

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: Michael Nones

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

- 2009-2011: Ph.D., School of Civil and Environmental Engineering, University of Padova, Italy. Title of the thesis "*Aspect of riverine hydro-morpho-biodynamics at watershed scale*", supervisor Prof. G. Di Silvio
- 2005-2007: MSc, Faculty of Environmental Engineering, University of Padova, Italy. Title of the thesis: "Sediment balance of the Adige River at watershed scale", supervisor Prof. G. Di Silvio
- 2002-2005: BSc, Faculty of Environmental Engineering, University of Padova, Italy. Title of the thesis: "Analysis and economical-technical comparison of two systems for the re-use of wastewater", supervisor Prof. M.C. Lavagnolo

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych:

- Październik 2018-do teraz: Adiunkt w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk
- Październik 2018-Styczeń 2019: External lecturer, Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany
- Maj 2018-Wrzesień 2018: Teaching assistant, Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany
- Styczeń 2018-do teraz: External collaborator, start-up ENIHILO, Frankfurt am Main, Germany
- Lipiec 2016-Marzec 2018: Research Grant, University of Bologna, Italy
- Kwiecień 2014-Kwiecień 2016: Marie Curie Fellowship at the SME gerstgraser, Cottbus, Germany
- Luty 2012-Marzec 2014: Research Grant, University of Bologna, Italy
- Luty 2008-Grudzień 2008: External collaborator, University of Padova, Italy

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

Modelling hydro-morphodynamics in rivers: from the watershed to the reach scale

(Modelowanie hydrodynamiki i morfodynamiki koryt rzecznych w skali od całej zlewni do odcinka rzeki)

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:

- [1] Nones M., Archetti R., Guerrero M. (2018). *Time-lapse photography of the edge-of-water line displacements of a sandbar as a proxy of riverine morphodynamics*. Water 10(5), 617. doi: 10.3390/w10050617
- [2] Maselli V., Pellegrini C., Del Bianco F., Mercorella A., Nones M., Crose L., Guerrero M., Nittrouer J. (2018). *River morphodynamic evolution under dam-induced backwater: An example from the Po River (Italy)*. Journal of Sedimentary Research 88(10), 1190-1204. doi: 10.2110/jsr.2018.61
- [3] Nones M., Pugliese A., Domeneghetti A., Guerrero M. (2018). *Po River morphodynamics modelled with the open-source code iRIC*. in Free Surface Flows and Transport Processes, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 335-346. Eds. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-70914-7_22
- [4] Franzoia M., Nones M. (2017). *Morphological reactions of schematic alluvial rivers: long simulations with a 0-D model*. Int. Journal of Sediment Research 32(3), 295-304. doi: 10.1016/j.ijsrc.2017.04.002
- [5] Nones M., Di Silvio G. (2016). *Modeling of river width variations based on hydrological, morphological and biological dynamics*. Journal of Hydraulic Engineering 142(7). doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001135
- [6] Nones M., Gerstgraser C. (2016). *Morphological changes of a restored reach: the case of the Spree River, Cottbus, Germany*. in Hydrodynamic and mass transport at freshwater aquatic interfaces, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 167-182. Eds Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-27750-9_14
- [7] Guerrero M., Latosinski F., Nones M., Szupiany R.N., Re M., Gaeta M.G. (2015). *A sediment fluxes investigation for 2-D modeling of large river morphodynamics*. Advances in Water Resources 81, 186-198. doi: 10.1016/j.advwatres.2015.01.017
- [8] Di Silvio G., Nones M. (2014). *Morphodynamic reaction of a schematic river to sediment input changes: analytical approaches*. Geomorphology 215, 74-82. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.05.021
- [9] Nones M., Guerrero M., Ronco P. (2014). *Opportunities from low-resolution modelling of river morphology in remote parts of the world*. Earth Surface Dynamics 2, 9-19. doi: 10.5194/esurf-2-9-2014

- [10] Nones M., Ronco P., Di Silvio G. (2013). *Modelling the impact of large impoundments on the Lower Zambezi River*. Int. Journal of River Basin Management 11(2), 221-236. doi: 10.1080/15715124.2013.794144
- [11] Guerrero M., Nones M., Saurral R., Montroull N., Szupiany R.N. (2013). *Parana River morphodynamics in the context of climate change*. Int. Journal of River Basin Management 11(4), 423-437. doi: 10.1080/15715124.2013.826234
- [12] Ronco P., Fasolato G., Nones M., Di Silvio G. (2010) *Morphological effects of damming on lower Zambezi River*. Geomorphology 115(1/2), 43-55. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.029

c) Podsumowanie celów naukowych i głównych wyników prezentowanych publikacji

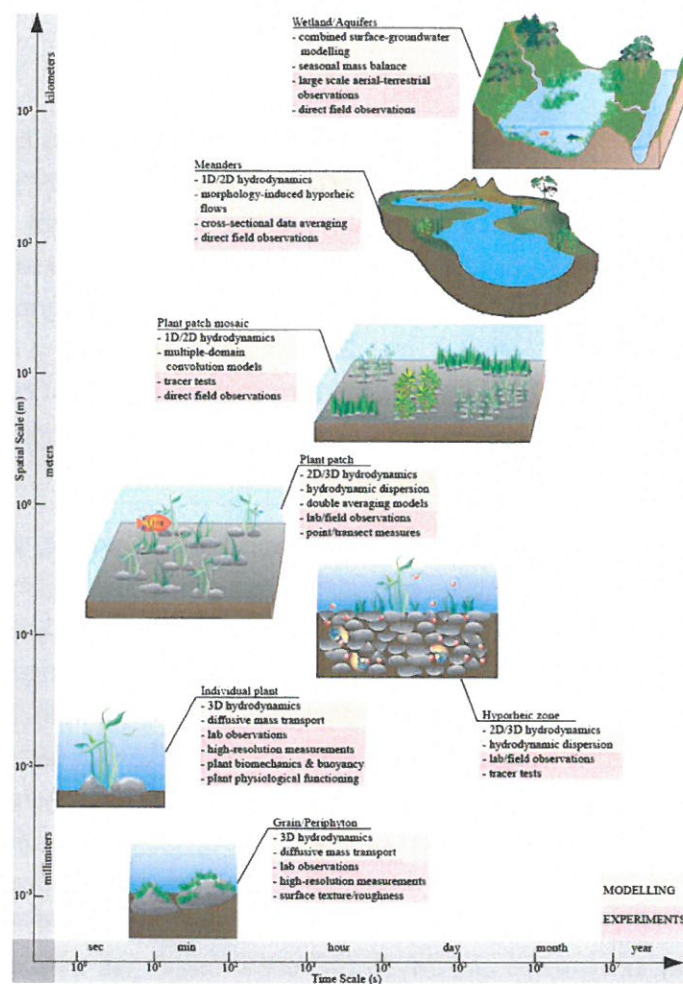
Wprowadzenie

Pomimo długich badań, sposób w jaki rzeka kształtuje swoje otoczenie, nadal wymaga dogłębnego poznania, również ze względu na kilka skal przestrzennych i czasowych oraz na trudności w modelowaniu interakcji zachodzących pomiędzy wodą, rumowiskiem i roślinnością (zarówno nadbrzeżną, jak i występującą w korycie rzeki). Te trzy komponenty, które oddziałują na siebie w szerokim zakresie skal czasowych, wykazują złożoną, nieliniową dynamikę czasoprzestrzenną, jednocześnie stanowią całość (Vesipa i in., 2017 r.). W związku z powyższym rozdzielenie czynników, które jednocześnie wpływają na strukturę roślinności i procesy geomorfologiczne, jest bardzo trudne, ponieważ większość z nich jest współzależna (Hupp i Osterkamp, 2013 r.; Przyborowski i in., 2018 r.) i zależy od skali.

Aby zredukować złożoność występującą w warunkach rzeczywistych, na rzecz modelowania w pożądanej skali procesów, którymi można zarządzać, specjaliści zajmujący się modelowaniem rzek w dużym stopniu wykorzystywali uproszczenia. Modele ewolucji krajobrazu o zredukowanej złożoności pokazały, że nawet proste zasady opisujące interakcje pomiędzy wodą a rumowiskiem (wychwytywanie, transport, osadzanie) mogą odtworzyć morfodynamikę systemów rzecznych, bez uwzględnienia wpływu fauny i flory. Zastosowano na przykład kilka metod w odniesieniu do rzek warkoczowych, struktury rumowiska, form koryta, sierpów plażowych, morfologii obszarów przybrzeżnych i estuariów oraz delt rzecznych. Uproszczone odwzorowanie oddziaływań pomiędzy złożoną mechaniką przepływu w małej i dużej skali, ruchem rumowiska i dynamiką biologiczną (Nones i Di Silvio, 2016 r.; Nones i Varrani, 2016 r.) nie jest jednak w stanie, ze względu na przyjęty prosty schemat, odtworzyć złożonych procesów takich jak samoorganizacja, która tworzy skomplikowane wzorce. Dlatego też należy opracować nowe modele, oparte na prawach fizyki, które będą zdolne (i) połączyć dynamikę w dużej i małej skali, z uwzględnieniem interakcji, które kształtują koryta rzek w skali lokalnej, oraz mechanizmy skalowania mające wpływ w większej skali, (ii) ale również w odpowiedni sposób odtworzyć ewolucję wszystkich elementów systemu rzecznego, dla wymaganej skali (rys. 1).

