

Geologia e geomorfologia del Carso Classico

Geologija in geomorfologija klasičnega Krasa

FRANCO CUCCHI*, SARA BIOLCHI*, LUCA ZINI*, BOGDAN JURKOVŠEK**, TEA KOLAR-JURKOVŠEK**

* Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

** Geološki zavod Slovenije

2.1 Litologia e assetto strutturale

Nel Carso Classico affiorano litotipi carbonatici (calcari e, subordinatamente, dolomie) molto recentemente riuniti in unità litostratigrafiche ancora informali e provvisorie a superamento delle numerose attribuzioni precedenti. La successione stratigrafica del Carso è stata infatti oggetto di studio da parte di numerosi Autori fin dal secolo scorso. G. Stache in particolare ha pubblicato nel 1882 una monografia che resta tuttora una fonte di dati e di informazioni di cui tutti i successivi Autori hanno tenuto conto.

Dalla collaborazione tra geologi sloveni e italiani, attivata nell'ambito del Progetto HYDROKARST, è emersa la necessità di unificare le unità formazionali e la loro nomenclatura. Estraeendo, di comune accordo, i dati litostratigrafici, paleontologici, mineropetrografici raccolti sul campo dai geologi italiani e sloveni, si è giunti alla compilazione di una Carta geologica unitaria del Carso Classico (Tavola 1) che fa parte dei prodotti del Progetto e le cui peculiarità sono qui descritte ed illustrate. La carta geologica nasce dalla sintesi, dall'unione e dall'omogeneizzazione di precedenti lavori, sia da parte italiana (Martinis, 1951; D'Ambrosi, 1953; Cucchi et al., 1987; Carulli, 2006; Cucchi & Piano, 2013) che slovena (Buser, 1968, 1967; Buser et al., 1967; Pleničar et al., 1973; Jurkovšek, 2010). Nella descrizione sono proposti molti dati già noti in letteratura e altri di recente acquisizione e non ancora editi.

2.1 Litologija in strukturna razčlenitev

V kraškem svetu se pojavljajo različni litotipi karbonatnih kamnin (pretežno apnenci in dolomiti), ki so ponekod združeni v trenutno še neformalne litostratigrafske enote. Imena tistih enot, ki so že formalizirane so pisana z veliko, neformalizirane pa z malo začetnico. S stratigrafskim zaporedjem tega prostora so se podrobno ukvarjali številni avtorji že od konca 19. stoletja dalje. Med njimi je bil G. Stache, ki je že leta 1882 objavil monografijo o razvoju krednih in paleogenskih plasti Klasičnega Krasa.

Ob usklajevanju geoloških podatkov na italijanski in slovenski strani Krasa smo v sklopu Projekta HYDROKARST poskusili kartografsko čimbolj poenotiti vse litostratigrafske enote. Na osnovi skupnega dogovora smo uskladili vse litostratigrafske, paleontološke in mineraloške - petrografske podatke, ki so jih na terenu zbrali italijanski in slovenski geologi. Izrisali smo enotno geološko karto Klasičnega Krasa (Priloga 1), ki je sestavni del tega projekta. Predstavljena geološka karta je nastala na osnovi prirejenih in poenotenih predhodnih del, tako italijanskih (Martinis, 1951; D'Ambrosi, 1953; Cucchi et al., 1987; Carulli, 2006; Cucchi & Piano, 2013) kot slovenskih geologov (Buser, 1968, Buser et al., 1967; Pleničar et al., 1973; Jurkovšek, 2010; Jurkovšek et al., 1996, 2013). Predstavljene so številni podatki, ki so v literaturi že znani, mnogo pa je novosti, ki so bile ugotovljene kasneje in še niso bile objavljene.

2.1.1 Unità litostratigrafiche

Le rocce che affiorano sul Carso Classico appartengono ad una successione di piattaforma carbonatica, definita da Velić et al. (2002) e Vlahović et al. (2005) come Piattaforma Carbonatica Adriatica (AdCP), che ha una potenza complessiva di circa 6.000 m e la cui radice è del Giurassico inferiore. Nel Carso affiora la sola sequenza cretaco-paleogenica, con spessore superiore ai 2.000 m (Figura 2.1), che inizia con la formazione di Brje (Cretaco inferiore), seguita dalla formazione

2.1.1 Litostratigrafiche enote

Kamnine, ki gradijo klasični Kras, so nastajale na obsežni karbonatni platformi, ki jo Velić in sodelavci (2002) in Vlahović in sodelavci (2005) imenujejo Jadranska karbonatna platforma (AdCP), Jurkovšek in sodelavci (2013) pa Jadransko-dinarska karbonatna platforma. Skupna debelina mezozojskih karbonatnih kamnin, nekdanje karbonatne platforme je preko 6.000 m, na Krasu pa izdajajo le kredne i paleogenske plasti v skupni debelini več kot 2.000 m (Slika 2.1).

ETA STAROST	SIMBOLO SYMBOL	m	LITOSTRATIGRAFISKE ENOTE (SLOVENIJA)	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE (ITALIA)
PALEOGENE/PALEOGEN	Eocene Eocen		Fliš	Flysch
		< 50 m	Prehodne plasti	Strati transizionali
	Paleogene Paleogen	50-350 m	Alveolino-numulitni apnenec	Calcarei ad Alveoline e Nummuliti
		70-250 m	Trsteljska formacija	Formazione Liburnica C
CRETACICO SUPERIORE/ZGORNJA KREDA	MAAST.	50-300 m	Liburnijska formacija	Formazione Liburnica A e B
	CONIACICO-SANTONIANO-CAMPAJANO CONIACIO-SANTONIO-CAMPANIO	emerzija	emerzija	emersione
		150-400 m	Lipiška formacija b. Tomajski apnenec	Calcarei di Aurisina (parte superiore) b. Calcarei di Tomaj
	TURGONIANO TURGONI	230-500 m	Sežanska formacija a. Komenski apnenec	Calcarei di Aurisina (parte inferiore) a. Calcarei di Comeno
		<200 m	Repenska formacija a. Komenski apnenec	Calcarei di Zolla a. Calcarei di Comeno
	ALBANO-CENOMANIANO ALBI-CENOMANO	300-700 m	Povirska formacija DO = Dolomit	Formazione di Monrupino Calcarei di Monte Coste DO = Dolomie
		>500 m	Brška formacija DO = Dolomit	Formazione di Brje DO = Dolomie
CRETACICO INFERIORE/SPODNJA KREDA	VALANGIANO-APTIANO VALANGIEN-APTII			

Figura 2.1
Colonna stratigrafica.

Slika 2.1
Geološki stolpec.

di Povir (Cretacico inferiore-superiore). Continua con le formazioni di Repen e dei Calcari di Aurisina (Cretacico superiore) e si chiude con la Formazione Liburnica, che include il limite Cretacico-Paleogene. Le unità successive, di età paleogenica, sono rappresentate dalla Formazione di Trstelj e dai Calcari ad Alveoline e Nummuliti.

La sequenza carbonatica termina con gli Strati Transizionali ed è seguita dalla deposizione del Flysch (Eocene).

2.1.1.1 Formazione di Brje (Berriasiano?-Valanginiano-Aptiano)

La Formazione di Brje ha uno spessore di 500 m ed è composta da dolomie nella parte inferiore e da calcari nella parte superiore, tipici di ambiente lagunare di piattaforma poco profondo e a bassa energia. Il contenuto fossilifero è rappresentato da Requinidi (rudiste), gasteropodi, miliolidi, coralli e idrozoi (Jurkovšek et al., 2013). Il limite superiore corrisponde ad un brusco abbassamento del livello del mare tra l'Aptiano e l'Albiano, che ha provocato la deposizione di un livello di breccia riconoscibile lungo l'intera Piattaforma Carbonatica Adriatica (Tišljar & Velic, 1991; Vlahovič et al., 2005).

