

*Analysis and Estimation of River Transport
in Calabrian River Basins*

ANALISI E STIMA DEL TRASPORTO SOLIDO FLUVIALE NEI BACINI CALABRESI

*Giandomenico Foti^a, Giuseppe Barbaro^a, Giuseppe Bombino^b, Giuseppina Chiara Barilla^a,
Daniela D'Agostino^b, Pierluigi Mancuso^c*

^aDICEAM - Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Via Graziella località Feo di Vito, 89122 - Reggio Calabria, Italia

^bDipartimento di Agraria, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Via Graziella località Feo di Vito, 89122 - Reggio Calabria, Italia

*^cDipartimento Lavori Pubblici, Regione Calabria, località Germaneto, 88100 - Catanzaro, Italia
giandomenico.foti@unirc.it; giuseppe.barbaro@unirc.it; giuseppe.bombino@unirc.it; chiara.barilla@unirc.it;
daniela.dagostino@unirc.it; pierluigi.mancuso@regione.calabria.it*

Abstract

Over recent decades, Soil Erosion by Water (WSE) has become a severe issue worldwide, especially in European Mediterranean countries because they are subject to prolonged dry periods followed by heavy erosive rains. All this is very important in the case of river basins characterized by steep slopes and erodible soils. The paper analyzed and quantified river transport in Calabrian basins. Calabria is a region of Southern Italy that represents an interesting case study due to its geomorphological peculiarities for which it is generally subject to WSE. The analysis was carried out by applying the Erosion Potential Method (EPM), particularly reliable for rivers such as most of the Calabrian ones where most of the sediment transport is linked to the WSE and is divided into four main phases: morphometric characterization, estimate of average yearly precipitation and temperature, estimate of EPM coefficients, and estimate of river transport. The main result is that Calabrian rivers are characterized by a high river transport, especially in those with torrential and irregular hydrological regime.

KEY WORDS: *Soil Erosion by Water, Torrential and Irregular Hydrological Regime, Erosion Potential Method, Calabria.*

1. Introduzione

Il trasporto solido fluviale è una tematica di interesse non solo nel campo della pianificazione e gestione delle aree fluviali, ma anche di quelle costiere [1-4]. Tale fenomeno, infatti, non è confinato all'interno dei bacini fluviali, in quanto il materiale eroso può essere trasportato dalla corrente fino a raggiungere le spiagge in prossimità delle foci dei fiumi, influenzando di conseguenza anche l'equilibrio delle coste limitrofe [5-8].

Pertanto, un elevato trasporto solido fluviale può fungere da ripascimento naturale, mentre un trasporto di modesta entità può causare erosioni dei litorali limitrofi, per cui le dinamiche costiere e fluviali dovrebbero essere analizzate congiuntamente [9-13]. Le condizioni di equi-

brio del sistema costa-fiume dipendono da fattori sia antropici che naturali [14-18]. I principali fattori antropici sono la costruzione di opere idrauliche come dighe e briglie [19, 20], il prelievo di sedimenti fluviali [21], l'espansione dei centri abitati [22-24] e la costruzione di porti e opere di difesa costiera [25-28]. I principali fattori naturali sono il clima ondoso [29-31], l'azione di eventi estremi come inondazioni e mareggiate o una combinazione di questi [32-38].

Dal punto di vista fisico, il materiale solido viene prima rimosso dall'alveo e/o dai versanti e successivamente trasportato attraverso due meccanismi principali, al fondo e in sospensione [39], e può essere quantificato utilizzando modelli e formule [40-46]. Riguardo al processo di rimozione, un meccanismo importante è l'erosione

idrica, WSE, in cui lo strato superficiale di suolo viene rimosso a causa dell'azione dell'acqua piovana [47]. Quest'ultimo meccanismo è molto importante in bacini come quelli della Calabria, per via delle loro peculiarità geomorfologiche ed idrologiche [48-50]. In questo contesto, il modello EPM [51] è particolarmente utile per quantificare il trasporto solido causato dalla WSE.