Wielu badaczy (np. Sponseller i in., 2013 r.) twierdzi, że należy wyjść poza tradycyjne postrzeganie wody jako zasobu/siedliska dla fauny i flory, systemu połączeń i wymiany energii, materiałów i organizmów oraz czynnika zmian geomorfologicznych i zakłóceń. Aby pogłębić wiedzę naukową na temat oddziaływania procesów w skali lokalnej, na rzeki w dużej skali, badania muszą

wychodzić poza mechanizmy związane z wodą, wykraczając poza powierzchnię ziemi, w celu zbadania zjawisk związanych z rzekami zachodzących w atmosferze i pod powierzchnią. Badania powinny być rozszerzone poza procesy fizyczne o pełen wachlarz procesów biologicznych, biogeochemicznych i ekologicznych, które są wynikiem wzajemnego wpływu rzeki na krajobraz (Gurnell i in., 2016 r.), z uwzględnieniem ich zmienności w czasie i przestrzeni. Zgodnie z tą wizją badanie krajobrazów nadrzecznych jako makrosystemów wymaga zintegrowanego podejścia, uwzględniającego wyzwanie, jakim jest przetwarzanie dużych zbiorów danych za pomocą narzędzi statystycznych i łączenie danych pochodzących z kilku źródeł w celu wymuszenia stosowania modeli numerycznych i analitycznych.



Rys. 1: Kluczowe dziedziny i podstawowe procesy zachodzące w środowiskach rzecznych (na podstawie Marion i in., 2014 r.)

W oparciu o wcześniejsze rozważania, moje badania koncentrują się na opracowywaniu i stosowaniu modeli numerycznych o różnych skalach w celu odtworzenia dynamiki fluwialnej obserwowanej w tych skalach. Jak opisano poniżej, każdy kod numeryczny jest kalibrowany i walidowany na podstawie monitorowanych danych, z uwzględnieniem analiz rzeczywistych przykładów, w połączeniu z rozważaniami teoretycznymi. Z jednej strony jestem zainteresowany

M

opracowywaniem nowych metod i kodów numerycznych na potrzeby odtwarzania zjawisk o kilku skalach czasoprzestrzennych, a z drugiej strony interesuje mnie również monitorowanie środowisk rzecznych za pomocą starych i nowych technik, łączących tradycyjną hydraulikę teoretyczną z innymi dziedzinami nauki, takimi jak teledetekcja.

Modelowanie 0-D

Wzajemne interakcje pomiędzy cyklami osadzania i erozji, których motorem jest długookresowa morfodynamika rzek oraz procesy tektoniczne i klimatyczne, tworzą otoczenie dla współczesnej ewolucji geomorfologicznej i ekologicznej rzek. Działając w skali przestrzennej całej doliny, aż po głębokość i szerokość terenów zalewowych, te wzajemne, długookresowe interakcje zasadniczo wpływają na obecną dynamikę rzek, szczególnie w przypadku największych systemów rzecznych na Ziemi (Latrubesse, 2008 r.; Di Silvio i Nones, 2014 r.).

Przy bardzo długich horyzontach czasowych (skala geologiczna) zmiany naturalne (np. wypiętrzanie powodowane ruchami tektonicznymi, zmiany klimatyczne) i antropogeniczne (np. spiętrzanie wód, prace mające na celu zapobieganie erozji, wydobywanie rumowiska, wydobywanie wody) nie mają znaczącego wpływu na długookresową uśrednioną ilość rumowiska przenoszonego przez rzeki i w konsekwencji na ewolucję morfologii ich koryt. W skali geologicznej, obecna konfiguracja rzek aluwialnych zależy wyłącznie od czasu orogenezy, po której można założyć, że uśredniony w czasie dopływ wody i rumowiska jest stały. Poza miejscowymi nieciągłościami (załamaniami stoku) związanymi z formacjami skalnymi, rzeczywiste odcinki aluwialne wykazują zazwyczaj stały spadek w dół rzeki zarówno w odniesieniu do nachylenia, jak i uziarnienia dna (Rice, 1999 r.). Wielu naukowców próbowało je odtworzyć, głównie w skali lokalnej, uwzględniając różne mechanizmy (np. Mackin, 1948 r.; Paola i in., 1992 r.; Blom i in., 2016 r.; Franzoia i in., 2017 r.).

Wciąż jednak brak jest ustalonych ram koncepcyjnych problemu, które mogłyby wyjaśnić bardzo dużą różnorodność profili związanych ze zmniejszaniem wielkości ziarna i wklęsłością, występujących w skali zlewni w przypadku rzeczywistych rzek aluwialnych. Moim celem jest zapewnienie dodatkowej wiedzy na ten temat, przez opracowanie prostego modelu ale opartego na prawach fizyki. Wstępne wyniki (Franzoia i in., 2017 r.; Franzoia i Nones, 2017 r.) i przedstawione prace wskazały na zdolność modelu do replikowania, z zadowalającą dokładnością, zmniejszania wielkości ziarna i wklęsłości dużych cieków wodnych. Wyniki te wykazały ponadto dominację, w procesie zmniejszania wielkości ziarna i wklęsłości, mechanizmu transportu selektywnego ze względu na różną wewnętrzną mobilność różnych klas uziarnienia. Zapisane w formie bezwymiarowej, umożliwiające porównanie rzek o różnych cechach charakterystycznych, rozwiązania równania modelu wskazują, że każde dorzecze, niezależnie od wielkości i warunków morfoklimatycznych, może zostać wystarczająco dobrze opisane za pomocą dosyć ograniczonego zbioru bezwymiarowych parametrów. Najważniejszym z tych parametrów wydaje się być tzw. czas napełniania rzeki (Di Silvio i Nones, 2014 r.), który stanowi podstawową ilość czasu skalowania, w odniesieniu do ewolucji morfologicznej w skali geologicznej, ale konieczne są dodatkowe badania w tym kierunku. Te wstępne wnioski oparte były na pewnych założeniach, które można ostatecznie

złagodzić, co doprowadziło do nowych ustaleń w ocenie parametrów kontroli ewolucji fluwialnej w skali zlewni.

Patrząc na bardzo dużą skalę (zarówno czasową, jak i przestrzenną), można oszacować przyszły trend całych systemów rzecznych, ewentualnie proponując pewne strategie zarządzania. Długookresowe modelowanie rzek aluwialnych, nawet jeżeli będzie oparte na ścisłych założeniach, może wskazywać punkty krytyczne w obecnej sytuacji, pokazując, jak dalece rzeczywiste ciekі wodne odbiegają pod względem składu dna i profilu wzdłużnego od wyidealizowanego stanu naturalnego i jakie są główne czynniki wpływające na ich ewolucję. Przy planowaniu dalszych działań dotyczących zaburzonych cieków wodnych należy brać pod uwagę skalę czasową procesu samoregulacji, ale szacunki dotyczące tego czasu nie zawsze są dostępne lub łatwe do obliczenia za pomocą tradycyjnych modeli numerycznych. Co więcej, uznanie istotności i czasoprzestrzennej skali wzajemnego oddziaływania pomiędzy czynnikami naturalnymi i inżynieryjnymi ma zasadnicze znaczenie dla właściwego zarządzania dużymi systemami rzeczными, sugerując specyficzne problemy, które powinny zostać zbadane z wykorzystaniem metod 1-D lub 2-D.

Modelowanie 1-D i quasi-2-D

W skali całego dorzecza przepływy wody uruchamiają i transportują cząsteczki rumowiska o rozmiarach od głazów i otoczków po muły i ily, jak również powodują ich osadzanie. Większe cząsteczki rumowiska stanowią podstawę ukształtowania rzeźby koryta rzeki i terenów zalewowych, podczas gdy drobniejsze osady są zatrzymywane w układach większych cząsteczkach lub stabilizowane przez korzenie roślin i inne organizmy. W wielu badaniach przyjęto opis 1-D koryta rzeki w celu oceny czasu, wielkości i jakości rumowiska przemieszczającego się w skali odcinka. Umożliwia to ocenę reakcji na zakłócenia w zakresie spójności rumowiska wynikające ze zdarzeń naturalnych, takich jak powodzie, lub działalności człowieka, takiej jak wyflukiwanie i usuwanie rumowiska osadów zbiornikowych lub pogłębianie (np. Ronco i in., 2010 r.; Nones i in., 2013 r.; Maselli i in., 2018 r.).

W modelowaniu rzek należy uwzględnić interakcje między hydrodynamiką, morfodynamiką i biodynamiką (rozwój i zanikanie roślinności nadbrzeżnej), które zasadniczo mają cechy 3-D (Li i Zeng, 2009) r. lub co najmniej 2-D (Bockelmann i in., 2004 r.; Abu-Aly i in.). Podczas gdy, z numerycznego punktu widzenia, modele 3-D i 2-D należy oczywiście wykluczyć, nawet kody 1-D wydają się mało kompatybilne z długookresowym i wielkoskalowym morfodynamicznym opisem całego systemu rzeczного. Dlatego też wprowadzono odpowiednie uproszczenia modelu 1-D oparte na hipotezie lokalnego jednolitego przepływu (np. Verhaar i in., 2008 r.; Fasolato i in., 2011 r.), aby umożliwić jego zastosowanie w skali historycznej, a nawet geologicznej w przypadku bardzo dużych dorzeczy. Z jednej strony uproszczone kody numeryczne 1-D mogą skutecznie symulować, zgodnie z hipotezą stałej szerokości rzeki, zmiany wysokości dna i uziarnienia koryta rzeki, nie opisują jednak odpowiednich zmian profilu poprzecznego (Ronco i in., 2010 r.). Aby wyeliminować hipotezę stałej szerokości i uwzględnić zachodzące w rzece kluczowe interakcje między morfologią, hydrologią i biologią, w swojej pracy doktorskiej zaproponowałem podmodel quasi-2-D, zapewniający syntetyczny opis profilu poprzecznego oparty na pojemności środowiska roślinności nadbrzeżnej.

