

Raziskave strukture sedimentnega morskega dna v Strunjanskem zalivu s podpovršinskim sonarjem

Ana Trobec^{*}, Andrej Šmuc^{*}, Marko Vrabc^{*}, Sašo Poglajen^{**}

Povzetek

V reliefu morskega dna slovenskega morja je izraženo paleokorito, ki smo ga v Strunjanskem zalivu raziskali s snemanjem profilov parametričnega podpovršinskega sonarja v gosti pravokotni mreži. Na podlagi geometrije, zveznosti, frekvence in amplitude odbojev smo interpretirali šest akustičnih faciesov sedimentov, ki so se odložili v dveh stopnjah. Prvih pet faciesov predstavlja plio-pleistocenske sedimente, ki so se odložili pred zadnjo transgresijo, šesti akustični facies pa spada v potransgresijsko stopnjo razvoja raziskovanega območja. Na podlagi geomorfni oblik, ki so razvidne iz sonarskih profilov in modelov zgornjih ploskev akustičnih faciesov, smo dokazali, da je paleokorito rečnega nastanka. Zaradi odsotnosti zamikov paleokorit in deformacij, ki bi jih lahko pripisali tektonski aktivnosti, sklepamo, da raziskovano območje ni bilo tektonsko aktivno vsaj v zadnjih 9.000 letih.

Ključne besede: podpovršinski sonar, holocen, plio-pleistocen, paleokorito, Strunjanski zaliv, Tržaški zaliv, severni Jadran

Keywords: sub-bottom sonar, Holocene, Plio-Pleistocene, paleochannel, Strunjan bay, Gulf of Trieste, northern Adriatic

Uvod

Predhodne batimetrične raziskave slovenskega morja z večsnopnim sonarjem (Slavec, 2012) so pokazale, da so v reliefu morskega dna izražene različne negativne morfološke oblike, ki spominjajo na ostanke nekdanje rečne mreže, ki je po Tržaškem zalivu tekla pred zadnjo transgresijo. Med njimi izstopa paleokorito, ki se razteza približno vzporedno z obalo v smeri SV-JZ in pri tem prečka tudi Strunjanski zaliv, kjer povije pri prehodu preko linearne morfološke stopnje.

Z gosto pravokotno mrežo profilov parametričnega podpovršinskega sonarja v Strunjanskem zalivu (slika 1), ki omogoča kasnejše trirazsežno modeliranje izbranih horizontov, smo želeli preučiti seizmično stratigrafijo in geometrijo sedimentov morskega dna, dokazati rečni izvor domnevnega paleokorita in preučiti morebitne deformacije sedimenta zaradi tektonske aktivnosti.

Geološka zgradba

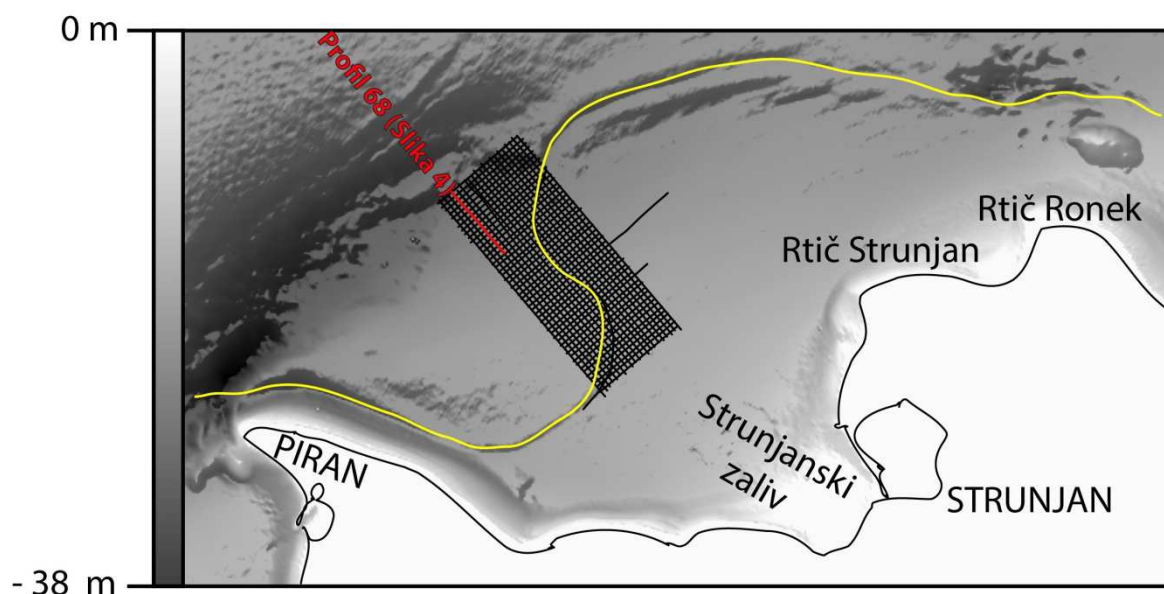
Območje skrajnega dela jugozahodne Slovenije se nahaja na stiku med Jadransko ploščo in Zunanjimi Dinaridi, natančneje v Zunanjedinarskem naravnem pasu (Placer, 2008, Placer et al., 2010). Za območje so značilne SZ-JV usmerjene strukture, presekanе z nanje prečnimi sub-vertikalnimi prelomi (Placer et al., 2010, Carulli, 2011, Placer, 2015), ki se nadaljujejo tudi v notranjost Tržaškega zaliva (Busetti et al., 2008a, Vrabc et al.,

