

Refleksijske seizmične raziskave v slovenskem morju SLOMARTEC 2013

M. Vrabc¹, M. Buseti², F. Zgur², L. Facchin², C. Pelos², R. Romeo², L. Sormani²,
P. Slavec³, I. Tomini², G. Visnovich², A. Žerjal³

Ključne besede: refleksijska seizmika, Tržaški zaliv, Dinaridi, tektonika

Key words: reflection seismics, Gulf of Trieste, Dinarides, tectonics

Uvod

V letih 2005 in 2009 je bil italijanski del Tržaškega zaliva raziskan z večkanalnim refleksijskim seizmičnim profiliranjem, ki je razkrilo globinsko strukturo in stratigrafijo območja in pokazalo znake recentne tektonske aktivnosti (Busetti et al., 2010a, b). V marcu 2013 smo v slovensko-italijanskem sodelovanju v kampanji SLOMARTEC 2013 refleksijske seizmične profile posneli še v slovenskih ozemeljskih vodah. Združeni nabor podatkov vseh snemalnih kampanj omogoča korelacijo geoloških struktur iz podpovršja Tržaškega zaliva s strukturami, ki izdanjajo na kopnem vzdolž slovenske Obale.

Geološka zgradba

Tržaški zaliv in njegovo kopno zaledje pripada severnemu delu Jadranskega predgorja Alpsko-Dinarskega orogena. Do paleogena, ko je bilo območje del Jadranske karbonatne platforme, se je tu odložilo debelo zaporedje pretežno mezozojskih karbonatnih kamnin. Med narivanjem Dinaridov proti jugozahodu v eocenu je bila karbonatna platforma fleksurno upognjena in prekrita z debelimi nanosi sinorogenih turbiditnih sedimentov. V drugem sunku terciarne kompresijske tektonike v Alpah, med narivanjem Južnih Alp proti jugu, so se v zahodnem delu območja odložili še zgornjemiocenski kontinentalni in priobalni sedimenti molasnega tipa. Med Mesinijsko regresijsko fazo je s subaersko erozijo v morskem dnu nastala kompleksna topografija. V zahodnem delu Tržaškega zaliva nanjo nalegajo pliocenski morski sedimenti, ki jim sledi še ena regresija v zgornjem pliocenu. Povsem na vrhu stratigrafskega zaporedja se menjavajo morski, prehodni in kontinentalni sedimenti, ki so se odložili v transgresijsko –regresijskih ciklih, povzročenih z menjavanjem hladnih in toplih obdobj v pleistocenu (npr. Busetti et al., 2010a, b).

Izrazito NW-SE usmerjena strukturiranost območja je pogojena s kompresijskimi strukturami Dinarskega narivnega sistema. Vodilna struktura je topografsko izrazit nariv Kraškega roba ("Dinaric frontal ramp" v italijanski terminologiji), v katerem so vzdolž NE obale zaliva platformni karbonati narinjani preko eocenskega fliša (npr. Placer 2007). Nariv se na NW v Furlaniji nadaljuje v Palmanovski nariv (Busetti et al., 2010a, b; Placer et al., 2010; Carulli, 2011). Fleksurno upognjeno predgorje nariva sekajo podrejeni narivi, npr. Buzetski in Bujski nariv, ki so bili kartirani na kopnem (Placer, 2007; Placer et al.,