2.1.1.2 Calcari di Monte Coste e Formazione di Monrupino – Formazione di Povir (Albiano-Cenomaniano)

La Formazione di Povir, comprensiva, come età e litologia, delle formazioni dei Calcari di Monte Coste e della Formazione di Monrupino riconosciute in Italia, ha alla base calcari stratificati, localmente tabulari, scuri, con tessitura tipo mudstone - wackestone, ricchi in foraminiferi. Frequenti sono i livelli brecciati legati alla fase tettonica sinsedimentaria della piattaforma e le tasche micritiche rossastre di origine paleocarsica. Seguono boundstone e floatstone a Requinidi in strati metrici, packstone a Nerineidi e livelli di tempestiti organizzati in cicli metrici. In Italia questi calcari prendono il nome di Calcari di Monte Coste e si chiudono con un livello dolomitico carsificato sottostante a breccie scure dolomitizzate. Superiormente si trova una breccia dolomitica legata alle fasi di emersione della piattaforma durante l'attività tettonica Cenomaniana che ha provocato localmente fenomeni di carsificazione ed

Najstarejše so plasti Brske formacije (spodnja kreda), na kateri ležijo karbonatne kamnine Povirske formacije (spodnja in zgornja kreda). Nato sledita Repenska formacija in nabrežinski apnenci (zgornja kreda). Po emerzijski fazi sledijo plasti Liburnijske formacije, ki zajema tudi mejo med kredo in paleogenom. Mlajše paleogenske enote so zastopane s Trsteljsko formacijo (paleocen – eocen) in Alveolinsko-numulitnim apnencem (eocen).

Tipično platformsko karbonatno zaporedje prekrivajo hemipelagične Prehodne plasti (eocen), nad katerimi leži formacija Fliša (eocen).

2.1.1.1 Brska formacija (berriasij ?- valanginij - aptij)

Brska formacija je debela več kot 500 m in je v spodnjem delu sestavljena iz dolomitov, v zgornjem delu pa iz apnencev. Te plasti so značilne za plitvo karbonatno platformo z razmeroma nizkim energijskim indeksom. Med fosili prevladujejo lupine mehkužcev (rudisti, druge skupine školjk in polži), luknjičarke (pretežno miliolide), korale in trdoživnjaki (Jurkovšek et al., 2013). Zgornja meja formacije ustreza naglemu padcu morske gladine pod rob karbonatne platforme med aptijem in albijem, kar je povzročilo sedimentacijo breče, ki je prepoznavna vzdolž celotne Jadranske karbonatne platforme (Tišljar & Velic, 1991; Vlahovič et al., 2005).

2.1.1.2 Povirska formacija - graški apnenci in repentaborska formacija (albij - cenomanij)

Povirska formacija na slovenski strani Krasa je starostni in litološki ekvivalent graških apnencev in repentaborske formacije na italijanski strani. V sklopu te enote prevladujejo temnejše obarvani plastoviti apnenci tipov mudstone in wackestone, ki lokalno vsebujejo številne foraminifere. Pogoste so tudi plasti breče, ki so nastale zaradi sinsedimentarne tektonike, in žepi rdečkastega sedimenta paleokraškega izvora. Navzgor sledijo debelejšje plasti apnencev tipa boundstone in floatstone z rudisti, packstone z nerineidami in plasti s cikličnimi tempestiti. V Italiji se te plasti imenujejo graški apnenci, ki se zaključijo z dolomitom. Nad njim leži dolomitna breča, ki je vezana na faze dvigovanja platforme med tektonskimi premiki v cenomaniju, ki so povzročile lokalne kraške pojave in erozijo, kar v Italiji nakazuje prehodno območje z repentaborsko

erosione e che in Italia segna il passaggio alla Formazione di Monrupino. Sulla breccia dolomitica giacciono dolomie grigio-chiare e grigio-scure con laminazioni nerastre, dolomie nere cristalline a grana minuta, a stratificazione decimetrica-metrica, con frequenti tasche di dolomie e calcari micritici rosso-giallastri ed alternanze calcareo-dolomitiche (Colizza et al., 1989). Seguono calcari scuri con rudiste, *Chondrodonta Johanna*e e foraminiferi che includono localmente calcari tabulari, laminati con selce e resti fossili di pesci. L'unità ittiolitica è definita Komen Limestone (da Palci et al., 2008) e caratterizza una facies che si ripete nel tempo. Lo spessore della Formazione di Povir in territorio sloveno varia tra 300 e 600 m. In Italia i Calcari di Monte Coste hanno spessore fra 350 e 400 m. La Formazione di Monrupino è spessa da 300 a 700 m.

2.1.1.3 Calcari di Zolla – Formazione di Repen (Cenomaniano superiore-Turoniano)

La deposizione della Formazione di Repen, comprensiva, come età e litologia della Formazione dei Calcari di Zolla in Italia, coincide con la sommersione della piattaforma verificatasi tra il Cenomaniano e il Turoniano (Vlahović et al., 2005). È costituita da calcari micritici stratificati con faune tipicamente pelagiche, localmente con frammenti bioclastici, tipiche di un ambiente a bassa energia (Jurkovšek et al., 2013). Nella parte mediana si rinviene un sottile livello di calcari tabulari con pesci e rare ammoniti (facies dei calcari di Komen), legato ad un evento anossico oceanico, avvenuto a livello globale, durante la trasgressione Cenomaniano-Turoniano (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2010). La parte superiore della formazione è data da calcari bioclastici, molto importanti dal punto di vista economico, costituiti da mudstone, ricristallizzati e ripuliti dalle impurità, passanti a floatstone a rudiste (radiolitidi e caprinidi). La Formazione di Repen ha uno spessore di almeno 200 m.

*formacijo. Na dolomitni breči ležijo svetlo sivi in temno sivi dolomiti s črnimi laminiranimi polami, temno sivi kristalasti dolomiti z decimetrsko do metrsko plastovitostjo s pogostimi žepi dolomitnih ter mikritnih rdeč-rumenih apnencev in izmenične apnenčevo - dolomitne plasti (Colizza et al., 1989). Sledijo temno sivi apnenci z rudisti, školjkami vrste *Chondrodonta johanna*e in foraminiferami. V tem sklopu plasti se pojavlja tudi vložki takoplastovitega, ploščastega in laminiranega apnenca z rožencem in fosilnimi ostanki rib. Jurkovšek et al. (2013) in Palci et al. (2008) imenujejo to enoto Komenski apnenec, ki se v podobni facialni obliki pojavlja tudi v drugih kraških formacijah. Povirska formacija na slovenskem ozemlju je debela od 300 do 600 m; v Italiji graški apnenci dosegajo debelino med 350 in 400 m, Repentaborska formacija pa je debela od 300 do 700 m.*

2.1.1.3 Repenska formacija – colski apnenci (zgornji cenomanij - turonij)

Sedimentacija Repenske formacije, ki je po starosti in litologiji ekvivalentna italijanski colski formaciji, sovpada z evstatičnim dvigom morske gladine med cenomanijem in turonijem in potopitvijo velikega dela platforme (Vlahović et al., 2005, Jurkovšek et al., 2013). V njej prevladujejo mikritni apnenci s tipično pelagično favno in lokalnimi bioklastičnimi sedimenti. Na splošno so te plasti značilne za okolje z nizkim energijskim indeksom (Jurkovšek et al., 2013). V osrednjem delu je ozek pas tankoplastovitih, ploščastih in laminiranih apnencev, ki vsebujejo ribe in redke amonite (facies je podoben Komenskemu apnencu). Te plesti so povezane z drugim krednim oceanskim anoksičnim dogodkom med cenomanijem in turonijem (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2010). Zgornji del formacije vsebuje debelo zaporedje pretežno masivnih bioklastičnih apnencev, ki imajo velik ekonomski pomen. Sestavljajo jih mikritni apnenci (mudstone), ki prehajajo v floatstone z rudisti (pretežno z radiolitidi in kaprinidami). Celotna Repenska formacija je lahko debela več kot 200 m.

