

## Evoluzione storica e attuale del litorale delle Marche

Carlo Bisci<sup>1,2,3</sup>, Gino Cantalamessa<sup>1,2,3</sup>, Federico Spagnoli<sup>1,2,4,5</sup>, Mario Tramontana<sup>3,6</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Camerino – Scuola di Scienze e Tecnologie  
Sezione di Geologia, via Gentile III da Varano, 7 62032 Camerino

<sup>2</sup> GNRAC – Gruppo Nazionale per la Ricerca sull’Ambiente Marino, corso Europa, 26 16132 Genova

<sup>3</sup> CoNISMa, Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare, piazzale Flaminio, 9 00196 Roma

<sup>4</sup> CNR - IRBIM, largo Fiera della Pesca 60125 Ancona

<sup>5</sup> CNR – ISMAR, largo Fiera della Pesca 60125 Ancona

<sup>6</sup> Università degli Studi di Urbino Carlo Bo - Dipartimento di Scienze Pure e Applicate (DiSPeA)  
Sezione di Geologia, via Cà’ Le Suore, 2/4 61029 Urbino

### Riassunto

È stato realizzato uno studio dell’evoluzione storica e recente delle foci fluviali e della linea di riva della Regione Marche sulla base di dati storici e cartografici, considerando gli effetti sia degli eventi naturali, sia degli interventi antropici. Il lavoro è iniziato con la ricerca, acquisizione, georeferenziazione e digitalizzazione delle mappe disponibili realizzate dal 1835 a oggi, integrata dallo studio dei lavori finora pubblicati. L’insieme di dati è stato utilizzato per implementare un *geodatabase* vettoriale contenente la posizione e la forma in tempi successivi della linea di riva, con particolare attenzione alle foci fluviali. I risultati delle variazioni della linea di riva sono stati correlati con i principali eventi naturali e le attività antropiche che si sono verificati nel tempo.

Da questo confronto emerge che nell’area studiata la progradazione delle foci fluviali si è sviluppata per tutto il 19° secolo ed è continuata, in alcune zone, anche dopo la fine della Piccola Età Glaciale (terminata attorno al 1850). Successivamente l’evoluzione delle foci fluviali e delle vicine spiagge è dipesa principalmente dalla deforestazione e dall’artificializzazione dei corsi fluviali e dei fondivalle. In particolare, emerge che l’arretramento successivo è coinciso con lo sviluppo dell’agricoltura dei primi decenni del Novecento.

Durante i decenni successivi, ulteriori interventi (costruzione di dighe e briglie, estrazione di sedimenti dai fondi vallivi, modificazioni dei corsi fluviali, abbandono delle pratiche agricole ecc.) hanno contribuito a una forte riduzione del carico solido fluviale con conseguente arretramento tanto delle foci fluviali, quanto delle spiagge, rendendo così necessaria la loro protezione con opere artificiali, che però spesso si sono limitate a trasferire il problema o si sono dimostrate poco efficaci.

**Parole chiave:** Foci fluviali, linea di riva, evoluzione storica, evoluzione recente, interventi antropici, Regione Marche.

### Abstract

*The historical and recent evolution of both the river mouths and the shoreline along the Marche Region was investigated on the basis both of historical data and maps, taking into account effects of natural events and anthropogenic activities. The research started with searching, acquiring, georeferencing and digitizing available maps realized from 1835 to the present, integrated by the study of the existing bibliography. The above data were used to implement a vector geodatabase containing the successive position and shape of shorelines, with special attention to the river mouths. The results obtained were correlated with the main natural events and human activities occurred in different time intervals.*

*The results of such comparison highlighted that in the study area the progradation of river mouths continued after the end of the Little Ice Age (around the 1850). Successively, the evolution of both the river mouths and the neighboring beaches mostly depended both on the deforestation and the anthropization and agricultural development carried out in the hydrographic basins during the first decades of the last century.*

*During the following decades, further interventions (such as construction of dams and check dams, extraction of sediments from thalwegs, modifications of stream paths, abandonment of agricultural practices etc.) contributed*

*to a severe reduction of the river solid load, causing a subsequent retreat of both river mouths and beaches, thus making necessary to carry out artificial coastal defense works; the latter, anyhow, often simply displaced the problem or demonstrated a low effectiveness.*

**Key words:** river mouths, shoreline, historical evolution, recent evolution, anthropogenic interventions, Marche Region.

## 1. Introduzione

Il generale arretramento delle coste italiane è dovuto principalmente alla scarsa quantità di sedimenti (ghiaia e sabbia) portati al mare dai fiumi (Pranzini, 1994; Coltorti *et al.*, 1995; Coltorti, 1997; Giraudi, 2005; Acciarri *et al.*, 2016). Secondo alcuni autori, il principale fattore di controllo della quantità di apporto solido fluviale è rappresentato dalle variazioni climatiche (Vita-Finzi, 1969; Borrego *et al.*, 1999; Grove, 2001; Materazzi *et al.*, 2010), mentre altri considerano come prevalenti, o comunque con un ruolo determinante, gli interventi antropici (Innocenti e Pranzini, 1993; Billi e Rinaldi, 1997; Guillén e Palanques, 1997; Bellotti *et al.*, 2004; Pranzini *et al.*, 2015; Acciarri *et al.*, 2016). Entrambi i fattori, comunque, sono rilevanti e chiaramente interconnessi. La quantità di sedimenti sciolti mobilizzati e trasportati è infatti certamente legata alle intensità e frequenza delle precipitazioni, che influiscono direttamente sulla dinamica dei versanti e sui flussi idrici e indirettamente sulla copertura vegetale dei versanti e sui comportamenti antropici, ma, a una scala temporale ridotta, gli interventi antropici possono favorire, oppure ostacolare (anche drasticamente), sia la produzione di sedimenti sia il loro trasporto.

I cambiamenti nella forma e nella posizione delle foci fluviali in un determinato periodo rappresentano la registrazione delle molte e complesse trasformazioni ambientali e antropiche che si sono verificate nei bacini fluviali di pertinenza. La loro forma, infatti, in assenza di movimenti tettonici verticali o variazioni significative del livello marino, dipende prevalentemente dall'interazione tra la dinamica fluviale e quella costiera. Studiando quindi l'evoluzione delle foci fluviali e delle linee di riva e acquisendo una migliore conoscenza dei processi litorali locali è possibile risalire a informazioni riguardanti le variazioni nel passato dell'apporto dei sedimenti.

Nel lavoro viene presentata una sintesi dell'evoluzione storica, negli ultimi due secoli, della linea di costa e delle foci dei fiumi più importanti delle Marche, mettendo in evidenza elementi di correlazione con le variazioni ambientali e gli interventi antropici effettuati nei bacini di drenaggio di pertinenza e ritenuti più rilevanti in termini di influenza, diretta e/o indiretta, sul carico solido fluviale (es., deforestazione/rimboschimento, costruzione di dighe e briglie, sbarramenti fluviali, modifiche della forma e/o percorso di canali, lavori di bonifica, variazioni nelle pratiche agricole ecc.).

Lo scopo ultimo del lavoro è verificare se i fattori antropici siano stati prevalenti, o meno, rispetto a quelli naturali nel determinare le variazioni del carico solido fluviale e, perciò, nel controllo dell'evoluzione delle foci fluviali e delle spiagge.

## 2. Area di studio

Il litorale delle Marche (Bisci e Dramis, 1991; Dramis *et al.*, 2011) è la porzione più orientale dell'Appennino Umbro-Marchigiano e rappresenta un'unità morfodinamica piuttosto complessa. Esso si estende per una lunghezza di 172 km, di cui 144 km sono di costa bassa (AA.VV., 2006), mentre i rimanenti 28 km sono rappresentati da coste alte in arretramento, ove si sviluppano falesie attive.

Lungo la costa della Regione Marche si riconoscono due unità morfodinamiche principali, ognuna caratterizzata da specifiche caratteristiche morfologiche, sedimentologiche ed evolutive. Nelle Marche Settentrionali, sino ad Ancona, la linea di riva è circa rettilinea ed è orientata NW-SE. Il limite tra le unità è marcato dal promontorio del Monte Conero, con elevate falesie e *pocket beaches* anche ben sviluppate. A sud di tale promontorio, la linea di riva è orientata NNW-SSE fino al fiume Tronto, che segna il confine con la Regione Abruzzo (Fig. 1). Nel settore settentrionale, che ha una lunghezza di circa 97 km (circa il 56% della costa regionale), si osservano spiagge ghiaiose e sabbiose, di norma ben sviluppate, in corrispondenza delle piane costiere fluviali; sono presenti anche ampi tratti sabbiosi (CNR-MURST, 1997). L'area è caratterizzata anche da alcuni settori di costa alta: in particolare, a nord di Pesaro si sviluppa la falesia attiva di Monte San Bartolo mentre la costa tra Pesaro e Fano è caratterizzata dalla falesia relitta del Monte Ardizio, separata dal mare da una spiaggia che raggiunge ampiezze anche di diverse decine di metri.

La porzione centro meridionale della costa marchigiana ha una lunghezza totale approssimativamente di 75 Km (circa il 43% del litorale regionale) la gran parte dei quali, ad eccezione dei 19 Km di costa alta della

falesia del Monte Conero e delle brevi falesie di Pedaso, sono rappresentati da coste basse. Anche qui ampie spiagge ghiaioso-sabbiose caratterizzano il fronte delle principali piane alluvionali, mentre spiagge più strette bordano le falesie inattive che corrono parallele alla linea di costa (Buli, 1994; CNR-MURST, 1997; Regione Marche, 2005; Dramis *et al.*, 2011).

Nell'area in esame scorrono dieci fiumi principali (da nord a sud: Foglia, Metauro, Cesano, Misa, Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso e Tronto), che forniscono quasi l'intero carico sedimentario che raggiunge il mare. Sono anche presenti corsi d'acqua minori stagionali. La rete idrografica ha una direzione prevalente circa WSW-ENE ed è fortemente influenzata dalla catena appenninica (Bisci e Dramis, 1991) (Fig. 1).

Il regime delle onde è prevalentemente caratterizzato da tempeste provenienti da NNE and ESE. Le prime sono generalmente più intense, mentre le altre più frequenti (APAT, 2004; Acciarri *et al.*, 2016).

Una fase tettonica compressiva (Messiniano superiore – Pliocene inferiore) ha causato la sovrapposizione di

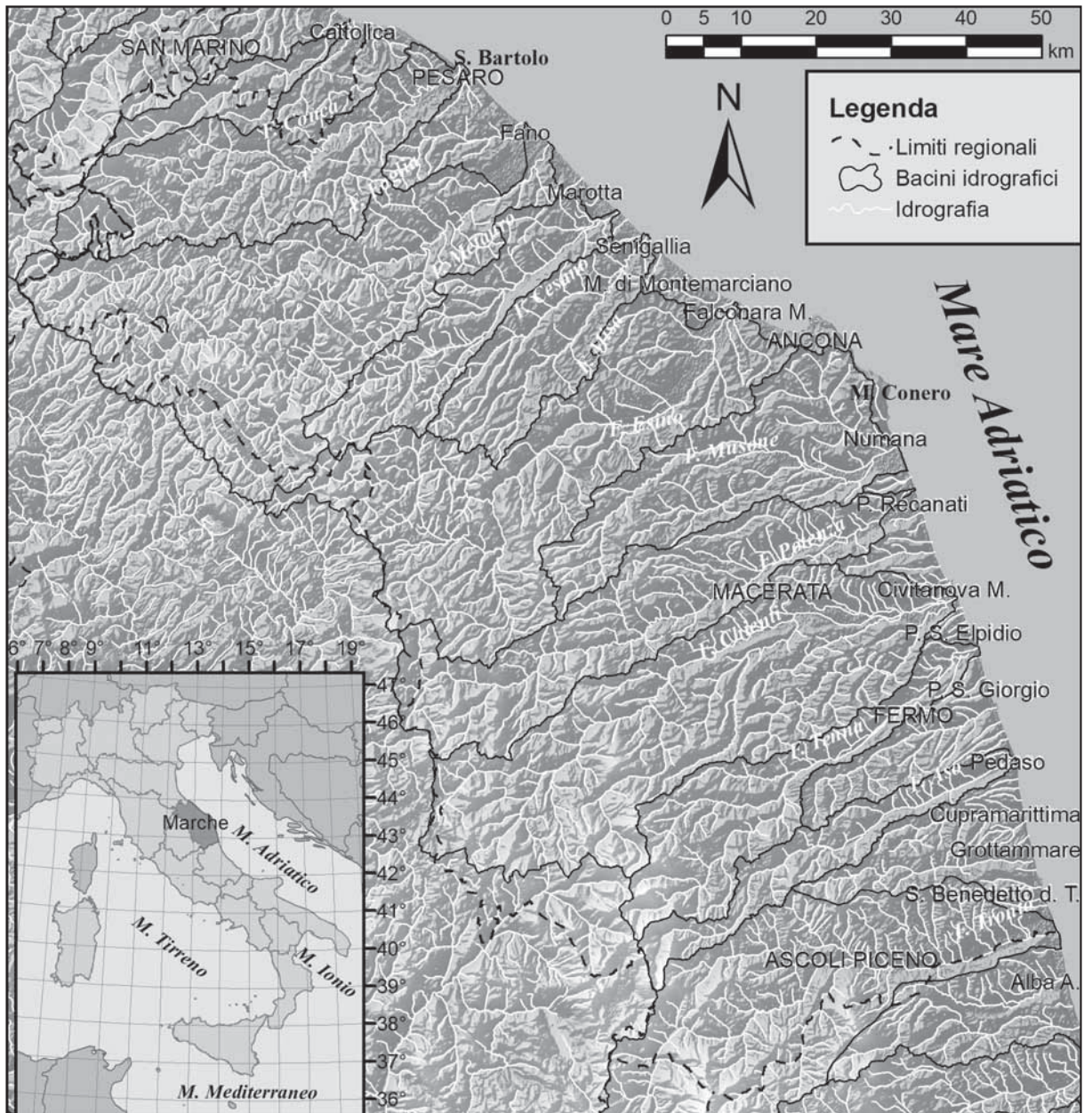


Figura 1. Schema orografico della regione marchigiana.

unità calcaree Giurassico-Oligoceniche sui sedimenti prevalentemente terrigeni del Miocene-Pliocene che caratterizzano l'area collinare pedemontana. La dislocazione tettonica ha anche creato nell'area appenninica una serie di pieghe, con vergenza verso nord-est ed est, i cui fianchi orientali sono troncati da sovrascorrimenti. (Calamita e Deiana, 1986; Fig. 2).