2. Obiettivi

L'articolo analizza il trasporto solido fluviale nei corsi d'acqua calabresi e descrive la metodologia adottata per quantificarlo. Tale metodologia è stata sviluppata da Foti et al. [52, 53] nel bacino del fiume Allaro e, in questo articolo, è stata applicata a tutti i principali bacini calabresi. La metodologia si articola in quattro fasi, così suddivise: caratterizzazione morfometrica, stima delle precipitazioni e delle temperature medie annue, stima dei coefficienti del modello EPM e stima del trasporto solido fluviale applicando il modello EPM.

3. Metodologia

La metodologia è stata applicata nei principali bacini calabresi ed è suddivisa in quattro fasi, come segue: caratterizzazione morfometrica, stima delle precipitazioni e delle temperature medie annue, stima dei coefficienti del modello EPM e stima del trasporto solido fluviale applicando il modello EPM (vedi Fig. 1).

I dati di input della prima fase sono i dati cartografici disponibili nella sezione Open Data del Geoportale della Calabria (<http://geoportale.regione.calabria.it/opendata>). Questi dati sono il Digital Terrain Model (DTM) con maglia quadra di 5 m e gli shapefile di bacini e reticolo idrografico e sono stati elaborati su QGIS versione 3.10.7 "Coruna". Per ciascun bacino, gli output di questa fase sono l'area, il perimetro, la lunghezza dell'asta principale, la lunghezza totale del reticolo idrografico, l'altezza media, la pendenza media e il tempo di corrivazione, stimato applicando le formule di Giandotti [54], Kirpich [55] e NRCS [56].

I dati di input della seconda fase sono gli shapefile dell'ubicazione delle stazioni termo-pluviometriche calabresi, disponibili nella sezione Open Data del Geoportale calabrese, e le serie storiche delle registrazioni di precipitazione e temperatura di ciascuna stazione, disponibili nella sezione Dati storici del Centro Funzionale MultiRischi della Calabria (<http://www.cfd.calabria.it/>).

Prima di stimare i valori medi di precipitazione e temperatura di ciascun bacino, sono state scartate le stazioni caratterizzate da una serie storica di dati registrati non statisticamente significativa. Successivamente, l'area di influenza di ciascuna stazione è stata stimata su QGIS, utilizzando il metodo dei poligoni di Thiessen [57].

Infine, i valori medi annui di precipitazione e temperatura di ciascun bacino sono stati calcolati come media ponderata dei valori registrati da ciascuna stazione, con peso pari all'area di influenza.

Per quanto riguarda la terza fase, i dati di input sono i dati dell'uso del suolo del progetto Corine Land Cover di quarto livello relativi agli anni 2018 e liberamente consultabili sul sito dell'agenzia governativa "Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)" (<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-territorio/copertura-del-suolo/corine-land-cover>).

Un valore di ciascun coefficiente del modello EPM (coefficiente di protezione del suolo X, funzione del tipo di copertura vegetale; coefficiente di erodibilità Y, funzione del tipo di roccia; coefficiente di erosione Φ , funzione della tipologia di erosione) è stato associato a ciascuna categoria di uso del suolo della Corine Land Cover. I valori medi di tali coefficienti per ciascun bacino sono stati calcolati come media ponderata dei valori dei coefficienti di ciascuna categoria di uso del suolo, con peso pari all'area di ciascuna categoria di uso del suolo.

Nell'ultima fase è stato stimato il trasporto fluviale, in termini di volume medio annuo di suolo distaccato per erosione superficiale, utilizzando il modello EPM [51] che dipende da: volume potenziale medio annuo di suolo distaccato; coefficiente di ritenzione, proposto da Zemljic [58]; coefficiente di temperatura; precipitazione media annua; coefficiente di protezione del suolo X, funzione del tipo di copertura vegetale; coefficiente di erodibilità Y, funzione del tipo di roccia; coefficiente di erosione Φ , funzione della tipologia di erosione; pendenza media del bacino; area del bacino; perimetro del bacino; altezza media del bacino; lunghezza dell'asta principale e temperatura media annua.