Ogólnie rzecz biorąc, w małych rzekach profile poprzeczne są zapewniane przez przeprowadzane od czasu do czasu badania batymetryczne, podczas gdy w przypadku dużych cieków wodnych, zwłaszcza niekontrolowanych dorzeczy, profile poprzeczne mogą być wykrywane za pomocą powtarzanych zdjęć satelitarnych związanych z różnymi przepływami (Ronco i in., 2009 r.; Nones i in., 2014 r.). W obu przypadkach wykryte przekroje są częściowo skolonizowane przez roślinność nadbrzeżną, której nie da się łatwo odróżnić od powierzchni zwilżonej na brzegach. Z drugiej strony, dla modeli hydrologicznych i morfologicznych istotne znaczenie ma tzw. szerokość czynna (szerokość dostępna do transportu rumowiska), którą należy odpowiednio oszacować poprzez odjęcie od powierzchni zwilżonej gęstości wegetacji w funkcji zmian przepływu wody i kształtu przekrojów poprzecznych.

O ile zmienność czasowa hydrologii rzecznej odgrywa kluczową rolę w rozwoju roślinności nadbrzeżnej (Steiger i in., 2005 r.), poprzeczna zmienność przestrzenna morfologii działa w ten sam sposób, co wiąże się z trudnością oszacowania ich odpowiednich udziałów. Wpływ przejściowej hydrologii na biomorfologię fluwialną w skali odcinka jest nadal słabo poznany, szczególnie w odniesieniu do przypadków rzeczywistych i dużych cieków wodnych. Ja zajmę się tą luką w swoich badaniach poprzez połączenie uproszczonej metody 1-D (długookresowa ewolucja w skali zlewni) z bardziej szczegółowym opisem czynnego przekroju poprzecznego (podmodel quasi-2-D). Dzięki stosunkowo niewielkiemu nakładowi pracy związanej z obliczeniami, model ten z jednej strony dostarcza wiarygodnych wyników w dużej skali, a z drugiej zapewnia dane wejściowe na potrzeby bardziej szczegółowych kodów, umożliwiających dokładniejsze opisanie ewolucji morfodynamiki i biodynamiki fluwialnej 2-D (lub 3-D), ale wiążących się z dużym nakładem pracy.

Modelowanie 2-D

Zastosowanie wielkoskalowych, uproszczonych modeli (0-D i 1-D) pozwala na długookresowy opis fluwialnych zmian profilu wzdłużnego i uziarnienia, ale nie pozwala na szczegółowy opis morfodynamiki i biodynamiki rzeki, które mają zazwyczaj zachowanie 2-D, a nawet 3-D. Zmniejszając skalę od skali zlewni do (mniejszej) skali odcinka rzeki, w celu oceny wpływu elementów infrastruktury hydraulicznej, takich jak mosty i ostrogi, na hydro- i morfodynamikę rzeki zastosowałem komercyjne i bezpłatne oprogramowanie 2-D i 3-D.

Stosując kody numeryczne do odtwarzania zaobserwowanych zjawisk i ewentualnego prognozowania przyszłych trendów dotyczących rzeki, należy pracować na wiarygodnych i opartych na studiach przypadku danych wejściowych, które nie są ogólnie dostępne, szczególnie w odniesieniu do transportu rumowiska i uziarnienia. Aby powiększyć bazę danych, zastosowałem różne techniki, począwszy od zdjęć lotniczych (Nones i Gerstgraser, 2016 r.), w celu śledzenia przesunięć brzegu (Nones i in., 2018 r.), wykazując zakres ważności każdej metody i proponując przyszłe usprawnienia. Zastosowanie innego oprogramowania pozwoliło na podkreślenie wydajności każdego kodu, a także zapewniło możliwe rozwiązania rzeczywistych problemów.

Biorąc pod uwagę zwiększoną presję związaną z działalnością człowieka na środowiska rzeczne, w przyszłości przewiduje się wzrost wyzwań związanych z połączeniem czynników antropogenicznych i naturalnych (Vitousek i in., 1997 r.). Dlatego aby zareagować na nie w

kierunku bardziej zrównoważonych strategii zarządzania, konieczne jest poszerzenie naszej wiedzy na temat interakcji woda-osad-fauna i flora, ich matematycznego opisu i kwestii numerycznych niezbędnych do opisania złożoności systemu rzecznoego. W tym zakresie pracuję nad opracowaniem specjalnej procedury na potrzeby opisanie hydrodynamiki, morfodynamiki i biodynamiki w skali odcinka rzeki w celu udoskonalenia niektórych programów już dostępnych na rynku.

Kwestia modelowania transportu rumowiska w rzekach z uwzględnieniem różnych skal przestrzennych i kilku procesów, za pomocą odpowiednich uproszczeń, była przedmiotem wielu projektów badawczych realizowanych we Włoszech i w Niemczech i nadal jest głównym tematem moich badań. Poza doskonaleniem moich umiejętności badawczych, zaangażowanie w te projekty oraz ciągła wymiana doświadczeń z innymi naukowcami i praktykami zaowocowały kilkoma publikacjami i prezentacjami przedstawionymi na konferencjach międzynarodowych, które stanowią podstawę mojego osiągnięcia naukowego „Modelowanie hydrodynamiki i morfodynamiki koryt rzecznych w skali od całej zlewni do odcinka rzeki”.

Opis poszczególnych prac

- [1] Nones M., Archetti R., Guerrero M. (2018). *Time-lapse photography of the edge-of-water line displacements of a sandbar as a proxy of riverine morphodynamics*. Water 10(5), 617. doi: 10.3390/w10050617

Głównym celem tych badań było przedstawienie prostej metodyki śledzenia przemieszczeń pierzei za pomocą zamontowanej kamery, wyodrębnienie jej cech morfologicznych i ustalenie związanej z nimi morfologii fluwialnej z wykorzystaniem krótkiego odcinka rzeki Pad we Włoszech jako studium przypadku. Wyniki śledzenia zostały porównane z symulacją numeryczną 2-D przeprowadzoną przy użyciu bezpłatnego kodu iRIC w celu ilościowego określenia lokalnej morfodynamiki fluwialnej.

Kamera zamontowana na mostowym moło wykonywała zdjęcia co dwanaście godzin, natomiast informacje dotyczące godzinnych poziomów wody pochodzą z areometru radarowego umieszczonego przed badanym obszarem. Kwantyfikację batymetrii fluwialnej uzyskano poprzez odwzorowanie wielu linii brzegowych pierzei przed i po stanach dużego przepływu w grudniu 2017 r., podczas gdy model, oparty na cyfrowym modelu wysokościowym, został wymuszony przez lokalną hydrologię. Zarówno zdjęcia poklatkowe, jak i wyniki numeryczne wykazały, że w tym regionie fale powodziowe mogą z łatwością usuwać osady nagromadzone w mierzejach w warunkach małego przepływu, redystrybuując je w szerszym przekroju poprzecznym, zmieniając pogłębienie i zwężenie głównego kanału obserwowane zazwyczaj w okresach suchych i opisane w poprzednich badaniach.

W pracy wykazano, że monitorowanie przesunięć linii brzegowej rzeki za pomocą zamontowanej kamery może być tanią i wiarygodną metodą odtwarzania morfodynamiki rzeki poprzez wykrywanie zmian morfologicznych powstałych w wyniku powodzi, zapewniając nowe materiały na potrzeby kalibracji modeli numerycznych. Nawet jeżeli wstępne i oparte na kilku zdjęciach, zastosowanie to wskazywało na stosowność metody i sugerowało jej zastosowanie do dłuższych okresów w celu śledzenia długookresowej ewolucji rzek aluwialnych w większej rozdzielczości w

odniesieniu do zdjęć satelitarnych, wymagających małego nakładu pracy pod względem zatrudnienia.

- [2] Maselli V., Pellegrini C., Del Bianco F., Mercorella A., Nones M., Crose L., Guerrero M., Nitttrouer J. (2018). *River morphodynamic evolution under dam-induced backwater: An example from the Po River (Italy)*. Journal of Sedimentary Research 88(10), 1190-1204. doi: 10.2110/jsr.2018.61

Łącząc obserwacje terenowe i wyniki modelowania numerycznego, praca ta pozwoliła na ilościowe określenie zmian osadowych i morfologicznych rzeki Pad (Włochy) przed tamą Isola Serafini w celu zbadania wpływu powodowanej obecnością tamy cofki na morfodynamikę rzeki.

Połączenie obserwacji terenowych i symulacji związanych z modelowaniem wykazało, że skutki cofki spowodowanej obecnością tamy, obserwowane były przed tamą na odcinku do 30 km, biorąc pod uwagę to, że tama przerwała ciągłość rzeki i wygenerowała nowy poziom bazowy, powodując retrogradację litofacji aluwialnej i zmianę geometrii konturu. Przy przejściu od normalnego przepływu do przepływu z cofką, duży spadek nachylenia lustra wody i związanego z tym naprężenia ścinającego koryta sprzyjały osadzaniu się materiału gruboziarnistego i przechodzeniu żwiru w piasek, co jest typowe dla tej rzeki. Na 30-kilometrowym odcinku rzeki objętym cofką stopniowo zmniejszała się migracja boczna meandrów wraz ze zbliżaniem się do tamy, przy ogólnym zmniejszaniu się wielkości uziarnienia rumowiska w korycie rzeki i zwiększaniu odległości pomiędzy wydymami. Bliżej tamy dokonano modelowania profili powierzchni wody M1 i M2 w odpowiedzi na zdarzenia związane z małymi przepływami i dużymi odpływami za pomocą bezpłatnego kodu Hec-Ras. Zasadniczo, wykorzystując największą rzekę we Włoszech, badanie to pokazało ewolucję odcinka po wybudowaniu tamy, podkreślając skutki podniesienia poziomu bazowego oraz procesów związanych z cofką i obniżeniem poziomu w kontrolowaniu hydrodynamiki i morfodynamiki rzeki i procesów transportu rumowiska.

