

Lineamenti geomorfologici, sedimentologici e dinamica del tratto di costa compreso tra Crotone e Le Castella (Calabria ionica)

Fabio IETTO, Salvatore CRITELLI, Matteo FEDERICO.

Dipartimento. Scienze della Terra – Università degli Studi della Calabria
Via P. Bucci, cubo 15 – 87036 Rende (CS)

Riassunto:

Il tratto di costa delimitato, a Nord, dal centro abitato di Crotone e, a Sud, da Le Castella e comprendente l'Area Marina Protetta "Capo Rizzuto", è caratterizzato da numerosi tratti in evidente condizione di instabilità. In quest'area i processi morfogenetici, condizionati dalle caratteristiche meccaniche delle arenarie pleistoceniche discordanti sui sedimenti argillo-siltosi del ciclo pliocenico-calabriano e dall'azione del moto ondoso, producono un profilo della linea di costa frastagliato e vulnerabile all'azione erosiva.

Il presente studio è finalizzato al riconoscimento del trend evolutivo della linea di costa nell'ultimo mezzo secolo circa (1954-2005), all'analisi delle cause naturali, del grado di irrigidimento della linea di costa, nonché delle condizioni di rischio. Dall'analisi dei dati è emerso un prevalente bilancio sedimentario negativo, il cui progressivo aumento dei processi d'erosione costiera rischiano di compromettere, o in molte zone già compromettono, la persistenza sui litorali dei Beni antropici espressi (Beni Antropici Costruiti – BAC).

Parole Chiave: morfologia costiera, dinamica costiera, Crotone, Calabria;

Abstract:

A detailed analysis of the evolutive trend of the littoral area between Crotone and "Le Castella" village (Isola Capo Rizzuto) during the last fifty years (1954 to 2005) suggested an abrupt morphological modifications and a huge instability conditions generating an irregular coastal profile and numerous tracts having high erosional processes. The historical reconstructions of the coastal variations suggest a large reduction of the sedimentary budget to the coastal zone generating a vast erosional processes having high incidence on natural coastal morphology and urban risks.

Key-words: coastal morphology, coastal dynamics, Crotone, Calabria;

Introduzione

La fascia costiera è un ambiente morfologico sedimentario vulnerabile e in continua modificazione in tempi molto brevi, da stagionali ad annuali. La naturale mobilità fisiografica della linea di riva risulta particolarmente evidente in un territorio, come quello calabrese, dove i processi geologici, morfologici e idrologici sono altamente interconnessi ed hanno una magnitudo estremamente elevata. Alla dinamicità morfologica della Calabria si associa l'alta frequenza di eventi sismici (Pirazzoli *et alii*, 1997; Antonioli *et alii*, 2004, 2006) ed un regime delle precipitazioni le cui medie annue sono superiori alla media nazionale (Caloiero & Mercuri, 1980; Caloiero *et alii*, 1994). Tali caratteristiche sono spesso causa di processi di sovralluvionamento e movimenti di versante (frane) che con-

sistematicità si ripresentano a rimodellare il paesaggio creando, di anno in anno, sempre più ampi territori regionali distrutti dei loro potenziali economici.

L'arretramento della linea di riva rappresenta la condizione di maggiore vulnerabilità e pericolo per l'alterazione degli ecosistemi e la vivibilità della fascia costiera. Gli eventi che ne derivano sono molteplici: aumento dei danni ai Beni antropici, possibilità di inondazioni a seguito di mareggiate, intrusione marina negli acquiferi costieri, distruzione di ecosistemi significativi (Nicholls e Leatherman, 1995; Mazzini e Simeoni, 1997).

Recenti studi (D'Alessandro *et alii*, 1992, 1998; Ietto, 2001) evidenziano che in Calabria, la quasi totalità delle coste sabbiose, è soggetta ad erosione rapida e pericolosa per l'integrità dell'ambiente, ivi comprese strutture insediative, produttive e viarie.

Ne consegue che azioni integrate di razionale utilizzo e gestione della fascia costiera non possono prescindere da un'adeguata conoscenza geologica e morfologica dell'interfaccia terra-mare che vede proprio nella linea di costa il suo punto di maggiore vulnerabilità e delicatezza.

In questo lavoro vengono esaminati i caratteri morfologici e sedimentologici, nonché i principali fattori responsabili delle recenti (dal 1954 al 2005) variazioni della linea di costa compresa tra gli abitati di Crotone e Le Castella (Calabria ionica).

Inquadramento Geologico

L'area di studio, da un punto di vista geologico, ricade all'interno del bacino Mio-Pleistocenico crotonese che, con una struttura tipo *graben* (Fabbri *et alii*, 1981), occupa una porzione dell'area di avampaese ionica localizzata nel settore orientale dell'Arco Calabro (Critelli, 1999; Bonardi *et alii*, 2001). (Figura 1).

I depositi del bacino crotonese, largamente affioranti in terraferma, mostrano un inizio di sedimentazione nel Tortoniano fino al Pleistocene. Lo stesso bacino è confinato da due principali allineamenti tettonici, a componente trascorrente sinistra, orientati NW-SE (Figura 1): la zona denominata Rossano-San Nicola a Nord e la zona Petilia-San Sosti a Sud (Meulenkamp *et alii*, 1986; Van Dijk, 1990, 1991; Van Dijk and Okkes, 1990, 1991). Tali zone di taglio hanno fortemente controllato la sedimentazione dal tardo Serravalliano al medio Pleistocene (Van Dijk, 1990, 1991).

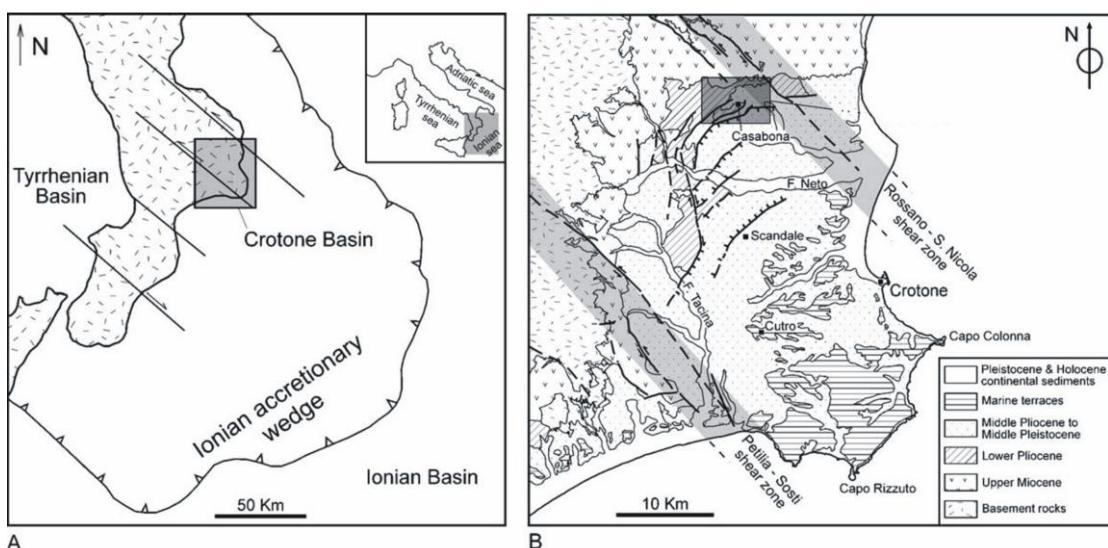


Figura 1, (A) – Schema strutturale dell’Arco Calabro e ubicazione dell’area di studio: l’orientazione delle principali zone di taglio dell’Arco Calabro presenta un andamento NW (da Massari *et alii*, 2002 - modificata); (B) Schema geologico del Bacino Crotonese (da Zecchin *et alii*, 2004b – modificata).

Figure 1, (A) – A structural sketch of the Calabrian Arc, with the main shear zones having a dominant NW-SE direction (modified after Massari *et alii*, 2002); (B) Geologic sketch of the Crotone basin (modified after Zecchin *et alii*, 2004b).

La prima ricostruzione stratigrafica del bacino crotonese risale a Ogniben (1955, 1962, 1973) e, successivamente a Roda (1964a, 1970, 1971) che riconosce tre principali cicli sedimentari: il primo (Roda, 1964a) comincia nel Serravaliano-Tortoniano con una deposizione continentale che evolve in depositi marini; per poi terminare con il primo ciclo evaporitico inferiore del Messiniano. Il secondo ciclo comincia con la deposizione evaporitica superiore Messiniana, per poi terminare nel basso Pliocene (Roda, 1964a; Critelli, 1999; Zecchin *et alii*, 2003, 2004a). Il terzo ciclo, infine, comprende i depositi dal medio Pliocene al Pleistocene, esso comincia con una sedimentazione trasgressiva di ambiente lagunare di retro-barriera, per poi culminare con il completo ricoprimento del bacino. A tale fase trasgressiva segue una fase regressiva caratterizzata dalla deposizione della Molassa di San Mauro nel Pleistocene (Di Grande, 1967; Massari *et alii*, 2002).

La successione Pleistocenica caratterizza l’intera area compresa tra Capo Colonna e Le Castella mediante la presenza di una serie di “piani”, dislocati a vari livelli, costituiti da depositi di terrazzi marini. Tali depositi sono composti da: sabbie, arenarie quarzose a cemento calcareo spesso a stratificazione incrociata, calcareniti e calcari bioclastici ed algali con occasionali intercalazioni conglomeratiche (Mellere *et alii*, 2005). La genesi di tali depositi, dovuta a regressione del mare (Massari *et alii*, 2002), ha certamente condizionato gli spessori e le variazioni del grado di cementazione che può considerarsi da medio-bassa a quasi nulla, soprattutto sotto azione dei processi di dissoluzione subaerea. Tali litologie si rinvengono fino al livello del mare sul lato Est del centro abitato di Le Castella, mentre ancora più a Est gli stessi affioramenti risultano ricoperti da depositi di sabbie eoliche che si estendono dalla spiaggia fino al livello del terrazzo inferiore.

I depositi pleistocenici, a loro volta, giacciono in evidente discordanza sui sedimenti del ciclo pliocenico-calabriano (Roda, 1964a; Mellere *et alii*, 2005), qui rappresentato da argille siltose grigio-azzurre o grigio giallastre, sabbie e sottili strati di arenarie tenere a cemento calcareo. Tali litologie affiorano, generalmente, alla base dei pendii che separano i diversi terrazzi, condizionando in tal modo la stabilità delle falesie, in quanto, essendo scarsa la resistenza all’erosione delle argille, il moto ondoso crea continui scalzamenti al piede provocando il crollo anche delle porzioni litologiche più lapidee dei sovrastanti sedimenti pleistocenici. Tali sedimenti, inizialmente, tendono a formare tetto effimero sulle zone di frangente, ma per altra via determinano un accelerato processo di arretramento della costa. È questo il caso di Capo Colonna, in cui l’azione erosiva del moto ondoso interessa il sito archeologico di epoca greca.

