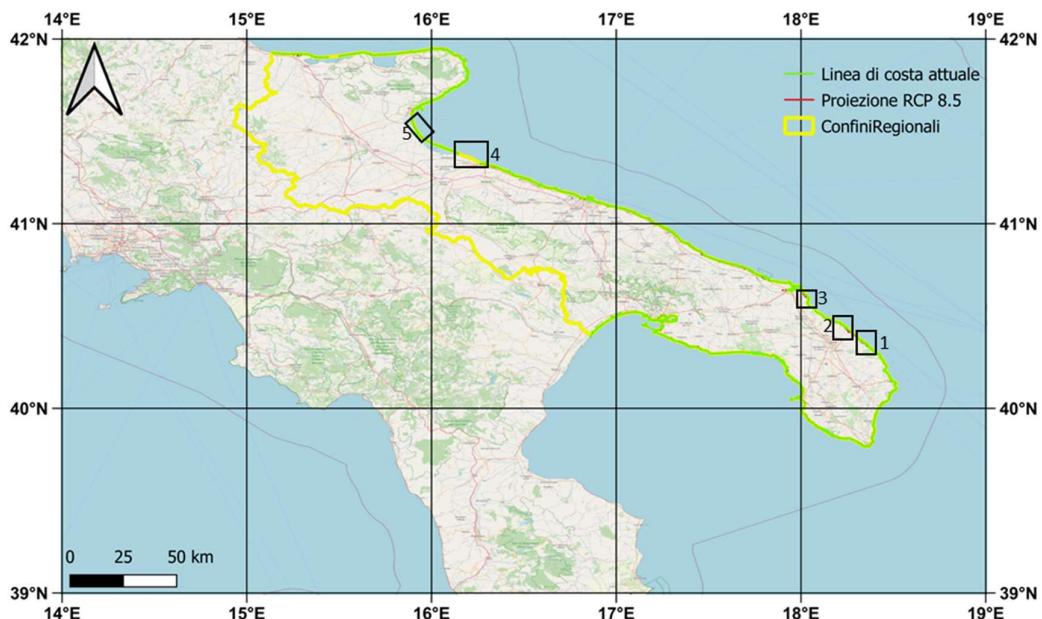


Figura A4. Aree critiche: (1) Inquadramento Palude Le Cesine; (2) Inquadramento Bacino di Acquatina; (3) Inquadramento Parco Naturale regionale Salina di punta della Contessa; (4) Inquadramento tratto di costa tra Barletta e Margherita di Savoia; (5) Inquadramento tratto di costa tra Zapponeta e Ippocampo.

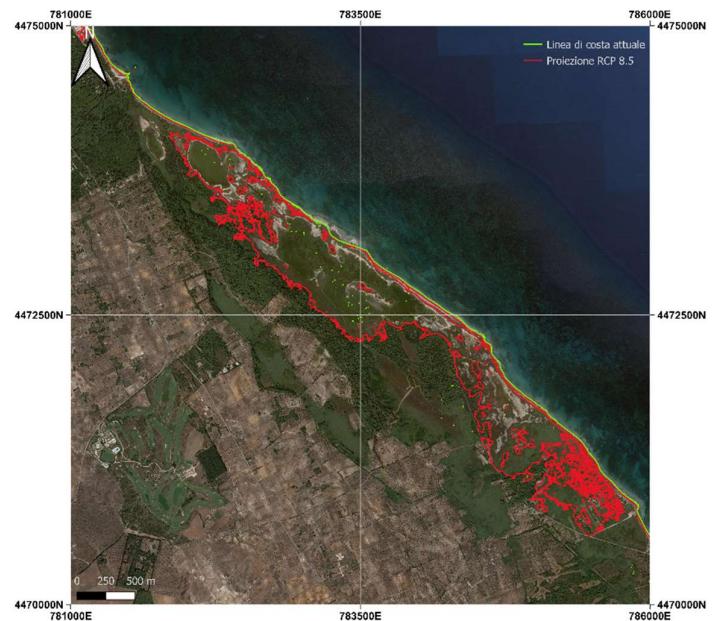


Figura A5. Arretramento della linea di costa presso Palude Le Cesine. Mappa in scala 1:20000.