^{*} UL, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana

^{**} Harpha Sea d.o.o., Čevljarska ulica 8, 6000 Koper

2014). Več avtorjev na podlagi različnih meritev sklepa na recentno aktivnost struktur v Tržaškem zalivu in okolici (Braitenberg et al., 2006, Rižnar et al., 2007, Romeo, 2009, Furlani et al., 2011, Vrabcet al., 2012, Biolchi et al., 2015, Zampa et al., 2015).

Stratigrafsko zaporedje v Tržaškem zalivu po Carulliju (2011) gradijo štiri enote: kredno-paleogenska karbonatna platforma, kenozojski fliš, plio-pleistocenski sedimenti in holocenski morski sedimenti. Slednji so se na plio-pleistocensko podlago pričeli odlagati po zadnji transgresiji pred približno 9.000 leti (Ogorelec et al., 1981, Covelli et al., 2006). Morsko dno slovenskega morja večinoma predstavljajo holocenski meljasti do peščeni sedimenti (Ogorelec et al., 1987, 1991), ki so mestoma erodirani do plio-pleistocenske podlage (Trobec, 2015, Trobec et al., 2015), v okolici Izole pa se na morskem dnu pojavljajo izdanki trdne kamnine (Slavec, 2012).



Slika 1 - Lokacija posnetih profilov in potek paleokorita (rumena črta) v Strunjanskem zalivu.

Metode

Gosto mrežo pravokotnih sonarskih profilov (slika 1) smo posneli v treh snemalnih dneh oktobra 2013 in maja 2014 na krovu raziskovalnega plovila »Lyra« v lasti Harpha Sea d.o.o. Za zajem podatkov smo uporabili Innomarjev parametrični podpovršinski sonar »SES-2000 Compact«, pri čemer smo uporabili frekvenco 8 kHz in interval vzorčenja 69 μ s. Mreža je bila sestavljena iz 50 profilov dolžine 500 m (SV-JZ) in 21 profilov dolžine 1225 m (SZ-JV). Profili so bili med seboj oddaljeni 25 metrov. Poleg tega smo na začetku vsakega snemalnega dne opravili meritev hitrosti potovanja zvoka skozi vodni stolpec z SVP sondo, kar nam je omogočilo kasnejšo pretvorbo odbojev iz časovne v globinsko domeno.