- [3] Nones M., Pugliese A., Domeneghetti A., Guerrero M. (2018). *Po River morphodynamics modelled with the open-source code iRIC*. in Free Surface Flows and Transport Processes, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 335-346. Eds. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-70914-7_22

Badania te koncentrowały się na zastosowaniu bezpłatnego programu iRIC w celu odtworzenia hydromorfologicznej ewolucji 10-kilometrowego odcinka rzeki Pad, na którym obecne są zarówno konstrukcje wzniesione przez człowieka (dwa mosty), jak i elementy naturalne (mierzeje, wyspy). Wyniki badań stanowiły część finansowanego przez Włochy projektu INFRASAFE, w ramach którego wykorzystano narzędzia służące do numerycznego modelowania dynamiki fluwialnej w celu wspierania informacji z monitoringu uzyskanych za pomocą technik nieinwazyjnych, jak opisano w innych artykułach.

Wychodząc od ogólnego opisu badanego obszaru i wykorzystując syntetyczne dane hydrologiczne, odcinek modelowano za pomocą solwera 2-D MFLOW_02, który rozwiązuje morfodynamikę rzeki

za pomocą nieustrukturalizowanej siatki o trójkątnych oczkach, opartej na cyfrowym modelu wysokościowym obszaru pozyskanym w 2005 r. Jeżeli chodzi o warunki brzegowe, w celu przyspieszenia symulacji wymuszono model z syntetycznym hydrogramem w górze rzeki i odpowiadającymi mu wysokościami wody w dole rzeki, natomiast uziarnienie rumowiska odnosiło się do próbek pobranych w pobliżu badanej strefy. Wybór metody syntetycznej oceniono w odniesieniu do czasu adaptacji i bezwładności rzeki oraz po analizie wrażliwości.

Nawet jeżeli poczyniono pewne założenia, pierwsze uzyskane wyniki wykazały obiecującą zdolność modelu 2-D do odtwarzania zachowania odcinka, zarówno pod względem przepływu ciecży, jak i morfodynamiki, w porównaniu z danymi historycznymi mierzonymi wzdłuż cieku wodnego i opisanymi w literaturze, a także aktualnymi informacjami terenowymi. Dokładniej rzecz biorąc, prędkość przepływu kształtowała się na poziomie 0,4–0,8 m/s, podobnym do prędkości mierzonej za pomocą ADCP podczas ostatniego badania terenowego. Odtworzona dynamika rumowiska była właściwa dla tego odcinka rzeki Pad: odkładanie się rumowiska w mierzejach i na brzegach w warunkach małego przepływu, któremu towarzyszyło wykopanie głównego kanału oraz redystrybucja rumowiska na całym przekroju poprzecznym z powodu powodzi. Wyniki te zostały również wykorzystane na potrzeby lepszej kontekstualizacji przyszłych badań i kampanii terenowych.

- [4] Franzoia M., Nones M. (2017). *Morphological reactions of schematic alluvial rivers: long simulations with a 0-D model*. Int. Journal of Sediment Research 32(3), 295-304. doi: 10.1016/j.ijsrc.2017.04.002

W artykule przedstawiono i omówiono model 0-D aluwialnego cieku wodnego schematyzowany za pomocą dwóch połączonych odcinków, ewoluującego w długim okresie i zgodnie z hipotezą lokalnego jednolitego przepływu. Każdy odcinek został zdefiniowany przy użyciu jego geometrii (stała długość i szerokość, zmienne w czasie nachylenie) oraz uziarnienia, natomiast transport rumowiska obliczono na podstawie krzywej uziarnienia rumowiska. Zmiany czasowe nachylenia koryta zostały obliczone z wykorzystaniem bilansu masy 0-D, natomiast ewolucja składu koryta została zasymulowana za pomocą równania 0-D Hirano. Zaproponowany system matematyczny jest niejawni i nieliniowy i w związku z tym nie można było znaleźć rozwiązania analitycznego, jak w przypadku modelu, który zaproponowali Di Silvio i Nones (2014 r.). Z tego powodu opracowano w Matlabie kod numeryczny oparty na metodzie typu predyktor-korektor, wykazując potencjał tej metody, pomimo kilku uproszczeń. Zastosowanie opisane w pracy wskazuje, że rozwiązanie takich modeli 0-D jest znacznie prostsze i szybsze niż rozwiązanie kompletnego modelu hydromorfodynamicznego 1-D, przy jednoczesnej mniejszej utracie szczegółów w dużej skali przestrzennej i czasowej.

Ewolucja morfologii rzeki, badana z wykorzystaniem obecnego modelu obejmującego dwa odcinki o niejednorodnym uziarnieniu, okazała się wolniejsza niż w analizie, którą przeprowadzili Di Silvio i Nones (2014 r.). W rzeczywistości ich model pomijał zmienność składu koryta i nie uwzględniał fundamentalnej roli, jaką odgrywa skład dna, co można rozpoznać na podstawie analiz reakcji rzeki na zakłócenia warunków początkowych i bardzo długookresowej ewolucji. Nawet jeżeli proponowany model nie działał bezpośrednio na parametry uziarnienia dna, granulacja bardzo

szybko reagowała na zakłócenia, zmieniając zachowanie samego systemu poprzez parametr morfodynamiczny. Po stanie początkowym ewolucja uległa spowolnieniu, podążając za zmiennym czasem związanym z nachyleniem, tj. osiągając równowagę w czasie odpowiadającym około czterokrotności charakterystycznego czasu napełniania dłuższego odcinka. W tym sensie model ten stanowił znaczącą poprawę w stosunku do poprzedniej metody (Di Silvio i Nones, 2014 r.), zwłaszcza ze względu na jego zdolność do odtwarzania obserwowanego zachowania aluwialnych cieków wodnych przy mniejszym nakładzie pracy związanej z obliczeniami.

- [5] Nones M., Di Silvio G. (2016). *Modeling of river width variations based on hydrological, morphological and biological dynamics*. Journal of Hydraulic Engineering 142(7). doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001135

Podczas badań opracowano model 1-D i wykorzystano go na potrzeby symulacji długookresowej i wielkoskalowej morfodynamiki dwóch dużych rzek, mianowicie rzeki Parana w Argentynie i rzeki Zambezi w Afryce. Model oparto na hipotezie lokalnego jednolitego przepływu połączonej z syntetycznym opisem profilu poprzecznego, który zapewnił zmiany szerokości czynnej (transportowej) rzeki poprzez analizę całkowitych i porośniętych roślinnością szerokości cieku wodnego, przyjętych jako zmienne przepływu wody. Gęstość ogólna roślinności nadbrzeżnej, wyrażona tutaj w kategoriach pojemności biologicznej, została przewidziana jako funkcja klimatu lokalnego i pewnych czynników wynikających z interakcji hydrologii, morfologii i biologii.

Praca ta, nawet jeżeli oparta została na kilku uproszczeniach, takich jak domyślna hipoteza długookresowych stałych warunków hydrologicznych, potwierdziła możliwość zajęcia się modelowaniem hydro-, morfo- i biodynamicznym rzek w dużej skali czasoprzestrzennej z wykorzystaniem skutecznej mieszanej metody 1-D + quasi-2-D. Z jednej strony model 1-D pozwalał na dość szybkie obliczenia w skali zlewni, rozciągnięte na bardzo długie okresy (do kilkuset lat) ewolucji wzdłużnej rzeki (nachylenie dna i uziarnienie). Z drugiej strony podmodel quasi-2-D zapewnił poprzeczne odwzorowanie cieku wodnego pod względem szerokości czynnej (nieporośniętej roślinnością) i gęstości roślinności, co z kolei znalazło odbicie w obliczeniach 1-D.

Oprócz konieczności przetestowania modelu w różnych warunkach klimatycznych i geomorfologicznych oraz możliwych ulepszeń jego obecnej struktury zastosowania przedstawione w niniejszej pracy wykazały, że wykorzystane podstawowe koncepcje są ogólnie zasadne. Między innymi jest to: i) połączenie dwóch skrajnie różnych skal czasowych dla pod modeli wzdłużnych i poprzecznych oraz ii) przyjęcie ujęcia łącznego w celu wyrażenia całkowitej pojemności środowiska roślinności nadbrzeżnej.

- [6] Nones M., Gerstgraser C. (2016). *Morphological changes of a restored reach: the case of the Spree River, Cottbus, Germany*. in Hydrodynamic and mass transport at freshwater aquatic interfaces, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, 167-182. Eds Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-27750-9_14

Badania te zostały przeprowadzone w ramach ITN HYTECH, jako część pakietu prac poświęconych znaczenia uwzględnienia transportu rumowiska i elementów hydromorfologicznych podczas stosowania europejskiej Ramowej dyrektywy wodnej w środowiskach rzecznych. Patrząc z

punktu widzenia prawa, Ramowa dyrektywa wodna uznaje elementy hydromorfologiczne jedynie za elementy wspierające ciek wodny w dobrym lub gorszym stanie, podczas gdy elementy biologiczne uznawane są za podstawowe. Niemniej różne badania naukowe wykazały, że rzeki należy rozpatrywać w sposób bardziej holistyczny, obejmujący wszystkie ich cechy, głównie wodę, osady oraz faunę i florę.