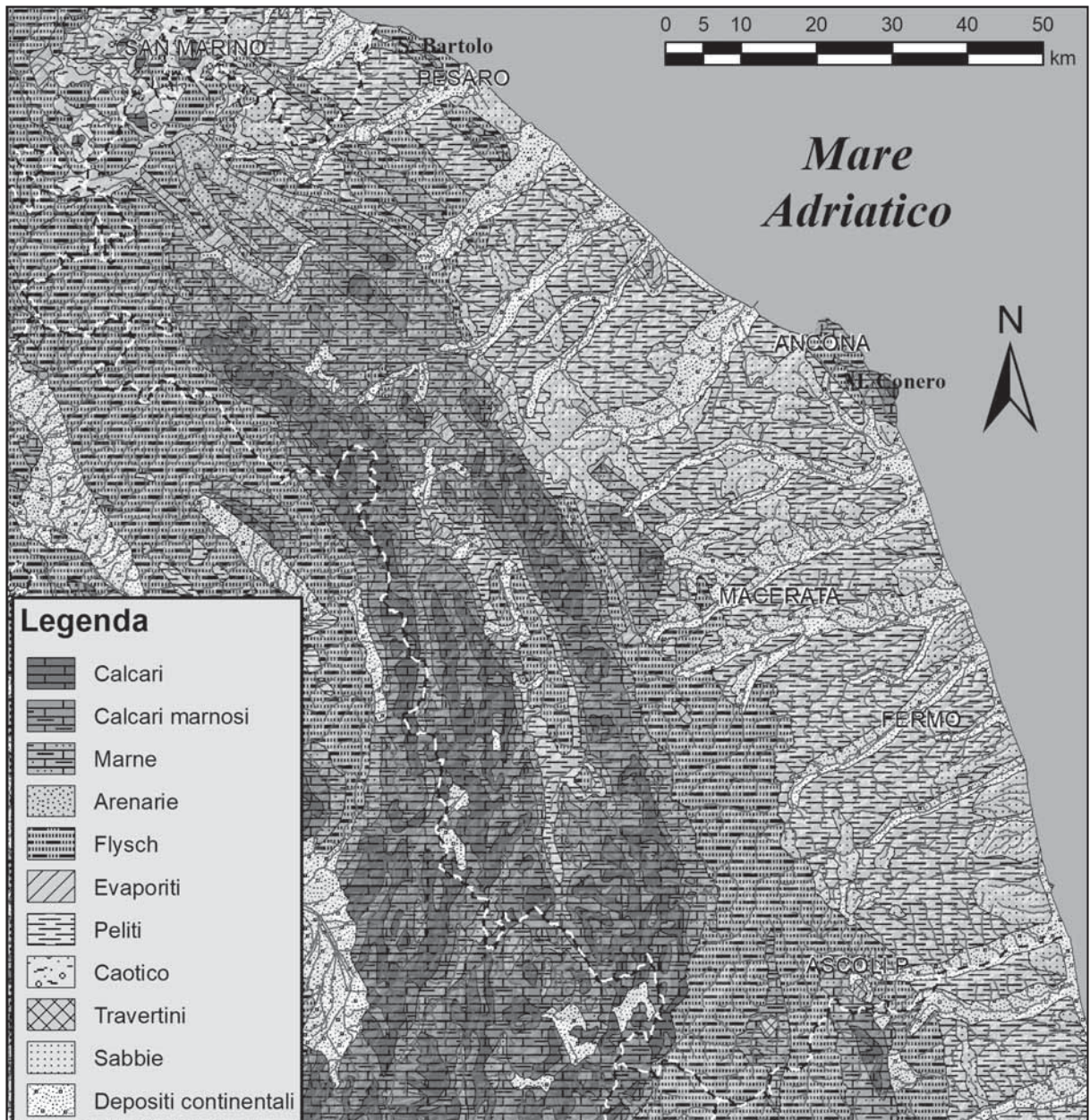


Figura 2. Schema litologico della Regione Marche. Il termine "Caotico" raggruppa le litologie della Colata della Val Marecchia.

Nel settore peri-Adriatico un sollevamento quaternario generalizzato ha originato in diverse aree una monoclinale ampia e piuttosto regolare, immergente verso est con una inclinazione progressivamente inferiore e dislocata da faglie, orientate NW-SE, originate in questa stessa fase (Calamita e Deiana, 1986). Nell'area costiera terreni pre-pleiocenici affiorano solo nell'area del Monte Conero, immediatamente a sud di Ancona dove la linea di costa cambia il suo orientamento (AA.VV., 2010) e lungo la falesia del Monte San Bartolo-Monte Ardizio, in prossimità dell'estremo settentrionale del litorale regionale (AA.VV., 2011).

Tutti i fiumi marchigiani drenano nella loro parte superiore i rilievi dell'Appennino Umbro-Marchigiano (Fig. 2), dove affiorano prevalentemente terreni carbonatici (Lias inferiore - Miocene p.p.) della Successione Umbro-Marchigiana (Centamore e Deiana, 1986; Centamore *et al.*, 1991). Verso NE, nella zona pedappenninica della parte settentrionale delle Marche affiora prevalentemente una successione terrigena Plio-Pleistocenica caratterizzata da peliti con intercalati corpi deposizionali prevalentemente arenitici. Nella zona meridionale, la parte interna del settore pedappenninico è caratterizzata dalle torbiditi messiniane della Formazione della Laga (Cantalamessa *et al.*, 1982; Cantalamessa *et al.*, 1986). Ancora più a est, anche in queste zone l'ampio bacino sedimentario peri-Adriatico è costituito da unità Plio-Quaternarie prevalentemente pelitiche con intercalati numerosi livelli sabbioso-conglomeratici (Cantalamessa *et al.*, 1986; Di Celma e Cantalamessa, 2012; Di Celma *et al.*, 2013; Di Celma *et al.*, 2016).

### 3. Evoluzione antica delle foci fluviali e delle spiagge

#### 3.1. Evoluzione Pleistocenico-Olocenica

Durante l'ultimo massimo glaciale (circa 20.000 anni fa) il livello del mare era circa 120 m più basso rispetto ad oggi e l'area marchigiana era caratterizzata da condizioni climatiche fredde e aride. L'Adriatico settentrionale era emerso e rappresentava il prolungamento verso sudest della Pianura Padana, mentre i rilievi costieri del Monte San Bartolo e del Monte Conero erano molto più avanzati verso mare.

I fiumi delle Marche, che attualmente sfociano nel Mare Adriatico, erano tutti affluenti di destra del fiume Po e depositavano nell'area adriatica estesi corpi di conoide alluvionale. Dopo aver attraversato la sua piana attuale, il Po deviava verso sud sulla pianura alluvionale rappresentata dalla vasta piattaforma Adriatica emersa e la attraversava divagando, per terminare poi in un delta di *lowstand* ubicato sul margine settentrionale della Depressione Meso-Adriatica, pochi chilometri a sud del litorale studiato (Ferretti *et al.*, 1986; Trincardi e Correggiari, 2000; Ridente e Trincardi, 2006; Storms *et al.*, 2008; Dinelli *et al.*, 2013; Spagnoli *et al.*, 2014; Trincardi *et al.*, 2014). In questo periodo, l'assenza di vegetazione lungo i versanti, indotta dal clima freddo (Damiani, 1975; Bisci e Dramis, 1991; Coltorti, 1991), unitamente al basso livello del mare che porta a una marcata incisione valliva, hanno favorito un intenso trasporto fluviale di detriti al mare (Lipparini, 1939; Villa, 1942; Nesci e Savelli, 1986; Alessio *et al.*, 1987; Nesci *et al.*, 1990; Bisci e Dramis, 1991; Coltorti, 1997; Coltorti e Farabollini, 2008; Acciarri *et al.*, 2016). Queste condizioni perdurarono, con alcune oscillazioni climatiche minori, fino alla fine del Pleistocene.

Durante l'Olocene, il progressivo miglioramento climatico (il cosiddetto "Optimum Climatico Olocenico") ha determinato sia la risalita del livello marino (trasgressione Flandriana, fino a circa 6000 anni B.P., con velocità di 0.5 - 1.5 cm/anno) sia, a seguito dell'aumento della copertura della vegetazione, una riduzione del carico solido trasportato dai fiumi (Bisci e Dramis, 1991; Gasparini e Tabacchi, 2011; Acciarri *et al.*, 2016). Il livello marino, nella sua consistente e veloce risalita, ha ridistribuito i sedimenti alluvionali che via via incontrava, trasportando il materiale verso nord e verso ovest. I primi effetti geomorfologici evidenti di questa avanzata si sono avuti quando sono stati raggiunti e sottoposti ad attiva erosione i promontori più resistenti e prominenti (Monte San Bartolo e Monte Conero).

Durante il precedente periodo di *lowstand*, le valli fluviali si erano approfondite e i sedimenti erosi trasportati in mare; per questo, durante la successiva trasgressione il mare è avanzato sulle terre emerse, creando profonde *rias* (Speranza, 1934; Coltorti, 1991; Coltorti, 1997; Acciarri *et al.*, 2016). In conseguenza del ridotto carico solido causato dall'abbondante vegetazione che proteggeva i versanti dall'erosione, la linea di costa era caratterizzata dall'alternanza di falesie attive e *pocket beaches* sabbioso-ghiaiose, ubicate alla terminazione delle valli alluvionali, situate pochi chilometri nell'entroterra rispetto alle falesie (Buli e Ortolani, 1947; Coltorti, 1997; D'Alessandro *et al.*, 2001; Coltorti e Farabollini, 2008; Miccadei *et al.*, 2011). Questa situazione è evidenziata dalla foresta fossile, intercalata nei depositi alluvionali alcuni km a monte rispetto alla foce del fiume Foglia (Gori, 1988; Bedosti, 1989; Coltorti, 1991; Coltorti, 1997), e dalla presenza di insediamenti Neolitici, come quello di Ripoli (7500 anni B.P) ubicato circa 2 km all'interno rispetto all'attuale foce del torrente Vibrata, nella regione Abruzzo, vicino al fiume Tronto (Radmilli, 1965; Radmilli, 1977).

#### 3.2. Evoluzione storica

La prima progradazione storica della linea di riva marchigiana si è verificata durante l'Età Romana, in conseguenza dell'intensa deforestazione avvenuta durante le età del Bronzo e (prevalentemente) del Ferro (Cal-

deroni *et al.*, 1989). Fino al primo secolo A.D. la crescente pressione antropica, risultante in una più diffusa agricoltura e un aumento della deforestazione, ha favorito una maggior erosione del suolo e, quindi, un aumento di trasporto di sedimenti al mare (Vita-Finzi, 1969; Bisci e Dramis, 1991; Coltorti, 1991; Pranzini, 1994; Williams, 2000; Hughes, 2011; Acciarri *et al.*, 2016).

Dopo aver riempito i loro estuari, i fiumi spesso iniziarono ad accrescersi verso mare, formando sistemi spiaggia-laguna (Ortolani e Alfieri, 1978; Coltorti, 1991). La linea di costa era ubicata, rispetto ad oggi, a diverse centinaia di metri nell'entroterra (Speranza, 1934; Alfieri *et al.*, 1966; Coltorti, 1997; Galiè, 2001; Acciarri *et al.*, 2016), come testimoniato da molti ritrovamenti archeologici.

Tra il 400 e il 750 A.D., il peggioramento del clima, unitamente al declino progressivo della civiltà, hanno determinato un forte spopolamento e l'abbandono dei terreni coltivati. Ciò ha comportato una rapida espansione delle foreste (Pranzini, 2001; Materazzi *et al.*, 2010), che ha condotto a una conclusione del *trend* progradazionale.

Il clima più caldo e più umido che iniziò a prevalere circa dal 1100 CE (*Medieval Climatic Optimum*) ha portato a un nuovo rapido aumento di popolazione, con successivo sviluppo dell'agricoltura e una deforestazione molto diffusa (Pranzini, 1989; Coltorti, 1997; Williams, 2000; Abulafia, 2004). Di conseguenza le foci fluviali hanno iniziato una nuova fase progradazionale (Pranzini, 1994; Coltorti, 1997; Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016).