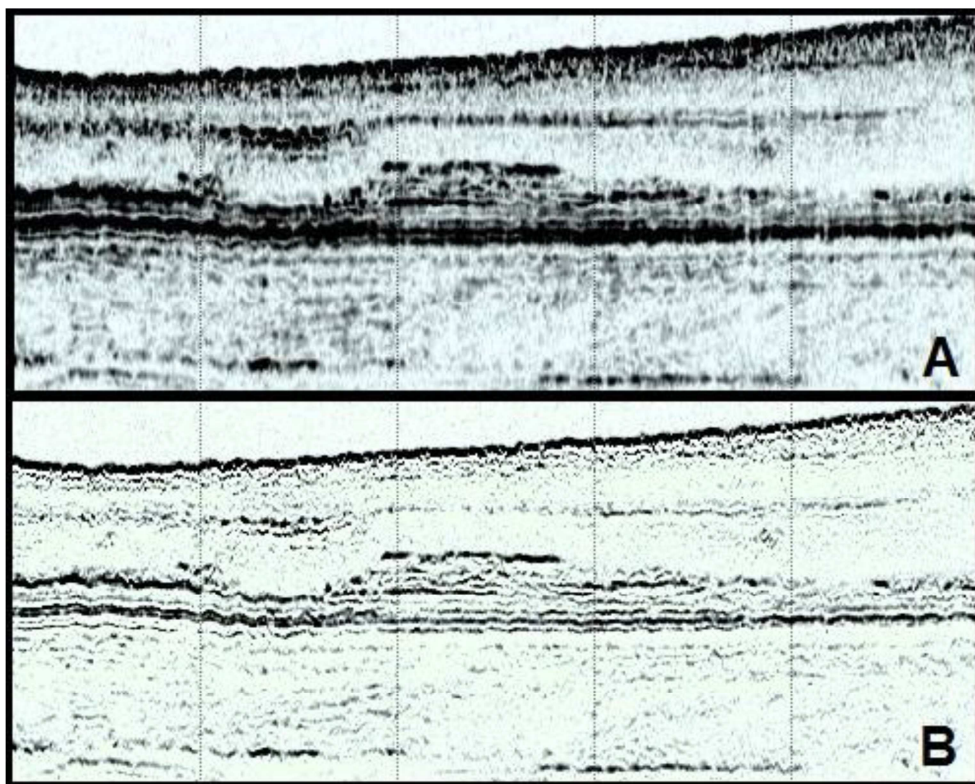
Posnete profile smo iz proizvajalčevega *.ses datotečnega formata najprej pretvorili v standardni SEG-Y format, ki je združljiv s programsko opremo za obdelavo in interpretacijo seizmičnih profilov. Sledila je dekonvolucija podatkov s programom »Kogeo«, za odstranitev vpliva morskega valovanja pa smo uporabili program »RadExPro«.

Posnete sonarske profile smo interpretirali s pomočjo programa »IHS Kingdom«, pri čemer smo določili zgornje ploskve interpretiranih akustičnih faciesov. Za izdelavo trirazsežnih modelov ploskev in pretvorbo modelov iz časovne v globinsko domeno smo uporabili program »SKUA-GOCAD«.