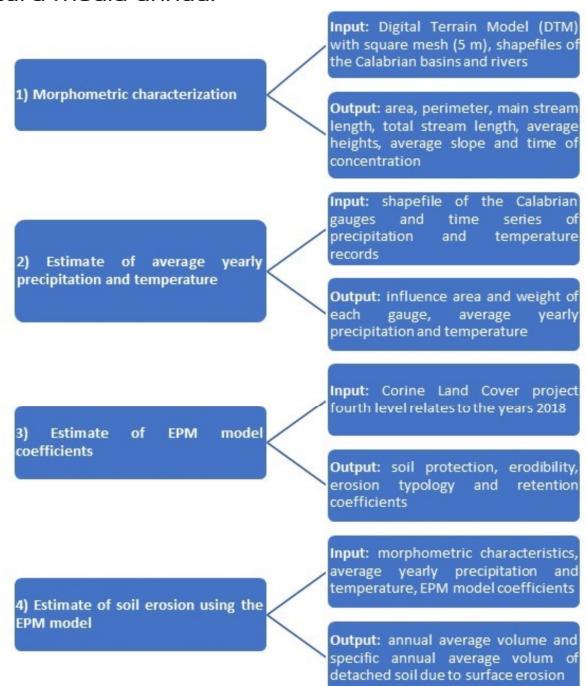


Fig. 1 - Flow chart della metodologia adottata per quantificare il trasporto solido fluviale nei corsi d'acqua calabresi. (fonte: propria elaborazione)

4. Caso studio

La Calabria è una regione dell'Italia meridionale, situata all'estremità della penisola italiana al centro del Mar Mediterraneo, ed è bagnata da due mari, il Tirreno e lo Ionio, dallo Stretto di Messina e dal Golfo di Taranto, ognuno dei quali caratterizzato da condizioni climatiche diverse e da diverse estensioni dei fetch (vedi Fig. 2).

Dal punto di vista morfologico, la Calabria è caratterizzata prevalentemente da colline e montagne, con una percentuale inferiore al 10% di terreni pianeggianti.

I massicci principali sono il Pollino, la Sila e l'Aspromonte, tutti con un'altitudine massima dell'ordine dei 2000 m, e la Catena Costiera che si trova a breve distanza dalla costa tirrenica settentrionale ed ha un'altezza massima di oltre 1500 m.

Le principali pianure costiere sono quella di Sibari, sulla costa ionica nel Golfo di Taranto, e quelle di Lamezia Terme e Gioia Tauro, entrambe sulla costa tirrenica.

La forma stretta ed allungata della Calabria comporta un elevato sviluppo costiero, con oltre 750 km di costa in cui si osserva un'alternanza di spiagge prevalentemente sabbiose e ghiaiose, e coste alte. I promontori principali sono quelli di Capo Rizzuto, sulla costa ionica, e di Capo Vaticano, sulla costa tirrenica.

Dal punto di vista climatico, il clima calabrese è fortemente influenzato dalla geomorfologia del territorio.

Le zone montuose sono caratterizzate da un clima tipicamente montano, con frequenti nevicate durante l'inverno. Le zone costiere sono caratterizzate invece da un clima mediterraneo, con notevoli differenze di precipitazioni e temperature tra le due coste. La costa tirrenica, infatti, è più fresca e piovosa di quella ionica.

Le precipitazioni maggiori si verificano prevalentemente in inverno ed in autunno e si riducono sensibilmente nei mesi estivi, variando tra i 1400 e i 1800 mm annui nelle zone montuose, tra i 700 e i 1000 mm annui sulla costa tirrenica e si attestano intorno ai 500 mm annui sulla costa ionica. La temperatura del mare raggiunge il valore massimo in luglio e agosto con 26° C, rimane intorno ai 22-23° C fino a ottobre per poi scendere a 14° C in inverno. L'alta temperatura del mare nei mesi autunnali favorisce la formazione di perturbazioni atmosferiche particolarmente intense, che a volte assumono caratteristiche tipiche degli uragani, dette anche Medicane (Mediterranean Hurricane) o Tropical Like Cyclones (TLC) come accaduto nel 2015 a Bruzzano, nella costa ionica meridionale [59].

La maggior parte dei corsi d'acqua calabresi (anche denominati *fiumare*) [60, 61], è caratterizzato da un regime idrologico torrentizio e irregolare, con lunghi periodi di siccità e frequenti piene improvvise, causate da brevi e intense precipitazioni. Inoltre, molti di questi corsi d'acqua hanno letti molto larghi con granulometria grossolana. Questa combinazione di caratteristiche idrologiche

e granulometriche determina un elevato trasporto solido le cui variazioni possono alterare la dinamica costiera e l'evoluzione della linea di riva in prossimità delle foci dei fiumi [62, 63]. Inoltre, la maggior parte dei bacini dei corsi d'acqua calabresi è di modeste dimensioni.