¹ UL - Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana

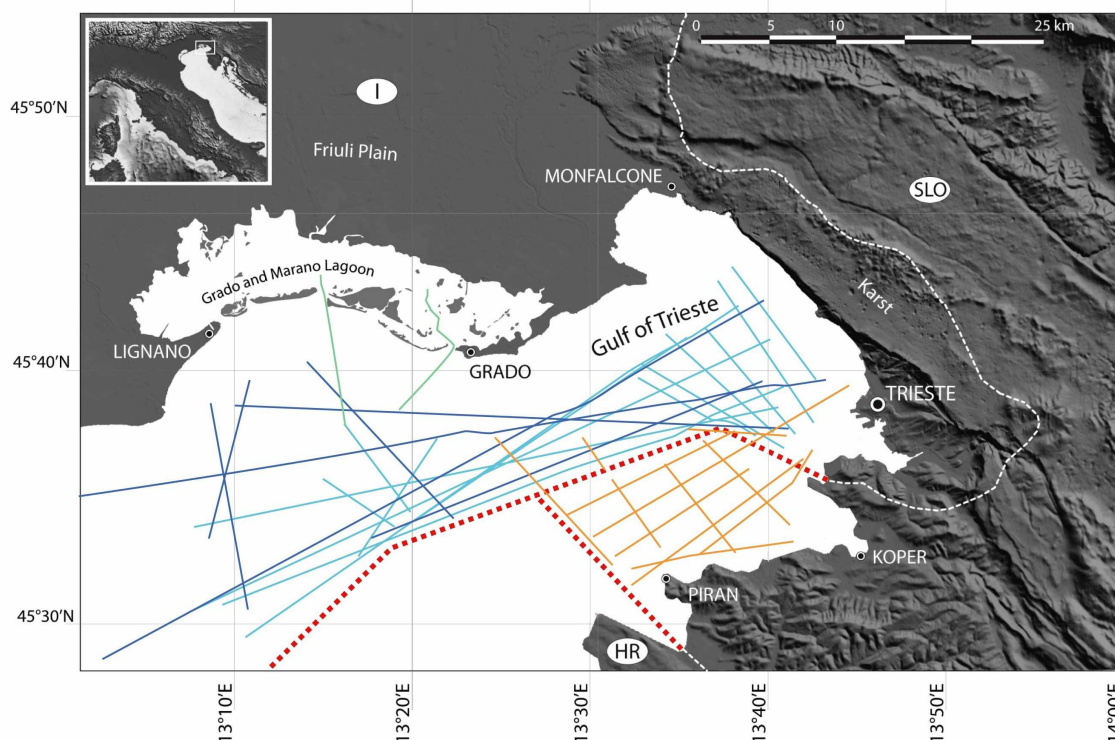
² OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante 42/c, 34010 Sgonico, Trst, Italija

³ Harpha Sea d.o.o., Čevljarska 8, 6000 Koper

2010), glavna ločilna ploskev tega čelnega narivnega sistema pa poteka po kontaktu med flišem in spodaj ležečimi karbonati (Buseti et al., 2010a, b).

Seizmične raziskave

Podmorska zgradba Tržaškega zaliva je bila raziskana v večih geofizikalnih raziskovalnih kampanjah. Z raziskavami v italijanskem delu zaliva v letih 2005 in 2009 je bilo posnetih 524 km večkanalnih refleksijskih seizmičnih profilov in plitvih visokoločljivih Chirp profilov (Slika 1).



Slika 2: Položaj večkanalnih seizmičnih in Chirp profilov, posnetih z raziskovalno ladjo R/V OGS Explora v Tržaškem zalivu v letih 2005 (modre linije), 2009 (svetlomodre linije) in 2013 v kampanji SLOMARTEC (oranžne linije) v skupni dolžini 656 km.

Snemalna kampanja v slovenskem morju SLOMARTEC 2013 je potekala med 18. in 21. marcem 2013 v organizaciji Univerze v Ljubljani, inštituta OGS in podjetja Harpha Sea. Snemanje je bilo izvedeno z raziskovalno ladjo R/V OGS Explora. Seizmični vir je bila zračna puška (Generated Injection Air Gun) s štirimi viri, urejenimi v polje dimenzij 2 x 2 m. Globina streljanja je bila 4 m, razdalja med strelnimi točkami pa 12,5 m. V tej konfiguraciji znaša pričakovana vertikalna ločljivost podatkov med 2 m in 4 m. Odbiti seizmični valovi so bili zajemani s 96 kanalnim digitalnim podmorskim snemalnim kablom dolžine 1200 m z medsebojno razdaljo hidrofonom 12,5 m in horizontalno ločljivostjo profilov 6,25 m. Tudi snemalni kabel je bil vlečen na globini 4 m pod površjem. Hkrati s snemanjem večkanalne refleksijske seizmike so bili snemani visokoločljivi plitvi Chirp profili, topografija morskega dna z večsnopnim sonarjem, ter gravimetrični podatki.

V kampanji SLOMARTEC je bilo posnetih skupno 132 km večkanalnih refleksijskih seizmičnih profilov in 150 km Chirp profilov (Slika 1). Obdelava profilov je še v teku, zato

v prispevku predstavljamo prve, preliminarne interpretacije na podlagi nemigriranih profilov.