Questo *trend* è proseguito fino al 1363, quando la "peste nera" ha dimezzato la popolazione Europea. Questa riduzione demografica si è associata con l'inizio di una nuova fase fredda (la Piccola Età Glaciale), generalmente collocata al principio del XIV secolo (Ladurie, 2004). In conseguenza di ciò, le attività agricole sono state abbandonate e le foreste hanno iniziato nuovamente a espandersi, causando così una diminuzione della velocità di progradazione delle foci fluviali (Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016).

Successivamente, la popolazione lentamente ha iniziato a crescere di nuovo: gli abitanti della regione Marche sono aumentati da circa 400.000 unità, alla fine del 14° secolo, a 710.000 unità all'inizio del 19° secolo (Arzeni *et al.*, 2012). Questo incremento si è associato con la diffusione di un nuovo sistema di suddivisione dei terreni (Palombarini, 1989), con contratti di mezzadria (Arzeni *et al.*, 2012) che hanno favorito lo sviluppo di piccole proprietà terriere e l'aumento delle coltivazioni. Tra il XV e il XVIII secolo, la stabilità politica e territoriale ha fatto sì che l'area marchigiana divenisse uno dei più importanti "granai" dell'Italia centrale e, al fine di far crescere grano e viti, è stata realizzata un'intensa deforestazione.

Un ulteriore aumento del commercio e delle coltivazioni è iniziato dopo il 1731, quando Ancona è stata dichiarata "porto libero", e dopo l'approvazione del nuovo catasto (voluto dal Papa Pio VI nel 1777), che ha favorito l'uso agricolo della terra (Arzeni *et al.*, 2012). A quel tempo le pratiche agricole seguivano ancora l'usanza dell'aratura e semina procedendo lungo i versanti più ripidi (funzionali per drenare l'acqua in eccesso durante l'umida Piccola Età Glaciale), determinando così elevate velocità di erosione del suolo.

All'inizio del XIX secolo, l'intensa erosione del suolo e il riempimento dei letti fluviali, ove i "flussi divennero più elevati e impetuosi" (Valeriani, 1812), sono stati riportati come le conseguenze della diffusa e intensa deforestazione verificatasi durante i secoli precedenti (Arzeni *et al.*, 2012). Durante questo periodo, le pratiche agricole intensive hanno determinato un avanzamento più veloce della maggior parte dei delta fluviali italiani (Pranzini, 1995), nonostante un clima favorevole per la crescita di vegetazione.

Nelle Marche, alcune foci fluviali sono avanzate più di 200 m tra il 1550 e il 1850, con una velocità media di circa 6 cm/anno e picchi fino a 43 cm/anno a Civitanova Marche nel periodo 1705–1850 (Aringoli *et al.*, 2003; Materazzi *et al.*, 2010; Acciarri *et al.*, 2016). A causa della locale morfologia costiera, caratterizzata dall'alternanza di falesie e sistemi spiaggia-laguna, i fiumi hanno dovuto riempire dapprima le paludi costiere alle loro foci per poi avanzare, creare un delta e alimentare le spiagge di fronte alle falesie attualmente relitte (Fig. 3).

Il forte avanzamento dei delta che ha caratterizzato la Piccola Età Glaciale appare quindi legato principalmente alla crescita demografica ed economica, sebbene anche il clima ha senz'altro giocato un ruolo sia diretto (abbassamento del limite superiore della vegetazione arborea e aumento delle precipitazioni), sia indiretto (spingendo le persone a tagliare più alberi per riscaldarsi) (Pranzini, 1989; Pranzini, 1994; Acciarri *et al.*, 2016). Questa considerazione è anche testimoniata dall'ampio intervallo temporale che intercorre tra l'inizio della fase fredda, datata sulla base di evidenze glaciali all'inizio del 14° secolo (Ladurie, 2004) e l'inizio della progradazione dei delta, registrata attorno alla fine del 16° secolo (Acciarri *et al.*, 2016).



**Figura 3.** Rappresentazioni di tratti della costa marchigiana meridionale dipinte nel 1677 (British Library, London; da De Nicolò, 1998): a) Foce del fiume Aso che protrude in mare; b) a una certa distanza dalla foce, la spiaggia è nettamente ridotta; c) A distanze ancora maggiori, la spiaggia è praticamente assente.

## 4 Evoluzione recente delle foci fluviali e delle linee di riva

### 4.1. Metodologia

Lo studio si è basato su tecniche il più possibile affidabili e moderne per acquisire, trattare ed elaborare i dati cartografici al fine di ottenere una valutazione quantitativa delle variazioni recenti della linea di riva (Aiello *et al.*, 2013; Acciarri, 2016). Le carte più antiche disponibili, di sufficiente accuratezza e dettaglio, sono quelle del Catasto Gregoriano (1815–1835).

Per quanto riguarda le foci fluviali, tutte le mappe disponibili per le Marche (Tab. 1) sono state scannerizzate, georeferenziate, vettorializzate e utilizzate per implementare un geodatabase gestito tramite GIS (ESRI ArcGIS 10.6 e QGIS 3.14). Tecniche di analisi spaziale hanno permesso di individuare la posizione delle linee di riva per ciascuna delle mappe disponibili e, quindi, di valutare, per confronto spaziale, la loro variazione nel tempo. Per ciascuno dei settori analizzati è stato quindi individuato un sistema di trasetti regolarmente spazati di 100 m, perpendicolari alla linea di riva, al fine di calcolare l'entità dello spostamento per ogni intervallo di tempo. Per l'intera costa sono invece state prese in considerazione e vettorializzate le linee di riva riportate nelle basi cartografiche del 1894, 1948, 1984, 1999 e 2020 (Tab. 1): il loro tracciato è stato convertito in una serie di punti regolarmente distanziati di 250 m, in corrispondenza dei quali è stata calcolata la variazione di posizione rispetto al dato immediatamente precedente. Sono state escluse dall'analisi le aree portuali, la cui evoluzione è ovviamente del tutto "artificiale", e le coste alte del Promontorio del Conero e dell'area del Monte San Bartolo, la cui dinamica è legata quasi esclusivamente ai fenomeni gravitativi che interessano le falesie attive presenti.

Si sottolinea che i documenti cartografici relativi al XIX secolo sono basati su sistemi di rilevamento e di proiezione obsoleti, con conseguenti problemi di georeferenziazione e, quindi, di scarsa precisione delle informazioni risultanti; inoltre, le cartografie IGM di fine '800 sono a una scala meno dettagliata.

**Tabella 1.** Elenco dei documenti cartografici utilizzati (il Catasto Gregoriano ha avuto anche aggiornamenti parziali nel 1902 e 1912, di cui è stato fatto uso).

Cartografia	Anno	Fonte	Scala	Pixel (m)	Uso
Catasto Gregoriano	1835	Archivi di stato	1:2'000	0,25	Foci
Catasto Gregoriano	1874	Archivi di Stato	1:2'000	0,25	Foci
Carta Topografica d'Italia	1892 / 94	Istituto Geografico Militare	1:50'000	1,6	Tutto
Carta Topografica d'Italia	1948 / 59	Istituto Geografico Militare	1:25'000	1,6	Tutto
Aerofoto	1948 /53	Royal Air Force	circa 1:30'000	0,85	Foci
Ortofoto Regionale	1978	Regione Marche	1:10'000	0,85	Foci
Ortofoto Regionale	1984	Regione Marche	1:10'000	0,5	Tutto
Ortofoto Regionale	1989	Regione Marche	1:10'000	1,2	Foci
Carta Tecnica Regionale	1999	Regione Marche	1:10'000	0,5	Tutto
Aerofoto	2006	Portale Cartografico Nazionale	1:10'000	0,5	Foci
Ortofoto Regionale	2010	AGEA	1:10'000	0,5	Tutto
Immagini satellitari	2020	Google Satellite	circa 1:10'000	0,5	Tutto

Le linee di riva considerate permettono di definire il trend evolutivo generale anche se non vengono considerati gli spostamenti derivanti dalle condizioni locali della marea al momento del rilevamento; peraltro, nell'area le variazioni di marea sono piuttosto limitate per cui, in genere, non incidono significativamente sulla posizione della linea di riva e, quindi, sui trend individuati.

Sulla base delle medesime carte sono state inoltre mappate le opere di difesa presenti al momento del rilevamento delle stesse.

#### 4.2. Evoluzione recente delle foci fluviali

Per quanto riguarda le foci fluviali, confrontando le mappe più antiche (1813, 1835, 1874 e, localmente, 1902–1912) relative alla fascia costiera a sud del Promontorio del Conero risulta evidente che nel 19° secolo le foci fluviali sono progradate su tutto il litorale, anche se con tassi diversi: dal 1835 al 1894, le foci dei fiumi Chienti, Potenza, Tenna, Aso e Tronto sono infatti avanzate rispettivamente di 226, 80, 261, 200 e 253 m. Anche nel litorale marchigiano settentrionale si segnala un analogo avanzamento generalizzato per gran parte del 19° secolo. I delta hanno poi raggiunto la loro espansione massima attorno alla fine del 19° secolo, mantenendo o aumentando localmente (in prevalenza per corsi d'acqua minori, dove l'intervento umano è stato meno intenso) la loro dimensione fino alla seconda decade del secolo successivo.

D'altra parte, lontano dalle foci dai fiumi maggiori il trend di generale avanzamento, che comunque aveva interessato tutta la Regione Marche, in alcune zone si è invertito e le spiagge hanno iniziato a essere erose a partire dalla seconda metà del 19° secolo (Buli and Ortolani, 1947). Questo è avvenuto soprattutto a seguito dell'incremento di antropizzazione della fascia costiera con arretramenti della linea di riva provocati dallo sviluppo dei porti e dalla costruzione delle massicciate aderenti messe a protezione della linea ferroviaria Bologna-Pescara (che peraltro, in qualche zona, era stata costruita sopra le dune litorali, come ad esempio lungo il litorale tra Fano e Pesaro); queste ultime ostacolavano la libera azione delle onde marine, favorendo localmente l'insorgere di fenomeni di erosione concentrati (come ad esempio nei settori Porto Recanati - Porto Potenza Picena e Pedaso - Cupra Marittima).

Durante gli ultimi due secoli, come risulta evidente dalla figura 4, vi è una stretta relazione tra le variazioni delle foci fluviali (e quindi delle linee di riva) e le variazioni areali della copertura forestale nella regione (Arzeni *et al.*, 2012). Infatti, durante il 19° secolo la deforestazione è stata ampiamente praticata, con il suo acme tra il 1880 e il 1910 quando la superficie regionale totale coperta dalla foresta ha raggiunto il suo minimo (circa 99,000 ha, mentre nel 1847 era di 132,000 ha), per rimanere quasi sullo stesso valore fino al 1925.

Tale deforestazione e l'uso agricolo del terreno risultante possono essere stati connessi, almeno in parte, sia alla privatizzazione delle proprietà della Chiesa (quando la regione venne annessa al nuovo Regno d'Italia, nel 1860), sia alla domanda di legname per costruire le Ferrovie Nazionali (il tronco Ancona -Pescara venne completato nel 1863, quello Ancona-Bologna nel 1861) e la flotta della Regia Marina (Arzeni *et al.*, 2012). Un leggero incremento di foreste si registra nel 1925, quando sono stati avviati i primi programmi nazionali

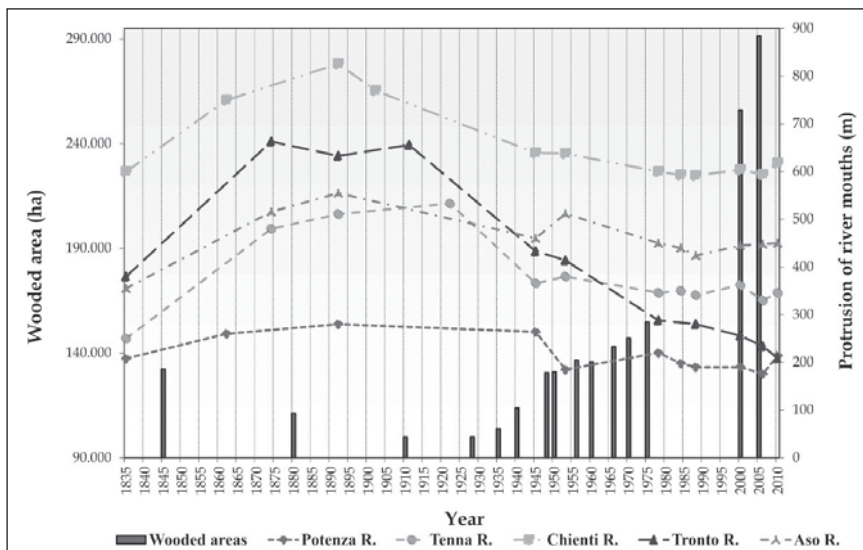


Figura 4. Confronto tra le superfici boscate e gli andamenti delle foci fluviali dal 1835 al 2010 nelle Marche Meridionali (da Acciarri *et al.*, 2016).