2.1.1.4 Calcari di Aurisina – Formazioni di Sežana e di Lipica (Turoniano-Campaniano)

La Formazione di Repen termina con un drastico abbassamento del livello del mare alla fine del Turoniano (Haq et al., 1987), quando inizia la deposizione dei calcari biomicritici di ambiente marino poco profondo della Formazione di Sežana (Turoniano superiore-Santoniano inferiore), che corrisponde in Italia alla parte inferiore dei Calcari di Aurisina. Alla base si trovano calcari oncolitici caratterizzati da lenti bioclastiche a rudiste, tipici di un ambiente lagunare di piattaforma interna, dove le rudiste, appartenenti per lo più al genere *Hippuritella*, si accumulano sotto forma di cluster (Tišljar et al., 2002). Seguono calcari da mediamente stratificati a massivi (biomicritici e biopelmicritici di colore grigio-olivastro) caratteristici di un ambiente ad energia da bassa a molto bassa. I microfossili sono per lo più bentonici. Lo spessore totale varia tra 230 e 500 m. Anche in questa formazione si trova un'unità di calcari tabulari in facies di Komen con mudstone-wackestone bioclastici selciferi, pochi foraminiferi planctonici e pesci (Cavin et al., 2000; Jurkovšek et al., 1996).

La Formazione di Lipica, che corrisponde in Italia alla parte superiore dei Calcari di Aurisina, è composta alla base da calcari bioclastici mediamente grigi, a grana fine con piccoli frammenti di molluschi e da calcari bioclastici e a foraminiferi (packstone-floatstone) con frammenti di rudiste, echinodermi e briozoi (Cucchi et al., 1987; Jurkovšek et al., 2013). Tra i foraminiferi presenti si ricorda la *Keramosphaerina tergestina*, che è osservata in un orizzonte ben definito in tutto il Carso Classico e consente pertanto di ricondurre questi depositi al tardo Santoniano (Jurkovšek et al., 1996; Caffau et al., 2001; Venturini, 2005). I calcari biomicritici e biosparitici grigio-chiari, da massivi a stratificati con matrice micritica parzialmente o completamente ripulita e abbondanti resti fossili di rudiste, coralli, idrozoi e brachiopodi sono molto importanti dal punto di vista economico sia in Italia che in Slovenia (Figura 2.2). La parte superiore della formazione è composta da calcari micritici bioclastici con foraminiferi bentonici tipici del Campaniano. Biostromi a rudiste o strati di boundstone a rudiste sono qui più rari e più sottili. Lo spessore varia tra i 150 e i 400 m. In Slovenia, a nord della Linea di Divača, solitamente alla base, si trovano i Calcari di Tomaj, spessi 40 m, e composti

2.1.1.4 Sežanska formacija in Lipiška formacija – nabrežinski apnenci (turonij - campanij)

*Repenska formacija se zaključuje z naglim evstatičnim upadom morske gladine v turoniju (Haq et al., 1987), ko se prične proces sedimentacije plitvomorskih biomikritnih apnencev najnižjega dela Sežanske formacije (zgornji turonij - spodnji santonij), kar v italijanskem prostoru ustreza spodnjemu delu nabrežinskih apnencev. V osnovi tega zaporedja plasti so pogosto onkolitni apnenci, prepoznavne pa so tudi po bioklastičnih lečah z rudisti ali z drobirjem rudistnih lupin. Te plasti so značilne za lagunsko okolje notranjega dela platforme. Med rudisti se prvič pojavijo rudisti rodu *Hippuritella*, ki so lokalno združeni v šopke in manjše grozde (Tišljar et al., 2002). Nad njimi sledijo pretežno olivno sivi srednje plastoviti biomikritnimi in biopelmikritnimi apnenci, značilni za okolje z nizkim energijskim indeksom. Mikrofosili so večinoma bentonski. Njihova skupna debelina se spreminja od 230 do 500 m. Tudi v tej formaciji se nahaja enota ploščastih in laminiranih apnencev v faciesu Komenskega apnenca (mudstone - wackestone) z rožencem. Od fosilov so pogosti ostanki rib (Cavin et al., 2000) in kopenskih rastlin (Dobruskina et al., 1999) ponekod pa so zastopane tudi planktonske foraminife (Jurkovšek et al., 2013).*

*Lipiška formacija, ki v italijanskem prostoru ustreza zgornjemu delu nabrežinskih apnencev, je v osnovi sestavljena iz srednje sivih drobnozrnatih bioklastičnih apnencev tipov packstone in floatstone z delci rudistov, iglokožcev in briozojev (Cucchi et al., 1987; Jurkovšek et al., 2013). Med foraminiferami je pogosta vrsta *Keramosphaerina tergestina*, ki te plasti uvršča v zgornji santonij (Jurkovšek et al., 1996; Caffau et al., 2001; Venturini, 2005). Svetlo sivi debeloplastoviti do masivni biomicritni in biosparitni apnenci z deloma ali popolnoma izprano mikritno osnovo, ki vsebujejo številni fosile rudistnih lupin, koral in trdoživnjakov, imajo velik ekonomski pomen tako na slovenski kot na italijanski strani Krasa (Slika 2.2). Zgornji del Lipiške formacije je sestavljen pretežno iz bioklastičnih mikritnih apnencev z bentonskimi foraminiferami, značilnimi za campanij. Biostrome in bioherme z rudisti so na tem območju redkejši in manjši.*

Na slovenski strani Krasa se v Lipiški formaciji severno od Divaške-

da calcari bituminosi, sottilmente stratificati, tabulari e laminati di colore da grigio a nero, con locali noduli di selce, resti fossili di piante, pesci, vertebrati, ammonoidi e conifere (Summesberger et al., 1996; Dobruskina et al., 1999; Jurkovšek & Kolar-Jurkovšek, 1995, 2007). Sono tipici di un ambiente deposizionale leggermente più profondo e possono essere associati alla trasgressione santoniano-campaniana che ha interessato la Piattaforma Carbonatica Adriatica (Gušić & Jelaska, 1993; Jurkovšek et al., 1996). Il tetto dei Calcari di Aurisina è sigillato da una superficie di emersione della piattaforma con evidenze di paleocarsismo tra cui una breccia bianco-rosea a *Microcodium*.

ga preloma pojavlja Tomajski apnenec, ki dosega v najdebelejših delih skupaj z mejnimi plastmi do 40 m. Temno siv do črn Tomajski apnenec je tanko plasovit, ploščast in laminiran. Je močno bituminozen in pogosto vsebuje pole in gomolje roženca. Od fosilov so pogoste ribe (Cavin et al., 2000), amoniti (Summesberger et al., 1996), kopenske rastline (Dobruskina et al., 1999) in drugi fosili (Jurkovšek in Kolar-Jurkovšek, 1995, 2007). Litološki razvoj in fosili kažejo značilnosti nekoliko globljega sedimentacijskega okolja z močnim vlivom pelagične morske favne zaradi splošnega evstatičnega dviga morske gladine v santoniju in campaniju, ki je močno vplival na sedimentacijo tudi v drugih delih Jadranske karbonatne platforme (Gušić & Jelaska, 1993; Jurkovšek et al., 1996, 2013). Tako Lipiška formacija kot nabrežinski apneneci se na vrhu



Figura 2.2
Calcare bioclastico, Cava di Lipica
(Formazione di Lipica).

Slika 2.2
Bioclastični apnenec, kamnolom
Lipica (Lipiska formacija).

2.1.1.5 Formazione Liburnica A e B (Maastrichtiano-Paleocene)

La parte inferiore della Formazione Liburnica è composta da calcari bioclastici, micritici, stratificati e di colore grigio scuro. Sono comuni frammenti di rudiste e foraminiferi, tra cui si ricorda la *Rhapydionina liburnica*, del Maastrichtiano (Caffau et al., 1998). Il limite Cretacico-Paleogene è contenuto all'interno di una breccia intraformazionale, che può essere spessa da 20 cm a qualche metro, contenente clasti appartenenti alle formazioni cretacicche. Presenta una matrice micritica con materia organica e *Microcodium* (Košir, 2004) e può contenere anche caliche, stromatoliti e bioturbazioni (Tunis et al., 2011). In alcune località del Carso l'evento, noto come limite K/T, è stato verificato con prove paleontologiche, quali la scomparsa dei fossili cretacicci e la successiva comparsa dei primi fossili paleocenici, geochimiche quali tenori anomali dell'iridio e shift negativo del $\delta^{13}\text{C}$, e paleomagnetiche, quali la presenza di Ch^{29}R (Drobne et al., 1987; Dolenc & Pavšič, 1995; Dolenc et al., 1995; Ogorolec et al., 1995; Pirini Radrizzani et al., 1987; Pugliese et al., 1995; Tewari et al., 2007). Sulla base del limite K/T, Cucchi & Piano (2013) suddividono la Formazione Liburnica in due sottounità, il Liburnico A e il Liburnico B, rispettivamente di età tardo cretacicca e paleocenica.