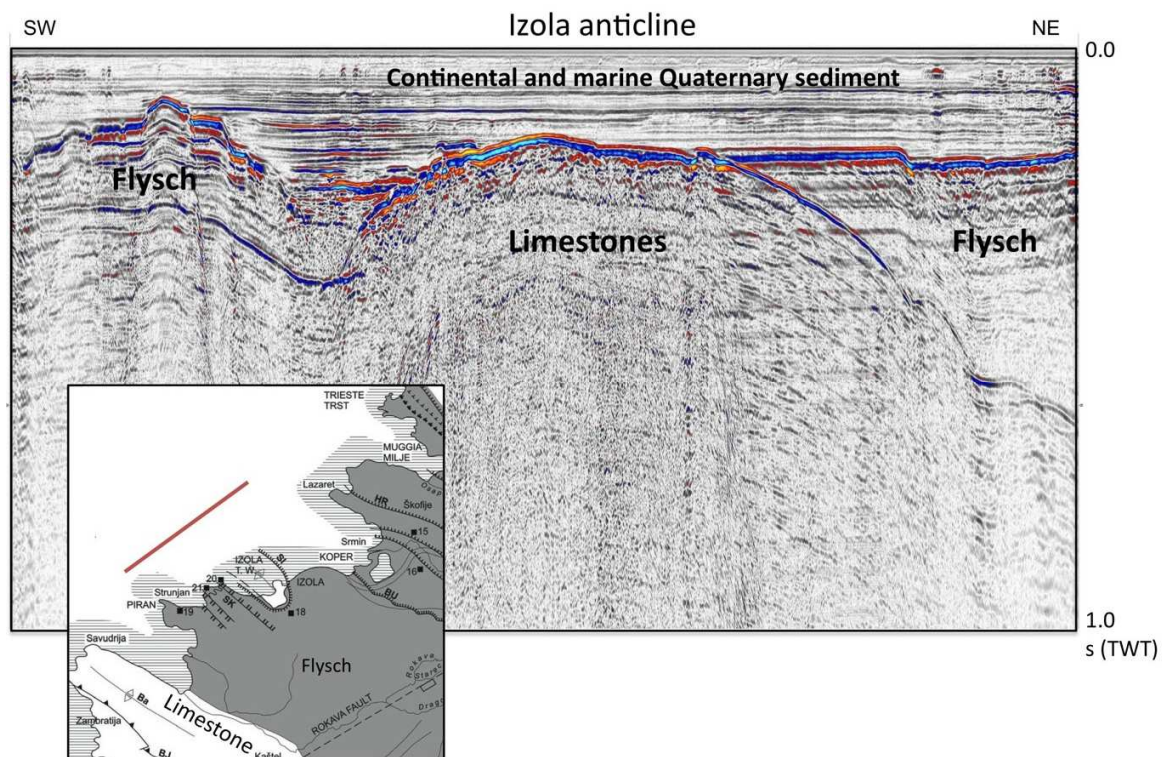
Rezultati

Na pridobljenih profilih so dobro razvidne tri značilne stratigrafske enote, poznane že iz raziskav v italijanskem delu zaliva (Slika 2). Na vrhu ležijo do nekaj 100 m debeli subhorizontalni, izrazito plastnati kvartarni sedimenti morskega in kontinentalnega izvora, katerih debelina se povečuje proti sredini Tržaškega zaliva. Pod erozijsko diskordanco, ki je na profilih vidna kot izrazit reflektor, se nahajajo eocenski turbiditni sedimenti. Erozijska mejna ploskev med flišem in pleistocenskimi sedimenti ima značilno terasasto morfologijo, ki je vsaj deloma pogojena s prelomi. Že na nemigriranih profilih je ponekod šibko razvidna plastnatost znotraj flišne formacije. Najnižje ležijo platformni karbonati, ki so od eocenskega fliša ločeni z naslednjo stratigrafsko diskordanco ki je tudi močan seizmični reflektor. Ponekod so eocenske plasti popolnoma erodirane, tako da pleistocenski sedimenti nalegajo neposredno na karbonate (Slika 2). Notranja struktura v karbonatnem paketu je le slabo razvidna, kamnine izgledajo nagubane ali nagnjene proti NE.