Quadro Geomorfologico

L’area compresa tra Capo Colonna e Le Castella presenta una morfologia terrazzata di cui sono stati riconosciuti quattro differenti ordini (Gliozzi, 1987; Belluomini *et alii*, 1988; Palmentola *et alii*, 1990; Zecchin *et alii*, 2004b), tutti

costituiti da depositi regressivi pleistocenici soggetti a sollevamenti progressivi e intermittenti (Antonioli *et alii*, 2004, 2006). Tali depositi neozoici poggiano in evidente discordanza sui sedimenti del ciclo argilloso pliocenico-calabriano e, dal più antico al più recente, sono distinti in (Figura 2):

- I ordine: superficie del terrazzo crotoniano, a partire dai 90 ai 200 m s.l.m.;
- II ordine: superficie del terrazzo tirreniano, a partire dai 50 ai 100 m s.l.m.;
- III ordine: superficie del terrazzo tirreniano, a partire dai 10 ai 65 m s.l.m.;
- IV ordine: superficie del terrazzo tirreniano, a partire dai 15 ai 33 m s.l.m.;

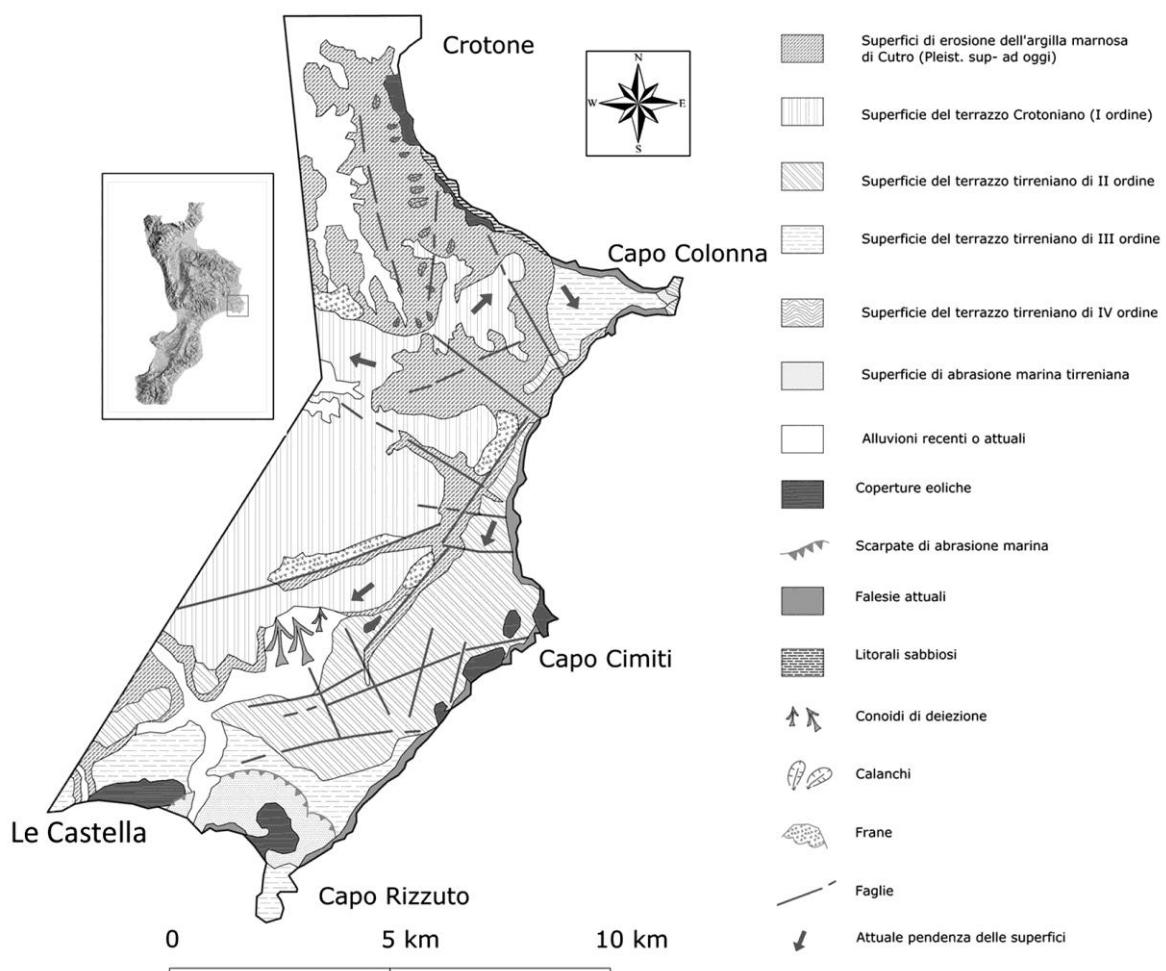


Figura 2, Carta Geomorfologica dell'area

Figure 2, Geomorphological Map of the study area

Le direzioni di pendenze delle superfici terrazzate risultano variabili, difatti quelle a monte di Capo Cimiti sono caratterizzate da immersioni verso S-SW; a monte di Capo Colonna le pendenze sono invece rivolte verso N-NE e prevalentemente a W per i terrazzi ubicati rispettivamente in prossimità di Villaggio Salica e Villaggio S. Andrea; mentre una diversa direzione di pendenza, orientata verso SE, viene registrata per il terrazzo caratterizzante il promontorio di Capo Colonna. Tali differenti basculamenti sembrano essere controllati fortemente dalla tettonica locale, qui caratterizzata da 4 principali allineamenti tettonici (Gliozzi, 1987; Cosentino *et alii*, 1989; Palmentola *et alii*, 1990) orientati: ENE (andamento antiappenninico), WNW (andamento appenninico), E e NNE. Risultano assenti,

invece, strutture plicative significative, ma solo leggere ondulazioni nei depositi calabriani affioranti lungo le superfici di erosione. In quest'ultimi depositi, caratterizzanti principalmente l'area compresa tra Crotone e Capo Colonna, sono diffusamente presenti forme calanchive particolarmente incise con diffusi casi di *rill* e *gully erosion*; modeste conoidi di deiezione sono presenti a Sud dell'abitato di Isola Capo Rizzuto. Per quel che riguarda la presenza di fenomeni gravitativi, l'elevata sensibilità delle argille calabriane all'erosione subaerea e marina unita all'acclività dei versanti, sono spesso le cause di una diffusa instabilità.

Superfici di abrasione marina recenti (Tirreniano) si rinvengono invece a monte di Capo Rizzuto e più precisamente in prossimità della località di Testa di Ferdinando come mostra la Figura 2.

La morfologia costiera, per quanto impostata su costa alta in terreni poco coerenti, è tuttavia caratterizzata da una successione di *pocket beach* sabbiose. Coperture eoliche sono altresì presenti in ambiente costiero.

Le valli fluviali, infine, si presentano per lo più con scarso o nullo trasporto liquido, ad eccezione di piccoli bacini a regime tipicamente torrentizio. Unico corso d'acqua di rilievo è quello del Fiume Tacina, a Ovest di Le Castella (immediatamente fuori l'area di studio), i cui apporti sedimentari alimentano le spiagge emerse e sommerse correlate.

Caratteri petrografici dei sedimenti costieri

Da un punto di vista sedimentologico il tratto costiero ionico settentrionale, compreso tra la foce del Fiume Crati e fino al promontorio di Isola Capo Rizzuto, risulta suddiviso in sei distinte petrologiche province costiere (Critelli & Le Pera, 2003), caratterizzate da tipici *trend* compostizionali.

L'area oggetto del presente lavoro ricade nelle seguenti due province petrografiche costiere:

- 1) ***Provincia Litoranea del Neto***: compresa tra Strongoli e Capo Colonna, ha come sistema di drenaggio principale il Fiume Neto, nonché sistemi di drenaggio secondari. Il sistema deltizio del Neto forma un pronunciato delta, in forte accrescimento, il cui carico solido è disperso lungo costa per numerosi chilometri. Da un punto di vista compostizionale, la provincia del Neto ha sabbie quarzoso-feldspatiche con più o meno eque proporzioni di quarzo e feldspato. Il quarzo è sempre abbondante e tra i feldspati il plagioclasio domina rispetto al feldspato potassico. Il quadro dei frammenti di roccia indicano che si tratta di sabbie di provenienza da rocce metamorfiche, plutoniche e sedimentarie. I frammenti di roccia principali sono plutonici e metamorfici, a testimonianza di una provenienza dai terreni cristallini paleozoici delle Unità della Sila, e il contributo detritico da rocce sedimentarie indica una provenienza mult ciclica dai terreni sedimentari delle successioni del Tortoniano-Pleistocene;
- 2) ***Provincia Litorale di Isola Capo Rizzuto-Le Castella***: compresa tra Capo Colonna e Le Castella. Da un punto di vista compostizionale, tale provincia ha due distinte petrofacies sabbiose: la più meridionale è data da sabbie quarzofeldspatiche (petrofacies del Tacina) con più o meno eque proporzioni di quarzo e feldspato. Il quarzo è sempre abbondante e, tra i feldspati, il plagioclasio domina rispetto al feldspato potassico. L'analisi dei frammenti di roccia indicano che si tratta di sabbie di provenienza da rocce metamorfiche, plutoniche e sedimentarie. I frammenti di roccia principali sono plutonici e metamorfici, testimonianza, questa, di una provenienza dai terreni cristallini

paleozoici delle Unità della Sila; mentre il contributo detritico, da rocce sedimentarie, indica una provenienza dai terreni delle successioni del Tortoniano-Pleistocene. La petrofacies centrale e settentrionale della Provincia litoranea è data, invece, da sabbie litiche con abbondanti frammenti di rocce sedimentarie provenienti dalle successioni pleistoceniche che costituiscono le aree collinari del sistema di drenaggio.

Per quanto riguarda i dettagli sulla dinamica e le caratteristiche sedimentologiche, compostionali delle province litoranee ioniche e delle relative aree marine, i dati desunti derivano da Pennetta (1992), Critelli & Le Pera (1994; 1998; 2003), Le Pera (1998), Critelli (1999), Bernasconi *et alii*, (2002).

Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio presente nell'area di studio è caratterizzato solamente da bacini idrografici di limitata estensione. Il più importante corso d'acqua è rappresentato dal Fiume Tacina che ricade immediatamente a Ovest di Le Castella e quindi, anche se fuori dall'area di studio, non può non essere preso in considerazione per il rilevante apporto sedimentario ai litorali sabbiosi.

I principali caratteri geomorfologici del F. Tacina sono riportati in Tabella 1. L'orientamento dell'asta fluviale, controllato dai maggiori allineamenti strutturali, si sviluppa dapprima in direzione W-E e successivamente, in prossimità del centro abitato di Rocabernarda, segue una direzione N-S fino a sfociare nel Mar Jonio originando una modesta foce a cuspide.

BACINO	Superficie (Km)	Perimetro (Km)	Quota media s.l.m.
Fiume TACINA	426,4	124,2	623,7
Fiume Tacina fino alla confluenza Fiume Soleo	124,87	83,97	934,3
Fiume SOLEO	80,42	56,41	1019,4
F. Tacina dalla confluenza F. Soleo fino a F. S. Antonio	69,65	44,77	128,4
Fiume S. Antonio	87,9	57,17	623,1
F Tacina dalla confluenza con il F. S. Antonio fino alla foce	63,6	45,74	68

Tabella 1, Caratteristiche geomorfologiche del Fiume Tacina e suoi affluenti.

Table 1, Geomorphological features of the Tacina River and their tributaries.

Le prime polle sorgive del bacino sono ubicate nel massiccio della pre-Sila catanzarese ed in particolare prendono origine da Timpone Morello (quota 1665m s.l.m.) e M.te Gariglione (quota 1765m s.l.m.), entrambi geologicamente caratterizzati dal complesso cristallino metamorfico dell'Unità di Monte Gariglione (Amodio Morelli *et alii*, 1976). Tale complesso, soggetto a notevoli sollecitazioni tettoniche (Ciaranfi *et alii*, 1982) e ad intensa alterazione da agenti atmosferici, spesso si presenta in un ammasso quasi incoerente, facilmente erodibile e quindi con caratteristiche fisiche e meccaniche ben diverse da quelle originali. Di conseguenza la porzione di testata del bacino presenta una morfologia molto incisa: caratterizzata da aspre e strette valli con pendenze molto accentuate. Dalla quota collinare dei 300m s.l.m. e fino alla foce, il reticolo idrografico presenta una morfologia più blanda, in coincidenza con una variazione litologica dei sedimenti (terreni Mio-Pliocenici), più facilmente erodibili, presenti al contorno dei complessi cristallino-metamorfici. Nella corona di testata del bacino unici affluenti significativi, in termini di portate, sono presenti in destra idrografica e sono rappresentati dal F. Sant'Antonio ed il F. Soleo.

L'analisi della curva ipsografica dell'intero bacino (Figura 3) evidenzia, per la zona di testata, una modesta concavità rivolta verso il basso, ossia un alto valore dell'integrale ipsometrico ($>0,5$). Tale dato indica, quindi, un "ciclo geomorfico" del reticolo in fase giovanile ("stadio di inequilibrio" – Strahler, 1952a; 1952b; 1964), nel quale i processi erosivi delle acque fluviali si esplicano principalmente nell'erosione verticale, ossia nel progressivo approfondimento dell'alveo. Ciò è ulteriore evidenza di recenti sollevamenti tettonici (stimati tra 0,4 e 1,8 m/Ka da: Cosentino *et alii*, 1989; Palmentola *et alii*, 1990; Knott & Turco, 1991) e quindi di un ringiovanimento del reticolo, cui fa seguito una scarsa organizzazione gerarchica.