Gli strati di età Daniano sono costituiti da calcari molto più scuri, fino a neri, leggermente marnosi, con tessitura mudstone-wackestone, lamine stromatolitiche a stratificazione da centimetrica a decimetrica e numerose evidenze di paleocarsismo. Tra i fossili, si trovano bivalvi, piccoli gasteropodi, alghe calcaree, miliolidi e foraminiferi, tra cui la *Banghiana hanseni* (Drobne et al., 2007). Lo spessore varia da 50 a 130 m nella parte settentrionale del Carso, mentre può superare i 200 m nella parte meridionale.

2.1.1.6 Formazione Liburnica C – Formazione di Trstelj (Paleocene)

La Formazione di Trstelj è suddivisa in 2 unità (Košir, 2003): Lower Trstelj Beds (Formazione Liburnica c) e Upper Trstelj Beds, che in Italia comprende la parte inferiore dei Calcari ad Alveoline e Nummuliti. La pri-

zaključujejo s paleokraško površino. Splošno znano emerzijsko fazo poleg značilnih paleokraških pojavov označuje pojav plasti svetlo rožnate emerzijske breče in majhni žepi boksita. Debelina Lipiške formacije je odvisna zlasti od trajanja emerzijske faze in niha med 150 in 400 m.

2.1.1.5 Liburnijska formacija (maastrichtij - paleocen)

*Spodnji del Liburnijske formacije je sestavljen iz bioklastičnih, mikritnih, plastnatih in temno sivih apnencev. V njih so ponekod fragmenti bournonij in giroplever ter foraminifere, med katerimi je pomembna maastrichtijska vrsta *Rhapydionina liburnica* (Caffau et al., 1998; Jurkovšek et al., 1996). Meja med kredo in paleogenom se nahaja v plasti intraformacijske breče, ki je lahko debela od 20 cm do nekaj metrov in vsebuje klaste krednih apnencev. Jasno je vidna mikritna osnova z organsko snovjo in strukturami mikrokodijev (Košir, 2004), pogosti pa so tudi pojavi stromatolitov (Tunis et al., 2011). V nekaterih predelih Krasa je bila kredno-terciarna meja dokazana z izginotjem krednih in pojavom prvih paleocenskih fosilov in ne nazadnje z geokemičnimi raziskavami, ki slonijo na povečani vsebnosti iridija in negativnem zasuku $\delta^{13}\text{C}$ (Drobne et al., 1987; Dolenc in Pavšič, 1995; Dolenc et al., 1995; Ogorolec et al., 1995; Pirini Radrizzani et al., 1987; Pugliese et al., 1995; Tewari et al., 2007). Na italijanski strani meje sta Cucchi & Piano (2013) na osnovi položaja kredno-terciarne meje razdelila liburnijsko formacijo v dve podenoti: liburnijsko enoto A in liburnijsko enoto B, ki ustrezata obdobjema zgornje krede in paleocena.*

*Danijske plasti tvorijo temno sivi, skoraj črni apnenci, z rahlo vsebnostjo glinaste komponente in s strukturo mudstone-wackestone, centimetrskes do decimetrskes stromatolitne plasti ter številne paleokraške tvorbe. Med fosili so pogoste školjke, drobni polži, apnenčeve alge, miliolide in druge foraminifere, med katerimi je tudi *Banghiana hanseni* (Drobne et al., 2007).*

Debelina Liburnijske formacije na severnem delu Krasa znaša od 50 do 130 m, na južnem delu pa ponekod preseže 200 m.

2.1.1.6 Trsteljska formacija (paleocen)

Trsteljska formacija se deli na dve enoti (Košir, 2003): Spodnje trsteljske plasti (=liburnijska formacija C) in Zgornje trsteljske plasti, ki na itali-

ma unità è composta da calcari massivi bioclastici che alla base presentano una breccia di emersione grigio scura con abbondanti Miliolidi nella matrice. Oltre ai Miliolidi, le associazioni fossilifere sono rappresentate da foraminiferi, alghe, coralli, briozoi, bivalvi, gasteropodi ed echinodermi, a conferma della tendenza all'approfondimento. L'età è Thanetiano inferiore e lo spessore varia tra 40 e 150 m. L'unità superiore è costituita da calcari massivi grigio chiari-biancastri con alghe coralline (packstone e wackestone). Corrispondono ad una variazione nell'ambiente deposizionale con un aumento della componente micritica (energia inferiore), una profondità maggiore della rampa ed occasionali incrementi dell'energia dovuti ad eventi di tempesta o a correnti di fondo che hanno provocato la deposizione di frammenti bioclastici. Il contenuto fossilifero è rappresentato da Assiline, Miliolidi e alghe. L'età è Thanetiano superiore e lo spessore varia dai 30 ai 100 m.

2.1.1.7 Calcari ad Alveoline e Nummuliti (Eocene)

La sequenza carbonatica termina con i Calcari ad Alveoline e Nummuliti, costituiti alla base da calcari grigi molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di macroforaminiferi (Alveoline e rarissime Nummuliti) che si associano a Miliolidi, alghe corallinacee, coralli ed echinidi, depositatisi in un ambiente di piattaforma aperta in debole approfondimento. Nella parte alta sono presenti litofacies di piattaforma aperta, quali wackestone/packstone ricchi di Alveoline, Nummuliti e Orbitolites e altre caratterizzate da una discreta energia idrodinamica tipica di ambiente meno profondo (grainstone bioclastici). L'età è Ilerdiano e lo spessore è inferiore ai 70 m nel settore settentrionale del Carso, mentre supera i 300 m nel settore meridionale (Cucchi & Piano, 2013; Jurkovšek et al., 2013).

2.1.1.8 Strati Transizionali e Flysch (Eocene)

Durante l'Eocene chiudono la deposizione di piattaforma, che subisce un definitivo annegamento, marne emipelagiche, calcari marnosi e alternanze calcareo marnose, che prendono il nome di Strati Transizionali - Transitional Beds - (Otoničar, 2007; Tarlao et al., 2005; Burelli et al., 2008). Sono costituiti da calcisiltiti peloidali con foraminiferi planctonici, calcareniti-calciruditi bioclastiche con locali noduli di selce; la parte

janskem ozemlju zajemajo spodnji del alveolino-numulitnih apnencev. Prva enota je sestavljena pretežno iz debeloplastovitih in masivnih bioklastičnih apnencev s številnimi miliolidami, v bazi katerih leži temno siva breča. Poleg miliolid so prisotne tudi druge foraminifere, alghe, korale, mahovnjaki, školjke, polži in iglokožci. Te plasti so uvrščene v paleocen, njihova debelina pa je od 40 do 150 m.

Zgornje trstelske plasti sestavljajo debeloplastoviti do masivni, svetlo sivi do beli apnenci tipa packstone in wackestone s pogostimi koralinacejami. Gre za sedimente z nižjim energijskim indeksom in z večjo vsebnostjo mikritne komponente, ki kaže na nekoliko globlji del rampe. V nekaterih nivojih je opazno občasno povečanje energije vode zaradi nevihtnih pojavov ali talnih tokov, ki so povzročili sedimentacijo bioklastičnega materiala. Fosilni ostanki pripadajo pretežno foraminiferam rodov Assilina in Operculina ter miliolidam, pogoste pa so tudi alghe. Debelina tega zaporedja plasti znaša od 30 do 100 m.

2.1.1.7 Alveolino-numulitni apnenci (eocen)

Karbonatno zaporedje plasti na Krasu zaključuje formacija Alveolino-numulitni apnenc, ki jo v veliki meri gradijo sivi neizrazito plastoviti apnenci tipa packstone s številnimi velikimi foraminiferami, med katerimi prevladujejo alveoline in numulitine. Pogoste so tudi miliolide, koralinaceje, korale in drobci iglokožcev. Te plasti so nastajale v okolju odprte in plitve platforme. V višjih nivojih formacije so prisotni sedimenti bolj odprte platforme tipa wackestone - packstone, ki so bogati z alveolinami, numulitinami in orbitoliti. Zanje je značilna zmerna energijska hidrodinamika, tipična za nekoliko plitvejšo okolje (bioklastični mikrosparit, grainstone). Te plasti so uvrščene v ilerdij, njihova debelina pa znaša manj kot 70 m v severnih predelih Krasa, medtem ko v južnih predelih presega 300 m (Cucchi & Piano, 2013; Jurkovšek et al., 2013).