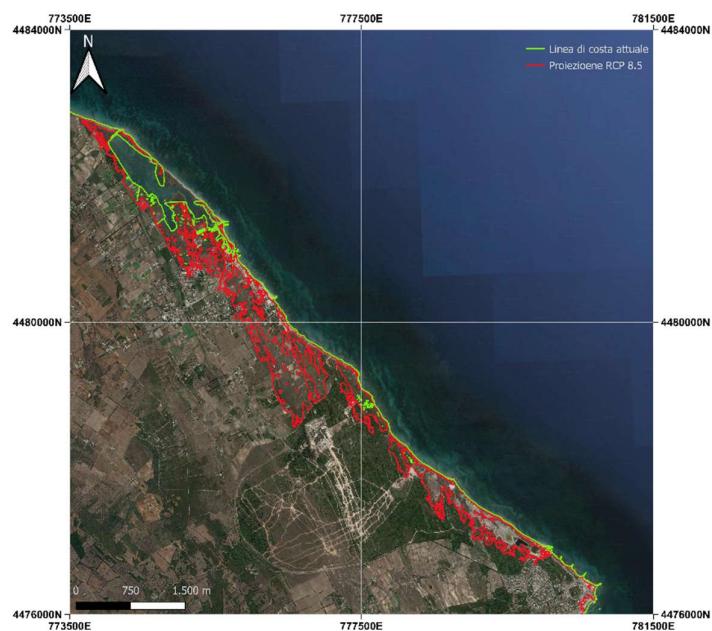


Figura A6. Arretramento della linea di costa in prossimità del Bacino di Acquatina. Mappa in scala 1:30000.

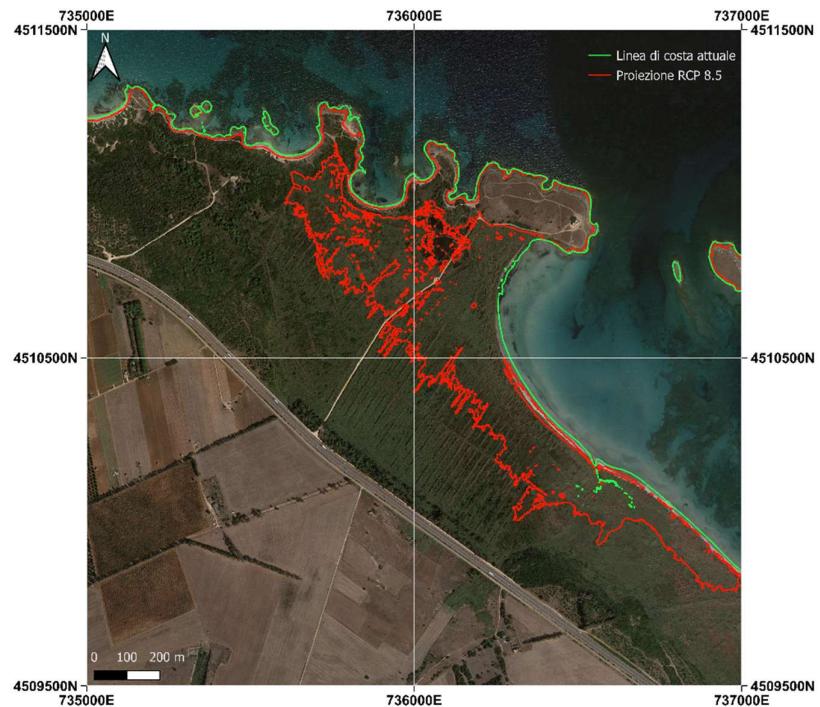


Figura A7. Parco Naturale regionale Salina di punta della Contessa. Mappa in scala 1:10000.

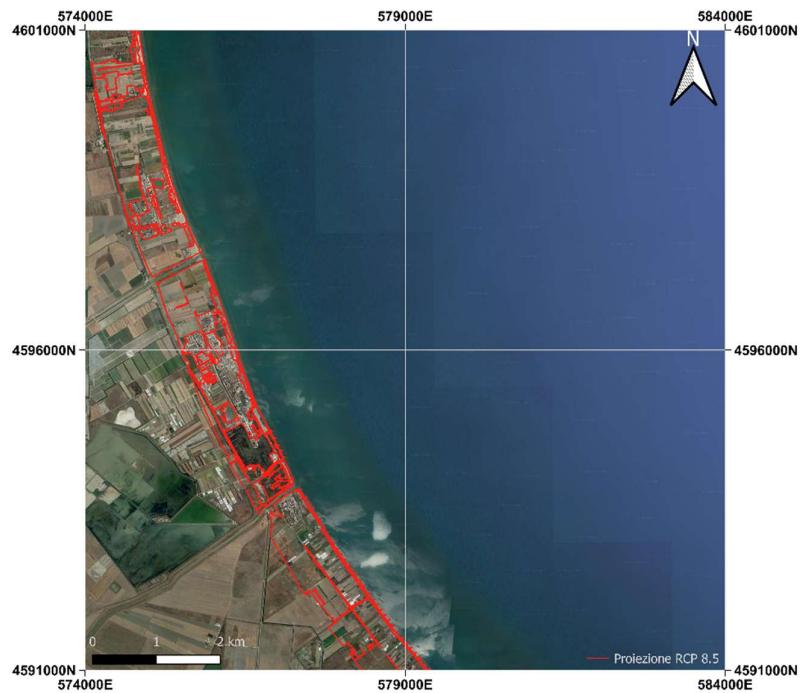


Figura A8. Arretramento della linea di costa per il tratto compreso tra Zapponea e Ippocampo. Mappa in scala 1:50000.