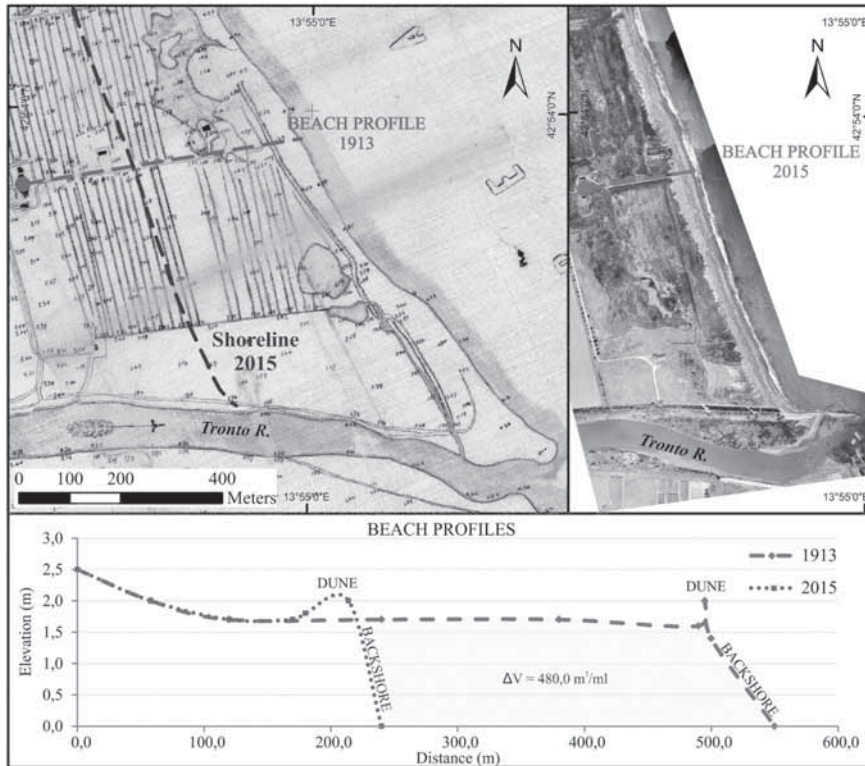


Figura 5. Arretramento delle foci fluviali nel corso dell'ultimo secolo: un esempio per il Fiume Tronto; a sinistra estratto di mappa catastale del 1913, a destra ortofoto del 2015. Si stima un arretramento di oltre 300 m con una perdita di materiale pari a circa 480 m<sup>3</sup> per metro lineare di costa (da Acciarri et al., 2016).

di riforestazione (Regia Ordinanza 3267/1923) che hanno portato la superficie regionale totale coperta dalla foresta a circa 130,000 ha nel 1947. Pochi anni dopo si è verificata una espansione naturale delle foreste, dovuta all'abbandono delle zone montuose a seguito della meccanizzazione dell'agricoltura (Arzeni *et al.*, 2012) e della rapida industrializzazione.

Durante l'ultimo secolo, tanto le foci fluviali quanto le spiagge sono state diffusamente e sistematicamente interessate da erosione a seguito di vari interventi antropici nei bacini fluviali e lungo i litorali che hanno causato, sia direttamente sia indirettamente, un'importante riduzione dell'apporto sedimentario al mare e una variazione delle dinamiche costiere locali (Fig. 5). Tra il 1894 e il 1945, le foci dei fiumi Musone, Chienti, Potenza, Tenna, Aso e Tronto sono arretrate 43, 187, 16, 167, 95 e 223 m rispettivamente con una velocità media di 4.78 m/anno (Acciarri *et al.*, 2016).

Anche nelle Marche settentrionali dal 1894 all'immediato dopoguerra (1948) le foci dei fiumi hanno mostrato arretramenti evidenti anche se, in genere, di entità minore rispetto a quelli osservati nelle Marche meridionali. In particolare, le foci dei fiumi Foglia, Metauro, Misa ed Esino risultano essere state interessate da un arretramento rispettivamente di circa 70, 40, 35 e 80 m, mentre il Cesano mostra una sostanziale stabilità. Per quest'ultimo, nel Piano Coste della Regione Marche (Regione Marche, 2005) si osserva una diversa posizione della foce che, tuttavia, potrebbe risultare da un problema di interpretazione.

Nella Regione Marche, questo intervallo di tempo è stato caratterizzato da un notevole aumento dell'agricoltura, con sviluppo della "piantata" (piantumazione di alberi ad alto fusto lungo i confini dei campi) e aumento dei filari di viti, per massimizzare la produzione e ridurre l'erosione del suolo (Arzeni *et al.*, 2012). Questo sviluppo dell'agricoltura ha portato anche alla realizzazione di diversi lavori indirizzati a migliorare la coltivabilità, come l'unione di canali di flusso per l'irrigazione e la bonifica mediante colmata di paludi costiere (Buli e Ortolani, 1947; Arzeni *et al.*, 2012).

Dai primi decenni del '900 sono state poi realizzate le prime dighe per bacini idrici per la produzione di elettricità, come quella sul Fiume Candigliano (Gola del Furlo), completata nel 1922 (Fig. 6), e quelle lungo il corso superiore di alcuni bacini fluviali (Tronto e Chienti), messe in opera tra il 1900 e il 1920. In particolare, la diga sul fiume Candigliano può essere ritenuta la causa determinante per una prima diminuzione dell'apporto solido alla foce del fiume Metauro. All'assenza di questo tipo di opere lungo il fiume Cesano è invece legata la stabilità della foce.

Inoltre, a partire dalla prima metà del 20° secolo, furono realizzati lavori di controllo idraulico, costruendo argini per rettificare i fiumi, principalmente lungo il loro corso mediano-finale: questo avvenne per il fiume Tronto nel 1931 (Bisci *et al.*, 1992; Materazzi *et al.*, 2010; Giacometti *et al.*, 2015) e un po' più tardi per i fiumi Aso, Tenna e Chienti. Questi lavori contribuirono ad aumentare la velocità del flusso d'acqua, così come le sue capacità di erosione e trasporto

In molti settori del litorale marchigiano, l'immediato dopoguerra è caratterizzato da una inversione del trend evolutivo di alcune foci fluviali. Infatti, dove i flussi sono stati fortemente rettificati da argini e lo sbarramento non era molto diffuso (almeno non in prossimità della foce fluviale) il carico solido è aumentato leggermente (es. fiumi Aso, Tenna e Tronto), mentre dove i corsi fluviali non erano raddrizzati e lo sbarramento era

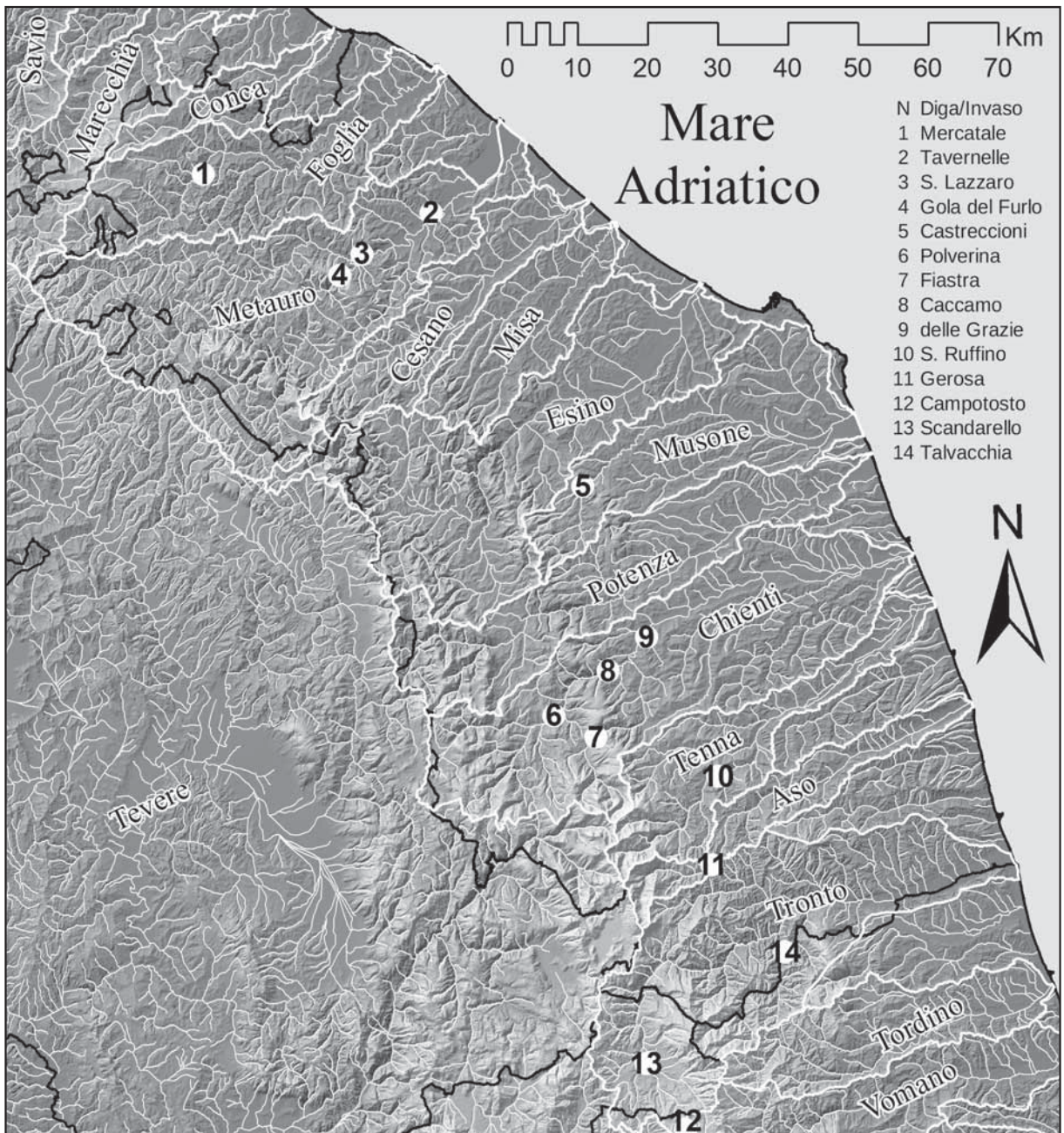


Figura 6. Ubicazione delle principali dighe presenti lungo il reticolo idrografico marchigiano.

particolarmente intenso, il carico solido è diminuito drasticamente (es. fiume Potenza). In particolare, le foci dei fiumi Aso e Tenna sono avanzate rispettivamente di 52 e 14 m, mentre il Chienti e il Tronto diminuivano la loro velocità di arretramento.

Durante gli anni Cinquanta e Sessanta, le dighe divennero più frequenti lungo gran parte delle alte valli dei fiumi di tutta la regione (Fig. 6), mentre lungo tutto il loro corso a partire dagli anni Venti erano state realizzate briglie, in maniera diffusa, per ridurre l'erosione da parte della corrente (che per lo più interessava i piloni dei ponti) o per forzare l'acqua a fluire nei canali d'irrigazione. Localmente quest'ultime sono state costruite anche in prossimità delle foci fluviali (come lungo i fiumi Potenza, Chienti e Tronto, rispettivamente 5, 6 e 3.5 km all'interno), bloccando così quasi tutto l'approvvigionamento di sedimento.

In contemporanea, l'urbanizzazione, lo sviluppo industriale e le attività economiche sviluppate lungo la fascia litoranea hanno prodotto variazioni negative di intensità precedentemente mai sperimentata della linea di riva. In particolare, dal 1953 al 1978 si osserva un generale forte arretramento delle foci fluviali in tutta la