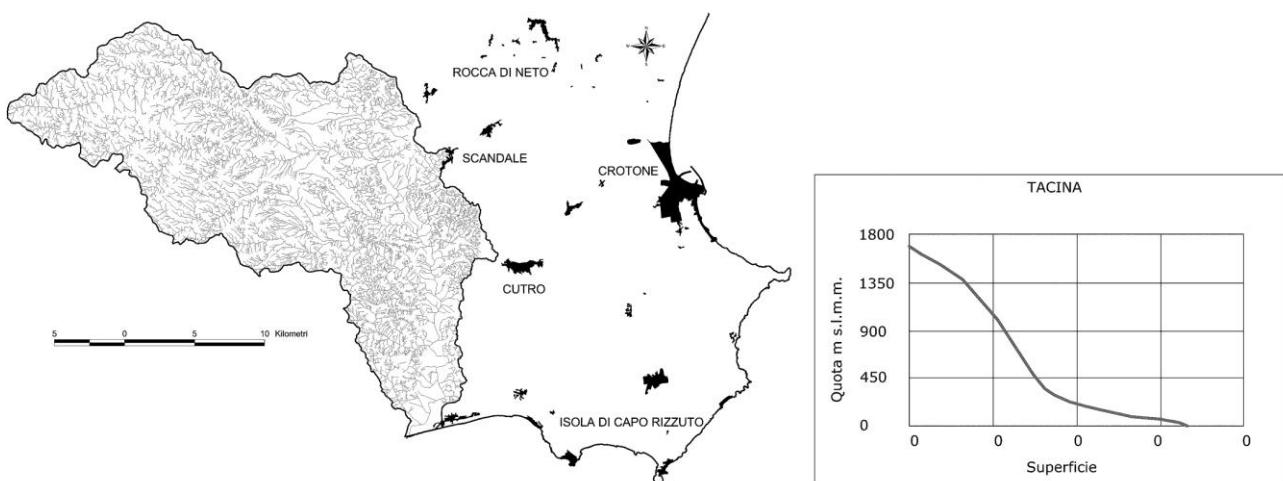


Figura 3, Bacino del Fiume Tacina e relativa curva ipsografica

Figure 3, Tacina River drainage basin and related ipsographic curve

Tale condizione, come nel caso in esame, è solita manifestarsi con forme vallive molto incise, ripide e con tipiche morfologie a V. L'analisi della curva ipsometrica evidenzia, inoltre, una netta variazione delle condizioni del ciclo geomorfico attorno alla quota dei 300m s.l.m., in cui è possibile osservare un punto di flesso oltre il quale la stessa si presenta con una netta concavità rivolta verso l'alto. Questa condizione, che evidenzierebbe un basso valore dell'integrale ipsometrico ($<0,5$), suggerisce uno stadio geomorfologico in fase di vecchiaia ("stadio Monadnock" - Strahler, 1952a; 1952b; 1964), nel quale i processi erosivi risultano relativamente attenuati. Ne deriva che il bacino del Tacina, per il tratto idrografico in questione, tende ad un'erosione regressiva ossia rivolta verso la cattura degli spartiacque. Comportamento, questo ultimo, che è solito svilupparsi a seguito di un elevato approfondimento del greto fluviale con conseguente diminuzione del dislivello rispetto al tratto di foce.

L'inversione del comportamento geomorfologico del bacino imbrifero del Tacina, come appena descritta, avviene quindi attorno alla quota dei 300m s.l.m., ossia in corrispondenza di una netta variazione litologica: in cui dai terreni cristallini delle Unità Alpine si passa a quelli mio-pliocenici molto più erodibili.

L'ordine di gerarchizzazione delle aste fluviali del Bacino del Tacina, eseguito secondo i parametri di Horton (1945), evidenzia una prevalenza dei rami fluviali appartenenti al 1° e 2° ordine (Tabella 2), mentre l'ordine massimo è il 7° (con solo 1 asta). Tale condizione indicherebbe una modesta organizzazione della geometria del reticolo idrografico e quindi la sua tendenza evolutiva a subire significative

modificazioni, caratteristica questa che si riflette sull'elevata possibilità di apporto solido verso mare.

Ordine	Numero di Aste	Lunghezza Totale (km)
1	5106	874,02
2	1202	391,15
3	258	185,89
4	59	95,30
5	12	77,74
6	3	19,71
7	1	16,15

Tabella 2, Parametri di Horton (1945) per il Fiume Tacina

Table 2, Horton's Parameters (1945) for the Tacina River

I corsi d'acqua ricadenti, invece, all'interno dell'area oggetto di studio presentano tutti regimi a carattere prevalentemente torrentizio. Caratteristiche queste ultime che determinano apporti sedimentari non continui e di conseguenza una minore incidenza sull'evoluzione morfologica dei litorali sabbiosi. Ciò non esclude che eventi di piene e di sovralluvionamento (tipo l'evento del 2000 lungo il Fiume Beltrame - Ietto, 2000) possano attivarsi in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi.

Infine il grado di irrigidimento artificiale di tali greti è spesso elevato, come nel caso del vallone Dragone in cui briglie ed argini riducono notevolmente la capacità d'erosione e quindi l'apporto sedimentario alle spiagge contigue. Opere d'irrigidimento fluviale sono altresì presenti lungo il corso d'acqua di Pozzo Fieto e Vallone Vorga.

Caratteristiche meteomarine

La morfografia di una spiaggia, emersa e sommersa, è effetto della dissipazione dell'energia del moto ondoso, per cui varia continuamente ed in funzione delle condizioni meteorologiche e dei sedimenti disponibili lungo costa. Ne deriva che la spiaggia è il prodotto del moto ondoso, il cui studio evolutivo non può prescindere da un'analisi delle condizioni meteo-marine che la caratterizzano. A tale scopo, per il settore Capo Colonna – Le Castella, sono stati censiti ed analizzati i dati rilevati dalla stazione di Crotone, appartenente alla Rete Meteomarina Nazionale (RMN), e dalla boa appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale (RON), ubicata a largo di Capo Colonna, che rappresentano le uniche stazioni di misura più prossime all'area d'interesse. Tali informazioni, per quanto rilevate nella zona di limite settentrionale dell'area di studio e quindi con un'esposizione leggermente diversa agli eventi meteo-marinii, forniscono comunque un valido contributo alla definizione delle condizioni energetiche lungo il litorale in esame. Allo stesso scopo è stato delineato il ventaglio delle direzioni di provenienza delle possibili mareggiate (Settore di Traversia) e le relative estensioni di mare libero (*fetches*) (Figura 4).

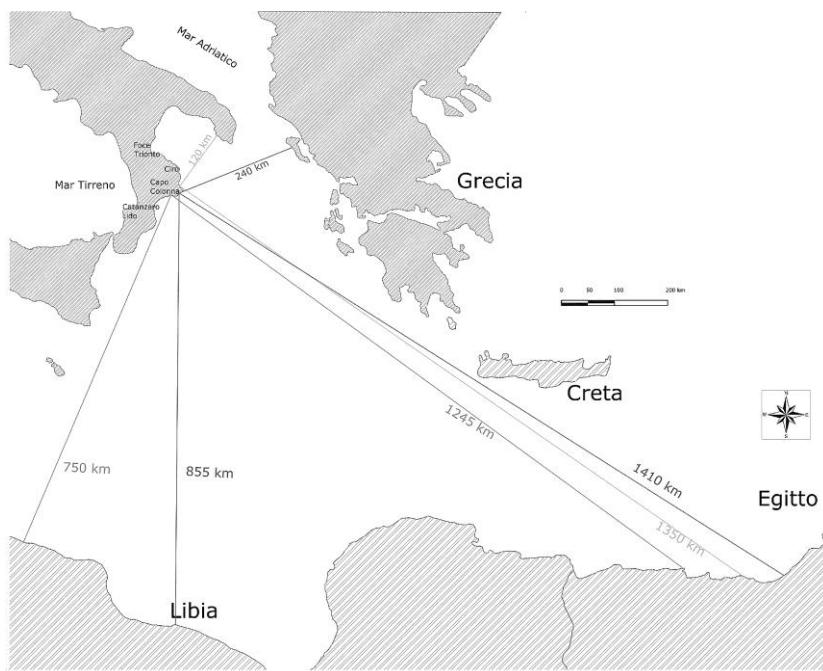


Figura 4, Settore di traversia e relativi *fetches*

Figure 4, Direction of exposure and respective fetches;

Tale studio ha evidenziato che il litorale a Sud di Le Castella presenta un settore di Traversia compreso tra N120° (*fetch* 1245 Km) e N200° (*fetch* 750 Km). Invece, per il tratto compreso tra Le Castella e Capo Colonna, il Settore di Traversia Principale è compreso tra N120° (*fetch* 1410 Km) e N180° (*fetch* 855 Km); mentre l'intervallo di direzioni compreso tra N60° e N110° è quello rappresentativo del settore di traversia secondario, con *fetches* dell'ordine di 250-300 Km. L'esposizione, invece, per il tratto di litorale a Nord di Capo Colonna risulta essere compreso tra N30° e N120°, i cui *fetches* misurano rispettivamente 120 Km e 1350 Km.

L'elaborazione dei dati meteomarini (Figura 5), ottenuti dalle stazioni RMN e RON, rileva che il mare regnante ha una direzione di provenienza N180° (con una frequenza pari all'8%) con altezza delle onde compresa tra 0,5 e 2,1m; mentre il mare dominante ha una provenienza da N130° con altezza delle onde fino a 5,7m ed una frequenza dell'ordine del 6% circa.

Dall'istogramma della distribuzione di frequenza delle onde risulta inoltre che le mareggiate più frequenti (con il 52,1%) sono quelle con altezza di onde pari a 0,5-2,1m, mentre i periodi di calma hanno una frequenza dell'ordine del 42,6%. L'analisi di tali dati, ha quindi permesso di identificare in N120°-130° la direzione delle mareggiate più vulnerabili per il tratto di costa in esame.

Coerenti al quadro descritto sono i dati eolici, da cui risulta che i venti più frequenti (9-11%) e allo stesso tempo i più intensi, spirano dal settore N-NW con una direzione di provenienza compresa tra N340°-360° e con velocità superiore ai 11,1 m/s. Classe di frequenza leggermente minore (dell'ordine del 6-9%) e velocità compresa tra 8,8-11,1 m/s sono i venti che spirano invece da S-SW (N180°-200°).

L'osservazione della distribuzione di frequenza delle classi di vento denota, inoltre, che il litorale in esame si presenta particolarmente ventoso con solo l'8,7% di periodi di calma, mentre il 42,1% risulta la frequenza dei venti con velocità compresa tra 0,5-2,1 m/s, e l'1,9% è la frequenza dei venti con velocità superiori ai 11,1 m/s.

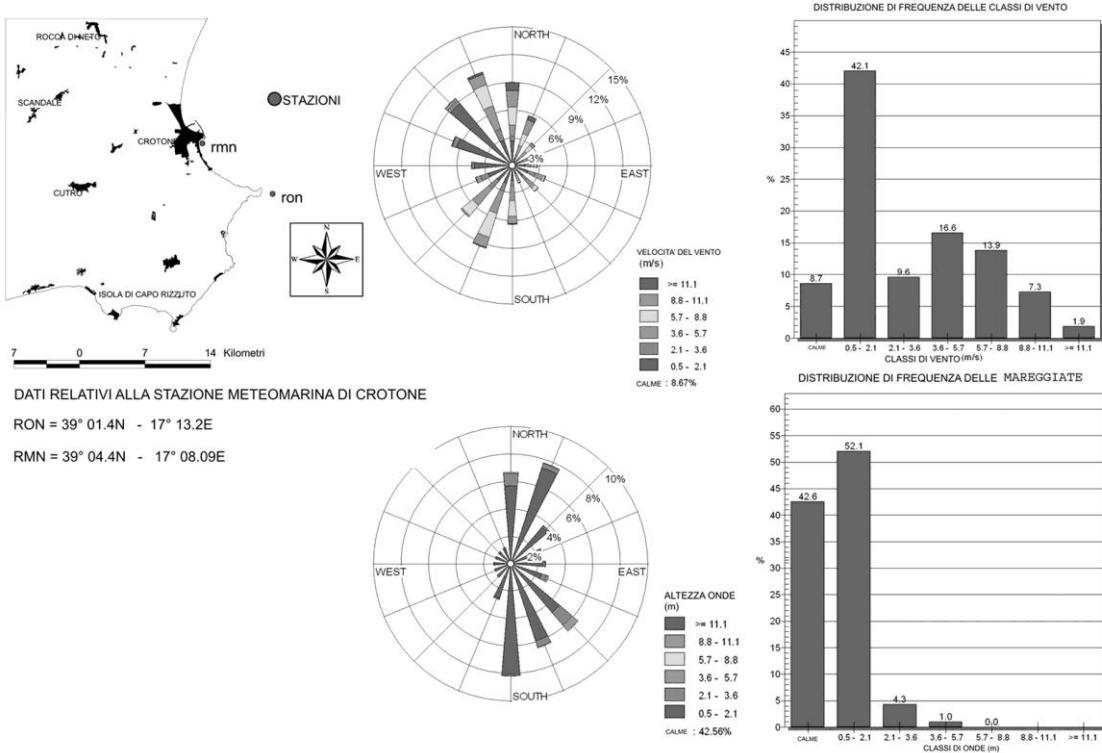


Figura 5, Dati relativi alla Rete Ondametrica Nazionale (RON) e Rete Meteomarina Nazionale (RMN) di Crotone

Figure 5, Data of the National Tidegauge Network (RON) and National Meteorological Marine Network (RMN) for the Crotone Station.