Jako praktyczny przykład, wybrano studium przypadku dotyczące poddanej rekultywacji odcinka rzeki Sprewy w pobliżu miasta Cottbus (Chociebuż) w Brandenburgii w Niemczech. Proponowana analiza wykorzystywała obrazy lotnicze, modele DGM i profile przekrojów poprzecznych dla okresów przed- i poprojektowych, zapewniając informacje na temat zmian morfologicznych spowodowanych pracami rekultywacyjnymi, poprzez śledzenie linii brzegowych wody i obliczanie parametrów morfologicznych, takich jak talweg i całkowita krętość.

Wstępne wyniki opisane w pracy wskazują, że rekultywacja rzeki na badanym odcinku nie spowodowała przywrócenia środowiska rzeczno-terenowego do stanu naturalnego/pierwotnego. Różnorodność siedliskowa i morfologiczna heterogeniczność są związane ze zmiennością warunków przepływu i składu podłoża, dlatego też zwiększenie liczby kanałów, przeprojektowanie ich formy i dodanie bardziej gruboziarnistego piasku okazało się niewystarczające, aby osiągnąć poprawę stanu rzeki. Kolejny wynik dotyczył horyzontu czasowego: brak badań dotyczących długookresowego oddziaływania transportu drobnego piasku wzdłuż Sprewy może zagrozić realizacji celów projektu rekultywacji. Badanie sugeruje, że aby pokonać takie ograniczenia, kluczowe znaczenie dla realizacji tego celu mają lepszej jakości dane z monitoringu i szczegółowe pomiary terenowe w połączeniu z dodatkowymi informacjami o warunkach referencyjnych typowych dla tego środowiska rzeczno-terenowego oraz nowe badania dotyczące wpływu transportu drobnego piasku na siedliska makrofity i zbiorniki makrobezkręgowców.

- [7] Guerrero M., Latosinski F., Nones M., Szupiany R.N., Re M., Gaeta M.G. (2015). *A sediment fluxes investigation for 2-D modeling of large river morphodynamics*. Advances in Water Resources 81, 186-198. doi: 10.1016/j.advwatres.2015.01.017

Podczas badań skoncentrowano się na połączeniu narzędzi do monitorowania i modelowania w celu odtworzenia dynamiki rozwidlenia rzeki Parana w pobliżu miejscowości Rosario w Argentynie. Jeżeli chodzi o dane pomiarowe, dane szacunkowe związane z rozproszeniem wstecznym z przepływomierzy profilujących ADCP dostarczył danych o ładunku zawieszonego osadu tworzącego koryto rzeki, natomiast w celu śledzenia wydm zastosowano echosondę, co pozwoliło na oszacowanie rumowiska rzeczno-terenowego. W przypadku odcinka rzeki Rosario o długości 10 km i szerokości 2 km zastosowano komercyjny pakiet numeryczny 2-D (Mike21C), wykorzystując dane pomiarowe jako warunki brzegowe. Moduł morfodynamiczny został odłączony od oceny hydrodynamiki, co pozwoliło na długookresowe przewidywanie morfologii rzeki, która uwzględnia roczną zmienność hydrologiczną przy metodzie quasi-stacjonarnej. Dokonano analizy wrażliwości przyjętych parametrów i dyskretyzacji skali czasoprzestrzennej w celu oceny stabilności kodu i zakresu ważności przeprowadzonych symulacji.

Wykorzystując rozpraszanie cząstek w dwóch odpowiednio oddalonych częstotliwościach 600–1200 kHz ADCP, oszacowano ładunek zawieszony i ustalono stosunkowo dobrą zgodność z frakcjami rumowiska obserwowanymi w korycie rzeki. Jednocześnie zastosowano technikę śledzenia wydm z wykorzystaniem echosondy jednowiązkowej w celu zbadania koryta i uchwycenia dynamiki rumowiska rzeczno. Te szacunkowe dane terenowe strumieni rumowiska wykorzystano na potrzeby kalibracji modelu numerycznego 2-D, zapewniając wiarygodną symulację obserwowanej erozji i rumowiska w korytach rzek, a także rumowiska rzeczno i strumieni ładunku zawieszonego.

- [8] Di Silvio G., Nones M. (2014). *Morphodynamic reaction of a schematic river to sediment input changes: analytical approaches*. *Geomorphology* 215, 74-82. doi: 10.1016/j.geomorph. 2013.05.021

Podczas prac badano morfodynamiczną reakcję schematycznej rzeki na zaburzenia dopływu rumowiska wymuszonego na jej górnym końcu. Ewolucję rzeki, początkowo w stanie równowagi, badano za pomocą różnych modeli (0-wymiarowy; paraboliczny 1-D i hiperboliczny 1-D z rumowiskiem jednorodnym; hiperboliczny 1-D z rumowiskiem o różnym uziarnieniu) w zależności od mniej lub bardziej uproszczonych równań różniczkowych stosowanych do opisu ruchu wody i rumowiska.

W pracy omówiono szereg rozwiązań analitycznych uzyskanych z dwoma rodzajami warunków brzegowych: i) skokowa zmiana dopływu rumowiska, bardzo często związana z działaniami antropogenicznymi, ii) sinusoidalna zmienność w ustalonym okresie, zazwyczaj związana z cyklami meteorologicznymi (krótki okres) lub ze zmianami geologicznymi i klimatycznymi (długi okres). O ile w przypadku zakłóceń skokowych dobre wyobrażenie o szybkości dostosowywania się całej rzeki do zmian daje tzw. czas reakcji, to w przypadku zakłóceń okresowych wykazano, że reakcja rzeki była zasadniczo funkcją okresu samego zakłócenia. W tym ostatnim przypadku szczególnie istotna była tzw. długość tłumienia, stanowiąca zasięg za źródłem zakłócenia, wymagany przez ciek wodny do tłumienia samego zakłócenia. Zasięg ten był na ogół znacznie mniejszy niż sama rzeka dla okresowości meteorologicznej, ale może obejmować cały ciek wodny dla procesów geologicznych.

Porównanie różnych modeli wykazało, że w większości praktycznych przypadków rodzaj równań różniczkowych (0-D, paraboliczne 1-D, hiperboliczne 1-D z materiałem jednorodnym) nie wpłynął w istotny sposób na długość czasu reakcji i długość tłumienia, podczas gdy reakcja rzeki stała się bardziej złożona, gdy brano pod uwagę osady o różnym uziarnieniu. W pracy wskazano ponadto, że ponieważ wszystkie modele uzależnione są od podstawowych parametrów morfologicznych schematycznej rzeki, na wyniki liczbowe nieuchronnie wpłynęła ta sama definicja istotnych parametrów morfologicznych w odniesieniu do rzeczywistej rzeki (rzeźba rzeki, prawdopodobnie odmienna od rzeźby zlewni; szerokość rzeki, skrajnie zmienna wzdłuż cieku wodnego; równoważna długość rzeki, bardzo prawdopodobnie uzależniona od gęstości sieci rzecznej). Innymi słowy, w pracy wykazano, że nawet jeżeli zastosowanie rozwiązań analitycznych do schematycznej rzeki z pewnością może dać pewien użyteczny wgląd w reakcje prawdziwych systemów rzecznych,

zwłaszcza z porównawczego punktu widzenia, analiza ilościowa konkretnego problemu wymaga zastosowania bardziej złożonego, ale wiarygodnego kodu numerycznego.

- [9] Nones M., Guerrero M., Ronco P. (2014). *Opportunities from low-resolution modelling of river morphology in remote parts of the world*. Earth Surface Dynamics 2, 9-19. doi: 10.5194/esurf-2-9-2014

Badania koncentrowały się na zapewnieniu i przetestowaniu uproszczonych narzędzi do obsługi długookresowego modelowania dużych rzek w odległych miejscach, gdzie brakuje informacji terenowych i szczegółowych danych. W niniejszej pracy przedstawiono metodę 1-D w połączeniu z opisem quasi-2-D przekroju poprzecznego rzeki i zastosowano ją w odniesieniu do dolnego biegu rzeki Zambezi w Mozambiku oraz rzeki Parana w Argentynie. W pierwszym przypadku model wykorzystano do analizy długookresowej ewolucji odcinka po wybudowaniu dwóch zbiorników, natomiast w drugim przypadku ten sam kod zastosowano w odniesieniu do badania ewolucji środkowego i dolnego biegu rzeki, wymuszonej przez zmieniającą się hydrologię w wyniku zmienności klimatu.

Wyniki wskazują na potencjał ogólnych modeli w analizowaniu długookresowego wpływu czynników antropogenicznych i naturalnych, szczególnie w przypadku rzek położonych w odległych częściach świata, dla których szczegółowe dane terenowe są zazwyczaj niedostępne, oraz w dostarczaniu danych wejściowych na potrzeby modeli 2-D, które są uzależnione od parametryzacji procesów i kalibracji w oparciu o szczegółowe informacje terenowe. Jeżeli chodzi o studia przypadków, wykorzystane oprogramowanie wskazało na agradację koryta rzeki i erozję delty obserwowane w ostatnim stuleciu jako odpowiedź na budowę tamy na rzece Zambezi, a także na znaczenie uwzględnienia przyszłej zmienności klimatycznej w symulacji morfologicznej ewolucji rzeki Parana.