2.1.1.8 Prehodne plasti in fliš (eocen)

V eocenu je platforma razpadla in se pričela diferencialno pogrezati. Nad platformskimi karbonati se je pričela sedimentacija hemipelagičnih plasti, ki so združene v enoto Prehodne plasti (Tarlao et al., 2005; Otoničar, 2007; Burelli et al., 2008; Jurkovšek, 2010). Sestavljajo jih peloidni kalci-

superiore è composta da marne basali, con una forte diminuzione del contenuto di carbonato. Al top si trovano frequentemente uno o più livelli conglomeratici, caratterizzati da clasti arrotondati di grainstone a macroforaminiferi, inglobati in matrice marnosa (Figura 2.3). L'età è Ypresiano medio-Cuisiano inferiore, lo spessore non supera i 50 m.

All'annegamento della piattaforma carbonatica, segue la deposizione dei sedimenti torbiditici del Flysch, costituiti da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne varia da millimetrica a decimetrica, quella delle arenarie da centimetrica a metrica. Le arenarie, che in genere predominano rispetto alle marne, sono discretamente classate con dimensione media dei granuli di 0,1-0,2 mm circa e presentano cemento carbonatico. Il contenuto mineralogico è dato da rari feldspati, miche, minerali pesanti (Cr-spinello e

siltiti s planktonskimi foraminiferami in bioklastični kalkareniti do kalciruditi lokalno z roženčevimi gomolji. V zgornjem delu se pojavlja »bazalni lapor« z močnim upadom vsebnosti karbonata. Pogosti so tudi pojavi konglomerata z laporasto – glinastim vezivom in makroforaminiferami. Prehodne plasti avtorji uvrščajo od srednjega ypresija do spodnjega cuisija (Slika 2.3). Debelina prehodnih plasti ne presega 50 m.

Poplavitvi karbonatne platforme in sedimentaciji Prehodnih plasti sledi formacija Fliša, za katero je značilna turbiditna sedimentacija z menjavanjem glinastih plasti in peščenih plasti z različno zrnavostjo. Glinene plasti so običajno debele od nekaj milimetrov do nekaj decimetrov, plasti peščenjaka pa so od centimetrskeske do metrske debeline. Mineraloško vsebujejo redke glinence, filosilikate, težke minerale (kromospinel in granat) in pirit (Lenaz & Princivalle, 1996). Fosili v flišnih plasteh so zelo redki in pripada-



Figura 2.3
Strati Transizionali, Moccò (San Dorligo della Valle, Trieste).

Slika 2.3
Prehodne plasti, Zabrežec (Dolina, Trst).

granato) e pirite (Lenaz & Princivalle, 1996). Sono praticamente sterili, anche se oltre a rarissime Globigerine (rimaneggiate) sono stati rinvenuti rari echinidi e molluschi. Le marne, dalla tipica composizione mineralogica data da micrite, argilla e una percentuale variabile di silt, sono talvolta ricche di Foraminiferi planctonici del tipo Globigerine. Grazie alle datazioni sul nanoplancton è stato possibile attribuire l'età del Flysch al Luteziano superiore (Bensi et al., 2007) e al Cuisiano (De Zanche et al., 1967).

2.1.2 Depositi di copertura e depositi di terra rossa

2.1.2.1 I depositi alluvionali quaternari coprono la terminazione occidentale del Carso Classico in corrispondenza delle pianure dei fiumi Reka, Isonzo e Vipacco. Si tratta di ghiaie, in matrice sabbiosa debolmente limosa, a stratificazione orizzontale ed incrociata, talvolta con intercalati livelli, lenti e lingue di sabbie e peliti la cui frequenza aumenta verso la parte distale del sistema deposizionale. Nel sottosuolo del delta del Timavo i depositi sono costituiti in prevalenza da limi e sabbie fini con intercalazioni argillose.

2.1.2.2 I depositi di versante si rinvencono solo localmente. Sono costituiti da ciottoli e blocchi angolosi, mal classati, a litologia delle rocce locali che, nel territorio esaminato sono prevalentemente rocce carbonatiche e subordinatamente arenaceo marnose, con tessitura da aperta a parzialmente aperta. I clasti hanno dimensioni eterometriche con punte massime anche superiori al metro (Cucchi & Piano, 2013).

2.1.2.3 I Depositi di terra rossa, anche di notevole spessore (oltre i 10 m), sono localizzati nelle depressioni e negli avvallamenti carsici dove hanno subito processi di accumulo ad opera del vento e delle acque di ruscellamento superficiale, particolarmente attivi nel Pleistocene. I suoli dal punto di vista granulometrico sono generalmente piuttosto fini con percentuali di silt comprese tra il 30 e il 60 % e argilla tra il 70 e il 30%, mentre la frazione sabbiosa è solitamente inferiore al 5%.

Dal punto di vista composizionale si tratta di materiali essenzialmente allumosilicatici con SiO₂ attorno al 50%, Al₂O₃ attorno al 20% e FeO

jo v glavnem globigerinam ter odlomkom iglokožcev in mehkužcev. Gline z značilno mineralno sestavo so ponekod bogate s planktonskimi foraminiferami med katerimi prevladujejo globigerine. S pomočjo raziskave nanoplanktona in numulitin je bilo mogoče uvrstiti del flišnih kamnin v lutecij (Bensi et al., 2007) in v cuisij (De Zanche et al., 1967).

2.1.2 Krovna sedimentna plast in rdeča prst

2.1.2.1 Kvarterni sedimenti (aluvij) se nahajajo na območju rečnih dolin Reke, Soče in Vipave. Gre za tipične prodnate in peščene rečne sedimente z lokalno povečano vsebnostjo blatne komponente. Pogoste so leče in vložki peska in pelitnih glin, katerih pogostnost narašča z oddaljevanjem od osrednjega dela sedimentacijskega telesa. Pod površjem delte reke Timave so usedline v največji meri sestavljene iz blata in finega peska z vmesnimi plastmi ilovice.

2.1.2.2 Pobočne usedline (koluvij) imajo različno litološko sestavo, ki zavisi od lokalne geološke zgradbe. V sklopu preučevanega ozemlja gre predvsem za karbonatne kamnine in podrejene peščene in glinaste plasti s strukturo, ki ima značilno odprto do delno odprto poroznost. Klasti so heterometrične velikosti z maksimalnimi bloki večjimi od enega metra. (Cucchi & Piano, 2013).

2.1.2.3 Rdeča prst je lahko debela več kot 10 m. Akumulirala se je v vrtačah in kraških dolinah kot posledica sedimentacijskih procesov s pomočjo vetra in vode, ki je tekla po površju. Ti pojavi so bili še posebno dejavni v pleistocenu. Tla imajo z vidika zrnatosti na splošno precej fino strukturo z deležem zrn v razponu med 30 in 60 % ter z ilovico med 70 in 30 %, medtem ko je delež peska ponavadi manjši od 5 %.

Glede na sestavo gre za materiale, ki so v osnovi alumosilikati z vsebnostjo SiO₂ okrog 50 %, Al₂O₃ približno 20 % in FeO s povprečjem približno 8 %. Vsi ostali elementi so na splošno v nižjih koncentracijah z odstotnimi deleži, ki se gibajo okrog 2 % za MgO, CaO in K₂O (Spada et al., 2002). Med elementi, prisotnimi v sledih, so zastopani krom, barij in cirkonij (Spada et al., 2002). Z mineralološkega vidika so tovrstna tla običajno pokrita s kremenom in redkimi glinenci. Med ilovnatimi minera-

con una media attorno all'8%. Tutti gli altri elementi sono in genere in concentrazioni piuttosto basse con percentuali che si aggirano attorno al 2% per MgO, CaO e K₂O (Spada et al., 2002). Tra gli elementi in tracce sono relativamente consistenti i contenuti di cromo, bario, zirconio (Spada et al., 2002). Mineralogicamente tali suoli sono caratterizzati dalla presenza di quarzo e rari feldspati. Tra i minerali argillosi si nota la presenza di illite, clorite e montmorillonite. Inoltre, nella frazione sabbiosa, sono presenti delle fasi accessorie come rutilo, tormalina, granato, Cr-spinello, corindone, ematite, staurolite, anfibolo e zircone (Lenaz et al., 1996). Le evidenze granulometriche, chimiche, isotopiche e mineralogiche, fanno supporre che tali suoli non siano da considerare il residuo insolubile derivante dalla dissoluzione e alterazione dei carbonati (o, per lo meno, che non sia questa l'unica sorgente), ma che siano il risultato della pedogenesi di depositi eolici (Loess), derivanti dall'alterazione e dal disfacimento delle rocce allumosilicatiche di tipo arenaceo e marnoso che caratterizzano il flysch.