Appendice V: Isole Tremiti

In questa sezione si riporta la mappa delle isole Tremiti comprendente la linea di costa attuale e futura (Figura A9). Come si può notare dall'immagine l'arretramento della linea di costa risulta irrilevante, come riportato nel paragrafo riguardante la macroarea di Foggia, infatti le due linee di costa risultano pressoché sovrapposte.

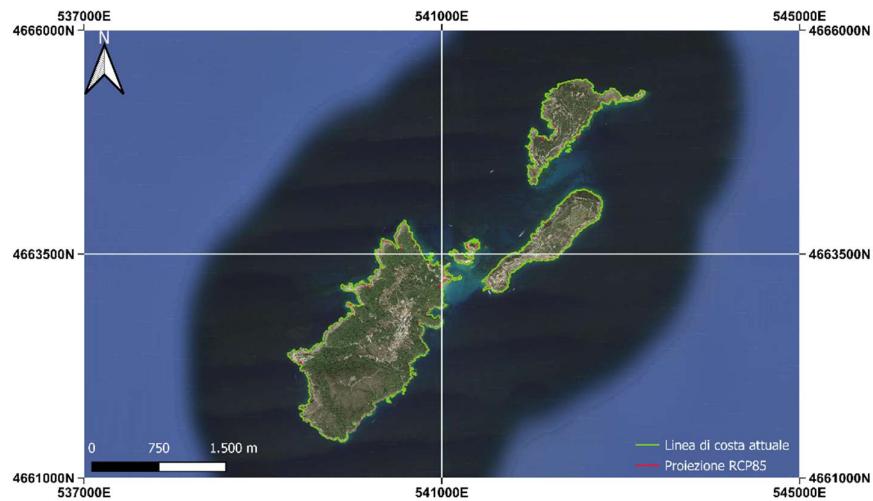


Figura A9. Arretramento della linea di costa presso le isole Tremiti. Mappa in scala 1:30000

Bibliografia

- Alcaras, E., Falchi, U., & Parente, C. (2020). Digital terrain model generalization for multiscale use. *International Review of Civil Engineering* 11(2), 52-59. <https://doi.org/10.15866/irece.v11i2.17815>
- Amin, H., Sjöberg, L. E., & Bagherbandi, M. (2019). A global vertical datum defined by the conventional geoid potential and the Earth ellipsoid parameters. *Journal of Geodesy* 93, 1943-1961. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01293-3>
- Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Presti, V. L., Mastronuzzi, G., Deiana, G., ... & Vecchio, A. (2017). Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100. *Quaternary Science Reviews* 158, 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.021>
- Didier, D., Baudry, J., Bernatchez, P., Dumont, D., Sadegh, M., Bismuth, E., ... & Sévigny, C. (2019). Multihazard simulation for coastal flood mapping: Bathtub versus numerical modelling in an open estuary, Eastern Canada. *Journal of Flood Risk Management* 12, e12505. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12505>
- Gallien, T. W., Sanders, B. F., & Flick, R. E. (2014). Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. *Coastal Engineering* 91, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.04.007>
- Hansen, J.E. (2016). The use of modelling tools to assess local scale inundation and erosion risk. *CoastAdapt*, National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast. <https://coastadapt.com.au/use-modelling-tools-assess-local-scale-inundation-and-erosion-risk>
- Miller, C. L. (1958). The theory and application of the digital terrain model. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Sanitary Engineering.
- Mirzavand, M., Ghasemieh, H., Sadatinejad, S. J., & Bagheri, R. (2020). An overview on source, mechanism and investigation approaches in groundwater salinization studies. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17, 2463-2476. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02647-7>
- Poppenga, S. K., & Worstell, B. B. (2016). Hydrologic connectivity: Quantitative assessments of hydrologic-enforced drainage structures in an elevation model. *Journal of Coastal Research* 76, 90-106. <https://doi.org/10.2112/SI76-009>
- Van de Sande, B., Lansen, J., & Hoyng, C. (2012). Sensitivity of coastal flood risk assessments to digital elevation models. *Water* 4(3), 568-579. <https://doi.org/10.3390/w4030568>
- Williams, L. L., & Lück-Vogel, M. (2020). Comparative assessment of the GIS based bathtub model and an enhanced bathtub model for coastal inundation. *Journal of Coastal Conservation* 24(2), 23. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00735-x>
- Yunus, A. P., Avtar, R., Kraines, S., Yamamuro, M., Lindberg, F., & Grimmond, C. S. B. (2016). Uncertainties in tidally adjusted estimates of sea level rise flooding (bathtub model) for the Greater London. *Remote Sensing* 8(5), 366. <https://doi.org/10.3390/rs8050366>