- [10] Nones M., Ronco P., Di Silvio G. (2013). *Modelling the impact of large impoundments on the Lower Zambezi River*. Int. Journal of River Basin Management 11(2), 221-236. doi: 10.1080/15715124.2013.794144

Badania te koncentrowały się na symulacji dynamiki fluwialnej obserwowanej w dolnym biegu rzeki Zambezi za pomocą własnego modelu hydromorfodynamicznego 1-D, który sprawdza się w przypadku niedoboru dostępnych danych, w połączeniu z opisem quasi-2-D ewolucji przekroju poprzecznego w celu uwzględnienia zmieniającej się szerokości rzeki. Na ten odcinek rzeki duży wpływ ma obecność dwóch bardzo dużych obiektów hydroenergetycznych, które zmodyfikowały naturalne przepływy sezonowe, bilans rumowiska, morfologię rzeki i strukturę roślinności nadbrzeżnej. Za tymi dużymi obiektami odnotowano znaczące skutki lokalne, takie jak podmywanie, zapadanie się brzegów i degradacja linii brzegowej, które ostatecznie zmieniają zarówno profil koryta, jak i kontur rzeki w kierunku jednoodcinkowego kanału. Oprócz systematycznych zapisów dotyczących przepływu dokonywanych w stacji pomiarowej tamy i kilku sporadycznych pomiarów zmętnienia i uziarnienia koryta rzeki, jako dane wejściowe modelu

wykorzystano jedynie cyfrowy model wysokościowy i kilka ostatnich zdjęć satelitarnych rzeki w celu obliczenia transportu rumowiska i związanej z nim morfodynamiki rzecznej.

Połączenie uproszczonego modelu hydromorfodynamicznego 1-D i podmodelu quasi-2-D umożliwiło stosunkowo szybkie odtworzenie zaobserwowanej hydrodynamiki, morfodynamiki i biodynamiki, co pozwala na długookresowe symulacje odnoszące się do możliwych strategii zarządzania obydwu tamami. Jeżeli chodzi o profil wzdłużny (model 1-D), główne wyniki zasadniczo potwierdzają ustalenia poprzedniego modelu o stałej szerokości (Ronco i in., 2010 r.). Nowe zastosowanie (podmodel 2-D) wskazało jednak na znacznie bardziej oczywisty i istotny wpływ tam na planimetryczną konfigurację rzeki, biorąc pod uwagę, że zbiorniki zmieniały przepływ i przemieszczanie się rumowiska, a w konsekwencji zmieniały strukturę roślinności, zmniejszając szerokość czynną, zawężając i pogłębiając główny kanał, zwiększając obszar porośnięty roślinnością i ostatecznie zacierając warkoczową strukturę rzeki.

- [11] Guerrero M., Nones M., Saurral R., Montroull N., Szupiany R.N. (2013). *Parana River morphodynamics in the context of climate change*. Int. Journal of River Basin Management 11(4), 423-437. doi: 10.1080/15715124.2013.826234

W pracy przedstawiono wyniki finansowanego przez UE projektu CLARIS-LPB, obejmującego analizę dynamiki rumowiska w różnych skalach w obrębie środkowego i dolnego biegu rzeki Parana na Nizinie La Platy. Celem pracy było przedstawienie multidyscyplinarnej i wieloskalowej metody predykcji przyszłej morfologii rzeki w kontekście zmian klimatycznych, której celem jest prognozowanie długookresowego wpływu morfodynamiki rzeki na wzniesione przez człowieka konstrukcje i jego działalność nad rzeką lub w jej pobliżu.

Badanie bazowało na trzech poziomach modelowania matematycznego, a wyniki modeli w szerszej skali zapewniały warunki wejściowe dla modeli bardziej szczegółowych. Modele klimatyczne zapewniły wiązkę danych wejściowych, tj. danych dotyczących przyszłych opadów atmosferycznych i temperatury na Nizinie La Platy. Model hydrologiczny, o parametrach dyskretnie rozłożonych, o zmiennej zdolności infiltracji, w makroskali symulował szeregi czasowe przepływu, które następnie zastosowano w odniesieniu do własnego modelu morfodynamicznego 1-D, przetestowanego już w przypadku dużych rzek, takich jak Zambezi. Dane wyjściowe modelu 1-D zostały wykorzystane w celu zapewnienia informacji dotyczących przyszłego tempa transportu rumowiska i towarzyszących mu zmian poziomu koryta w skali zlewni, które zostały wykorzystane jako warunki brzegowe dla komercyjnego modelu 2-D. Zmiany w skali lokalnej, takie jak meandrowanie przepływu i dynamika aktywnego kanału, były symulowane za pomocą kodu Mike21C opracowanego przez Duński Instytut Hydrauliki.

Mimo że wszystkie cztery scenariusze klimatyczne zastosowane w tym badaniu były zgodne co do przewidywania wzrostu przepływu, który w największym stopniu wpływa na morfologię, ich rozkład był zupełnie inny. Ta zmienność znacząco zmieniała morfologię aktywnego kanału (symulowaną za pomocą modelu 2-D), podczas gdy wpływ na wzdłużny profil koryta (odtworzony za pomocą modelu 1-D) nie był szczególnie istotny. W rzeczywistości symulacje 1-D hydrologii minionego stulecia i scenariusze dotyczące przyszłości wskazały, że profil koryta jest stabilny w

kierunku wzdłużnym w dużej skali, podczas gdy zdolność transportowa była głównie skorelowana ze zmiennością przepływu. Wnioski dotyczące wrażliwości morfologii kanału na scenariusze dotyczące przyszłości wyciągnięto z symulacji 2-D dotyczących lat 2010–2038 na odcinku dolnego biegu rzeki Parany o długości 25 km, wskazując na wpływ zmienności hydrologicznej na morfologię planimetryczną. Symulacje wykazały, że im mniejsze wahania, tym większe uproszczenia i pogłębienie głównego kanału. Takie przebiegi wskazywały ponadto na znaczenie rozkładu parametrów oporu przepływu w opisie dynamiki aktywnego kanału, terenów zalewowych i wysp.

- [12] Ronco P., Fasolato G., Nones M., Di Silvio G. (2010). *Morphological effects of damming on lower Zambezi River*. *Geomorphology* 115(1/2), 43-55. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.029

Celem pracy było prognozowanie obecnego i przyszłego wpływu występowania zapór Kariba i Cahora Bassa na morfologię rzeki Zambezi w Mozambiku za tymi zaporami, integrując dostępne zgrubne i niejednoczesne dane, w pewien sposób poprawiając ich ogólną jakość, za pomocą uproszczonego, własnego modelu numerycznego 1-D.

Model składa się z równań różniczkowych 1-D przepływu wody i ruchu cząsteczek rumowiska, uproszczonych za pomocą kinematycznej propagacji przepływu wody i hipotezę lokalnego jednolitego przepływu, w celu zmniejszenia nakładu pracy związanej z obliczeniami, przy odtwarzaniu długookresowej ewolucji rzeki przy założeniu stałej szerokości. Model ten został opracowany na Uniwersytecie Padewskim i przetestowany w kilku studiach przypadku od dużych i nizinnych rzek po stronne potoki, wskazując na jego możliwości zastosowanie w zależności od liczby Froude'a i geometrii rzeki.

Główne wyniki uzyskane w ramach badania były następujące: i) w ciągu ostatniego i kolejnych stuleci największa część dolnego biegu rzeki Zambezi, w niezakłóconych warunkach, charakteryzowała się ciągłą i prawie stałą agradacją dna i zmniejszaniem się wielkości ziarna rumowiska; ii) na ten „naturalny” trend wpłynęła budowa zapór Kariba (1959 r.) i Cahora Bassa (1975 r.), ale tylko w stosunkowo niewielkim stopniu; iii) perturbacje wywołane przez spiętrzenie, odpowiednio względem przepływu wody i przechwytywania rumowiska, rozprzestrzeniają się wzdłuż rzeki z różnymi prędkościami i mające różne skutki dla profilu dna i składu; iv) budowa dwóch zapór najwyraźniej spowodowała erozję obszaru delty. Oczywiście na wyniki te miały wpływ ograniczone i niepewne informacje wykorzystane na jako dane wejściowe i kalibracji modelu, ale przeprowadzono również analizę wrażliwości w celu ich potwierdzenia.

Podsumowanie

Wyniki, które są podstawą mojego osiągnięcia naukowego zatytułowanego „Modelowanie hydrodynamiki i morfodynamiki koryt rzecznych w skali od całej zlewni do odcinka rzeki”, stanowią ważny wkład w przedstawienie dynamiki fluwialnej i związanej z nią transportu rumowiska z uwzględnieniem różnych skal i czynników.

W tym kontekście szczególne znaczenie mają badania dotyczące:

- opracowania modelu 0-D w celu odtworzenia, w skali zlewni, wklęsłości profilu wzdłużnego i zmniejszania się wielkości ziarna rumowiska, często obserwowane w rzekach aluwialnych, od górnego biegu w dół rzeki, co może być pomocne w wykrywaniu dużych zmian czasoprzestrzennych w systemach rzecznych;
- opracowania uproszczonego modelu 1-D w celu ustalenia ilości transportowanego rumowiska w skali zlewni oraz jego sprzężenia z opisem quasi-2-D przekroju poprzecznego rzeki w celu naśladowania obecności roślinności nadbrzeżnej;
- kalibracji i walidacji różnych kodów numerycznych 2-D do odtwarzania szczegółowej hydrodynamiki i morfodynamiki rzek dotkniętych presją związaną z działalnością człowieka w celu zaproponowania lokalnym interesariuszom środków łagodzących i strategii zarządzania.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

5.1. Polityka wodna i zarządzanie rzekami europejskimi

Zmiany w polityce krajowej i międzynarodowej w odpowiedzi na priorytety zrównoważonego wykorzystania zasobów wodnych oraz wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi wymagają dogłębnego zrozumienia zagadnień ekohydrologicznych i ich praktycznego zastosowania w politykach i strategiach zarządzania środowiskiem w celu ochrony naturalnego środowiska wodnego (Marion i in., JHR 2014 r.). Aby sprostać tym nowym wyzwaniom, konieczne jest podejście interdyscyplinarne, angażujące naukowców o różnych doświadczeniach i reprezentujących różne dziedziny wiedzy w celu zmniejszenia różnic w przygotowywaniu wspólnej płaszczyzny kulturowej i terminologii, aby zapewnić bardziej kompleksowe i holistyczne rozwiązania.