Struktura območja jasno kaže na večfazen razvoj. Med Dinarskim narivanjem je nastala serija narivov in gub v NW-SE orientaciji. Na seizmičnih profilih je denimo lepo vidna nekaj km široka Izolska antiklinala, v katere temenu pri Izoli na površju izdajajo karbonati izpod flišnih plasti (Slika 2). Na zaporednih profilih je vidno, da os te antiklinale tone polagoma proti NW. Severno od Izolske antiklinale profile sekajo manjši položni narivi, ki se po legi ujemajo s strukturami ki so bile kartirane na kopnem, kot so npr. Buzetski in Hrastoveljski nariv (Placer, 2007). Premiki ob teh narivih niso veliki in ne sekajo pleistocenske diskordance. Na profilih v italijanskem delu Tržaškega zaliva je ponekod vidno gubanje fliša tik nad diskordantno mejo s spodaj ležečimi karbonati, zaradi česar je bila diskordanca interpretirana kot ločilna ploskev narivnega sistema (Buseti et al., 2010a, b).

Narivno strukturo sekajo mlajši subvertikalni prelomi, ob katerih so ponekod jasno vidni večji zamiki stratigrafskih horizontov. Na podlagi opažanj gubanja, lokalnega dviganja in pozitivnih palmastih struktur ob teh prelomih, ki so vidne ponekod v italijanskem delu zaliva, je bil značaj prelomov interpretiran kot transpresiven (Buseti et al., 2010a, b). Aktivnost teh prelomov povezujemo z najmlajšo fazo konvergence med Jadransko mikroploščo in Evrazijo, ki jo dokazujejo GPS meritve (Bechtold et al., 2009; Weber et al., 2010). Izrazit, s prelomi omejen hrbet s strukturo horsta poteka od Pirana proti NW (Slika 2). Ti prelomi bi vsaj deloma lahko bili reaktivirani mezozojski robni normalni prelomi karbonatne platforme, ki so zelo lepo vidni na seizmičnih profilih osrednjega dela Tržaškega zaliva (Buseti et al., 2010a, b). Subvertikalni prelomi večinoma jasno sekajo in do nekaj 10 m zamikajo erozijsko diskordanco na bazi pleistocenskih plasti. Vsaj na nekaterih mestih moremo iz nemigriranih profilov sklepati tudi na šibke obprelomne deformacije kvartarnih plasti. Ta opažanja nakazujejo možnost aktivnih tektonskih deformacij v območju Tržaškega zaliva, ki bi v tem gosto naseljenem in industrializiranem območju lahko pomenile določeno stopnjo potresne ogroženosti. Iz širšega območja Tržaškega zaliva sicer nimamo podatkov o pomembnejših zgodovinskih potresih, šibka je tudi instrumentalno registrirana seizmičnost v modernem obdobju, kar pa je lahko pogojeno z majhnimi hitrostmi deformiranja in zelo dolgimi povratnimi dobami med potresi.

Tako na večkanalnih seizmičnih profilih kot na visokoločljivih Chirp profilih so v kvartarnih sedimentih jasno vidni pojavi fluidov, ki se napajajo iz prelomov v predkvartarni podlagi. Prisotnost fluidov se kaže v obliki ozko lokaliziranih visokofrekvenčnih območji na profilih, ki so jasno vezana na subvertikalne prelome (Slika 2). Pojavi izhajanja termalne vode in plinov (večinoma metana) na morskem dnu so dobro znani na celotnem območju Tržaškega zaliva. Pri nas so najbolj znani podvodni nizkoentalpijski termalni izviri pri Izoli (Žumer, 2004), ki ležijo v temenu Izolske antiklinale. V kvartarnih sedimentih se pojavljajo tudi širši, do nekaj 100 m široki pasovi izrazito nizkoamplitudnih signalov, ki kažejo na akumulacije fluidov, ki se bodisi napajajo iz prelomov, ali pa gre za akumulacije biogenega plina (Slika 2).



Slika 2: Nemigriran večkanalni seizmični refleksijski profil vzdolž slovenske obale preko Izolske antiklinale iz kampanje SLOMARTEC 2013. Jasno so razvidne glavne stratigrafske enote (kvartarni morski in kontinentalni sedimenti, eocenski fliš, platformni karbonati) ter erozijsko-diskordantne meje med njimi, ki predstavljajo močne seizmične reflektorje. Lepo je vidna Izolska antiklinala v sredini slike, ter s prelomi omejen topografsko dvignjen hrbet pri Piranu. Močni odboji v kvartarnih plasteh ob desnem robu profila predstavljajo akumulacije fluidov v sedimentih. Položajna karta (iz Placer et al., 2010) prikazuje lego profila (rdeča linija) in geološke strukture, ki so bile kartirane na kopnem.