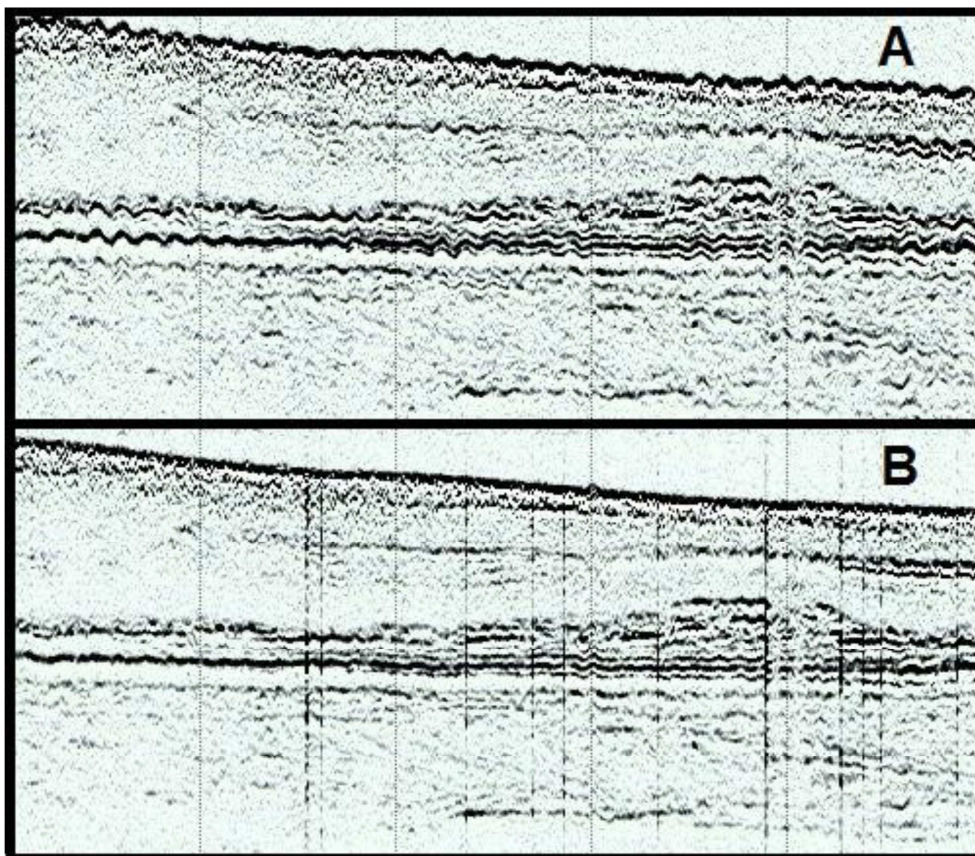
Rezultati

Na sliki 2 je prikazan rezultat dekonvolucije, s katero smo izboljšali vertikalno ločljivost zajetih profilov. Na obdelanem profilu (slika 2B) je prvi odboj, ki predstavlja morsko dno, bolj izrazit, kot na neobdelanem profilu (slika 2A). Poleg tega so tudi vsi odboji v osrednjem delu profila precej bolj izraziti in natančneje določljivi.

Na sliki 3 je prikazan rezultat odstranjevanja vpliva morskega valovanja iz sonarskega profila, ki smo ga dosegli s povprečenjem vrednosti zapisanih v glavah sledi SEG-Y datotek. Nazobčani odboji na neobdelanem profilu (slika 3A) zaradi odmika odboja od dejanskega položaja v časovni domeni otežijo interpretacijo in kasnejše modeliranje. Na sliki 3B je prikazan profil po odstranitvi vpliva morskega valovanja, na katerem je očitna izboljšava kvalitete zajetih podatkov.

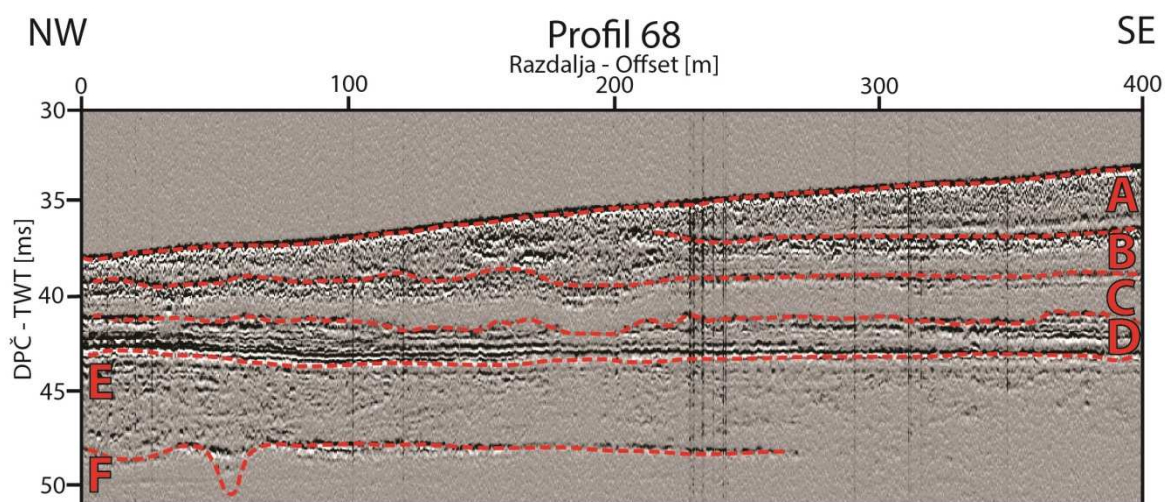


Slika 2 – Primer sonarskega profila pred (A) in po dekonvoluciji (B).



Slika 3 – Primer sonarskega profila pred (A) in po odstranitvi vpliva morskega valovanja (B).