Morfologia dei litorali

Il tratto di litorale emerso compreso tra i centri abitati di Crotone e Le Castella risulta, per quasi la sua totale estensione, caratterizzato da coste alte in roccia tenera (argille e sabbie) interrotte da limitati tratti sabbiosi delle *pocket beach*.

Dall'analisi delle variazioni dei sistemi di foce dei corsi d'acqua, negli ultimi 10 anni circa (Figura 6), desunte dall'osservazione di aerofotografie, è risultato che i sistemi presenti a Ovest di Capo Rizzuto, presentano tutti uno spostamento orientato verso occidente; mentre quelli ubicati nella porzione settentrionale, rispetto allo stesso promontorio, evidenziano una migrazione orientata verso Nord. Ne deriva che la direzione del trasporto solido sottocosta, lungo il litorale in esame e cioè a partire da Le Castella, risulta orientata dapprima verso Ovest per poi, all'altezza di Capo Rizzuto, assumere un diverso andamento orientandosi verso Nord. Conferma in tal senso si ha anche dall'osservazione in dettaglio del rapporto arretramento-progradazione tra aree di spiaggia sopraflutto (in ripascimento) e sottoflutto (in erosione) di qualsivoglia elemento morfologico naturale (promontori rocciosi) o artificiale (opere rigide), che comunque interrompa la continuità degli arenili mobili di spiaggia.

Per quel che riguarda l'area marina, prospiciente la costa, questa presenta un substrato roccioso costituito da calcareniti pleistoceniche sormontate, a loro volta, da sedimenti sabbiosi e pelitici olocenici lungo un contatto irregolare riconducibile ad una superficie di erosione connessa alla regressione würmiana (Pennetta, 1992). Tale substrato da luogo ad un'area sub pianeggiante con presenza, tra le isobate -5m e -12m, di alti morfostrutturali sulla parte esterna della stretta piattaforma e oggi colonizzati dalla *Posidonia oceanica* (recenti dati originali).

Non sono presenti forme di fondo quali: barre o cordoni, assenza, questa, presumibilmente giustificata dallo scarso apporto sedimentario, da parte della rete drenante, rispetto all'elevata energia del moto ondoso agente su fondali elevati e coinvolti solo dalle più intense mareggiate.

L'indagine sedimentologica, per la spiaggia sottomarina, evidenzia una granulometria compresa tra 1,8 e 2,0mm per la porzione immediatamente sotto costa; all'aumentare della distanza le dimensioni dei granuli tendono a diminuire fino a raggiungere valori medi compresi tra 0,13 e 0,18mm (Figura 7). Tali caratteristiche granulometriche testimoniano la presenza di una piattaforma caratterizzata, nelle aree più costiere, da sabbia che, verso il largo evolve a silt argilloso. I depositi della scarpata e di bacino presentano granulometrie analoghe: si tratta di silt fini o finissimi (CNR, 1997) depositi presumibilmente da correnti saltuarie che agiscono sul fondo e che consentono la completa deposizione del carico in sospensione. L'apporto solido, proveniente dai corsi d'acqua del tratto studiato, è costituito prevalentemente da materiale grossolano che, elaborato e distribuito dalle correnti litorali, contribuisce alla formazione di profili morfologici sommersi con pendenze medie comprese tra 0,9% (Le Castella e Capo Rizzuto) e 1,7% (nella restante porzione settentrionale). Tuttavia pendenze maggiori, con morfologie molto acclivi, sono presenti in prossimità dei principali promontori, soprattutto in prossimità di Capo Rizzuto e Capo Colonna dove le pendenze raggiungono rispettivamente valori del 6,5% e 6%. Caratteristica, quest'ultima, che condiziona notevolmente l'evoluzione morfologica costiera, poiché profili molto acclivi consentono uno scarso dissipamento dell'energia del moto ondoso, per cui le onde raggiungono con estrema violenza la linea di costa causando accentuati processi erosivi. Tali condizioni risultano particolarmente vulnerabili soprattutto nei confronti delle porzioni di falesia costiera caratterizzate, come precedentemente accennato, da depositi argillosi alla base con sedimenti arenitici alla sommità. Difatti l'elevata facilità d'erosione delle argille, da parte del moto ondoso, è causa di rapidi e ripetuti crolli dei soprastanti sedimenti arenitici, data la quasi corrispondenza tra il livello medio mare ed i livelli argillosi suborizzontali.

L'elevata acclività del profilo morfologico marino è facilmente desumibile anche dall'osservazione delle batimetrie, da cui si evince come profondità dell'ordine dei -100m vengono raggiunte a distanze di circa 1,4 km dalla linea di riva sia in prossimità di Capo Colonna che di Capo Rizzuto. In particolare, per questo ultimo promontorio, profondità dell'ordine dei -1000m viene raggiunta appena ad una distanza di 7 km dalla linea di costa. Si evidenziano cioè acclivi scarpate sottomarine legate o meno a canyons, alimentanti a loro volta bacini prossimi alla riva. Questa morfologia sommersa molto articolata condiziona fortemente il trasporto solido litoraneo, per cui i sedimenti transitanti sotto costa vengono irrimediabilmente allontanati verso profondità bacinali. Ciò è causa di una persistenza precaria di tutti gli ammassi detritici in transito sotto costa, a meno di apporti continui da terra e per volumetrie prevalenti sulle quantità di trasporto al largo.

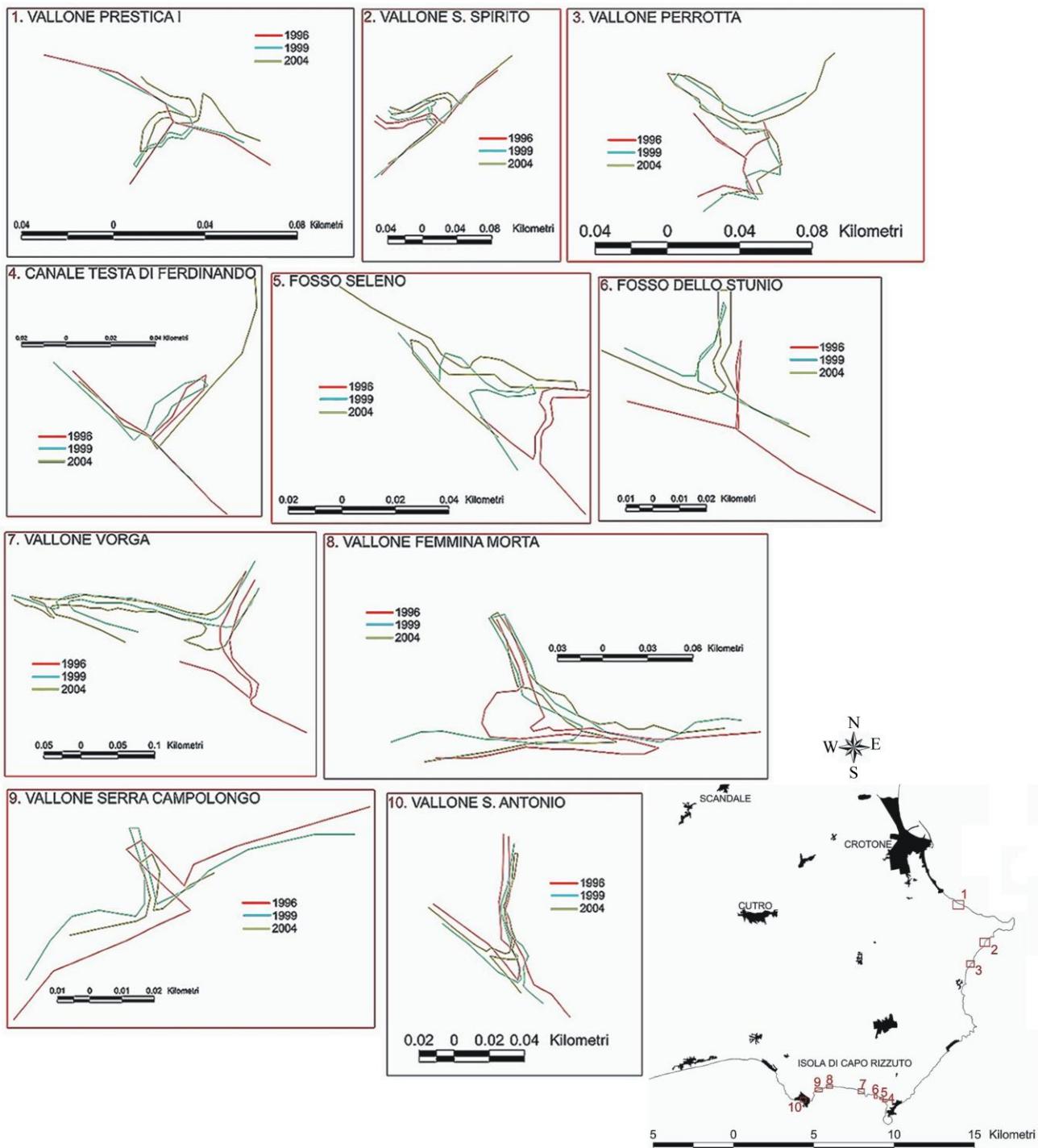


Figura 6 - Variazione delle Foci dei Fiumi nell'intervallo 1996-2004, desunte dall'osservazione di aerofotografie.

Figure 6 – Historical modifications of the fluvial mouths during the 1996 to 2004 based on aerophotogrammetric analysis.

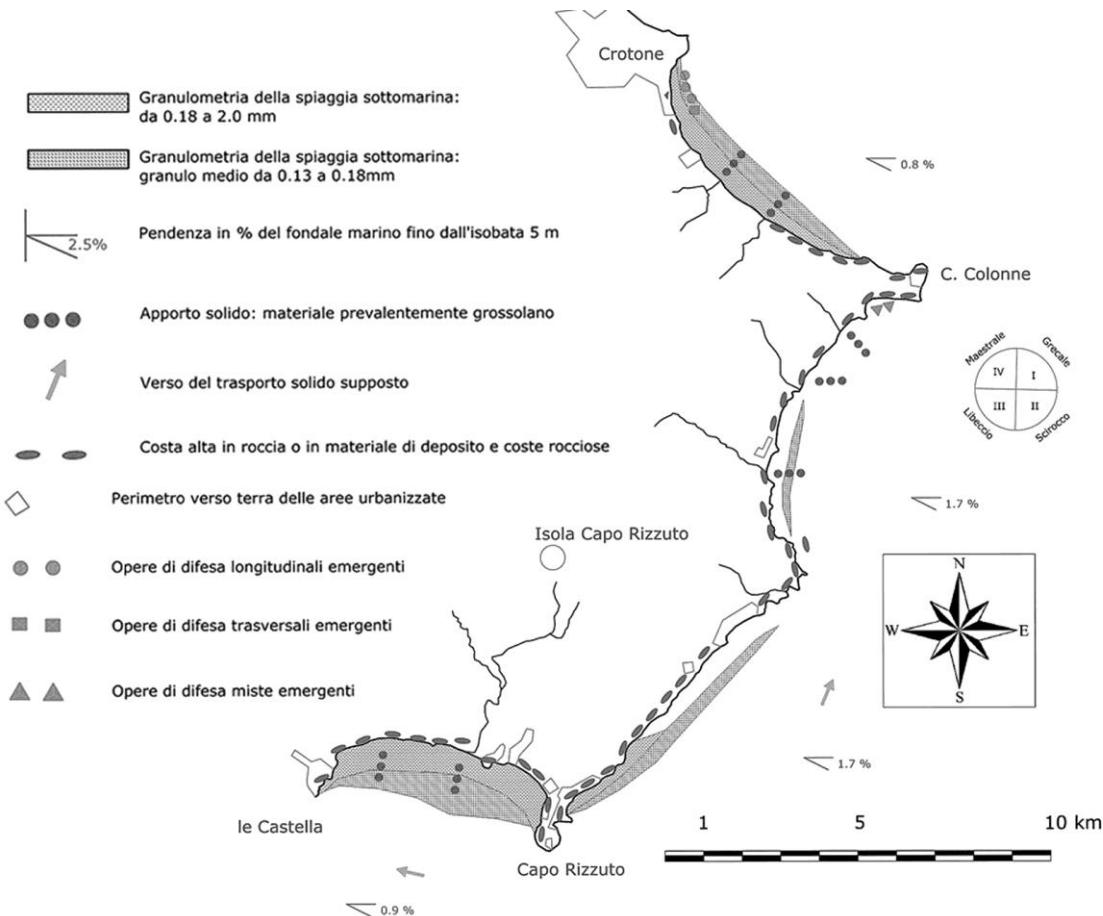


Figura 7, Carta Geomorfologica delle Spiagge

Figure 7, Geomorphological map of the studied Coastal Zone

Evoluzione della linea di costa e metodologia di studio

La ricostruzione della linea di costa dal 1954 al 2004, per il tratto compreso tra Crotone a Nord e Le Castella a Sud, è stata condotta mediante digitalizzazione delle linee di riva degli anni 1954, 1996, 2004, presenti sulle cartografie IGM esistenti. Su tali cartografie sono stati inoltre individuati i caposaldi di riferimento utilizzati per il confronto delle misure puntuali tra gli stessi caposaldi e la linea di costa nelle diverse annualità osservate. Per una migliore trattazione ed analisi del problema, l'intera area è stata suddivisa in 11 zone, identificate in funzione dei tratti di spiaggia contigui. All'interno di ciascuna zona è stata quindi ricostruita la tendenza evolutiva della linea di spiaggia per gli intervalli temporali: 1954-1996 e 1954-2004; le cui misure puntuali sono state diagrammate su istogrammi (Figura 9).