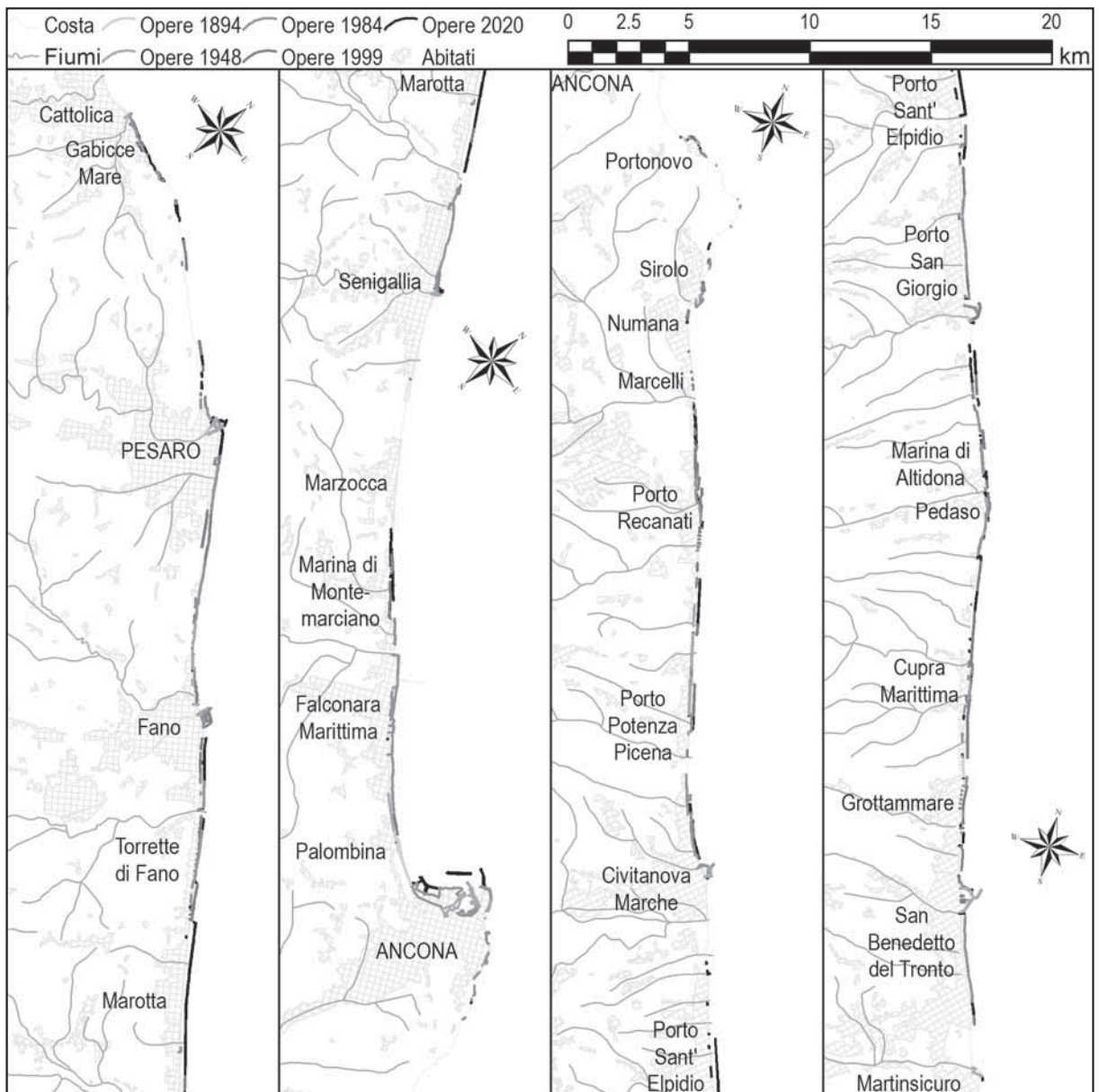


Figura 7. Distribuzione delle opere di difesa costiera presenti lungo i litorali marchigiani.

regione, a eccezione del fiume Potenza, la cui foce avanzava 1.4 m/anno e delle spiagge immediatamente a NW e a SE della foce del fiume Misa (che corrisponde al porto canale di Senigallia), ove si osserva un avanzamento massimo rispettivamente di circa 40 e 10 m.

Questo arretramento generalizzato, più che all'effetto del diffuso abbandono delle pratiche agricole lungo buona parte dei versanti più acclivi, può essere attribuito agli effetti della diffusa estrazione di inerti dai letti fluviali (e in particolare dai loro tratti terminali), più intensa dal 1965 al 1975 (Bisci *et al.*, 1992). In dieci anni, infatti, diversi milioni di metri cubi di sedimenti grossolani sono stati prelevati dai fiumi della Regione (AQUATER, 1982); questo intenso e generalizzato prelievo di detriti ha determinato una rapida erosione da parte dei corsi d'acqua, che hanno inciso soprattutto nella loro parte terminale dapprima i depositi fluviali e, successivamente, il substrato prevalentemente pelitico sottostante. Questo, oltre a danneggiare i ponti e drenare i pozzi d'acqua, ha causato una importante riduzione dell'apporto solido al mare. Nelle Marche settentrionali, dove di registrano le maggiori regressioni, le foci fluviali che mostrano il maggior arretramento sono quelle dei fiumi Metauro, Esino e Cesano, con valori pari a circa, rispettivamente, 225, 250 e 135 m.

A partire dagli anni Sessanta (localmente dagli anni Trenta) e, progressivamente in maniera più diffusa, sono state inoltre realizzate molteplici opere di difesa costiera (Fig. 7) con caratteristiche diverse (opere aderenti, barriere frangiflutto emerse e sommerse, pennelli, ecc.) nel tentativo di ridurre l'erosione della spiaggia lungo la maggior parte del litorale preso in esame.

Quest'ultimo, nel frattempo, aveva subito un forte incremento la densità di urbanizzazione anche in prossimità delle spiagge dove erano stati costruiti, spesso distruggendo le dune costiere, stabilimenti balneari e altri manufatti. Queste opere di difesa hanno fortemente influenzato l'evoluzione della linea di riva, attenuando localmente i processi erosivi, ma non di rado bloccando la deriva dei sedimenti, causando così erosione nelle spiagge adiacenti sottoflutto e portando esse stesse alla realizzazione di ulteriori opere di difesa, inseguendo la migrazione dei fenomeni erosivi. Quest'ultimo tipo di effetto ha comunque favorito negli ultimi anni l'avanzamento di alcune foci fluviali mentre le vicine spiagge stavano arretrando (Acciarri *et al.*, 2016). Come conseguenza di questa rincorsa la gran parte della costa marchigiana risulta irrigidita da varie opere di difesa che hanno compromesso la naturalità del litorale e la sua dinamica (Fig. 7).

Le carte storiche sono generalmente prive di dettagliate informazioni sulla elevazione e batimetria della fascia litorale; ciò rende impossibile valutare con accettabile precisione le variazioni del volume dei sedimenti di spiaggia per l'intera area studiata. Come esempio, comunque, per la foce del fiume Tronto una carta catastale del 1913 è risultata essere abbastanza accurata da permettere di realizzare sezioni trasversali realistiche e accettabili della spiaggia. Confrontando tali sezioni con un'indagine eseguita con l'utilizzo di drone nell'aprile 2015 (Acciarri *et al.*, 2016) è stato possibile stimare che durante gli ultimi 102 anni, l'arretramento di 310 m della linea di costa ha comportato una perdita di circa 480 m<sup>3</sup> di spiaggia emersa per metro di linea di riva (circa 5 m<sup>3</sup> per metro di linea di riva per ogni anno, circa 1.5 m<sup>3</sup> per metro di arretramento). Mancando nella mappa catastale qualsiasi informazione batimetrica, è però impossibile dedurre qualsiasi valore riguardo le modificazioni morfometriche della spiaggia sottomarina. Poiché l'entità dell'erosione o dell'avanzamento nell'area studiata è molto variabile, è difficile valutare il suo valore medio e, quindi, l'ammontare totale di sedimenti perduti o guadagnati durante

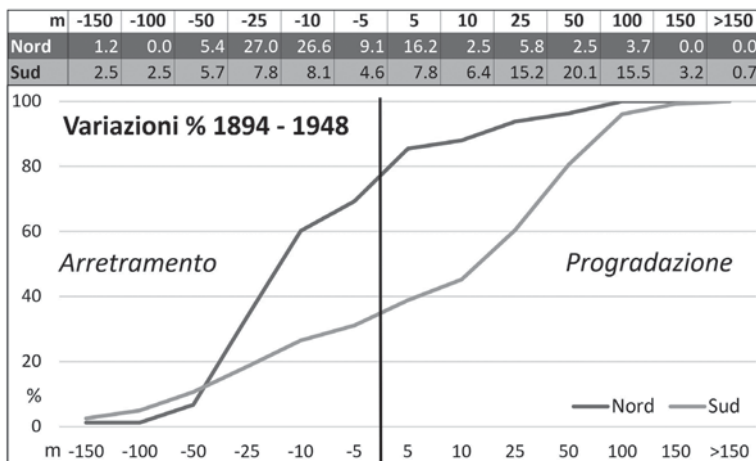


Figura 8. Variazioni della linea di riva intercorse tra il 1894 e il 1948 nei due settori del litorale marchigiano.

l'ultimo secolo. Comunque, poiché l'angolo di inclinazione delle spiagge è quasi ovunque molto simile a causa delle caratteristiche granulometriche piuttosto simili dei sedimenti, valutazioni eseguite nella porzione meridionale del litorale marchigiano rendono accettabile dedurre che anche lungo tutto il litorale marchigiano a ogni metro lineare di variazione dell'estensione (avanzamento/arretramento) della spiaggia emersa corrisponde approssimativamente  $1.5 \text{ m}^3$  di sedimento guadagnato o perso (Acciarri *et al.*, 2016).

Dal 1978 a oggi, le foci fluviali mostrano una maggior stabilità, anche se si verifica ancora un leggero arretramento; ciò è in qualche modo connesso con il divieto di estrazione degli inerti dai letti fluviali da parte del Governo Regionale durante i tardi anni '70 (Bisci *et al.*, 1992).

### 4.3. Evoluzione recente delle linee di riva

Dall'analisi della variazione di posizione delle linee di riva tra il 1894 e il 1948 (Fig. 8), a nord del Conero

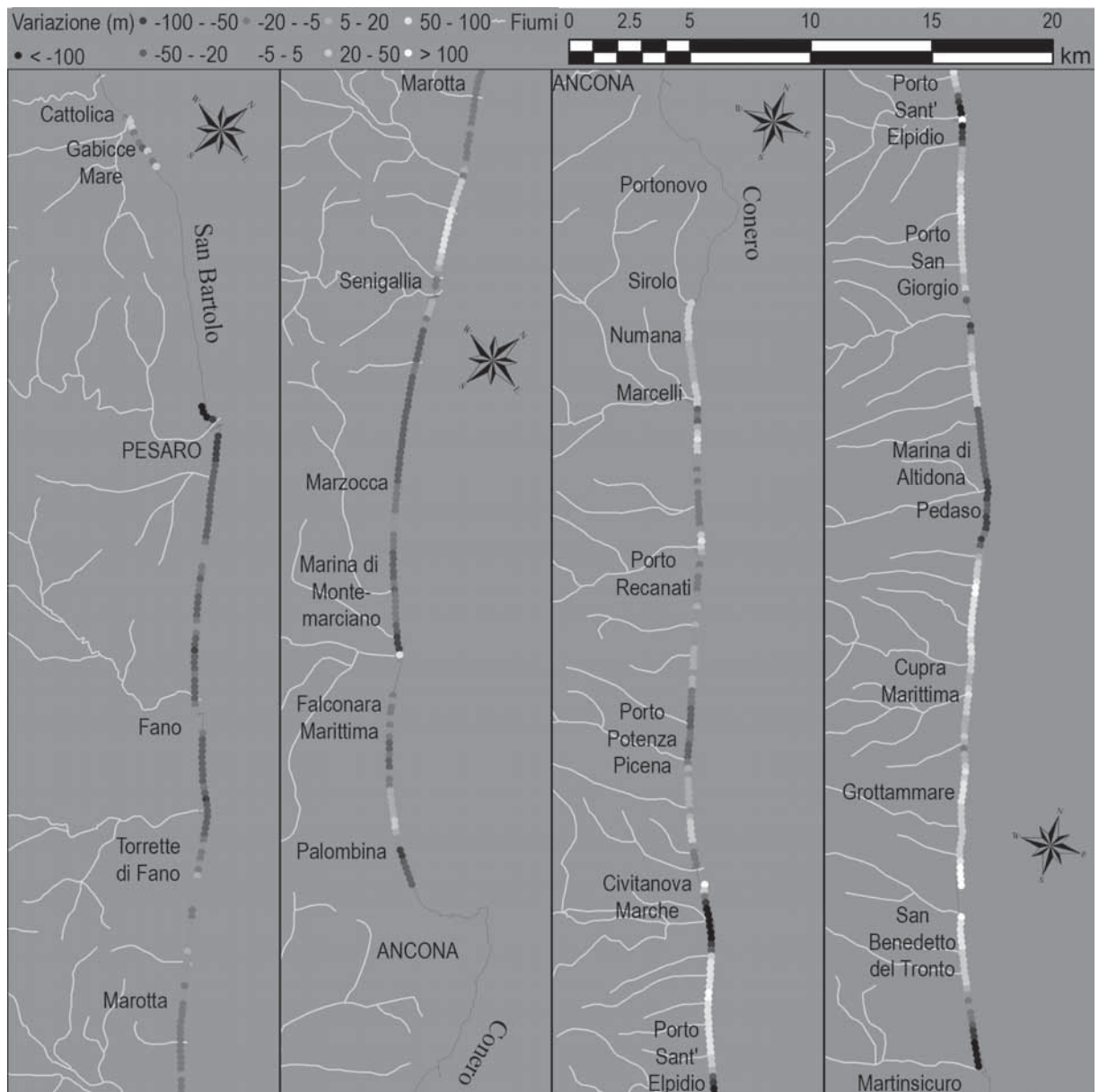


Figura 9. Variazioni della linea di costa tra il 1894 e il 1948; per valutare l'effetto delle opere di difesa costiera, si faccia riferimento alla figura 7.