Na obdelanih profilih smo na podlagi geometrije, zveznosti, frekvence in amplitude odbojev določili šest akustičnih faciesov, katerih zgornje ploskve se nahajajo med 26,4 in 51,3 ms dvojnega potovalnega časa (slika 4). Modeli zgornjih ploskev akustičnih faciesov, ki smo jih pretvorili v globinsko domeno z uporabo povprečja meritev SVP sonde (1.514 m/s), se nahajajo na globinah med 20,2 in 39,4 m.

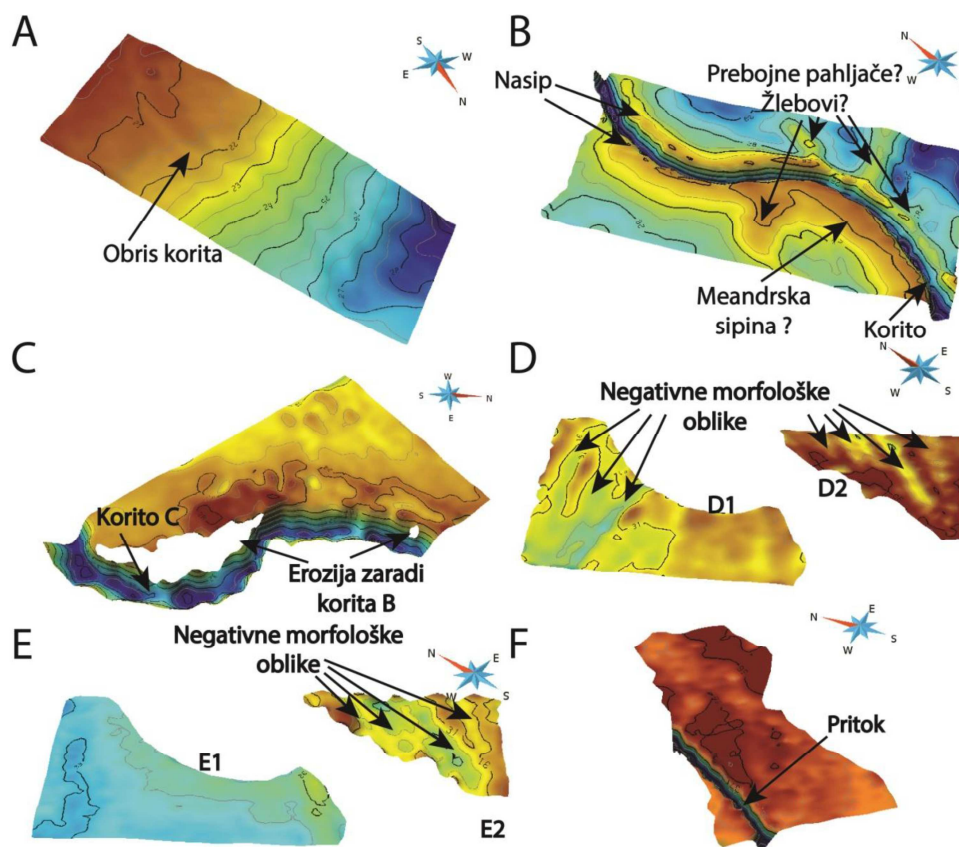


Slika 4 – Profil 68 z označenimi šestimi interpretiranimi akustičnimi.

Razprava

Na podlagi interpretiranih sonarskih profilov, trirazsežnih modelov zgornjih ploskev akustičnih faciesov in predhodnih raziskav smo izdelali interpretacijo geološkega razvoja raziskovanega območja v poznem kvartarju (slika 5). Akustični faciesi od F do B predstavljajo zgornji del plio-pleistocenskih sedimentov, ki so se odlagali med kvartarnimi transgresijsko-regresijskimi cikli. Akustični facies A se je odložil po zadnji transgresiji.