Sono state inoltre stimate le variazioni delle superfici di spiaggia calcolando le aree comprese fra le coppie di linee negli intervalli di tempo 1954-2004; anche qui l'intera area è stata suddivisa in 5 settori, per ciascuno dei quali è stata calcolata la variazione areale (m^2) della linea di costa, i cui valori sono stati riportati su specifici istogrammi (Figura 10). Dall'analisi delle superfici di spiaggia erosa o in progradazione è quindi emerso che lungo i circa 40 Km di litorale esaminati

prevale una tendenza erosiva e quindi di sostanziale bilancio negativo degli apporti sedimentari da terra (Tabella 3).

SETTORI	Avanzamento (m ²)	Arretramento(m ²)
SETTORE 1	3.355 pro parte	19.550 pro parte
SETTORE 2	7.315 p.p.	40.265 p.p.
SETTORE 3	4.820 p.p.	39.430 p.p.
SETTORE 4	21.590 p.p.	21.380 p.p.
SETTORE 5	26.795 p.p.	6.210 p.p.
TOTALE	63,8 10³	12,6 10⁴

Tabella 3 - Evoluzione delle superfici di spiaggia per il periodo 1954-2004 (per la corrispondenza dei settori vedi Figura n 11)

Table 3 – Evolutionary trends of the coastal surface during 1954-to-2004 (see Figure 11 for the locations of the sectors 1 to 5)

In questo capitolo verranno discussi solo i dati più significativi ai fini dello studio evolutivo della fascia costiera, essendo ampiamente riportati i valori puntuali nei rispettivi istogrammi. Dall'analisi geomorfologica risulta, quindi, che i maggiori tassi di arretramento, registrati negli ultimi 50 anni (1954-2004), si sono avuti a Nord del centro abitato di Crotone (Zona 1) con valori locali dell'ordine di -100m, a cui corrisponde un tasso di variazione medio di circa -2m/anno. Altra zona di elevato arretramento della linea di spiaggia è quella in prossimità dell'abitato di Marinella (Zona 4) e Capo Bianco (Zona 7), che registrano rispettivamente tassi erosivi dell'ordine di -50m e -25m circa per lo stesso intervallo temporale.

L'elevato arretramento registrato nella zona 1, nell'area sottoflutto al centro abitato di Crotone, è verosimilmente attribuibile all'elevata pressione antropica degli ultimi anni, causa della distruzione o sezionamento della fascia dunare la cui deflazione ha ulteriormente impoverito gli arenili già in situazione precaria. A tale attività v'è da aggiungere l'influenza dell'opera portuale che funge da ostacolo al naturale trasporto sedimentario, qui orientato Sud-Nord, impedendo l'alimentazione delle spiagge a Nord dello stesso. All'irrigidimento antropico del tratto costiero, va considerato inoltre che lo stesso litorale è soggetto ad elevate condizioni energetiche del sistema marino, in quanto esposto direttamente ai mari dominanti provenienti da N130° con *fetch* di circa 1350 Km e con altezza delle onde fino a 5,7m. Uguale esposizione presentano anche le zone 4 e 7, in cui la pressione antropica risulta decisamente minore rispetto alla precedente, ed i valori erosivi medi sono dell'ordine di -1m/anno e -0,50m/anno.

Il trasporto solido lungo costa, specie ad opera delle correnti longitudinali, è facilmente apprezzabile dal ripascimento delle aree a ridosso degli interventi di difesa rigidi (scogliere, pennelli, moli e quant'altro) posti in opera lungo il settore costiero esaminato, soprattutto a Sud del centro abitato di Crotone. Tale ripascimento risulta sempre coerente con la direzione del trasporto costiero. Tuttavia l'alternanza tra aree di spiaggia in erosione e aree progradanti, autorizza a considerare ancora attivo almeno un minimo di trasporto solido lungo costa. Di conseguenza può rilevarsi non del tutto esaurito, almeno per i corsi d'acqua meno regimati, l'apporto detritico a mare per via fluviale, come testimonia l'avanzamento del tratto di costa, per l'intervallo di tempo 1953-2004, a Sud del Torrente Vorga (zona 9). Per tale zona il prevalente avanzamento della linea di costa, così come per la zona 11, è tuttavia giustificabile anche da una ridotta pendenza dei fondali (0,9%). Difatti, come si può notare dalla Figura 8, i corrispondenti profili batimetrici (n°8 e n°10) denotano una graduale pendenza dei

fondali sottocosta e cioè un accenno di piattaforma costiera causa sia di un maggior dissipamento dell'energia del moto ondoso che di un mancato trasporto dei sedimenti verso bacini profondi. Per le restanti zone, in cui prevale un bilancio sedimentario negativo, i profili batimetrici si presentano per la maggior parte con accentuata acclività e ridotta piattaforma costiera, condizione questa che determina una persistenza precaria dei sedimenti in transito sotto costa e quindi un allontanamento verso profondità bacinali.

Dalla ricerca condotta emerge, comunque, che i tratti di litorale che risentono maggiormente dei processi erosivi sono quelli corrispondenti alle “*pocket beaches*”, dal momento che queste, mentre risultano direttamente esposte al moto ondoso, non vengono adeguatamente rifornite da terra, né beneficiano del surplus sedimentario tipico di contesti di sovrallimentazione di litorali. Infatti tali spiagge, essendo naturalmente racchiuse tra accentuati promontori, affiderebbero la loro persistenza solo ad un eccesso di sedimenti. Inoltre i promontori che limitano le piccole spiagge sono anch'essi sottoposti a lenta demolizione e continuo arretramento a causa della corrispondenza geomorfologica tra livello d'erosione marina e affioramento dei livelli argillosi, nonché l'altezza dei fondali e quindi l'elevata energia scaricata sulle stesse falesie.

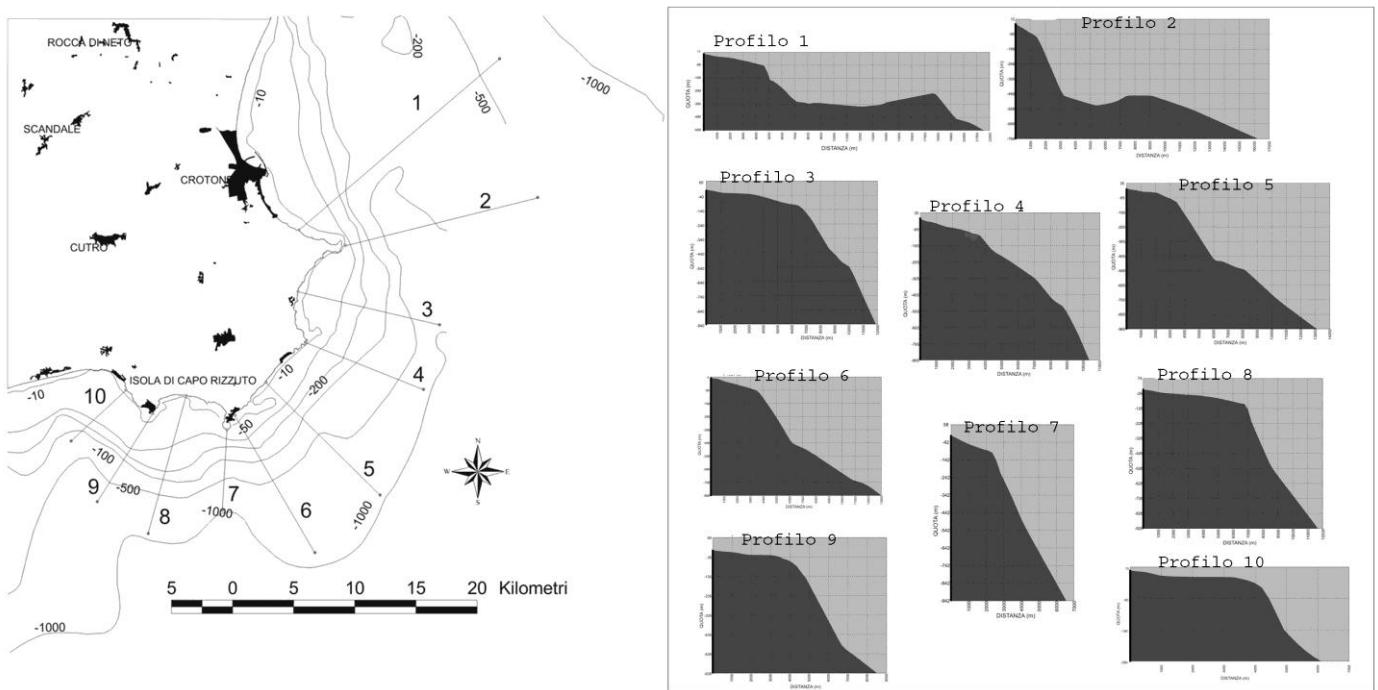
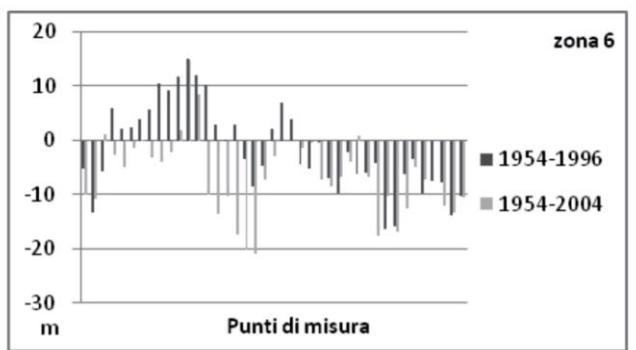
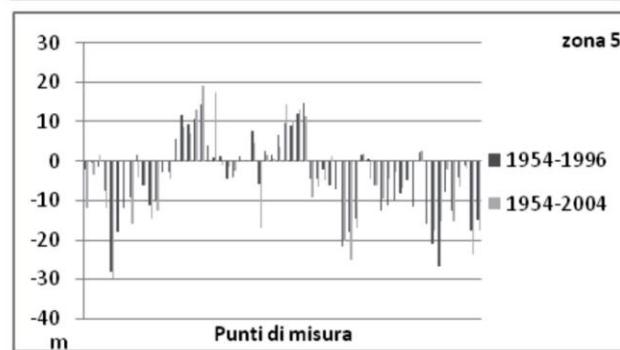
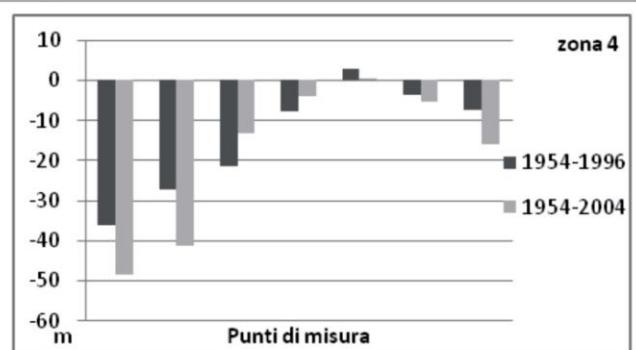
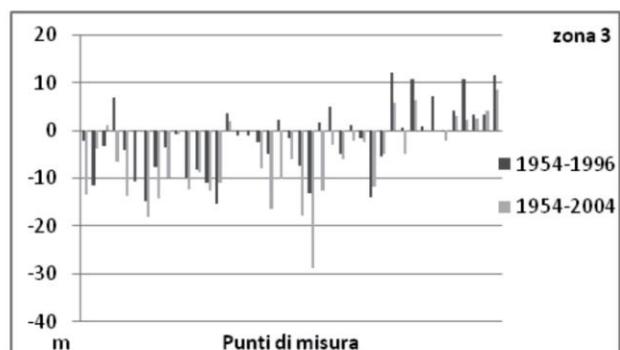
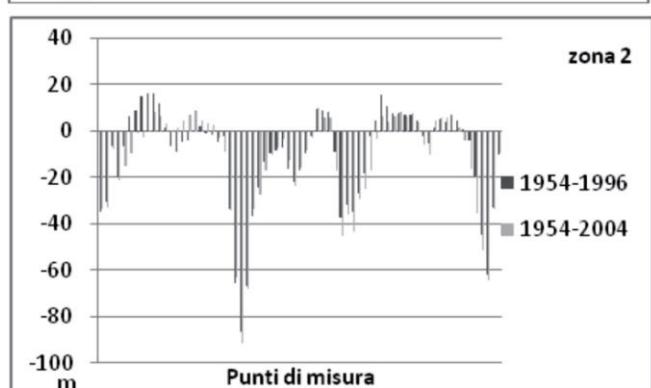
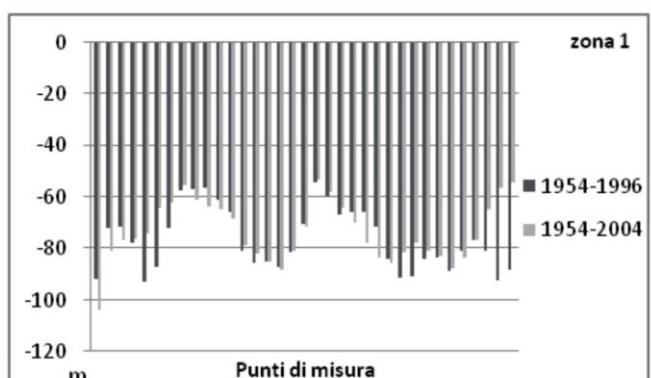
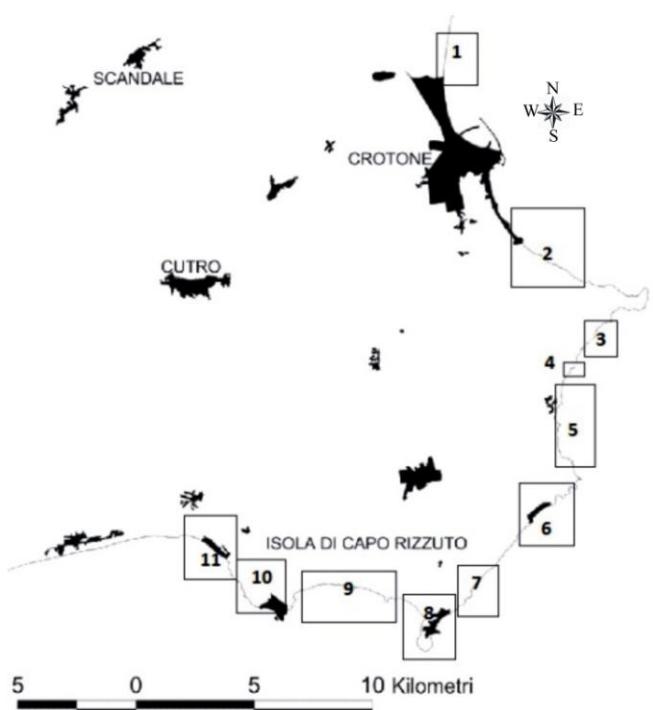