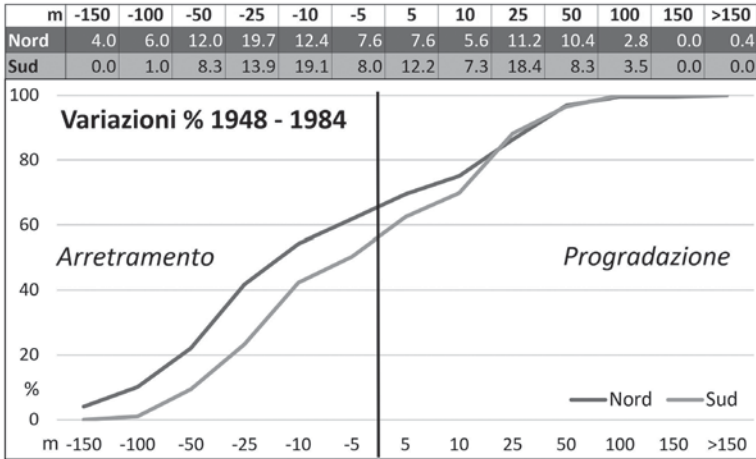
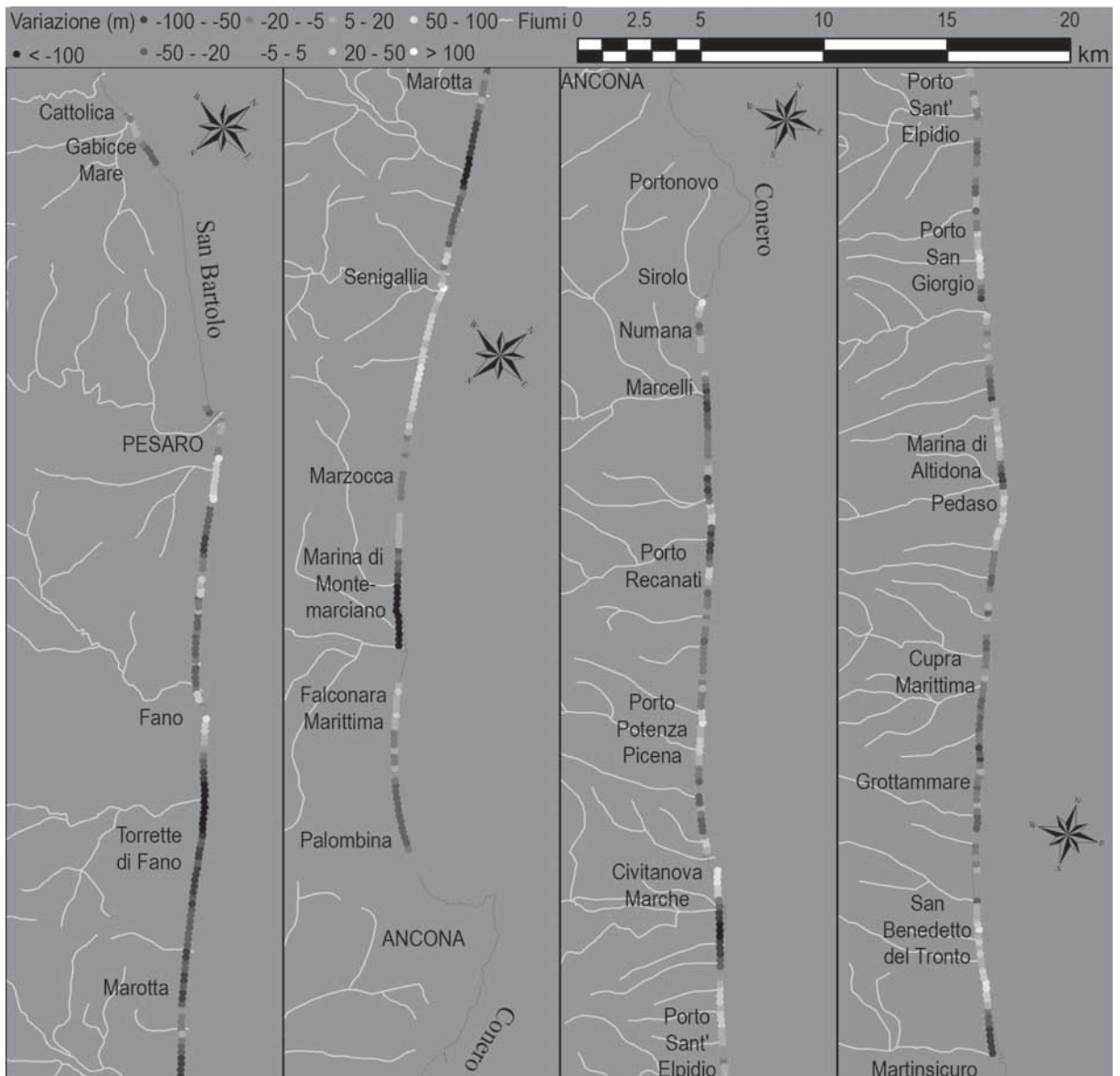


Figura 10. Variazioni della linea di riva inintercose tra il 1948 e il 1984 nei due settori del litorale marchigiano.

Figura 11. Variazioni della linea di costa tra il 1948 e il 1984; per valutare l'effetto delle opere di difesa costiera, si faccia riferimento alla figura 7.



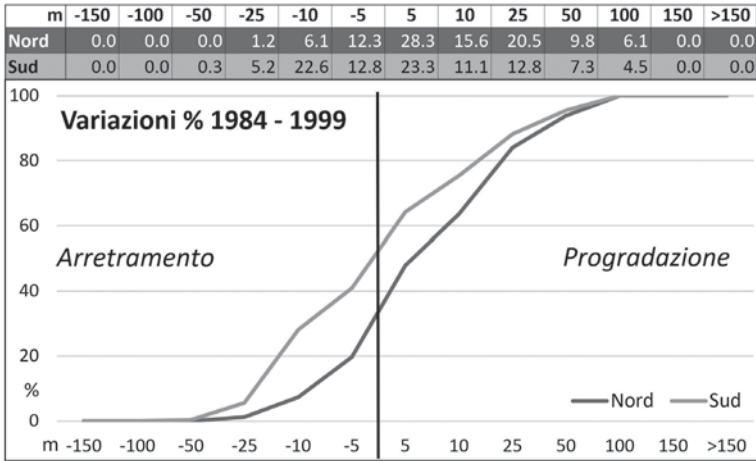
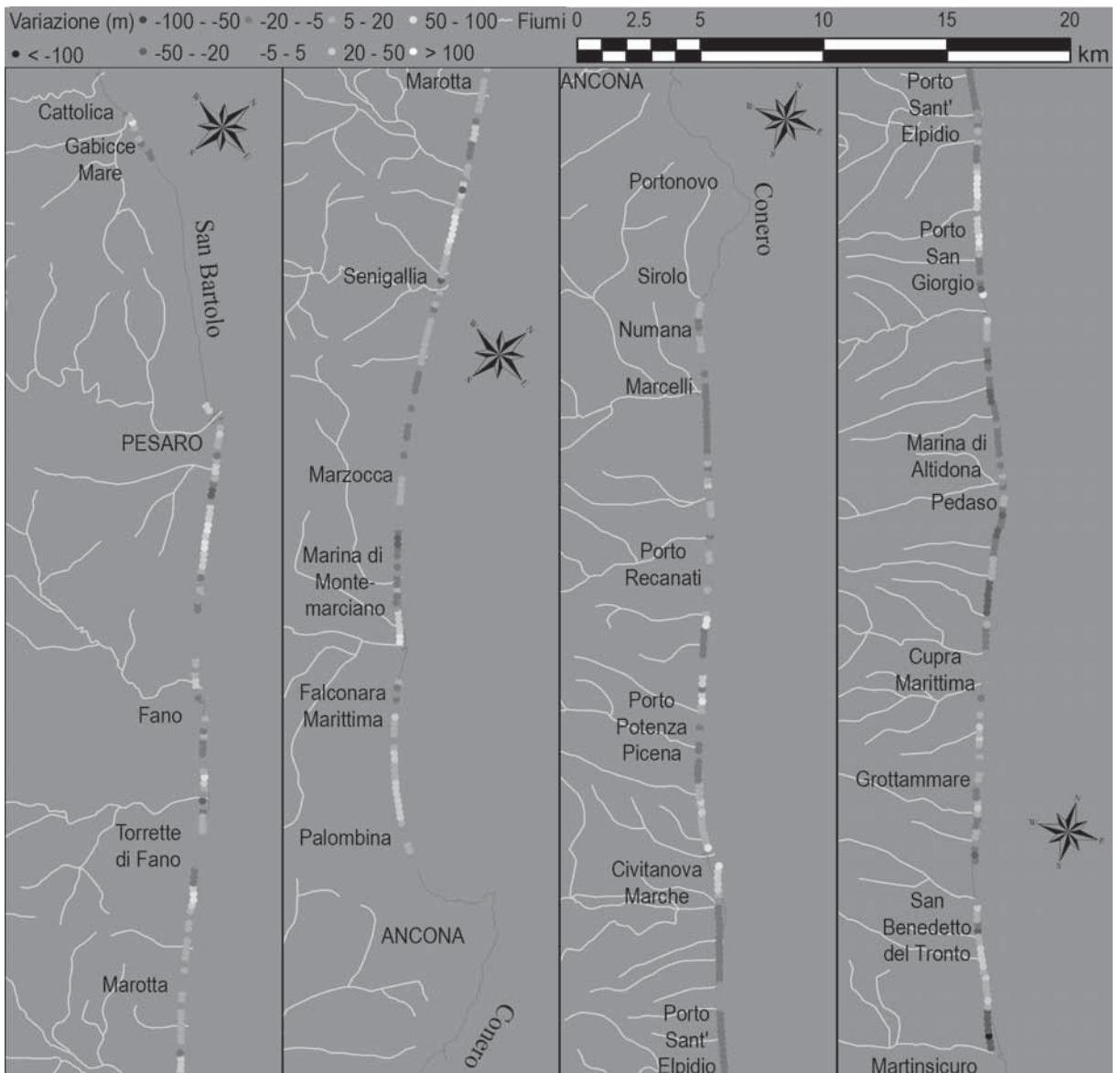


Figura 12. Variazioni della linea di riva intercorse tra il 1984 e il 1999 nei due settori del litorale marchigiano.

Figura 13. Variazioni della linea di costa tra il 1984 e il 1999; per valutare l'effetto delle opere di difesa costiera, si faccia riferimento alla figura 7.



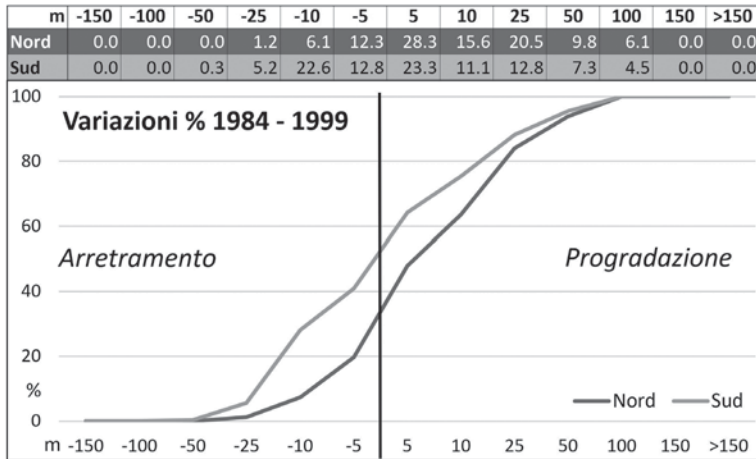


Figura 14. Variazioni della linea di riva intercorse tra il 1999 e il 2020 nei due settori del litorale marchigiano.

emerge una generalizzata tendenza all'arretramento, che a volte raggiunge e supera i 100 m e interessa oltre i due terzi del settore, mentre il litorale "Piceno" mostra una prevalenza di fenomeni di progradazione dei litorali, localmente superiore ai 100 m (Fig. 8).

Nel settore settentrionale, i fenomeni di arretramento risultano particolarmente evidenti a Pesaro, Fano, Marzocca, Marina di Montemarciano e Palombina; fanno eccezione quasi solo la porzione più settentrionale del litorale marchigiano e Senigallia (Fig. 9).

A sud del Conero, invece, si nota un avanzamento della linea di riva particolarmente notevole a S. Benedetto del Tronto, in conseguenza della costruzione delle strutture portuali che hanno agito da ostacolo alla deriva dei sedimenti provenienti da sud.

Lungo la costa meridionale sono comunque presenti fenomeni di arretramento anche intensi a Porto Potenza Picena, Civitanova Marche, Porto Sant'Elpidio, Marina di Altidona, Pedaso e, soprattutto alla Sentina, a sud di S. Benedetto del Tronto. Quest'ultima ha subito un notevole decremento nel ripascimento naturale a causa del pennello costruito al limite settentrionale del litorale abruzzese, immediatamente alla destra idrografica della foce del fiume Tronto, che ha bloccato completamente la deriva di sedimenti che nell'area avviene prevalentemente verso nord (Fig. 9).

La diffusione e intensità degli arretramenti costieri ha portato, come già illustrato, alla realizzazione di un gran numero di opere di difesa costiera di varia natura (massicciate aderenti, pennelli e barriere soffolte ed emerse, oltre a qualche opera sperimentale (Fig. 7), che però non solo non hanno sempre risolto le problematiche locali, ma spesso hanno comportato un trasferimento sottoflutto dei fenomeni erosivi, inducendo nel tempo alla realizzazione di numerose ulteriori opere ingegneristiche a inseguire la progressiva migrazione dei fenomeni erosivi.