2.1.3 Condizioni paleoambientali

La successione è testimonianza di un'evoluzione paleoambientale complessa che ha coinvolto la piattaforma facendola passare attraverso diverse facies marino lagunari alternate a emersioni, anche significative, fino all'annegamento finale.

Schematicamente si possono ipotizzare le seguenti condizioni: ambienti di piattaforma interna protetta (formazioni di Brje, dei Calcari di Monte Coste, di Monrupino e parte inferiore dei Calcari di Zolla), sovente caratterizzati da condizioni anossiche ed intensa evaporazione (lenti e livelli dolomitici), da rapide oscillazioni del livello marino, con alternanze di fasi lagunari evaporitiche, episodi marini e presenza di locali emersioni (lenti calcaree e brecce rosso giallastre legate a processi carsici).

Gli eventi biologici significativi sono due: la comparsa di esemplari di requinidi (Calcari di Monte Coste) e la comparsa delle radiolitidi (parte alta della Formazione di Monrupino e patch-reef dell'intervallo inferiore dei Calcari di Zolla).

Seguono ambienti di retroscogliera più aperta (parte superiore dei Calcari di Zolla e Calcari di Aurisina) con diffusi e potenti depositi bioher-

li izstopajo ilit, klorit in montmorilonit. Poleg tega so v peščenih strukturi prisotni še dodatni elementi kot so rutil, turmalin, granat, kromov spinel, korund, hematit, stavrolit, ambifol in cirkon (Lenaz et al., 1996). Granulometrične, kemične, izotopske in mineralološke analize, da se tovrstna tla ne morejo obravnavati samo kot rezultat raztapljanja in spreminjanja karbonatov, temveč so tudi posledica pedogeneze eolskih sedimentov ter spreminjanja in razpadanja alumosilikatnih kamnin peščenega in glinastega tipa, ki so značilne za fliš.

2.1.3 Paleoekologija

Zaporedje plasti Klasičnega Krasa priča o paleookoljskih spremembah, ki so zajele karbonatno platformo. Zastopani so različni facialni tipi kamnin značilnih za morsko okolje, ki so tesno povezani z globalnimi nihanji morske gladine in tektonskimi dogajanjem na karbonatni platformi vse do njenega razpada in dokončne potopitve.

Starejši del karbonatnega zaporedja plasti (Brska formacija, formacija graških apnencev, repentaborski apnenci in spodnji del colskih apnencev) pripada okolju zaščitene platforme s pojavi anoksičnih razmer in intenzivnega izhlapevanja (leče in plasti dolomita). Zanj so značilna nihanja morske gladine z izmenjavanjem lagunskih evaporitnih faz in občasni lokalni dvigi nad morsko gladino (karbonatne breče in breče rdečkasto rumene barve, vezane na paleozakrasevanje).

Sledijo nekoliko bolj odprta okolja (zgornji del colskih apnencev in nabrežinski apnenci ter Repenska, Sežanska in Lipiška formacija) z obsežnimi biohermami, ki so v večji meri posledica bujnega razvoja rudistov (radiolitidi in hipuritidi). Ta okolja so bila zaradi tektonskih in evstatičnih dogodkov bolj izpostavljena umiku morja in s tem pojavom paleozakrasevanja (svetlo rdečkasta breča, različne usedline na paleoreliefu so vidne v zgornjemu delu nabrežinskih apnencev in Lipiške formacije).

Na prehodu med kreda in terciarjem so bila sedimentacijska okolja občasno podvržena sladkovodnemu vplivu in anoksičnim pogojem (spodnji del Liburnijske formacije). Ta se naprej razvijejo v popolnoma morską okolja, značilna za notranji del karbonatne platforme (Trsteljska formacija). Zaključni pečat karbonatnemu zaporedju notranjega dela

mali dovuti principalmente allo sviluppo delle Rudiste (Radiolitidi ed Hip-puritidi). Quindi, per crisi orogenetica, gli ambienti recifali sono soggetti a fasi di emersione con paleocarsismo diffuso (breccia bianco-rosea, depositi di cavità e paleocavità appartenenti alla parte superiore dei Calcari di Aurisina).

Succedono al passaggio K/T ambienti tendenti all'anossia (intervallo inferiore della Formazione Liburnica), che si evolvono in ambienti di piattaforma carbonatica interna più aperta (Formazione di Trstelj). Chiudono la successione carbonatica ambienti di piattaforma carbonatica interna sempre più aperta e ambienti litorali a ridotta profondità (Calcari ad Alveoline e Nummuliti), soggetti nella parte alta ad influenze terrigene sempre maggiori, fino all'annegamento ed alla rapida e potente copertura torbida.

2.1.4 Assetto strutturale

Le rocce che affiorano sul Carso Classico testimoniano l'evoluzione di una piattaforma carbonatica dove, dall'Aptiano (circa 120 milioni di anni fa) all'Eocene inferiore (circa 50 milioni di anni fa), si verificò con notevole continuità una sedimentazione di tipo carbonatico. La piattaforma aveva un tasso di subsidenza variabile, come risulta dal fatto che la potenza di quasi tutte le unità diminuisce, anche notevolmente, da est verso ovest. La fascia di maggiore instabilità doveva essere ubicata in corrispondenza dell'allineamento Sistiana – Monte Ermada – Miren, lungo il quale variazioni laterali di facies e di spessore sono particolarmente frequenti.

Gli avvenimenti successivi alla sedimentazione, cioè le fasi compressive legate alle orogenesi alpina e dinarica, hanno comportato, in un periodo di tempo compreso tra 35 e 20 milioni di anni fa, con particolare veemenza e con movimenti più lenti fino ad oggi, l'innalzamento, il piegamento e la dislocazione della successione carbonatica e del flysch. Numerose sono le evidenze di questi movimenti, anche se dall'emersione del Carso in poi (ultimi 20 milioni di anni circa), gli agenti atmosferici ed il mare hanno modellato variamente la superficie del Carso stesso.

La geometria assunta dal Carso Classico è infatti il risultato dell'a-

karbonatne platforme, ki se vedno bolj odpira, kakor tudi plitvim obmorskim okoljem dajejo Alveolinsko-numulitni apnenci, vse dokler se dokončno ne potopijo in jih prekrijejo hemipelagične Prehodne plasti in Fliš.

2.1.4 Tektonika

Kamnine pričajo o kredni evoluciji severnega dela karbonatne platforme, na kateri so od valanginija (pred okrog 125 milijoni let) do spodnjega eocena (pred okrog 50 milijoni let) bolj ali manj kontinuirano nastajale karbonatne kamnine Krasa. Platforma je imela spremenljivo stopnjo subsidence, kar izhaja iz dejstva, da moč skoraj vseh enot močno upada od vzhoda proti zahodu. Pas največje nestabilnosti je opazen med Sesljanom, Grmado in Mirnom, vzdolž katerega so lateralne spremembe faciesov in debelin izredno pogoste.

Nadaljnje dogajanje po sedimentaciji, se pravi v fazi kompresije, vezane na alpsko in dinarsko orogenezo, je v obdobju, ki se je pričelo odvijati pred 35 do 20 milijoni leti, povzročilo dvigovanje, gubanje in spremembe v zaporedju med karbonatnimi kamninami in flišem. To premikanje je vidno na mnogih mestih, čeprav so od obdobja, ko je prišel Kras na površnje, in pozneje (približno zadnjih 20 milijonov let) atmosferski dejavniki in morje različno spreminjali njegovo površino.