Zaključki

Visokokvalitetni večkanalni seizmični profili, ki smo jih v slovenskem morju posneli v kampanji SLOMARTEC 2013 predstavljajo pomemben prispevek k razumevanju strukture in geneze Tržaškega zaliva in širšega območja čelnega dela Dinarskega naravnega sistema. S snemanjem smo pokrili doslej neraziskano območje med italijanskim delom zaliva in

istrsko obalo, kamor se strukture iz podmorja nadaljujejo na površje. Naša študija predstavlja dokaj redek primer, ko je mogoče podpovršinsko strukturo iz seizmičnega snemanja na morju neposredno korelirati s podatki geološkega kartiranja na kopnem. Strukturna interpretacija pridobljenih profilov je pomembna tudi za eventuelno izkoriščanje nizkoentalpijskih termalnih vod, katerih prisotnost se kaže na posnetih profilih. Opazili smo tudi znake kvartarnih prelomnih deformacij v sedimentih morskega dna, ki bi lahko kazali na potresno ogroženost zaledja Tržaškega zaliva, kar pa bomo podrobneje raziskali z nadaljnimi raziskavami.

Zahvale

Snemanje je bilo financirano s strani OGS v okviru poziva za uporabo raziskovalne ladje R/V OGS Explora v letu 2013, ki ga finančno pokriva italijansko ministrstvo za izobraževanje, univerze in znanost, ter iz raziskovalnega projekta L1-5452 "Uporaba sonarja v raziskavah aktivne tektonike in paleoseizmologije na ozemljih z nizko intenzivnostjo deformacij", ki ga sofinancirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in podjetje Harpha Sea d.o.o. Zahvaljujemo se kapitanu Francu Sedmaku in posadki ladje R/V OGS Explora za opravljeno trdo delo med snemanjem, ter podjetju Harpha Sea d.o.o. in posadki spremljevalnega plovila Lyra za logistično podporo snemanju. Vladi Republike Slovenije, posebej pa ge. Nataliji Kokalj iz Uprave RS za pomorstvo pri Ministrstvu za infrastrukturo in prostor se zahvaljujemo za izjemno hitro izdajo potrebnih dovoljenj za izvedbo snemanja, brez česar izvedba kampanje ne bi bila mogoča.

Literatura

- Bechtold, M., M. Battaglia, D. C. Tanner, and D. Zuliani, 2009. Constraints on the active tectonics of the Friuli/NW Slovenia area from CGPS measurements and three-dimensional kinematic modelling. *J. Geophys. Res.*, 114, B03408, doi:10.1029/2008JB005638.
- Busetti M., Volpi V., Barison E., Giustiniani M., Marchi M., Ramella R., Wardell N. and Zanolla C., 2010a: Meso-Cenozoic seismic stratigraphy and the tectonic setting of the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *GeoActa*, SP3, 1-14.
- Busetti M., Volpi V., Nicolich R., Barison E., R. Romeo, L. Baradello, Brancatelli G., Giustiniani M., Marchi M., Zanolla C., Wardell N., D. Nieto, and Ramella R.; 2010b: Dinaric tectonic features in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 51(2-3), 117-128.
- Carulli G.B., 2011: Structural model of the Trieste Gulf: a proposal. *Journal of Geodynamics*, 51, 156-165.
- Placer L., 2007. Kraški rob. Geološki prerez vzdolž AC Kozina – Koper. *Geologija* 50, 29-44, doi:10.5474/geologija.2007.003
- Placer L., Vrabc M., and Celarc B., 2010. The base for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula Tectonics. *Geologija* 53/1, 55-86, doi:10.5474/geologija.2010.005
- Weber, J., Vrabc M., Pavlovčič-Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B., 2010: GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. *Tectonophysics* 483, 214-222, doi:10.1016/j.tecto.2009.09.001
- Žumer J., 2004: Odkritje podmorskih termalnih izvirov. *Geografski Obzornik*, 51(2), 11-17.