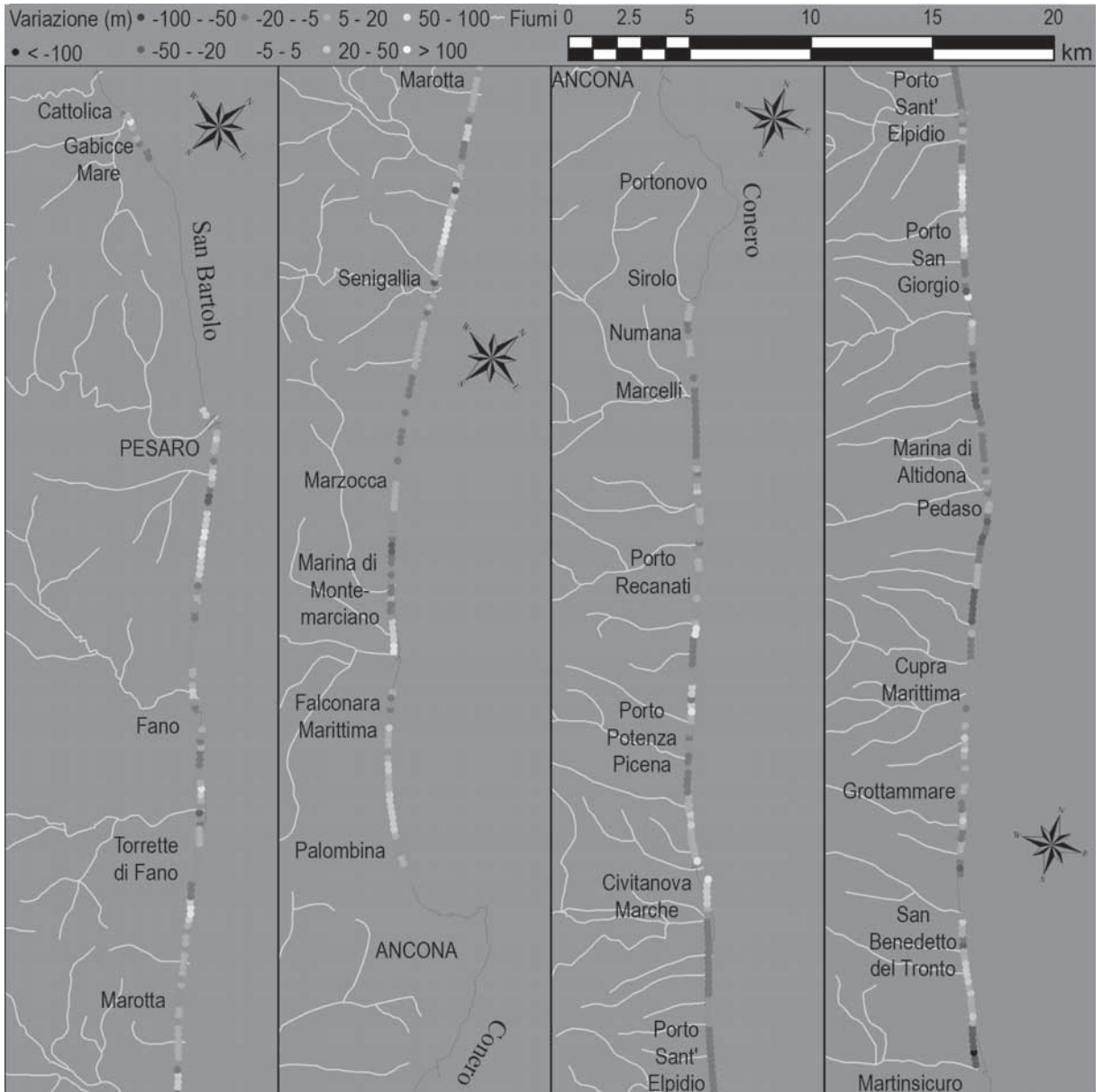
Tra il 1948 ed il 1984 i due settori del litorale marchigiano mostrano un andamento meno differenziato, anche se i fenomeni erosivi mostrano di essere ancora più intensi e diffusi a nord del Promontorio del Monte Conero (Fig. 10), dove solo poco più di un terzo della linea di riva mostra segni di avanzamento, contro all'incirca la metà di quelle ubicate a sud della struttura.

Localmente si può notare l'effetto protettivo delle molte opere di difesa costiera costruite nel dopoguerra, soprattutto a partire dalla seconda metà degli anni '60, come, ad esempio, lungo la porzione meridionale del litorale di Pesaro, a Falconara Marittima, a Civitanova Marche (dove la progradazione deriva dalla costruzione delle strutture portuali), a Porto S. Giorgio, a Pedaso e a S. Benedetto del Tronto, a sud del porto. Permangono comunque, nonostante le opere costruite, severe condizioni locali di arretramento, come in prossimità dell'estremo settentrionale della Regione, tra Pesaro e Fano, a Torrette di Fano e a Palombina.

Una forte tendenza all'arretramento interessa anche coste non protette, come a Marotta, a Marina di Montemarciano, a Marcelli, nel tratto settentrionale del litorale di Porto S. Elpidio e, di nuovo, alla Sentina.

Tra il 1984 e il 1999, quando ormai la maggior parte della linea di riva della Regione è in qualche modo interessata da opere di difesa rigide, è la costa "Picena" a mostrare una leggera maggiore tendenza all'arretramento rispetto a quella ubicata a nord del Conero, in cui i tratti in avanzamento risultano maggiori di quelli in arretramento (Fig. 12).





**Figura 15.** Variazioni della linea di costa tra il 1999 e il 2020; per valutare l'effetto delle opere di difesa costiera, si faccia riferimento alla figura 7.

L'efficacia degli interventi ingegneristici è sottolineata da locali progradazioni, come tra Pesaro e Fano, nella porzione settentrionale del litorale di Senigallia, tra Falconara Marittima e Palombina, a Porto S. Giorgio (dove però il nuovo porto ha effetto positivo solo nelle sue immediate vicinanze) e nella porzione a sud del porto della costa di San Benedetto del Tronto.

Localmente, però, si hanno ancora fenomeni di arretramento, come a Fano, tra Senigallia e Marzocca (dove è presente una spiaggia non protetta), a Marcelli, a Porto S. Elpidio (di nuovo in presenza di una spiaggia non protetta), a Marina di Altidona, Pedaso e Cupramarittima (nonostante il tratto sia quasi completamente irrigidito da opere ingegneristiche) e, di nuovo, alla Sentina, dove si hanno i fenomeni più intensi (Fig.13). Nell'ultimo ventennio, la costa marchigiana è stata quasi completamente irrigidita in seguito alla costruzione di diverse ulteriori opere ingegneristiche di protezione (Fig. 7), che in media hanno comunque ridotto i tassi di arretramento della linea di riva; la Figura 14 mostra che la maggioranza dei litorali subisce ormai solo

deboli variazioni, con eccezioni abbastanza poco frequenti, e che in media la costa risulta quasi stabile, con pochissime differenze tra il settore settentrionale e quello meridionale.

Tra i pochissimi tratti di costa ancora liberi (Fig. 15), si segnalano alcuni tratti della falesia attiva del S. Bartolo, la porzione meridionale del litorale senigalliese fino a Marzocca (in erosione), un tratto tra Civitanova Marche e Porto S. Elpidio (in avanzamento a nord, in erosione a sud a causa della costruzione di un piccolo pennello) e l'area della Riserva Naturale Regionale della Sentina, all'estremo sud della Regione (ancora una volta in forte erosione essendo interposta tra la foce armata del Fiume Tronto e le barriere che proteggono le spiagge di S. Benedetto del Tronto: è il tratto che nei circa 125 anni analizzati ha subito il maggiore arretramento).

## 5. Risultati e considerazioni finali

Osservazioni storiche e confronti tra documenti cartografici dimostrano che nella Regione Marche, negli ultimi due millenni, l'attività umana ha giocato un ruolo predominante nel determinare l'evoluzione delle foci fluviali e più in generale delle linee di costa.

La loro posizione ed evoluzione morfologica, consistente in *trend* di avanzamento/arretramento), risultano infatti fortemente correlate con i processi di deforestazione/rimboschimento verificatisi nei relativi bacini idrografici (a loro volta derivanti da cambiamenti demografici e nei processi o attività agricole, in parte connessi anche con modificazioni del clima). Questa correlazione è particolarmente evidente per gli ultimi due secoli, poiché per questo periodo è possibile confrontare carte con un dettaglio accettabile, con valutazioni affidabili della superficie forestale totale.

Durante il 19° secolo, intensi e diffusi interventi di deforestazione hanno infatti portato a un avanzamento sensibile e continuo delle foci fluviali, con un tasso medio di circa 5 m per anno durante la prima metà del secolo e di 1 m per anno nella seconda metà.

Il secolo scorso è stato invece caratterizzato da tendenze alterne, con prevalenza di arretramento delle linee di riva anche se, in alcune aree, l'avanzamento è continuato almeno per le prime tre decadi.

Durante la prima metà del secolo scorso, i fattori prevalenti nel determinare l'arretramento sono stati la riforestazione e l'espansione dell'agricoltura, assieme allo sbarramento di alcuni corsi d'acqua e a lavori di controllo idraulico. La forte riduzione del carico solido dovuta all'estrazione di inerti dai letti fluviali e ai lavori idraulici realizzati lungo i canali e la sempre più diffusa urbanizzazione della zona costiera sono invece stati i fattori dominanti nel cinquantennio successivo.

Dal 1978 a oggi, l'arretramento delle spiagge marchigiana è comunque divenuto meno intenso e diffuso. Questo fenomeno si ritiene che sia legato principalmente ai molti interventi ingegneristici di difesa costiera di vario tipo realizzati soprattutto a partire dagli anni '60 del secolo scorso; questi, andando via via a rincorrere gli effetti di trasferimento sotto flutto dei fenomeni erosivi delle opere esistenti, hanno "irrigidito" e reso artificiale buona parte della linea di costa regionale, anche se il divieto di estrazione di inerti dai corsi fluviali ha senz'altro avuto il suo ruolo positivo. D'altra parte, per questo periodo sembra essere meno rilevante l'influenza di fattori climatici che, comunque, potrebbero rivestire un'importanza fondamentale nel controllo dell'evoluzione della fascia costiera in un prossimo futuro, date le caratteristiche del cambiamento climatico in atto (Bisci, 2010).

## Bibliografia

- AA.VV. (2006) - *Le spiagge delle Marche*. In: AA-VV. - *Lo stato dei litorali italiani*, Studi Costieri, 10. 77-82.
- AA.VV. (2010) - *Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 293 Osimo e note illustrative*. ISPRA, Roma.
- AA.VV. (2011) - *Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 268 Pesaro e note illustrative*, ISPRA, Roma.
- Abulafia D. (2004) - *Italy in the Central Middle Ages*. OUP Oxford, 299 pp.
- Acciarri A. (2016) - *The Beaches of Southern Marche: Evolutionary Analysis of the Coast Between Numana and San Benedetto del Tronto*. Unpublished MS Thesis, University of Camerino, 191 pp.
- Acciarri A. (2016) - *Net sediment transport paths based on grain-size trend analysis: the Sentina Beach case study (Italy, Central Adriatic Coast)*. Ph.D. Thesis. Università degli Studi di Camerino, School of Sciences and Technology, Geology Division. Camerino, Italy, 197 pp.
- Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G. (2016) - *Anthropogenic influence on recent evolution of shorelines between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. Catena, 147, 545-555