W tym aspekcie w ostatnich latach uczestniczyłem w dwóch różnych projektach dotyczących prawodawstwa i praktyki inżynierskiej. Pierwszy z nich, traktowany jako Zadanie Robocze (WP) dotyczył finansowanego przez MSC projektu ITN HYTECH, zatytułowanego „Strategie łączące ramową dyrektywę wodną i dyrektywę powodziową”, którego celem było przygotowanie zaleceń w celu opracowania przyszłych planów dotyczących gospodarki rzecznej z uwzględnieniem występowania rumowiska. Zajmowałem się tym tematem głównie w okresie 2014–2016, a wyniki zostały opublikowane w wielu międzynarodowych czasopismach (Nones, 2015 r.; Nones, 2016 r.; Nones, 2017 r.; Nones i in., 2017 r.) i przedstawione na konferencjach na całym świecie, jak szczegółowo opisano poniżej. Duża część prezentowanych wyników pochodziła z analizy dostępnej literatury (artykuły, bazy danych, raporty techniczne) oraz własnego kwestionariusza przesłanego organom UE odpowiedzialnym za gospodarkę wodną w 2015 r. w celu uzyskania informacji, między innymi w kontekście zagrożenia powodziowego i udziału społeczeństwa, na temat uwzględnienia transportu rumowiska i zmian hydromorfologicznych w postępowaniu ze środowiskami rzeczными. Na tej podstawie wyniki odnosiły się głównie do gospodarki wodnej, a

nie klasycznej inżynierii rzecznej, ale moim zdaniem dodatkowe punkty widzenia mogą mieć pierwszorzędne znaczenie w rozwiązywaniu rzeczywistych problemów związanych z wodą.

Przejście od inżynierii do gospodarki wodnej i związanej z nią polityki dało mi możliwość nawiązania kontaktu z naukowcami z UCL, w szczególności z Cascading Disasters Research Group (www.ucl.ac.uk/rdr/cascading), która koncentruje się na zrozumieniu, ocenie i łagodzeniu eskalacji sytuacji kryzysowych w globalnie powiązonym systemie. W ramach stałej współpracy z jednym z członków pracujemy nad rozwiązywaniem problemów związanych z powodzią, które nie są powszechnie rozwiązywane ze względu na ich skalę przestrzenną i czasową (tzw. efekty kaskadowe). Zaczynając od nieformalnej współpracy, przeszliśmy do współpracy bardziej ustrukturyzowanej, której efektem były artykuły prasowe (Nones i Pescaroli, 2016 r.), materiały konferencyjne (np. Pescaroli i Nones, 2016 r.; Nones i Pescaroli, 2016 r.; Nones, 2018 r.) oraz ostatnie wydanie specjalne (Pescaroli i inni, 2018 r.). Nasza współpraca pokazała, że połączenie dziedzin badawczych takich jak nauki społeczne i inżynieria, które zazwyczaj nie są ze sobą łączone, jest obecnie nie tylko konieczne, ale i pożądane.

Wyniki moich badań na ten temat zostały przedstawione w artykułach prasowych i zaprezentowane na międzynarodowych konferencjach, jak szczegółowo opisano poniżej.

- [1] Pescaroli G., Nones M., Galbusera L., Alexander D.E. (2018). *Understanding and mitigating cascading crises in the global interconnected system*. Int. Journal of Disaster Risk Reduction 30(B), 159-163. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.07.004
- [2] Nones M., Gerstgraser C., Wharton G. (2017). *Consideration of hydromorphology and sediment in the implementation of the EU Water Framework and Floods Directives: a comparative analysis of selected EU Member States*. Water and Environment Journal 31(3), 324-329. doi: 10.1111/wej.12247
- [3] Nones M. (2017). Flood Hazard Maps in the European context. Water International 42(3), 324-332. doi: 10.1080/02508060.2016.1269282
- [4] Nones M. (2016). Is public participation an added value for river basin management? European Planning Studies 24(6), 1159-1174. doi: 10.1080/09654313.2016.1164125
- [5] Nones M., Pescaroli G. (2016). *Implications of cascading effects for the EU Floods Directive*. Int. Journal of River Basin Management 14(2), 195-204. doi: 10.1080/15715124.2016.1149074
- [6] Nones M. (2015). Implementation of the Floods Directive in selected EU Member States. Water and Environment Journal 29(3), 412-418. doi: 10.1111/wej.12129
- [7] Nones M. (2018). *Learning from the past: the Secchia River case study*. 5th IAHR Europe Congress, Trento, Italy. doi: 10.3850/978-981-11-2731-1_163-cd
- [8] Pescaroli G., Nones M. (2018). *Integrating cascading effects of floods in policy making: a case study for Emilia Romagna, Italy*. 5th IAHR Europe Congress, Trento, Italy. doi: 10.3850/978-981-11-2731-1_291-cd
- [9] Pescaroli G., Nones M. (2016). *Cascading Events, Technology and Floods Directive: future challenges*. 3rd European Conference on Flood Risk Management, Lyon, France. doi: 10.1051/e3sconf/20160707003
- [10] Nones M. (2016). *River restoration: the need for a better monitoring agenda*. Proceedings of the 13th Int. Symposium on River Sedimentation, Stuttgart, Germany

- [11] Nones M., Pescaroli G. (2016). *Implications of cascading effects for the EU Floods Directive*. 6th International Disaster and Risk Conference, Davos, Switzerland
- [12] Nones M., Gerstgraser C. (2016). *Synergies and missing links between the Water Framework Directive and the Floods Directive*. HYTECH Final Conference, Aberdeen, United Kingdom
- [13] Schnauder I., Gerstgraser C., Nones M., Schuster M., Giebler S. (2016). *Sediment - ein "missing link" zwischen WRRL und HWRM? Untersuchungen an einem sandgeprägten Tieflandfluss* (Sediments-a "missing link" between WFD and FD? Investigations on a sandy lowland river). 39. Dresdner Wasserbaukolloquium, Dresden, Germany (German Conference on Hydraulic Engineering)
- [14] Nones M., Gerstgraser C. (2015). *River restoration and hydromorphological quality elements: a German case study*. 2nd Yalin Memorial Colloquium, Palermo, Italy
- [15] Nones M. (2015). *1D long-term morphological evolution of rivers*. Symposium on Environmental Systems Analysis, Tübingen, Germany
- [16] Nones M. (2015). *Sediment management of rivers and Water Framework Directive: the case of the Spree River*. 36th IAHR World Congress, The Hague, The Netherlands

5.2. Włączenie roślinności nadbrzeżnej do modelowania morfodynamiki rzecznej

Opis quasi-2-D przekroju poprzecznego rzeki przyjęty przeze mnie w modelowaniu (np. Nones i in., 2014 r.; Nones i Di Silvio, 2016 r.) opiera się na założeniu stałych warunków dla pojemności środowiska roślinnego. Aby pokonać ograniczenie wynikające z warunków stanu ustalonego, przeprowadzono dodatkowe badania narzucając ewolucję roślinności zależną od początkowej populacji roślin i tempa wzrostu, które reprezentuje potencjalny wzrost całej roślinności cieków wodnych. Przeprowadzona analiza wrażliwości w odniesieniu do gęstości i tempa wzrostu roślinności wykazała, że niezależnie od początkowej gęstości populacji tempo wzrostu można uznać za główny parametr określający rozwój wegetacji nadbrzeżnej, co powoduje specyficzne dla danego obszaru skutki, ze znacznymi różnicami w przypadku dużych i małych rzek. Pomimo przyjęcia licznych uproszczeń i poddania analizie małej bazy danych, wstępne porównanie zmierzonych i obliczonych szerokości rzek wskazywało na dość dobrą zdolność modelu do obrazowania typowych interakcji pomiędzy roślinnością nadbrzeżną a przepływem wód w ciekach wodnych. W przyszłości stosunkowo prosta struktura kodu zaproponowana przez Nonesa i Varrani (2016 r.) wymaga dalszych zmian i dodatkowych zastosowań w odniesieniu do wielu rzek aluwialnych w celu walidacji, z ewentualnym uwzględnieniem bardziej szczegółowych informacji terenowych.

- [1] Nones M., Varrani A. (2016). *Sensitivity analysis of a riparian vegetation growth model*. *Environments* 3(4), 30. doi: 10.3390/environments3040030

5.3. Badania eksperymentalne

Oprócz modelowania procesów rzecznych interesuje mnie również lepsze zrozumienie mechanizmów fizycznych w ramach prac eksperymentalnych. Podczas pobytu na Uniwersytecie

Bolońskim (Włochy) w ramach dwóch grantów naukowych miałem okazję pracować w lokalnym laboratorium hydraulicznym, głównie przeprowadzając doświadczenia z urządzeniami akustycznymi. Kilka wyników tych doświadczeń poddawanych jest obecnie ocenie i będzie tematem przyszłych publikacji. Do tej pory redagowałem wydanie specjalne, aby podsumować stan wiedzy w zakresie pomiarów laboratoryjnych, w szczególności koncentrując się na wykorzystaniu anemometrii obrazowej (*Particle Image Velocimetry*, PIV) oraz technik przetwarzania obrazów w celu śledzenia zachowania różnych klas uziarnienia.