Figura 8, Carta delle batimetrie e relativi profili

Figure 8, Bathymetric map and related morphological profiles



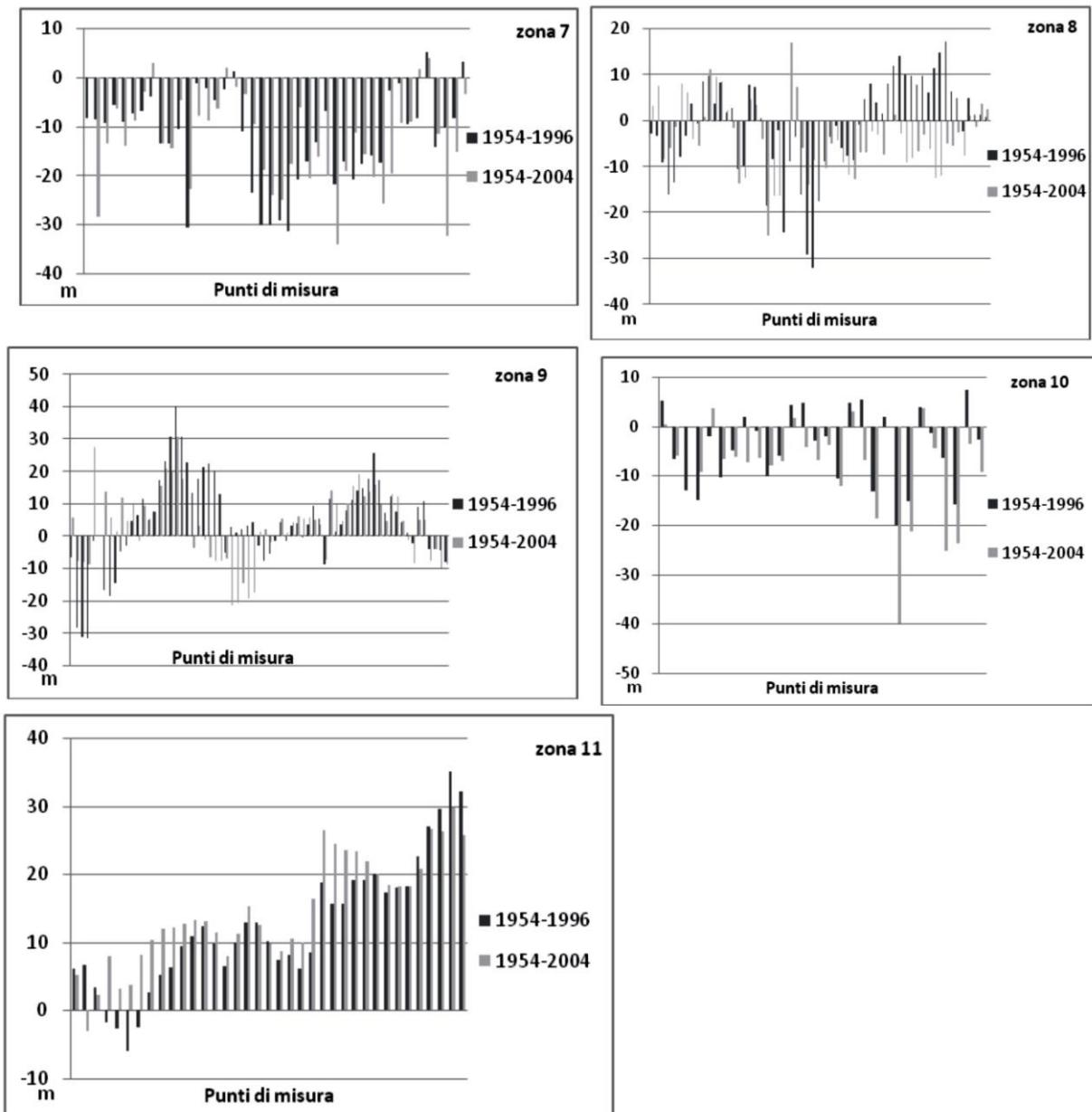


Figura 9, Istogrammi delle variazioni puntuale della linea di costa, per gli intervalli di tempo 1954-1996 e 1954-2004, misurate rispetto ai caposaldi di riferimento; l'intera area di studio è stata suddivisa in 11 zone in cui risulta una prevalente tendenza erosiva.

Figure 9, Histograms of the single variations of the coastal zone reconstructed on historical variations of the 1954-to-1996 and 1954-to-2004; the study area has subdivided into 11 areas where erosional processes are dominant.

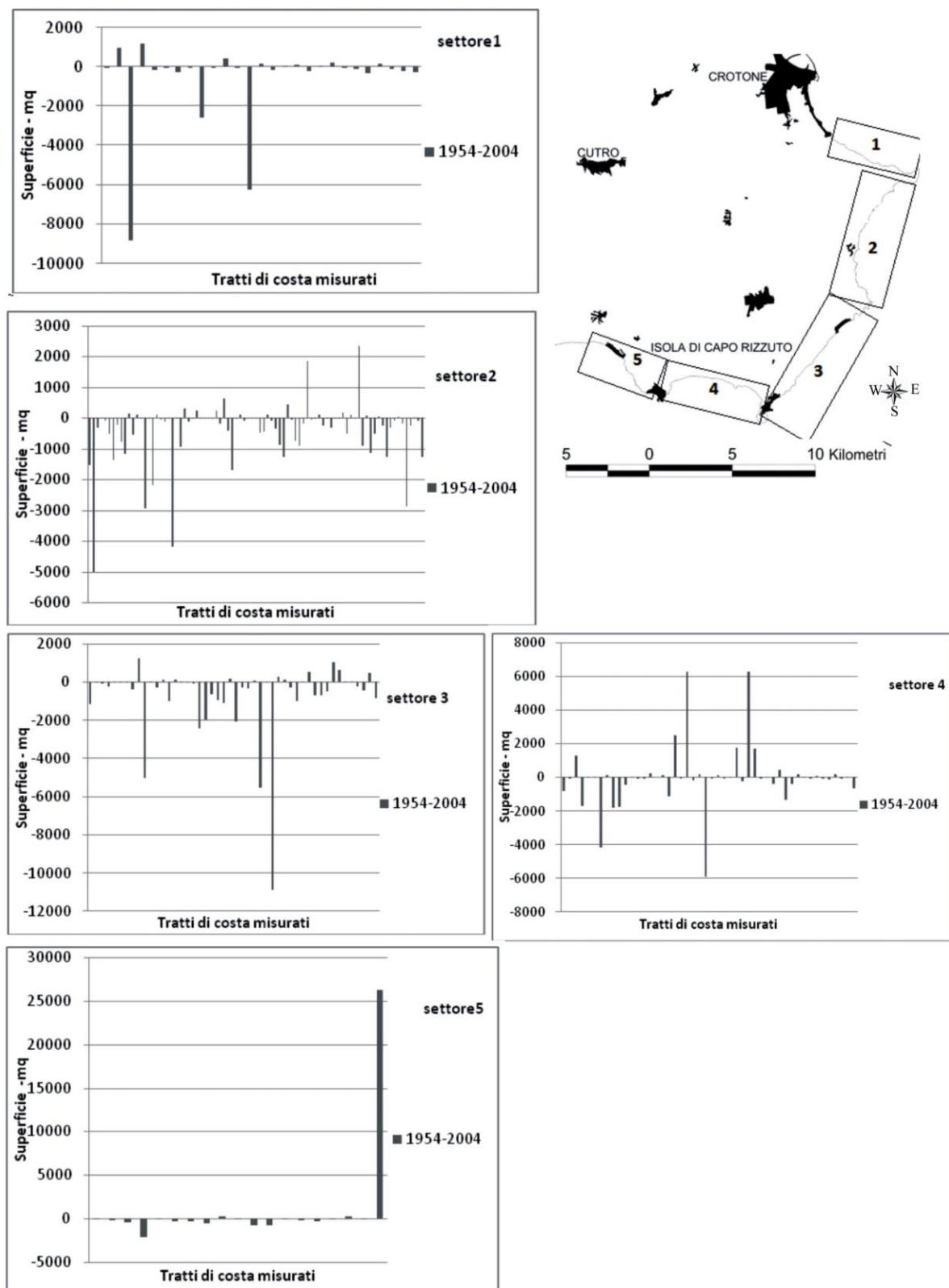


Figura 10, Istogrammi delle variazioni delle superfici di spiaggia (misurate in mq) nell'intervallo di tempo 1954-2004 per il tratto di costa interessato e suddiviso in 5 settori.