Geometrija, ki jo je prevzel matični Kras, je namreč rezultat pomikanja jadranske mikroplošče proti severu, ki je ob trku z evrazijsko ploščo postopno rotirala v obratni smeri od urinega kazalca. Glavni tektonski fazi sta bili dve: dinarska v pretežni smeri kompresije od SV - JZ in neoalpska s pretežno kompresijo v smeri od SSV - JJZ do S - J. Rezultat tega je nagubanost in narivi ter drsenje plasti nad drugimi in regionalne razpoke ter zmični prelomi. V tem kontekstu je v topografskem in geomorfološkem smislu najbolj izrazita strukturalna enota Kraški nariv, ki se je razvil v dinarski smeri SZ-JV in je zgrajen iz kamnin karbonatnega kredno-paleogenskega zaporedja.

*Z geodinamičnega vidika predstavlja Kras na zahodu najbolj zunanji del Dinarske verige (Slika 2.4). Ta predel Dinaridov predstavljajo trije veliki sistemi narivov, ki so nagnjeni proti SV. Od SV proti JZ, si sledijo (Placer, 1981; Placer et al., 2010): 1. **Zunanjedinarski narivni pas**, ki zajema več narivnih enot, razporejenih ena nad drugo (Trnovo, Hrušica,*

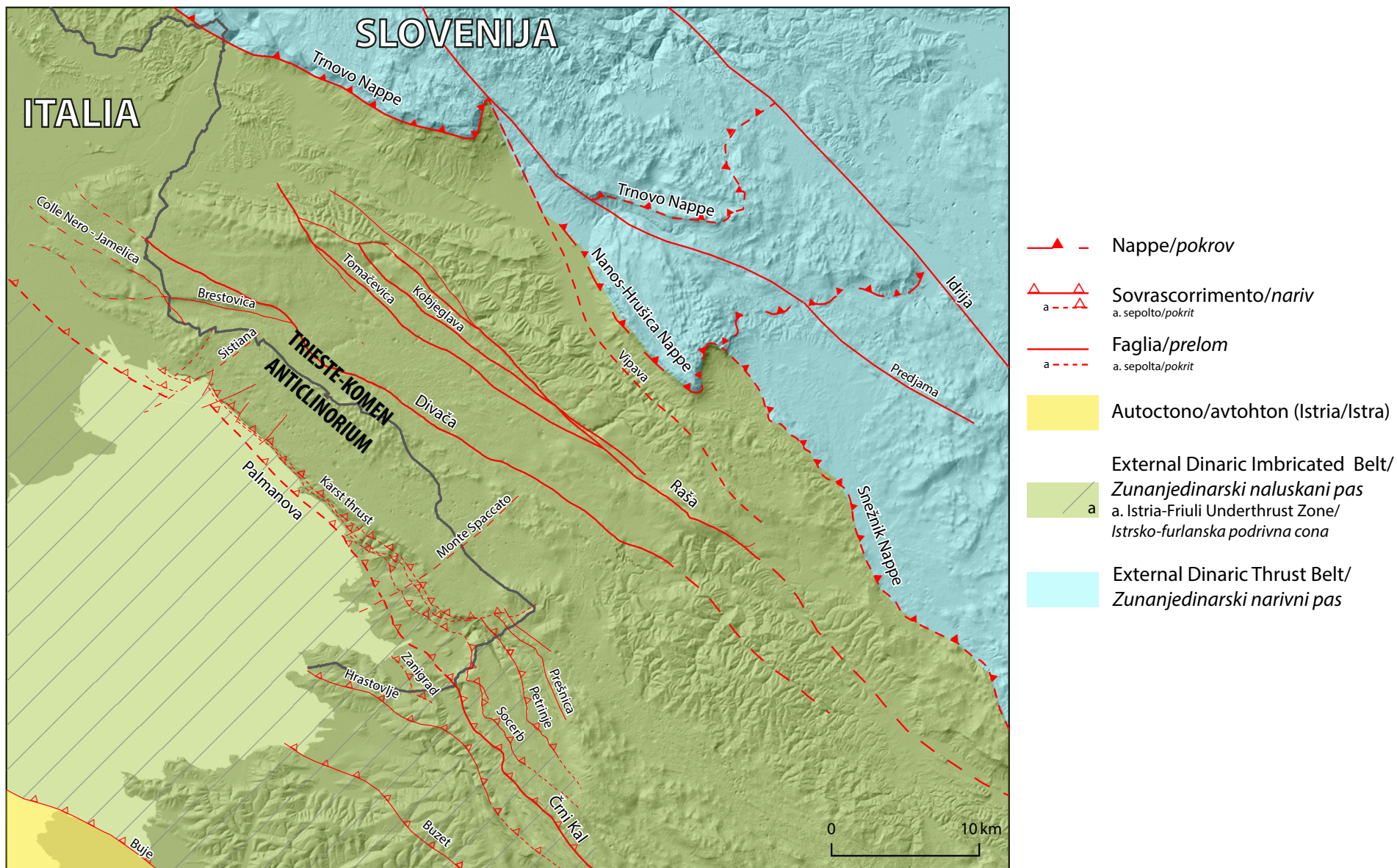


Figura 2.4
Schema tettonico.

Slika 2.4
Tektonska skica.

vanzamento verso nord della microplacca Adria che scontrandosi ed indentandosi con la Placca eurasiatica ha subito una progressiva rotazione antioraria. Le principali fasi tettoniche sono due, quella Mesoalpina o Dinarica a direzione prevalente della compressione NE-SW e quella Neoalpina con trend compressivo da NNE-SSW a N-S. In questo contesto, le strutture che portano alle maggiori evidenze topografiche e geomorfologiche sono i sovrascorrimenti sviluppati in senso dinarico, ovvero NW-SE e localizzati lungo i versanti della costa triestina e nel Golfo di Trieste, che coinvolgono la potente successione carbonatica cretaco-paleogenica in un'ampia piega anticlinale, portandola a sovrastare e localmente sovrascorrere sulla successione torbiditica di età eocenica.

Il Carso dal punto di vista geodinamico costituisce la parte più esterna a Occidente della Catena Dinarica (Figura 2.4). Questo settore delle Dinaridi in particolare è costituito da tre grandi sistemi di sovrascorrimenti. Procedendo da NE in direzione SW, troviamo: 1. l'**External Dinaric Thrust Belt**, comprendente a sua volta tutta una serie di falde (Nappe) sovrascorse l'una sull'altra (Trnovo, Hrušica, Sovič e Snežnik), che sovrascorre sul 2. **External Dinaric Imbricated Belt**, comprendente l'area di interesse del progetto, ovvero il "Trieste-Komen Anticlinorium" e l'"Istria-Friuli underthrust Zone"; 3. l'**underthrusting** (sottoscorrimento) dell'Istria (*Istria Structural Wedge*) in direzione NE (Placer et al., 2010).

L'Anticlinorio Trieste-Komen è un'unità prevalentemente carbonatica in affioramento dalla sinistra del fiume Vipacco al Golfo di Trieste e dalla pianura isontina a Vreme. L'unità si prolunga poi in direzione ovest verso Udine, a costituire il substrato della Pianura Isontina e Friulana e in direzione sud-est verso Fiume e le isole dalmate, a costituire l'Istria interna e la Dalmazia. Esistono inoltre, tutta una serie di faglie orientate NW-SE, importanti indicatori delle dinamiche delle Dinaridi, tra le quali si ricordano le faglie di Vipava, di Raša e di Divača.

L'Istria-Friuli Underthrust Zone è il risultato del sottoscorrimento (underthrust) di una parte della microplacca Adria verso NE, avvenuto dopo il Miocene e probabilmente tutt'ora attivo. L'elemento tettonico che la separa dall'Anticlinorio Trieste-Komen è la Linea di Palmanova (Amato et al. 1976) o Trieste Fault (Del Ben et al., 1991; Busetti et al., 2010). Essa connette il sistema dei thrust dinarici della Pianura Friuliana orientale al

Sovič in Snežnik) in ki ležijo nad imenovanim narivom; 2. Zunanjedinarski naluskani pas (External Dinaric Imbricated Belt), ki zajema območje Projekta HYDROKARST oziroma Tržaško-komenski antiklinorij. Del tega pasu je Istrsko-furlanska podrivna cona; 3. Trdno jedro Jadranske mikroplošče (Istria).