Akustični facies F (slika 5F) predstavlja kontinentalno sedimentacijo v bližini manjšega paleopritoka, ki ga prekrivajo sedimenti akustičnega faciesa E (slika 5E), ki so nastali s postopnim vdiranjem morja proti kopnemu in posledičnem prehodu iz kontinentalnega v paralično sedimentacijsko okolje, za katerega so bili značilni visoko-energijski pogoji odlaganja s pogostim premeščanjem in predelovanjem sedimenta. Sedimenti akustičnega faciesa D (slika 5D) so se odložili na poplavni ravnici v bližini paleokorita, ki se ne nahaja na raziskovanem območju. V facies D je vrezano paleokorito akustičnega faciesa C (slika 5D in 5C), ki pa je le deloma ohranjen zaradi kasnejše erozije paleokorita akustičnega faciesa B (slika 5B). Na podlagi bližine paleokorita in dušenja akustičnega signala med njima sklepamo, da je korito akustičnega faciesa B nastalo z migracijo korita akustičnega faciesa C. Akustični facies B predstavlja sedimente, ki so se odložili tik pred začetkom zadnje transgresije, zato so njihovi geomorfni elementi (prebojne pahljače, meandrske sipine, žlebovi, korito in nasipi) zelo dobro ohranjeni v stratigrafskem zapisu. Najmlajše sedimente predstavljajo holocenski morski sedimenti akustičnega faciesa A, ki so se na plio-pleistocenske sedimente začeli odlagati pred približno 9.000 leti (Ogorelec et al., 1981, Covelli et al., 2006).



Slika 5 - Modeli zgornjih ploskev akustičnih faciesov z označenimi geomorfni elementi (A: 20x razteg v vertikalni smeri; B-F: 10x razteg v vertikalni smeri).

Geomorfne oblike akustičnih faciesov C in B kažejo na to, da so negativne oblike, ki jih je v reliefu morskega dna opazovala Slavec (2012) obrisi koritnic pretekle rečne mreže v Tržaškem zalivu, ki jo prekrivajo holocenski morski sedimenti. Na raziskovanem območju je obris paleokoritnice akustičnega faciesa B izražen v morskem dnu (slika 5B), čeprav znaša debelina najmlajših sedimentov na večini območja več metrov.

Na posnetkih podpovršinskega sonarja nismo opazili deformacij sedimenta, ki bi jih lahko pripisali tektonski aktivnosti. Poleg tega tudi paleokoritni akustičnih faciesov B in C nista vertikalno ali horizontalno zamaknjeni, zato izključujemo tektonsko aktivnost na raziskovanem območju vsaj v zadnjih 9.000 letih.

Uporaba parametričnega podpovršinskega sonarja za snemanje profilov v gosti pravokotni mreži se je izkazala za učinkovito in hitro metodo raziskovanja seizmične stratigrafije najmlajših sedimentov slovenskega morja. Korelacijo in potrditev interpretacije bi lahko dosegli z dodatnimi sedimentološkimi podatki in datacijami vzorcev cevnege jedrnika ali vrtin na raziskovanem območju.

Zahvale

Zahvaljujemo se zaposlenim v podjetju Harpha Sea d.o.o. in posadki »Lyre« za sodelovanje pri zajemu sonarskih profilov. Poleg tega se zahvaljujemo tudi zaposlenim na inštitutu OGS – Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale iz Trsta, da so prvi avtorici omogočili uporabo programa IHS Kingdom pri interpretaciji sonarskih profilov v sklopu Erasmus+ praktičnega usposabljanja.

Raziskava je potekala pod okriljem raziskovalnega projekta L1-5452 »Uporaba sonarja v raziskavah aktivne tektonike in paleoseizmologije na ozemljih z nizko intenzivnostjo deformacij«, ki ga financirata Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in podjetje Harpha Sea d.o.o.