Figure 10, Histograms for the areal coastal variations (in m^2) during 1954-2004 observations of the study area. The study area has been here subdivided into 5 sectors.

Cause dell'erosione delle spiagge

L'arretramento costiero è un fenomeno attribuibile a diverse cause che determinano modificazioni nel sistema litoraneo, tra queste alcune risultano di ordine naturale, altre, probabilmente le più incidenti nel medio-breve periodo, sono indotte dall'uomo. Le cause di ordine naturale consistono nell'innalzamento del livello mare, fenomeno riconosciuto per tutto il pianeta, e che a tutt'oggi non si è ancora in grado di distinguere i contributi derivanti dalle singole componenti: eustatiche, steriche, isostatiche ed eventualmente geodinamiche (Mastronuzzi *et alii*, 2002). Recenti studi (Ferranti *et alii*, 2005) indicano che per l'area di Capo Rizzuto si registrano movimenti verticali della costa dell'ordine di 0,62-0,88 mm/anno negli ultimi 125 ka. Allo stesso tempo il rilevamento del Satellite Topex Poseidon indica che, dal 1993 al 1996, l'innalzamento medio del livello marino è stato di oltre 10 mm/anno nel Mediterraneo, ma con forti variazioni regionali. Difatti all'elevato innalzamento nel Mediterraneo orientale (con punte > 30mm/anno) si passa ad un abbassamento di circa 10 mm/anno nel Mare Ionio (Pirazzoli, 2000). Se pur quest'ultimo dato è poco significativo, dato il ridotto intervallo temporale considerato, esso comunque suggerisce una situazione di disequilibrio tra i vari tratti costieri e, allo stesso tempo, evidenzia la complessità del problema.

In questo contesto diviene quindi pesante e determinante, nel breve periodo, l'azione antropica delle aree costiere, spesso abusiva, unita ad una generalizzata "difesa del suolo" fine a se stessa. A tal proposito ci si riferisce ai diffusi interventi d'irrigidimento dei greti fluviali (briglie, argini, traverse etc.), eseguiti su tutti i piccoli bacini presenti nell'area di studio, che hanno contribuito alla riduzione dell'apporto sedimentario all'ambiente di spiaggia, provocando spesso l'arretramento degli stessi sistemi di foce, come nel caso del Vallone Perrotta, Fosso dello Stunnio, Vallone Serra Campolongo, Vallone Femmina Morta (Figura 6); alla presenza di sistemi abitativi, ad uso civile e turistico, in continua espansione sui litorali fino ed oltre il limite superiore della spiaggia emersa; alla rete dei collegamenti lungo costa (strade, vie lungomare); alle opere di difesa costiera attuate in funzione esclusiva del bene da proteggere. Elementi questi che contribuiscono a distruggere la naturalità dei litorali sabbiosi ed a bloccarne la mobilità necessaria al sistema spiaggia per riequilibrarsi alle mutate condizioni ambientali indotte. È questo il caso dell'area urbana di Crotone, ove si registra il massimo tasso erosivo con valori dell'ordine di -2m/anno; valori erosivi che invece diminuiscono nettamente sulla restante fascia costiera soggetta ad una minore pressione antropica.

Il successivo tentativo di arginare l'erosione delle spiagge mediante interventi rigidi, come nel tratto costiero a Sud di Crotone o saltuariamente sulla restante porzione di litorale (Figura 11), ha avuto come esito finale l'impedimento del trasporto lungo riva dei sedimenti e, di conseguenza, il naturale rifornimento delle spiagge in aree lontano dalle foci fluviali, o il ripascimento delle stesse da parte del materiale derivante dal demolimento delle falesie. Fenomeni, questi, che hanno quindi contribuito ad accelerare i processi erosivi nei tratti di spiaggia sottofondo agli sbarramenti artificiali.

Altro aspetto dell'antropizzazione dei litorali, non ancora menzionato, è quello relativo al prelievo idrico dalle modeste riserve di falda mediante pozzi, nonché lo sfruttamento di giacimenti di idrocarburi gassosi sia lungo la costa (a Nord di Capo Cimiti) che principalmente nell'*off shore*. Entrambi gli emarginamenti sono causa di diffusa e comprovata subsidenza del piano campagna (Palmieri, 1992; Agip, 1998;

Guerricchio *et alii*, 2000, 2001) e quindi contribuiscono ulteriormente all’arretramento della linea di battigia.

L’esito, quindi, è stato e può continuare ad esserlo, la trasformazione della fascia di litorale, in equilibrio o talvolta in progradazione, in una zona a rischio, sulla quale gli interventi di antropizzazione (scogliere, porti turistici, residenze, prelievo di risorse) finiscono con il determinare un disequilibrio fra le componenti ambientali, modificandone le relazioni funzionali e quindi alterandone la naturale dinamica. Conseguenza diretta, in gran parte dei casi, è stata quindi l’erosione degli arenili sabbiosi o l’aumento della loro vulnerabilità specie in un tratto costiero, come quello in esame, caratterizzato da un elevato sistema energetico del moto ondoso e da morfologie marine che favoriscono la naturale perdita dei sedimenti verso profondità bacinali.

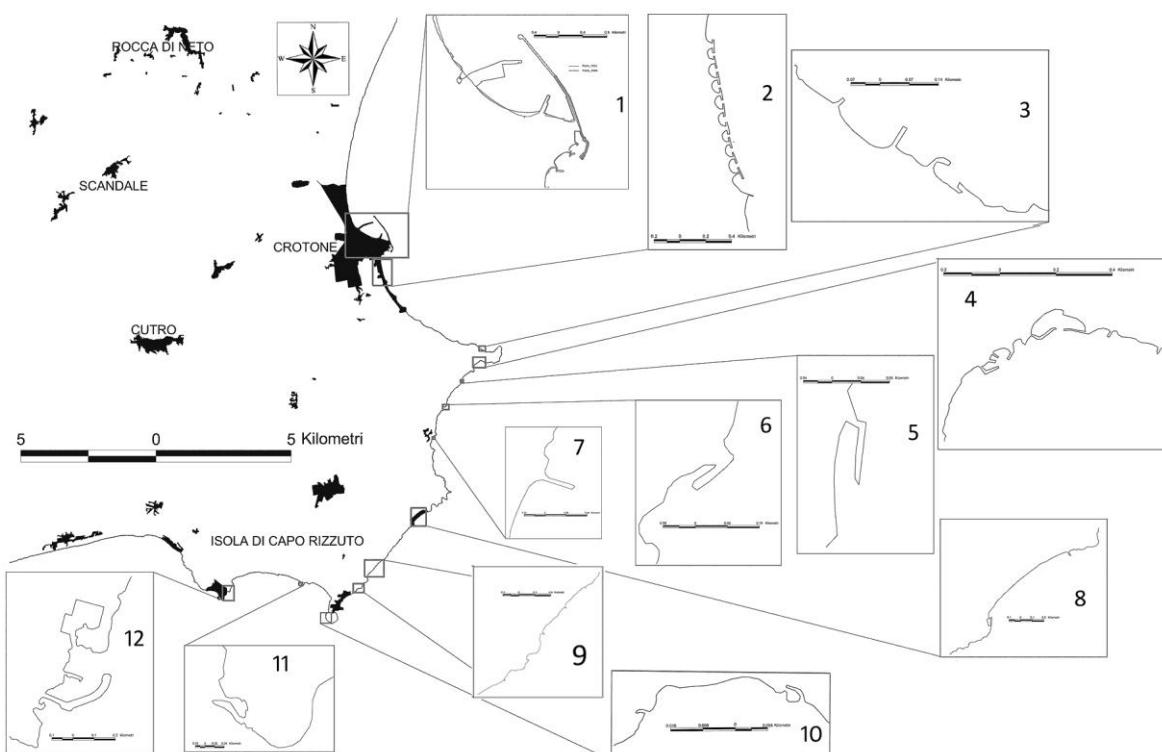


Figura 11, Profili degli interventi rigidi a protezione del tratto di costa studiato: 1) struttura portuale; 2) pennelli a T; 3) pennelli; 4, 5,6,7) scogliere foranee; 8,9,10,11) interventi rigidi misti (pennelli e scogliere foranee); 12) struttura portuale;

Figure 11, Profiles of the marine drive sea defence works in the area's study: 1) artificial harbour; 2) T-shaped groins; 3) groins; 4, 5,6,7) outer break-water; 8,9,10,11) diverse marine drive sea defence (groins and outer break-water)); 12) artificial harbour;

Conclusioni

Lo studio dell’evoluzione della linea di riva, della morfologia di spiaggia emersa e sommersa, nonché del regime meteo marino del settore di costa compreso tra l’abitato di Crotone, a Nord, e Le Castella a Sud, ha consentito di mettere in evidenza i processi morfologici attivi e di riconoscerne le rispettive cause.

Dall’osservazione dei dati meteo marini è emerso che l’intero tratto di costa risulta soggetto ad elevate condizioni energetiche del sistema ondoso, con direzione dei mari dominanti, presenti con una frequenza del 6%, orientata N120°-130° a cui

corrisponde un *fetch* di 1410 km capace di generare onde fino a 5,7m d'altezza; mentre i periodi di calma si manifestano con una percentuale del 42,6%. Allo stesso modo l'analisi dei dati eolici ha permesso di definire il litorale particolarmente ventoso con solo l'8,7% di periodi di calma. Condizioni queste che, unite alla presenza di ripidi fondali e canyons che si dipartono a poca distanza dalla linea di spiaggia, contribuiscono a modellare in tempi brevi i profili costieri.

L'osservazione, inoltre, dell'area marina prospiciente la costa, ha permesso di riconoscere la presenza di un substrato roccioso costituito da calcareniti pleistoceniche e da sedimenti olocenici caratterizzati da sabbie e peliti. Tale substrato da luogo a un'estesa area sub-pianeggiante con presenza, tra le isobate -5 m e -12m, di alti morfostrutturali sulla parte esterna della stretta piattaforma e oggi colonizzati dalla *Posidonia oceanica*.

Lo studio composito delle sabbie ha evidenziato la presenza, da sud a nord del tratto costiero analizzato, di due distinte petrofacies: una quarzofeldspatica che riflette una chiara provenienza da parte del sistema di drenaggio del Bacino del Fiume Tacina; l'altra litica, data da calcareniti e calcilutiti impure, che riflette una provenienza più localizzata dall'erosione delle successioni pleistoceniche bordanti la vasta spianata morfologica di Le Castella-Capo Colonna.

Per quel che riguarda l'analisi del bilancio sedimentario costiero, per il tratto compreso tra l'abitato di Crotone e Le Castella, è stato riscontrato un complessivo deficit sedimentario, che si traduce in diffusi arretramenti della linea di riva con valori che superano localmente i -100m nell'intervallo di tempo 1954-2004. Tuttavia non mancano porzioni di costa, seppure molto ridotte, in cui il bilancio sedimentario costiero è contrassegnato da valori positivi dell'ordine dei +35m, per lo stesso intervallo temporale, e solo per quei tratti i cui profili batimetrici denotano un accenno di piattaforma costiera con fondali a pendenza blanda.

Nei tratti a costa alta, la migrazione del sistema costiero verso l'interno avviene a spese delle falesie, qui rese più vulnerabili a seguito di un'elevata erodibilità, da parte del moto ondoso, dei depositi argillosi pliocenico-calabriani caratterizzanti la base delle falesie.

Ridotto risulta, inoltre, l'apporto dei sedimenti ad opera dei corsi d'acqua in quanto, ad esclusione del Fiume Tacina ubicato al di fuori dell'area di studio, tutti i bacini presentano ridotte dimensioni e regimi prevalentemente torrentizi.

Dallo studio condotto emerge inoltre che l'evoluzione morfologica del sistema costiero risente fortemente della pressante e crescente attività antropica degli ultimi anni. Ci si riferisce, in tal senso, all'urbanizzazione che rende il sistema litoraneo estremamente rigido, perdendo la naturale mobilità fisiografica; alla riduzione degli apporti sedimentari dai fiumi ad opera di interventi d'irrigidimento; alla cancellazione delle aree dunari a dispetto delle vie di collegamento stradale; alla realizzazione di opere di difesa rigide, atte a proteggere i singoli beni. Testimonianza di ciò è data dagli elevati valori erosivi della linea di costa registrati in prossimità del centro abitato di Crotone, valori erosivi che invece tendono a diminuire nella restante porzione di studio al diminuire della pressione antropica.