Infatti, su un totale di circa 900 bacini, solo 2 bacini hanno un'area superiore a 1000 km². Inoltre, 2 bacini hanno un'area compresa tra 500 e 1000 km², 6 bacini hanno un'area compresa tra 250 e 500 km², 15 bacini hanno un'area compresa tra 100 e 250 km², 30 bacini hanno un'area compresa tra 50 e 100 km², 90 bacini hanno un'area compresa tra 10 e 50 km², 72 bacini hanno un'area compresa tra 5 e 10 km², 25 bacini hanno un'area compresa tra 4 e 5 km² e tutti gli altri bacini hanno un'area inferiore a 4 km². Di questi 900 corsi d'acqua, solo 20 hanno regime idrologico fluviale, mentre gli altri hanno regime idrologico irregolare e molti di questi sono *fiumare*.

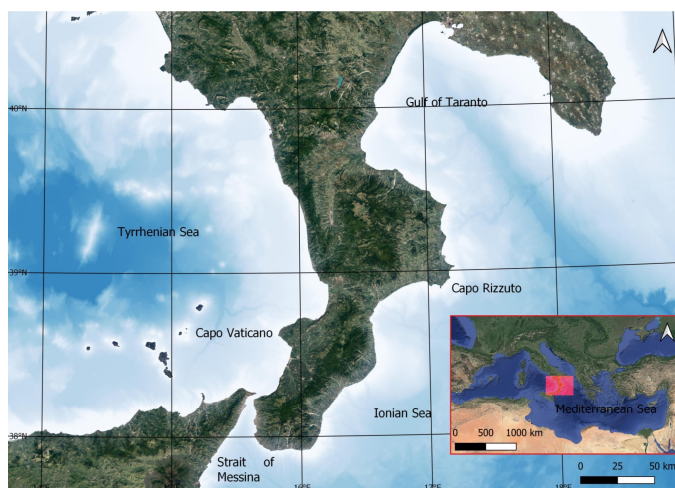


Fig. 2 - Localizzazione geografica della Calabria.
(fonte: propria elaborazione)

5. Risultati / Conclusioni

I principali risultati sono riportati nella tabella (vedi Tab. 1), che riporta in ordine decrescente i 20 bacini calabresi caratterizzati dal maggior volume medio annuo di suolo distaccato per erosione superficiale. Inoltre, per ogni bacino sono riportati anche l'area ed il volume specifico medio annuo di suolo distaccato.

La tabella evidenzia che il corso d'acqua con il maggior volume medio annuo di suolo distaccato è il Lao, con oltre 150.000 m³/anno.

Inoltre, anche il Neto e l'Allaro superano i 100.000 m³/anno e in totale sono 16 i corsi d'acqua caratterizzati da oltre 50.000 m³/anno di suolo distaccato. Invece, in termini di volume specifico medio annuo di suolo distaccato, il corso d'acqua caratterizzato dal maggior valore è l'Alaca, con oltre 1000 m³/anno * km², seguito dall'Allaro, con quasi 800 m³/anno * km², dal Condojanni, con oltre 750 m³/anno * km², e poi da Catona, Careri, Torbido, Bonamico e La Verde, tutti con valori compresi tra 500 e 600 m³/anno * km².

Tutti questi corsi d'acqua si trovano nella costa ionica, ad eccezione del Catona che si trova nello Stretto di Mesima, ed hanno regime idrologico tipico delle fiumare. Invece, Lao, Neto, Savuto, Petrace, Mesima, Tacina ed Amato hanno tutti regime idrologico tipico dei fiumi e presentano erosioni specifiche comprese tra 100 e 250 m³/anno*km². Questi risultati confermano che le fiumare sono caratterizzate da un elevato trasporto fluviale, come descritto nella sezione 4.