Literatura

- Braitenberg, C., Romeo, G., Taccetti, Q., Nagy, I. (2006). The very-broad-band long-base tiltmeters of Grotta Gigante (Trieste, Italy): Secular term tilting and the great Sumatra-Andaman islands earthquake of December 26, 2004, *Journal of Geodynamics* 41, 164-174.
- Busetti, M., Volpi, V., Nicolich, R., Barison, E., Romeo, R., Baradello, L., Brancatelli, G., Giustiniani, M., Marchi, M., Zanolla, C., Wardell, N., Nieto, D., Ramella, R. (2008a). Dinaric tectonic features in the Gulf of Trieste (northern Adriatic sea), *Bollettino di Geofisica Teoretica ed Applicata* 51/2-3, 117-128.
- Busetti, M., Volpi, V., Barison, E., Giustiniani, M., Marchi, M., Ramella, R., Wardell, N., Zanolla, C. (2008b). Meso-Cenozoic seismic stratigraphy and the tectonic setting of the Gulf of Trieste (northern Adriatic), *GeoActa Special publication* 3, 1-14.
- Carulli, G. B. (2011). Structural model of the Trieste Gulf: A Proposal, *Journal of Geodynamics* 51, 156-165.
- Covelli, S., Fontolan, G., Faganeli, J., Ogrinc, N. (2006). Anthropogenic markers in the Holocene stratigraphic sequence of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea), *Marine Geology* 230, 23-51.
- Furlani, S., Biolchi, S., Cucchi, F., Antonioli, F., Busetti, M., Melis, R. (2011). Tectonic effects on Late Holocene sea level changes in the Gulf of Trieste (NE Adriatic Sea, Italy), *Quaternary International* 232, 144-157.
- Ogorelec, B., Mišič, M., Šercelj, A., Cimerman, F., Faganeli, J., Stegnar, P. (1981). Sediment sečoveljske soline, *Geologija* 24/2, 179-216.

- Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J., Stegnar, P., Vrišer, B., Vukovič, A. (1987). Recentni sedimenti Koprškega zaliva, *Geologija* 30, 87-121.
- Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J. (1991) Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic) : Sedimentological aspects, *Marine Geology* 99, 79-92.
- Placer, L. (2008). Principles of the tectonic subdivision of Slovenia, *Geologija* 51/2, 205-217.
- Placer, L., Vrabec, M., Celarc, B. (2010). The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria peninsula tectonics, *Geologija* 53/1, 55-86.
- Placer, L. (2015). Simplified structural map of Kras : Kras (Slovene), Carso (Italian) = Geographical unit, *Geologija* 58/1, 89-93.
- Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M. (2007). Recentna aktivnost regionalnih geoloških struktur v zahodni Sloveniji, *Geologija*, 50/1, 111-120.
- Romeo, R. (2009): Studio geofisico integrato ad alta risoluzione dei depositi marini e della struttura del substrato della riviera di Miramare (Golfo di Trieste). Unpublished doctoral thesis, Università degli Studi di Trieste, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, 173 p. (in Italian).
- Slavec, P. (2012): Analiza morfologije morskega dna slovenskega morja (Slovenian seafloor morphology analysis). Unpublished master thesis, Univerza v Ljubljani, NTF, 58 p. (in Slovenian).
- Trobec, A. (2015): Raziskave zgradbe sedimentnega morskega dna v Strunjanskem zalivu s podpovršinskim sonarjem (Investigation of sea bottom sediment structure in the Strunjan bay with sub-bottom sonar profiler). Unpublished master thesis, Univerza v Ljubljani, NTF, 66 p. (in Slovenian).
- Trobec, A., Buseti, M., Zgur, F., Baradello, L., Babich, A., Cova, A., Gordini, E., Romeo, R., Tomini, I., Vrabec, M. (2015). Karta debeline holocenskih morskih sedimentov v Tržaškem zalivu. 22. posvetovanje slovenskih geologov, Ljubljana, november 2015, Razprave, poročila, Geološki zbornik 23, Ljubljana, 198-200.
- Vrabec, M., Slavec, P., Poglajen, S., Buseti, M. (2012). Geomorphology of submerged river channels indicates Late Quaternary tectonic activity in the Gulf of Trieste, Northern Adriatic. European Geoscience Union, General Assembly 2012, Vienna, Austria, 22-27 April 2012 : Geophysical Research Abstracts 14, Vienna, 8124-1.
- Vrabec, M., Buseti, M., Zgur, F., Facchin, L., Pelos, C., Romeo, R., Sormani, L., Slavec, P., Tomini, I., Visnovich, G., Žerjal, A. (2014). Refleksijske seizmične raziskave v slovenskem morju SLOMARTEC 2013. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2013 : zbornik del, Ljubljana, 97-101.
- Zampa, L., Buseti, M., Furlani, S., Baradello, L., Romeo, R. (2015). Evidence of neo-tectonic tilting in the Gulf of Trieste. Proceedings : GeoSUB - Underwater geology, Trieste, 13-14 October 2015, Trieste, 72-73.