BIBLIOGRAFIA:

- Agip (1998) – Studio previsionale della subsidenza relativa ai giacimenti fagliati di Linda e Heralacinia (Crotone). Relazione Agip;
- Antonioli, F.; Dai Pra, G.; Segre, A.G.; Sylos Labini, S., (2004) - New data on late Holocene uplift rate in Calabria and Messina strait area, Italy. *Quaternaria Nova* 2004; pp. 45-67;
- Antonioli F., Ferranti L., Lambeck K., Kershaw S., Verrubbi V., Dai Pra G., (2006) – Late Pleistocene to Holocene record of chaning uplift rates in southern Calabria and northeastern Sicily (southern Italy, central Mediterranean sea). *Tectonophysics*, 422, 23-40;
- Amadio Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E., Zuppetta A., (1976). - L'arco calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide. - *Mem. della Soc. Geol. It.*, 17: 1-60.
- Belluomini G., Gliozi E., Ruggieri G., Branca M., Delitalia L. (1988) – First dates of the terraces of the Crotone Peninsula (Calabria, Southern Italy). *Boll. Soc. Geol. It.*, 107: 249-254, 1f., 2 tab., Roma;
- Bernasconi M.P., Le Pera E., Critelli S., Randazzo G., Amore C. (2002) – Caratteri sedimentologici ed ecologici del delta del Fiume Neto, Calabria Orientale. *Studi Geol. Camerti*, nuova serie 1/2002;
- Bonardi G., Cavazza W., Perrone V., Rossi S., (2001) – Calabria-Peloritani Terrane and northern Ionian Sea.” In: Vai GB, Martini IP, editors. *Anatomy of an Orogen: the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins*. Bodmin: Kluver Academic Publishers; pp 287-306;
- Caloiero D., Mercuri T. (1980) – Le alluvioni in Calabria dal 1921 al 1970. CNR-IRPI;
- Caloiero D., Govi M., Piccoli R., Reali C. (1994) – Analisi delle piogge in alcune serie storiche della Calabria e della Basilicata”. Atti Conv. “ Atmospheric physics and dynamics in the analysis and prognosis of precipitation fields”, Univ. La Sapienza – Roma;
- Ciaranfi N., Francescangeli R., Rapisardi L., (1982) – Osservazioni sulla neotettonica dei fogli 237 “S. Giovanni in Fiore” e 238 “Crotone”. Contr. Concl. Realizzazione Carta Neotett. D’It.; Pubbl. Prog. Finalizzato Geodin., 513, 205-217;
- CNR (1997) - Atlante delle Spiagge Italiane. Tendenze evolutive, Opere umane – Foglio 243, Isola Capo Rizzuto – S.E.L.C.A., Firenze
- Cosentino D., Gliozi E., Salvini F., (1989) – Brittle deformations in the Upper Pleistocene deposits of the Crotone Peninsula, Calabria, Southern Italy. *Tectonophysics*, 163: 205-217;
- Critelli S., Le Pera E. (1994) - Detrital modes and provenance of Miocene sandstones and modern sands of the southern Apennines thrust-top basins (Italy). *Journal of Sedimentary Research*, v. 64, pp. 824-835.
- Critelli S., Le Pera E., (1998) - Post-Oligocene sediment-dispersal systems and unroofing history of the Calabrian microplate, Italy. *International Geology Review*, v. 40, p. 609-637.
- Critelli S., (1999) - The interplay of lithospheric flexure and thrust accommodation in forming stratigraphic sequences of the southern Apennines foreland basin system. *Accademia Nazionale dei Lincei, Rendiconti di Scienze, Fisiche*, v. 10, p.
- Critelli S., Le Pera E. (2003) - Provenance relations and modern sand petrofacies in an uplifted thrust-belt, northern Calabria, Italy. In: Quantitative Provenance Studies in Italy (Ed. by R. Valloni & A. Basu). Servizio Geologico Nazionale, Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, v. 61, p. 25-39.
- D’Alessandro L., Davoli L., Lupia-Palmieri E., Raffi R. (1992) – Recent dinamics of the Tyrrhenian beaches of Calabria (Southern Italy) – *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, Vol X n°2-3-4, 187-195;
- D’Alessandro L., Davoli L., Lupia-Palmieri E., Raffi R. (1998) – L’erosione recente delle spiagge calabresi: cause naturali e antropiche - *Atti 79° Congr. Naz. Soc. Geol. It.*, Vol. A, 373-374.
- Di Grande A., (1967). Sezione tipo della Molassa di S. Mauro (Calabriano) nel Bacino Crotonese. *Riv. It. Paleont e Stratigr.*, v. 13: 199-258.
- Fabbri A., Gallignani P., Zitellini N., (1981). Geologic evolution of the peri-Tyrrhenian sedimentary basins. In: F.C. Wezel (ed.), *Sedimentary Basins of Mediterranean Margins*. C.N.R. Italian Project of Oceanography. Bologna, Ed. Tecnoprint, 101-126.
- Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dal Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Snsò P., Verrubbi V. (2005) –Last interglacial

- sea level high stand markers along the coast of the Italian Peninsula: tectonic implication. *Journal of Quaternary International*, 145-146; 30-54;
- Gliozzi E. (1987) - I terrazzi marini del Pleistocene superiore della Penisola di Crotone (Calabria). *Geol. Romana*, 26: 17-19, 40f., 2 tab., Roma;
- Guerricchio A., La Monica, Bertoni, Bratti, Carbognin L., cesi, Chierici, dossena G., La Tegola, Succetti (2000) – Analysis of subsidence in Crotone area along the Ionian coast of Calabria, Italy. *Atti Convegno SISOLS 2000*, Torino;
- Guerricchio A., Cantafiori L., Guerricchio M., Ponte M. (2001) – Discovery of submerged fixed archaeological structures in the Cotone coastal strip between Strongoli Marina and Le Castella (Calabria, Italy). Consideration on coastal erosion and subsidence phenomena. *Atti Convegno 6th Inter. Symp. On Land Subsidence*; Ravenna, septemb. 2000; Vol I, pp. 17-31;
- Horton R.E. (1945) – Erosional Development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*; 56 (3): 275-370;
- Knott S.D., Turco E., (1991) – Late Cenozoic kinematics of the Calabrian Arc, southern Italy. *Tectonics*, 10: 1164-1172;
- Ietto F. (2000) – L'evento di piena sul Fiume Soverato del 10 settembre 2000: dati preliminari". Preprint: X Congr. Naz. Geol.; pp 156-157;
- Ietto F. (2001) – Evoluzione delle spiagge tirreniche Nord calabresi negli ultimi 50 anni. *Ital. Journ. Quaternary Sciences*, 14 (2), p.p. 105-116;
- Le Pera E. (1998) - Relazioni composizionali tra aree fonti e sabbie fluviali, costiere e marine attuali e recenti in Calabria settentrionale. Università degli Studi di Bologna, Tesi di Dottorato di Ricerca in Sedimentologia, 278 pp.
- Massari F., Rio D., Sgavetti M., Prosser G., D'Alessandro A., Asioli A., Capraio L., Fornaciari E., Tateo F., (2002) – Interplay between tectonics and glacio-austasy: pleistocene succession of the Crotone basin Calabria (southern Italy). *Geol. Soc. Amer. Bull.*; 114: 1183-209;
- Mastronuzzi G., Palmentola G., Sansò G., (2002) – Lineamenti e dinamica della costa pugliese. *Studi Costieri*, 5; p.p. 9-22;
- Mazzini E. e Simeoni U. (1997) – Instability in coastal areas: littorals, foredunes and beaches – In: Marinos P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C., Stournaras G.C. (eds), *Engineering Geology and the Environmental* A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 261-266;
- Mellere D., Zecchin M., Perale C., (2005) – Stratigraphy and sedimentology of fault-controlled backstepping shoreface, middle Pliocene of Crotone Basin. Southern Italy. *Sedimentary Geol.*; 176: pp 281-303;
- Meulenkamp J.E., Hilgen F., Voogt E., (1986) – Late Cenozoic sedimentary-tectonic history of the Calabrian Arc. In: Boccaletti M., Gelati R., Ricci Lucchi F., editors. *Paleogeogr and Geodyn. Of the Euryrrhenian Area*. Gior. Geol., Vol. 48, pp 345-59;
- Nicholls R.J., Leatherman S.P., Dennis K.C. e Volonte C.R. (1995) – The implication of accelerated sea level rise for developing countries: a discussion – *Journ. Coast. Resear.*, S I, 14: 303-324
- Ogniben L. (1955) – Le argille scagliosa del crotonese” Mem. e note Ist. Geol. Appl. Napoli, 6: 1-72;
- Ogniben L. (1962) – Le argille scagliosa e i sedimenti messiniani a sinistra del Trionto (Rossano, Cosenza). *Geol. Romana*, 1: 255-282;
- Ogniben L. (1973) – Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni. *Geol. Romana*, 12: 243-585;
- Palmentola G., Carobene L., Mastronuzzi G., Sansò P., (1990) – I terrazzi marini Pleistocenici della Penisola di Crotone (Calabria). *Geogr. Fisica Dinam. Quatern.*, 13: 75-80;
- Palmieri E. (1992) – Indagine sul fenomeno della subsidenza provocato dalle piattaforme ENI-Agip per l'estrazione di metano. Relazione geologica nella vertenza giudiziaria Comune Crotone-Agip;
- Pennetta M. (1992) - Morfologia e sedimentazione della piattaforma continentale e scarpata nel tratto di costa compreso tra Punta Alice e Capo Rizzato (Golfo di Taranto). *Bollettino della Società Geologica Italiana*, v. 111, p. 149-161.
- Pirazzoli P.A., Mastronuzzi G., Saliege G.F., Sanson P. (1997) – Late Holocene emergence in Calabria, Italy. *Marine Geology*, 141 (1-4), 71, 70;
- Pirazzoli P.A. (2000) – Cambiamenti globali e variazioni del livello del mare: meccanismi e tendenze evolutive. ICRAM, p.p. 15-27;
- Roda C. (1964a) – Distribuzione e facies dei sedimenti Neogenici nel Bacino crotonese. *Geol. Romana* 3: 319-66;

- Roda C. (1970) – I depositi pliocenici della regione costiera ionica dell’Italia Meridionale. 10 (5): 364-78;
- Roda C. (1971) – I depositi miocenici della Calabria. Boll. Acc. Gioena Sc. Nat. Catania, 10 (6): 237-45;
- Strahler A.N. (1952a) – Dynamic basis of geomorphology.. Geol. Soc. Amer. Bull.; 63: 923-938;
- Strahler A.N. (1952b) – Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography”. Geol. Soc. Amer. Bull.; 63: 1117-1142;
- Strahler A.N. (1964) – Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: V.T. Chow, Handbook of Applied Hydrology, section 4, Mac Graw-Hill, New York;
- Van Dijk, J.P. (1990) – Sequence stratigraphy, kinematics and dynamic geohistory of the Crotone Basin (Calabria Arc, Central Mediterranean): an integrated approach. Mem. Soc. Geol. It., 44, pp 259-285;
- Van Dijk, J.P. (1991) – Basin dynamics and sequence stratigraphy in the Calabrian Arc (Central Mediterranean); records and pathways of the Crotone Basin. Geol. Mijnb., 70, pp 187-201;
- Van Dijk, J.P., Okkes F.W.M. (1990) – The analysis of shear zones in Calabria; implications for the geodynamics of the central Mediterranean. Riv. It. Paleont. Stratig., 96, pp 241-70;
- Van Dijk, J.P., Okkes F.W.M. (1991) – Neogene tectonostratigraphy and kinematics of Calabrian basins; implication for the geodynamics of the Central Mediterranean. Tectonophysics (Amst), 196, pp 23-60;
- Zecchin M., Massari F., Mellere D., Prosser G., (2003) – Architectural styles of prograding wedges in a tectonically active settino, Crotone Basin, Southern Italy. J. Geol. Soc. (Lond.); 160: 863-80;
- Zecchin M., Massari F., Mellere D., Prosser G., (2004a) - Anatomy and evolution of a Mediterranean type fault bounded basin: the Lower Pliocene of the northern Crotone Basin (Southern Italy). Basin Res; 16: 117-43;
- Zecchin M., Nalin R., Roda C., (2004b) – Raised Pleistocene marine terraces of the Crotone peninsula (Calabria, southern Italy): facies analysis and organization of their deposits. Sedimentary Geol.; 172: 165-185;