In conclusione, l'articolo analizza il trasporto solido fluviale nei corsi d'acqua calabresi e descrive la metodologia adottata per quantificarlo. Questa metodologia è stata applicata ai principali bacini calabresi ed è suddivisa in quattro fasi, come segue: caratterizzazione morfometrica, stima delle precipitazioni e delle temperature medie annue, stima dei coefficienti del modello EPM e stima del trasporto fluviale applicando il modello EPM. Tra i diversi modelli presenti in letteratura è stato scelto l'EPM in quanto è particolarmente valido per corsi d'acqua come quelli calabresi, caratterizzati da un regime idrologico torrentizio ed irregolare. I risultati ottenuti, infatti, confermano che le fiumare sono caratterizzate da un elevato trasporto fluviale in termini di volume specifico medio di suolo distaccato, con valori maggiori di quelli osservati nei corsi d'acqua caratterizzati da regime fluviale. La tematica descritta nell'articolo è molto importante non solo nelle aree fluviali, ma ha conseguenze anche nelle aree costiere in quanto le variazioni del trasporto fluviale possono alterare le dinamiche costiere e, quindi, hanno ripercussioni sulle tendenze evolutive della linea di riva in prossimità delle foci fluviali. Pertanto, il trasporto solido fluviale è un argomento di interesse nel campo della pianificazione e gestione sia delle aree fluviali, che di quelle costiere.

Bacino	Volume medio annuo di suolo distaccato per erosione superficiale [m ³ /anno]	Area [km ²]	Volume specifico medio annuo di suolo distaccato per erosione superficiale [m ³ /anno]
Lao	152742	600.4	254
Neto	107877	1073.3	101
Allaro	102671	130.1	789
Torbido	88674	160.5	552
Savuto	83681	411.5	203
Petrace	80774	422.3	191
Bonamico	75361	136.4	552
Mesima	75053	815.2	92
Tacina	69373	426.9	162
Ancinale	65879	173.3	380
Amato	62990	443.8	142
Corace	61560	294.4	209
La Verde	58189	117	498
Trionto	58078	288.8	201
Careri	50949	92.1	553
Condojanni	50941	66.5	766
Amendolea	45683	150.4	304
Alaca	44247	41.1	1076
Crocchio	39889	129.7	308
Catona	39474	68.5	576

Tab. 1 - 20 bacini calabresi con il maggior volume medio annuo di suolo distaccato per erosione superficiale, mostrati in ordine decrescente. Inoltre, per ciascun bacino sono indicati anche area e volume specifico medio annuo di suolo distaccato. (fonte: propria elaborazione)