- [1] Nones M. (2018). *Special Issue "Laboratory Geosciences: Modelling Surface Processes"*. Geosciences 8(11), 386. doi: 10.3390/geosciences8110386

5.4. Środowisko lagun i estuariów

Dzięki temu, że kształciłem się na włoskim Uniwersytecie w Padwie, w pobliżu Wenecji, miałem również do czynienia z problemami związanymi z płytkimi środowiskami wodnymi, takimi jak laguny. Przeprowadziłem kilka badań skoncentrowanych głównie na Wenecji, zarówno z punktu widzenia społecznego, jak i technicznego, a ich wyniki zostały opublikowane w recenzowanym artykule (Varrani i Nones, 2017 r.), w rozdziale książki (Di Silvio i in., 2011 r.), a także przedstawione na międzynarodowych konferencjach, jak szczegółowo opisano poniżej.

- [1] Varrani A., Nones M. (2018). *Vulnerability, impacts and assessment of climate change on Jakarta and Venice*. Int. Journal of River Basin Management 16(4), 439-447. doi: 10.1080/15715124.2017.1387125
- [2] Nones M., Di Silvio G. (2017). *Role of Grainsize Sorting in the Long-term Morphodynamics of Sedimentary Systems*. 10th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Padova, Italy
- [3] Di Silvio G., Franzoia M., Nones M., Bonaldo D., Zaggia L., Lorenzetti G., Dall'Angelo C. (2011). *Evaluating sediment input of rivers flowing in the Lagoon of Venice*. Corila. Scientific Research and Safeguarding of Venice, Corila VII, 2007-2010 results, 227-235. Eds. Europrint, Treviso, Italy
- [4] Di Silvio G., Franzoia M., Nones M., Bonaldo D., Zaggia L., Lorenzetti G., Dall'Angelo C. *Valutazione dell'afflusso di sedimenti fluviali nella Laguna di Venezia* (Estimation of sediment fluxes in the Venice Lagoon). Riunione Annuale Corila, Venezia, Italy (Congress of the Italian Consortium Corila)

Literatura

- Abu-Aly T.R., Pasternack G.B., Wyrick J.R., Barker R., Massa D., Johnson T. (2014). *Effects of LiDAR-derived, spatially distributed vegetation roughness on two-dimensional hydraulics in a gravel-cobble river at flows of 0.2 to 20 times bankfull*. Geomorphology 206, 468-482. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.10.017
- Blom A., Viparelli E., Chavarrias V. (2016). *The graded alluvial river: Profile concavity and downstream fining*. Geophysical Research Letters 43, 6285-6293. doi: 10.1002/2016GL068898
- Bockelmann B.N., Fenrich E.K., Lin B., Falconer R.A. (2004). *Development of an ecohydraulics model for stream and river restoration*. Ecological Engineering 22(4-5), 227-235. doi: 10.1016/j.ecoleng.2004.04.003

- Di Silvio G., Nones M. (2014). *Morphodynamic reaction of a schematic river to sediment input changes: Analytical approaches*. *Geomorphology* 251, 74-82. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.05.021
- Fasolato G., Ronco P., Langendoen E.J., Di Silvio G. (2011). *Validity of Uniform Flow Hypothesis in one-dimensional morphodynamics models*. *Journal of Hydraulic Engineering* 137(2), 183-195. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000291.
- Franzoia M., Nones M. (2017). *Morphological reactions of schematic alluvial rivers: long simulations with a 0-D model*. *Int. Journal of Sediment Research* 32(3), 295-304. doi: 10.1016/j.ijsrc.2017.04.002
- Franzoia M., Nones M., Di Silvio G. (2017). *Long-term Morphodynamics of a Schematic River Analysed with a Zero-dimensional, Two-reach, Two-grainsize Model*. *Earth Surface Dynamics Discussion*. 10.5194/esurf-2017-7
- Gurnell A.M., Bertoldi W., Tockner K., Wharton G., Zolezzi G. (2016). *How large is a river? Conceptualizing river landscape signatures and envelopes in four dimensions*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(3), 313-325. doi: 10.1002/wat2.1143
- Hupp C.R., Osterkamp W.R. (2013). *Vegetation ecogeomorphology, dynamic equilibrium, and disturbance*. In: Shroder J., Butler D.R., Hupp C.R.(Eds.). *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, Ecogeomorphology 12.94-106.
- Latrubesse E.M. (2008). *Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers*. *Geomorphology* 101(1-2), 130-145. doi: 10.1016/j.geomorph.2008.05.035
- Li C.W., Zeng C. (2009). *3D numerical modelling of flow divisions at open channel junctions with or without vegetation*. *Advances in Water Resources* 32(1), 49-60. doi: 10.1016/j.advwatres.2008.09.005
- Mackin J.H. (1948). *Concept of the graded river*. *Geological Society of America Bulletin* 59(5), 463-512. doi: 10.1130/0016-7606(1948)59[463:COTGR]2.0.CO;2
- Marion A., Nikora V., Puijalon S., Bouma T., Koll K., Ballio F., Tait S., Zaramella M., Sukhodolov A., O'Hare M., Wharton G., Aberle J., Tregnaghi M., Davies P., Nepf H., Parker G., Statzner B. (2014). *Aquatic interfaces: a hydrodynamic and ecological perspective*. *Journal of Hydraulic Research* 52(6), 744-758. doi:10.1080/00221686.2014.968887
- Maselli V., Pellegrini C., Del Bianco F., Mercorella A., Nones M., Crose L., Guerrero M., Nitttrouer J. (2018). *River morphodynamic evolution under dam-induced backwater: An example from the Po River (Italy)*. *Journal of Sedimentary Research* 88(10), 1190-1204. doi: 10.2110/jsr.2018.61
- Nones M., Pugliese A., Domeneghetti A., Guerrero M. (2018). *Po River morphodynamics modelled with the open-source code iRIC*. in *Free Surface Flows and Transport Processes, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*, 335-346. Eds. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-70914-7_22
- Nones M., Di Silvio G. (2016). *Modeling of river width variations based on hydrological, morphological, and biological dynamics*. *Journal of Hydraulic Engineering* 142(7). doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001135
- Nones M., Varrani A. (2016). *Sensitivity analysis of a riparian vegetation growth model*. *Environments* 3(4), 30. doi: 10.3390/environments3040030
- Nones M., Gerstgraser C. (2016). *Morphological changes of a restored reach: the case of the Spree River, Cottbus, Germany*. in *Hydrodynamic and mass transport at freshwater aquatic interfaces, GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*, 167-182. Eds Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-27750-9_14
- Nones M., Guerrero M., Ronco P. (2014). *Opportunities from low-resolution modelling of river morphology in remote parts of the world*. *Earth Surface Dynamics* 2, 9-19. doi: 10.5194/esurf-2-9-2014
- Nones M., Ronco P., Di Silvio G. (2013). *Modelling the impact of large impoundments on the Lower Zambezi River*. *Int. Journal of River Basin Management* 11(2), 221-236. doi: 10.1080/15715124.2013.794144
- Paola C., Heller P.L., Angevine C.L. (1992). *The large-scale dynamics of grain-size variation in alluvial basins, 1: Theory*. *Basin Research* 4, 73-90. doi: 10.1111/j.1365-2117.1992.tb00145.x
- Przyborowski Ł., Łoboda A.M., Bialik R.J. (2018). *Experimental Investigations of Interactions between Sand Wave Movements, Flow Structure, and Individual Aquatic Plants in Natural Rivers: A Case Study of Potamogeton Pectinatus L.*. *Water*, 10, 1166. doi: 10.3390/w10091166
- Rice R. (1999). *The nature and controls on downstream fining within sedimentary links*. *Journal of Sedimentary Research* 69(1), 32-39.
- Ronco P., Fasolato G., Nones M., Di Silvio G. (2010). *Morphological effects of damming on lower Zambezi River*. *Geomorphology* 115(1/2), 43-55. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.029

- Ronco P., Fasolato G., Di Silvio G. (2009). *Modelling evolution of bed profile and grain size distribution in unsurveyed rivers*. Int. Journal of Sediment Research 24(2), 127–144. doi: 10.1016/S1001-6279(09)60021-4
- Sponseller R.A., Heffernan J.B., Fisher S.G. (2013). *On the multiple ecological roles of water in river networks*. Ecosphere 4(2), 1-14. doi: 10.1890/ES12-00225.1
- Steiger J., Tabacchi E., Dufour S., Corenblit D., Peiry J.-L. (2005). *Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel-floodplain river system: A review for the temperate zone*. River Research and Applications 21(7), 719–737. doi: 10.1002/rra.879
- Verhaar P.M., Biron P.M., Ferguson R.I., Hoey, T.B. (2008). *A modified morphodynamic model for investigating the response of rivers to short-term climate change*. Geomorphology 101(4), 674–682. doi: 10.1016/j.geomorph.2008.03.010
- Vesipa R., Camporeale C., Ridolfi L. (2017). *Effect of river flow fluctuations on riparian vegetation dynamics: processes and models*. Advances in Water Resources 110, 29-50. doi: 10.1016/j.advwatres.2017.09.028
- Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. (1997). *Human domination on Earth's ecosystems*. Science 277(5325), 494-499. doi: 10.1126/science.277.5325.494