- Aiello A., Canora F., Pasquariello G., Spilotro G. (2013) - *Shoreline variations and coastal dynamics: a space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy*. Estuar. Coast Shelf S., 129, 124–135.
- Alessio M., Allegri L., Azzi C., Calderoni G., Cortesi C., Improta S., Nesci O., Petrone V., Savelli D. (1987) - *Successioni alluvionali terrazzate nel medio bacino del Metauro (Appennino marchigiano) - Datazione con il <sup>14</sup>C*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 10, 307–312.
- Alfieri N., Forlani E., Grimaldi F. (1966) - *Ricerche paleogeografiche e topografico-storiche sul territorio di Loreto*. Studia Picena, 33-34, 1–59.
- APAT (2004) - *Atlante delle Coste. Il moto ondoso a largo delle coste italiane*. <http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/stato-delle-coste/atlante-delle-coste>.
- AQUATER (1982) - *Studio generale per la difesa delle coste: Prima fase*. Aquater, S. Lorenzo in Campo (PU), 706 pp.
- Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Di Celma C.N., Farabollini P., Gentili B., Materazzi M., Pambianchi G. (2003) - *Recent variations of central Adriatic coastline*. In: CERG - *Geomorphological Sensitivity and Systems Response*, 13–20.
- Arzeni A., Bolognini T., Cortonesi A., Montresor A., Moscatelli U., Giorda M.C., Piermattei A., Romano R., Marongiu S. (2012) - *Fonte Avellana: dall'agricoltura medioevale alla moderna multifunzionalità rurale*. Osservatorio Foreste INEA, 253 pp.
- Bedosti B. (1989) - *Il tronco fossile olocenico di Villa S. Martino (PS)*. Conv. SGI Morfogenesi e Stratigrafia dell'Olocene. Riassunti, Bari 1989, 40–41.
- Bellotti P., Caputo C., Davoli L., Evangelista, S., Garzanti E., Pugliese F., Valeri P. (2004) - *Morpho-sedimentary characteristics and Holocene evolution of the emergent part of the Ombrone River delta (southern Tuscany)*. Geomorphology, 61, 71–90.
- Billi P., Rinaldi M. (1997) - *Human impact on sediment yield and channel dynamics in the Arno River basin (Central Italy)*. IAHS Publications - Series of Proceedings and Reports - Intern. Assoc. Hydrological Sciences 245, 301.
- Bisci C. (2010) - *Il cambiamento climatico globale e i suoi impatti*. Prisma, 3, 10-21.
- Bisci C., Dramis F. (1991) - *La geomorfologia delle Marche*. In: AA.VV. - *L'ambiente fisico delle Marche*, Firenze, SELCA, 81–113.
- Bisci C., Dramis F., Gentili B. (1992) - *Recent and present geomorphological evolution of river beds in the southern portion of the Marche region (Central Italy)*. Geoöko Plus, 3, 83–96.
- Borrego J., Ruiz F., Gonzalez-Regalado M.L., Pendón J.G., Morales J.A. (1999) - *The Holocene transgression into the estuarine central basin of the Odiel River mouth (Cadiz gulf, SW, Spain): lithology and faunal assemblages*. Quat. Sci. Rev., 18, 769–788.
- Buli U. (1994) - *Le spiagge marchigiane*. Conv. Naz. Geogr., CNR, Roma 1994, 95–147.
- Buli U., Ortolani M. (1947) - *Le spiagge marchigiane*. Coop, Tipografica Azzoguidi, Bologna (151 p).
- Calamita F., Deiana G. (1986) - *Evoluzione strutturale neogenico-quatarnaria dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. "La Geologia delle Marche". pp. 91–98.
- Calderoni G., Coltorti M., Consoli M., Farabollini P., Dramis F., Pambianchi G., Percossi E. (1989) - *Degradazione dei versanti e sedimentazione nei pressi di Borgiano (Appennino marchigiano) durante l'Olocene recente*. Atti Conv. "Morfogenesi e stratigrafia dell'Olocene". Mem. Soc. Geol. It., 42, 301–310.
- Cantalamessa G., Centamore E., Chiocchini U., Micarelli A., Potetti M. (1982) - *Tectonic sedimentary evolution of the northwestern part of the Laga basin during the Upper Miocene-Lower Pliocene (Central-southern Marche)*. Mem. Soc. Geol. It., 24, 221–232.
- Cantalamessa G., Centamore E., Chiocchini U., Micarelli A., Potetti M. (1986) - *Il Miocene delle Marche*. Studi Geol. Camerti, vol. spec. "La Geologia delle Marche". pp. 35–55.
- Centamore E., Deiana G. (Eds.) (1986) - *La Geologia delle Marche*. Studi Geologici Camerti, vol. spec., 145 pp.
- Centamore E., Cantalamessa G., Micarelli A., Potetti M., Berti D., Bigi S., Morelli C., Ridolfi M. (1991) - *Stratigrafia e analisi di facies dei depositi del Miocene e del Pliocene inferiore dell'avanfossa marchigiano-abruzzese e delle zone limitrofe*. Studi Geol. Camerti, 2, 125–131.
- CNR - MURST (1997) - *Atlante delle spiagge italiane. Dinamismo, tendenza evolutiva, opere umane*. Edit. SELCA Firenze, 108 fogli 1:10000.
- Coltorti M. (1991) - *Modificazioni morfologiche oloceniche nelle piane alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 14, 73–86.

- Coltorti M. (1997) - *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region, Central Italy*. Catena, 30, 311–335.
- Coltorti M., Farabollini P. (2008) - *Late Pleistocene and Holocene fluvial–coastal evolution of an uplifting area: the Tronto River (Central Eastern Italy)*. Quatern. Int., 189, 39–55.
- Coltorti M., Gentili B., Pambianchi G. (1995) - *Evoluzione geomorfologica ed impatto antropico nei sistemi idrografici delle Marche: riflessi sull'ambiente fisico. Assetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane*. Mem. Soc. Geogr. It., 53, 271–292.
- D'Alessandro L., Genevois R., Marino A. (2001) - *Dinamica recente della costa alta fra Ortona e Vasto (Abruzzo centro-meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 56, 53–60.
- Damiani A.V. (1975) - *Aspetti geomorfologici e possibile schema evolutivo dei Monti Sibillini (Appennino umbro-marchigiano)*. Boll. Serv. Geol. It., 96, 232–314.
- De Boni M., Cavaleri L., Rusconi, A. (1992) - *The Italian waves measurement network*. Coastal Engineering Proceedings, 1(23).
- De Nicolò M.L. (1998) - *La costa difesa. Fortificazioni e disegno del litorale adriatico pontificio*. Editrice Grapho, Fano, 60 pp.
- Di Celma C., Cantalamessa G. (2012) - *Off-shelf sedimentary record of recurring global sealevel changes during the Plio-Pleistocene: evidence from the cyclic fills of exhumed slope systems in central Italy*. J. Geol. Soc., London, 169, 643–646.
- Di Celma C., Cantalamessa G., Didaskalou P. (2013) - *Stratigraphic organization and predictability of mixed coarse-grained and fine-grained successions in an upper slope Pleistocene turbidite system of the peri-Adriatic basin*. Sedimentology, 60, 763–799.
- Di Celma C., Teloni R., Rustichelli A. (2016) - *Evolution of the Gelasian (Pleistocene) slope turbidite systems of southern Marche (Peri-Adriatic basin, central Italy)*. J. Maps, 12, 137–151.
- Dinelli E., Gosh A., Rossi V., Vaiani C.V. (2013) - *Multiproxy reconstruction of Late Pleistocene- Holocene environmental changes in coastal successions: microfossil and geochemical evidences from the Po Plain (Northern Italy)*. Stratigraphy, 9 (2), 153–167.
- Dramis F., Aringoli D., Bisci C., Cantalamessa G., Coltorti M., Farabollini P., Gentili B., Materazzi M., Nesci O., Pambianchi G., Pieruccini P., Savelli D., Troiani F. (2011) - *La Costa delle Marche*. In: Ginesu, S. (Ed.) - *La Costa d'Italia*. Delfino Ed., Sassari, pp. 379–392.
- Ferretti M., Moretti E., Savelli D., Stefanon A., Tramontana M., Wezel F.-C. (1986) - *Late Quaternary alluvial sequences in the North-Western Adriatic Sea from uniboom profiles*. Boll. Oceanol. Teor. Appl., IV (1), 63–72.
- Galiè V. (2001) - *Ubicazione dei porti e del navale fermano in epoca romana e altomedievale tra il Potenza e il Tronto alla luce delle carte di Farfa e del Codice 1030*. Macerata, 70 pp.
- Gasparini P., Tabacchi G. (2011) - *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali; Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Edagricole-Il Sole 24 ore, Bologna 653 pp.
- Giacopetti M., Materazzi M., Pambianchi G., Aringoli D., Farabollini P. (2015) - *Geomorphological evolution of the middle-lower reach of the Tronto river (central Italy), during the last 200 years: impacts on flood hazard*. Rend. Online Soc. Geol. It., 33, 48–52.
- Giraudi C. (2005) - *Middle to Late Holocene glacial variations, periglacial processes and alluvial sedimentation on the higher Apennine massifs (Italy)*. Quaternary Res., 64, 176–184.
- Gori U. (1988) - *Contributo alla conoscenza della sedimentazione delle alluvioni quaternarie del Fiume Foglia (Marche)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 11, 121–122.
- Grove A.T. (2001) - *The "Little Ice Age" and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe*. Clim. Change, 48, 121–136.
- Guillén J., Palanques A. (1997) - *A historical perspective of the morphological evolution in the lower Ebro river*. Environ. Geol., 30, 174–180.
- Hughes J.D. (2011) - *Ancient deforestation revisited*. J. Hist. Biol., 44(1), 43–57.
- Innocenti L., Pranzini E. (1993) - *Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone River Delta, Italy*. J. Coastal Res., 9, 481–493.

- Istituto Idrografico della Marina (1982) – *Atlante delle correnti superficiali dei mari d'Italia*. IIM.
- Ladurie E.L.R. (2004) - *Histoire humaine et comparée du climat, volume 1: Canicules et glaciers (XIIIe-XVIIIe siècles)*. Fayard, Paris, 739 pp.
- Lipparini T. (1939) - *I terrazzi fluviali delle Marche*. Giorn. Geol., 13, 5–22.
- Materazzi M., Gentili B., Aringoli D., Farabollini P., Pambianchi G. (2010) - *Elements of slope and fluvial dynamics as evidence of late Holocene climatic fluctuations in the central Adriatic sector, Italy*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 33, 193–204.
- Miccadei E., Mascioli F., Piacentini T., Ricci F., (2011) - *Geomorphological features of coastal dunes along the Central Adriatic Coast (Abruzzo, Italy)*. J. Coastal Res., 27, 1122–1136.
- Nesci O., Savelli D. (1986) - *Cicli continentali tardo-quadernari lungo i tratti vallivi mediani delle Marche settentrionali*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 9, 192–211.
- Nesci O., Savelli D., Mengarelli D. (1990) - *I terrazzi vallivi del 1° ordine nei bacini dei Fiumi Metauro e Foglia (Appennino Marchigiano)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 13, 63–73.
- Ortolani M., Alfieri N. (1978) - *Sena Gallica*. In: Anselmi S. (Ed.) - *Una città adriatica. Insediamenti, forme urbane, economia. Società nella storia di Senigallia*, Senigallia, 21–70.
- Palombarini A. (1989) - *Il paesaggio agrario di Civitanova tra Cinquecento e Settecento. Il Cabreo Ciccolini-Silenzi, Civitanova*. Immagini e Storie, 2, 246–250.
- Pranzini E. (1989) - *A model for cusped delta erosion*. 6<sup>th</sup> Symp. Coastal and Ocean Management/ASCE Charleston, SC, 4345–4357.
- Pranzini E. (1994) - *Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge*. Il Quaternario, 7, 197–204.
- Pranzini E. (1995) - *Cause naturali ed antropiche nelle variazioni del bilancio sedimentario dei litorali*. Riv. Geogr. Ital., NS 1, 47–62.
- Pranzini E. (2001) - *Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy)*. Geomorphology, 38, 125–132.
- Pranzini E., Wetzel L., Williams A.T. (2015) - *Aspect of coastal erosion and protection in Europe*. J. Coast. Conserv., 19, 445–459.
- Radmilli A.M. (1965) - *Abruzzo preistorico: il paleolitico inferiore-medio abruzzese*. Sansoni, Firenze, 117 pp.
- Radmilli A.M. (1977) - *Storia dell'Abruzzo dalle origini all'età del bronzo*. Giardini, Pisa, 457 pp.
- Regione Marche (2005) - *Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere*. Dipartimento Territorio e Ambiente, Ancona <http://www.autoritabacino.marche.it/costa/piano/>.
- Regione Marche (2019) - *Piano di Gestione Integrata delle Aree Costiere*. Dipartimento Territorio e Ambiente, Ancona <http://www.autoritabacino.marche.it/costa/piano/>.
- Ridente D., Trincardi F. (2006) - *Active foreland deformation evidenced by shallow folds and faults affecting late quaternary shelf-slope deposits (Adriatic Sea, Italy)*. Basin Res., 18, 171–188.
- Spagnoli F., Dinelli E., Giordano P., Marcaccio M., Zaffagnini F., Frascari F. (2014) - *Sedimentological, biogeochemical and mineralogical facies of Northern and Central Western Adriatic Sea*. J Marine Sys., 139, 183–203.
- Speranza G. (1934) - *Il Piceno dalle origini alla fine d'ogni sua autonomia sotto Augusto*. L. Cardi, Ancona, 2 v, 142 pp.
- Storms J.E.A., Weltje G.J., Terra G.J., Cattaneo A., Trincardi F. (2008) - *Coastal dynamics under conditions of rapid sea-level rise: Late Pleistocene to early Holocene evolution of barrier-lagoon systems on the northern Adriatic shelf (Italy)*. Quaternary Sci. Rev., 27, 1107–1123.
- Tabacchi G., De Natale F., Di Cosmo L., Floris A., Gagliano C., Gasparini P., Genchi L., Tosi V. (2005) - *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio: Le stime di superficie 2005 - Prima parte*. MiPAF, Corpo Forestale dello Stato, Ispettorato Generale. Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, CRA.
- Trincardi F., Correggiari A. (2000) - *Quaternary forced regression deposits in the Adriatic basin and the record of composite sea-level cycles*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 172, 245–269.
- Trincardi F., Campiani E., Correggiari A., Fogliani F., Maselli V., Remia A. (2014) - *Bathymetry of the Adriatic Sea: the legacy of the last eustatic cycle and the impact of modern sediment dispersal*. J. e Maps, 10, 151–158.
- Valeriani O. (1812) - *Memorie relative all'agricoltura del dipartimento del Tronto*. Annali dell'Agricoltura del Regno d'Italia, 13, 59–88.
- Villa G.M. (1942) - *Nuove ricerche sui terrazzi fluviali delle Marche*. Giornale di Geologia, serie II, 16.

- Vita-Finzi C. (1969) - *The Mediterranean Valleys: Geological Changes in Historical Times*. Cambridge University Press, London, 149 pp.
- Williams M. (2000) - *Dark ages and dark areas: global deforestation in the deep past*. *J. Hist. Geogr.*, 26 (1), 28–46.

**Ricevuto il 25/04/2020; accettato 23/07/2020**