Bibliografia

- [1] Barbaro G.: *Master Plan of solutions to mitigate the risk of coastal erosion in Calabria (Italy): A case study*. In: Ocean Coastal Manag. n. 132, pp. 24 - 35, 2016
- [2] Kantamaneni K., Phillips M., Thomas T., Jenkins R.: *Assessing coastal vulnerability: Development of a combined physical and economic index*. In: Ocean Coastal Manag. n. 158, pp. 164 - 175, 2018
- [3] Viavattene C., Jiménez J.A., Ferreira O., Priest S., Owen D., McCall R.: *Finding coastal hotspots of risk at the regional scale: the Coastal Risk Assessment Framework*. In: Coastal Engineering, n. 134, pp. 33 - 47, 2018
- [4] Mucerino L., Albarella M., Carpi L., Besio G., Benedetti A., Corradi N., Firpo M., Ferrari M.: *Coastal exposure assessment on Bonassola bay*. In: Ocean Coastal Manag., n. 167, pp. 20 - 31, 2019
- [5] Short A.D.: *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. New Jersey: Wiley, 2000
- [6] Li X., Zhou Y., Zhang L., Kuang R.: *Shoreline change of Chongming Dongtan and response to river sediment load: A remote sensing assessment*. In: Journal of Hydrology, n. 511, pp. 432 - 442, 2014
- [7] Dada O.A., Qiao L., Ding D., Li G., Ma Y., Wang L.: *Evolutionary trends of the Niger Delta shoreline during the last 100 years: Responses to rainfall and river discharge*. In: Marine Geology, n. 367, pp. 202 - 211, 2015
- [8] Dada O.A., Li G., Qiao L., Asiwaju-Bello Y.A., Anifowose A.Y.B.: *Recent Niger Delta shoreline response to Niger River Hydrology: Conflicts between forces of Nature and Humans*. In: Journal of African Earth Sciences, n. 139, pp. 222 - 231, 2018
- [9] Barbaro G., Foti G., Mandaglio G., Mandaglio M., Sicilia C.L.: *Estimate of sediment transport capacity in the basin of the Fiumara Annunziata (RC)*. In: Rendiconti Online Società Geologica Italiana, vol. 21(1), pp. 696 - 697, 2012
- [10] Natesan U., Parthasarathy A., Vishnunath R., Kumar G.E.J., Ferrer V.A.: *Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques*. In: Aquatic Proc., n. 4, pp. 325 - 332, 2015
- [11] Yang Z., Wang T., Voisin N., Copping A.: *Estuarine response to river flow and sea-level rise under future climate change and human development*. In: Estuarine. In: Coast. Shelf Sci., n. 156, pp. 19 - 30, 2015
- [12] Acciarri A., Bisci C., Cantalamessa G., Di Pancrazio G.: *Anthropogenic influence on recent evolution of shoreline between the Conero Mt. and the Tronto R. mouth (southern Marche, Central Italy)*. In: Catena, n. 147, pp. 545 - 555, 2016
- [13] Foti G., Barbaro G., Barillà G.C., Puntorieri P., Mancuso P.: *Shoreline Evolutionary Trends Along Calabrian Coasts: Causes and Classification*. In: Frontiers in Marine Science, n. 376, 2022
- [14] Addo K.A.: *Shoreline morphological changes and the human factor: Case study of Accra Ghana*. In: J. Coast. Conserv., vol. 17(1), pp. 85 - 91, 2013
- [15] Amrouni O., Hzami A., Heggy E.: *Photogrammetric assessment of shoreline retreat in North Africa: Anthropogenic and natural drivers*. In: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, n. 157, pp. 73 - 92, 2019
- [16] Ozpolat E., Demir T.: *The spatiotemporal shoreline dynamics of a delta under natural and anthropogenic conditions from 1950 to 2018: A dramatic case from the Eastern Mediterranean*. In: Ocean Coastal Manag., n. 180, article number 104910, 2019
- [17] Zhang R., Chen L., Liu S., Zhang H., Gong W., Lin G.: *Shoreline evolution in an embayed beach adjacent to tidal inlet: The impact of anthropogenic activities*. In: Geomorphology, n. 346, article number 106856, 2019.
- [18] Foti G., Barbaro G., Bombino G., D'Agostino D.: *The effects of anthropogenic pressure on rivers: a case study in the Metropolitan City of Reggio Calabria*. In: Remote Sensing, n.14, article number 4781,

2022

- [19] Zema D.A., Bombino G., Boix-Fayos C., Tamburino V., Zimbone S.M., Fortugno D.: *Evaluation and modeling of scouring and sedimentation around check dams in a Mediterranean torrent in Calabria, Italy*. In: J. Soil Water Conserv., vol. 69(4), pp. 316 - 329, 2014
- [20] Bombino G., Barbaro G., D'Agostino D., Denisi P., Foti G., Labate A., Zimbone S.M.: *Shoreline change and coastal erosion: the role of check dams. First indications from a case study in Calabria, Southern Italy*. In: Catena, n. 217, article number 106494, 2022
- [21] Foti G., Barbaro G., Manti A., Foti P., La Torre A., Geria P.F., Puntorieri P., Tramontana N.: *A methodology to evaluate the effects of river sediment withdrawal: the case study of the Amendolea River in Southern Italy*. In: Aquatic Ecosystem Health & management, vol. 23(4), pp. 465 - 473, 2021
- [22] Manca E., Pascucci V., Deluca M., Cossu A., Andreucci S.: *Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy*. In: Ocean Coastal Manag., n. 85, pp. 65 - 76, 2013
- [23] Foti G., Barbaro G., Barillà G.C., Frega F.: *Effects of Anthropogenic Pressures on Dune Systems - Case Study: Calabria (Italy)*. In: Journal of Marine Science and Engineering, n. 10, 2022
- [24] Foti G., Barbaro G., Barillà G.C., Mancuso P., Puntorieri P.: *Shoreline erosion due to anthropogenic pressure in Calabria (Italy)*. In: European Journal of Remote Sensing, 2022
- [25] Barbaro G.: *Saline Joniche: A predicted disaster*. In: Disaster Adv., vol. 6(7), pp. 1 - 3, 2013
- [26] Prumm M., Iglesias G.: *Impacts of port development on estuarine morphodynamics: Ribadeo (Spain)*. In: Ocean Coastal Manag., n. 130, pp. 58 - 72, 2016
- [27] Valsamidis A., Reeve D.E.: *Modelling shoreline evolution in the vicinity of a groyne and a river*. In: Continental Shelf Research, n. 132, pp. 49 - 57, 2017
- [28] Miduri M., Foti G., Puntorieri P.: *Impact generated by Marina di Badolato (Italy) on adjacent coast*. In: Proc. 13th Int. Congr. Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation MEDCOAST, pp. 935 - 945, 2017
- [29] Barbaro G., Foti G., Malara G.: *Set-up due to random waves: influence of the directional spectrum*. In: Int. J. Maritime Engin., n. 155, pp. A105 - A115, 2013
- [30] Almar R., Kestenare E., Reyns J., Jouanno J., Anthony E., Laibi R., Hemer M.A., du Penhoat Y., Ranasinghe R.: *Response of the Bight of Benin (Gulf of Guinea, West Africa) coastline to anthropogenic and natural forcing, Part 1: Wave climate variability and impacts on the longshore sediment transport*. In: Continental Shelf Research, n. 110, 2015
- [31] Kroon A., de Schipper M.A., van Gelder P.H.A.J.M., Aarninkhof S.G.J.: *Ranking uncertainty: Wave climate variability versus model uncertainty in probabilistic assessment of coastline change*. In: Coastal Engineering, n. 158, article number 103673, 2020
- [32] Fiori E., Comellas A., Molini L., Rebora N., Siccardi F., Gochis D.J., Tanelli S., Parodi A.: *Analysis and hindcast simulations of an extreme rainfall event in the Mediterranean area: The Genoa 2011 case*. In: Atmosph. Res., n. 138, pp. 13 - 29, 2014
- [33] Boudet L., Sabatier F., Radakovitch O.: *Modelling of sediment transport pattern in the mouth of the Rhone delta: Role of storm and flood events. Estuarine*. In: Coast. Shelf Sci., n. 198, pp. 568 - 582, 2017
- [34] Hagstrom C.A., Leckie D.A., Smith M.G.: *Point bar sedimentation and erosion produced by an extreme flood in a sand and gravel-bar meandering river*. In: Sedim. Geol., n. 377, pp. 1 - 16, 2018
- [35] Destro E., Amponsah W., Nikolopoulos E.I., Marchi L., Marra F., Zoccatelli D., Borga M.: *Coupled prediction of flash flood response and debris flow occurrence: Application on an alpine extreme flood event*. In: J. Hydrol., n. 558, pp. 225 - 237, 2018
- [36] Zellou B., Rahali H.: *Assessment of the joint impact of extreme rainfall and storm surge on the risk of flooding in a coastal area*. In: Journal of Hydrology, n. 569, pp. 647 - 665, 2019
- [37] Barbaro G., Foti G., Nucera A., Barillà G.C., Canale C., Puntorieri P., Minniti F.: *Risk mapping of coastal flooding areas. Case studies: Scilla and Monasterace (Italy)*. In: Int. J. Safety Security Engin., vol. 10(1), pp. 59 - 67, 2020
- [38] Canale C., Barbaro G., Petrucci O., Fiamma V., Foti G., Barillà G.C., Puntorieri P., Minniti F., Bruzzaniti L.: *Analysis of floods and storms: concurrent conditions*. In: Italian J. Engin. Geology and Environment, n. 1, pp. 23 - 29, 2020
- [39] Yanshuang Z., Yong L., Xiaohua Z., Hongxia S.: *Discussion on the mechanism of the differences of sediment transport capability of the different alluvial reaches in the Yellow River*. In: Proc. Environ. Sci., n. 10, pp. 1425 - 1430, 2011
- [40] Meyer-Peter E., Müller R.: *Formulas for bed-load transport*. In: Proc. 2nd Meeting Int. Association for Hydraulic Structures Research Delft (The Netherlands), pp. 39 - 64, 1948
- [41] Schoklitsch A.: *Handbuch des Wasserbaues*. Springer, Vienna, 1962
- [42] Wu W., Vieira D.A., Wang S.S.Y.: *1D numerical model for nonuniform sediment transport under unsteady flows in channel networks*. In: J. Hydraul. Eng., vol. 130(9), pp. 914 - 923, 2004
- [43] Zavattero E., Du M., Ma Q., Delestre O., Gourbesville P.: *2D Sediment transport modelling in high energy river - application to Var River France*. In: Procedia Eng., n. 154, pp. 536 - 543, 2016
- [44] Török G.T., Baranya S., Rütther N.: *3D CFD modeling of local scouring, bed armoring and sediment deposition*. In: Water, n. 9, pp. 56, 2017
- [45] Sun Z.L., Gao Y., Xu D., Hu C.H., Fang H.W., Xu Y.P.: *A new formula for the transport capacity of nonuniform suspended sediment in Estuaries*. In: J. Coast. Res., vol. 35(3), pp. 684 - 692, 2019
- [46] Rahman S.A., Chakrabarty D.: *Sediment transport modelling in an alluvial river with artificial neural network*. In: J. Hydrol., n. 588, article number 125056, 2020
- [47] Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquina P.: *Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy)*. In: Geomorphology, vol. 112(3-4), pp. 228 - 245, 2009
- [48] van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L.: *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau Research Report, EUR 19044EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1999
- [49] Grimm M., Jones R.J.A., Montanarella L.: *Soil Erosion Risk in Europe*. European Soil Bureau Research Report, EUR 19939 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2002
- [50] Grimm M., Jones R.J.A., Montanarella L.: *Soil Erosion Risk in Italy: A Revised USLE Approach*. European Soil Bureau Research Report No. 11, EUR 20677 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2003
- [51] Gavrilovic S.: *Méthode de la classification des bassins torrentiels et équations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du débit solide*. Serbia, Vadoprivreda, 1959
- [52] Foti G., Barbaro G., Bombino G.: *Application of remote sensing to estimate river sediment transport in the Calabrian basins (Italy)*. In: Proceedings of the 6th International Conference on Water Resource and Environment (WRE), 23-26 August 2020, 2020
- [53] Foti G., Barbaro G., Bombino G., Barillà G.C., Mancuso P., Puntorieri P.: *River transport in Calabrian rivers*. In: Calabrò, F., Della Spina, L., Piñeira Mantiñán, M.J. (eds) New Metropolitan Perspectives. NMP 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 482. Springer, Cham, 2022
- [54] Giandotti M.: *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*. In: Memorie e studi idrografici. Servizio Idrografico Italiano, Italy, 1934

- [55] Kirpich Z.P.: *Time of concentration of small agricultural watersheds*. In: Civil Engin., vol. 10(6), p. 362, 1940
- [56] Natural Resources Conservation Service (NRCS): *Pondsplanning, design construction*. Agriculture handbook. United States Department of Agriculture (USDA), USA, 1997
- [57] Fiedler F.R.: *Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons and isohyetal maps*. In: J. Hydrol. Engin., vol. 8(4), pp. 219 - 221, 2003.
- [58] Zemljic M.: *Calcul du débit solide - Evaluation de la végétation comme un des facteurs antiérosif*. In: International Symposium Interpraevent, Villaco, 1971
- [59] Canale C., Barbaro G., Foti G., Petrucci O., Besi, G., Barillà G.C.: *Bruzzano river mouth damage to meteorological events*. In: International Journal of River Basin Management, pp. 1 - 17, 2021
- [60] Sorriso-Valvo M., Terranova O.: *The Calabrian fiumara Streams*. In: Zeitschrift für Geomorphologie, n. 143, pp. 109 -125, 2006
- [61] Sabato L., Tropeano M.: *Fiumara: a kind of high hazard river*. In: Physics and Chemistry of the Earth, n. 29, pp. 707 - 715. 2014
- [62] Barbaro G., Bombino G., Foti G., Borrello M.M., Puntorieri P.: *Shoreline evolution near river mouth: case study of Petrace River (Calabria, Italy)*. In: Regional Stud. Mar. Sci., n. 29, article number 100619, 2019
- [63] Foti G., Barbaro G., Bombino G., Fiamma V., Puntorieri P., Minniti F. Pezzimenti C.: *Shoreline changes near river mouth: case study of Sant'Agata River (Reggio Calabria, Italy)*. In: European J. Remote Sensing vol. 52(sup.4), pp. 102 - 112, 2019