Tržaško-komenski antiklinorij je pretežno karbonatna enota, ki se razteza od leve strani reke Vipave do Tržaškega zaliva in od Soške doline do Vrem. Enota se podaljšuje v severozahodni smeri proti Vidmu, in tvori substrat Soške in Furlanske nižine, jugovzhodno pa proti Reki in dalmatinskim otokom. V antiklinoriju so še številni prelomi v smeri SZ-JV, pomembni kazalci dinamik v Dinaridih, med temi so pomembnejši Vipavski, Raški in Divaški prelom

Znotraj Zunanjedinarskega naluskanega pasu se po Placerju, nahaja Istrsko-Furlanska podrivna cona. Ta strukturna podenota je rezultat podrivanja enega dela jadranske mikroplošče proti SV, do katerega je prišlo v miocenu in je verjetno še sedaj aktivno. Osrednji tektonski element je nariv Palmanova (Amato et al., 1976) ali tržaški prelom (Del Ben et al., 1991, Busetti et al., 2010). Linija povezuje sistem dinarskih narivov vzhodne Furlanske nižine na Črnokalski nariv v Sloveniji (Placer, 2007). Ostale pomembne dinarske strukture so "kraški narivni rob" (Bensi et al., 2009), ki se razteza pretežno vzdolž apnenčevo-flišnega stika na severozahodnem italijanskem delu Krasa, na fliš pod Trstom in se nadaljuje v Sloveniji s petrinjskim narivnim prelomom (Slika 2.5). Poleg tega obstajajo tudi drugi narivi, ki potekajo v flišu tržaške obale in v morju ter se nadaljujejo v Sloveniji z narivnimi prelomi na Socerbu, v Zanigradu in Hrastovljah (Placer, 2007).

Glede tektonske strukture, ki jo prepoznamo na terenu, je treba ločiti danes praktično zapečatenne prelome, ki so nastali na platformi med njenim razvojem, od dinarskih in neoalpskih narivnih in sinklinalnih struktur, slednje so namreč povzročile ponovno aktiviranje nekaterih predhodnih prelomov (Cucchi & Piano, 2013). Predvsem gre za dinarsko usmerjene prelome, ki so bili reaktivirani tako v kompresiji kot v raztezanju; za prelome v smeri S-J, verjetno vezane na fragmentacijo platforme med oblikovanjem udornin; za apnenčaste ali flišne narivne grude, za zmične prelome, ki sekajo frontalne dele nariva v smeri VSV-JZJ (npr. sesljanski prelom, prelom Drašča, narivi, prelomi in razpoke v dolini Glinščice).

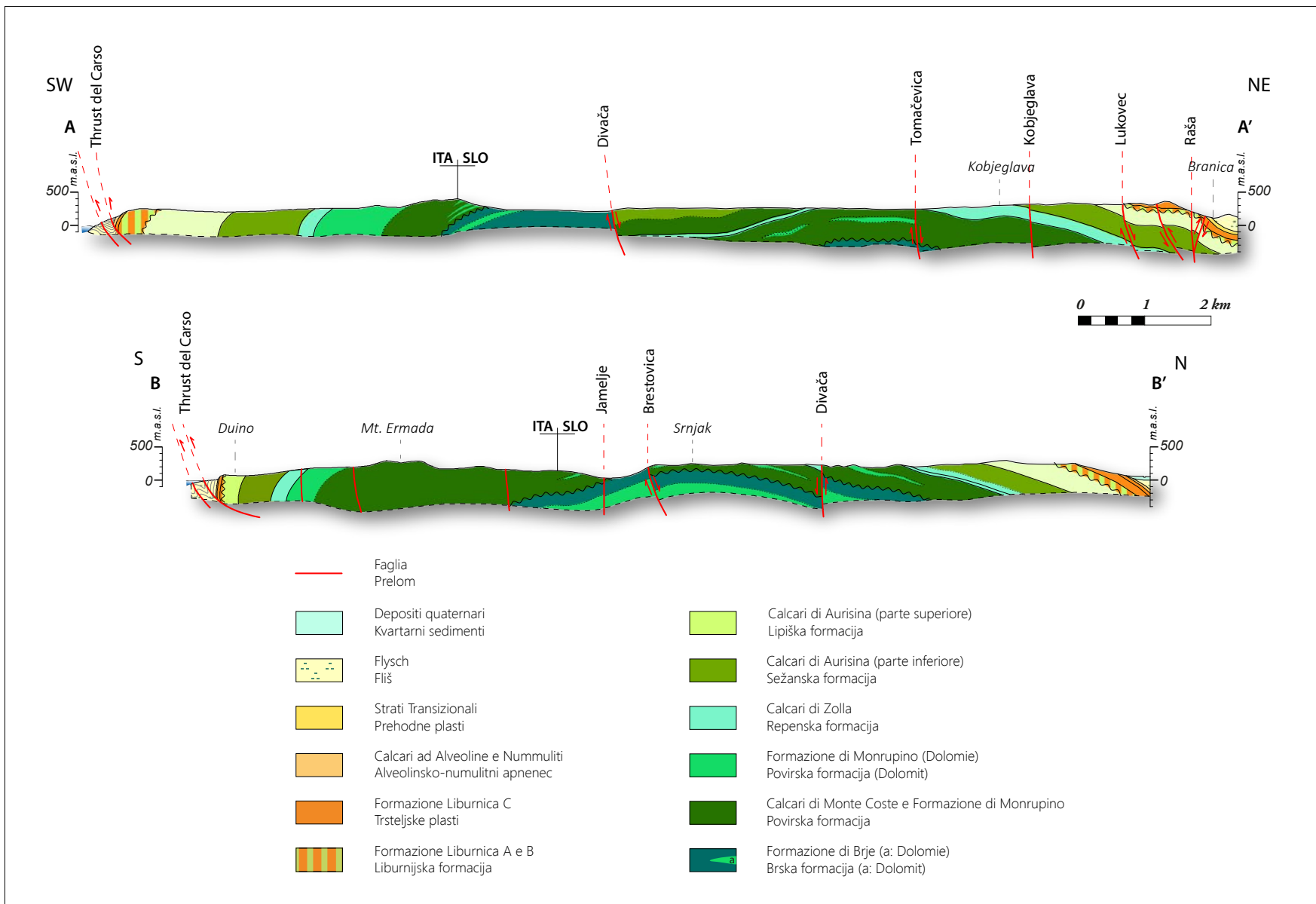


Figura 2.5
Sezioni geologiche.

Slika 2.5
Geološka profila.

Crni Kal Thrust in Slovenia (Placer, 2007). Altre importanti strutture ad andamento dinarico sono il “*Thrust del Carso*” (Bensi et al., 2009), che si sviluppa prevalentemente lungo il contatto calcare-Flysch nel settore nord-occidentale italiano del Carso, nel Flysch sotto la città di Trieste, per poi proseguire in Slovenia con il Thrust di Petrinje e tutta una serie di *thrust minori* che si sviluppano nel Flysch della costa triestina e in mare (Figura 2.5), e che proseguono verso sud in Slovenia con i Thrust di Socerb, Zanigrad e Hrastovlje (Placer, 2007). Per quanto riguarda le strutture tettoniche che si possono riconoscere sul terreno (Cucchi & Piano, 2013), vanno distinte le faglie che hanno interessato la piattaforma durante la sua evoluzione, il collasso e la formazione delle avanfosse, dalle strutture dinariche e dalle strutture neoalpine, responsabili, queste ultime, della riattivazione delle precedenti. In particolare si tratta di faglie ad andamento *dinarico*, a cinematica trascorrente, riattivate sia in compressione che in distensione; faglie *antidinariche* o NS, legate probabilmente alla frammentazione della piattaforma durante la formazione delle avanfosse; le rampe di *thrust*, sia in calcare che in Flysch, ad andamento dinarico (es. Linea di Palmanova); *tear-faults*, faglie trascorrenti di svincolo, che dislocano parti frontali del *thrust*, a orientazione ENE-SWS (es. Linea di Sistiana, Linea del Monte Spaccato, faglie della Val Rosandra).

2.2 Morfologia carsica

FRANCO CUCCHI, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

L'Altopiano del Carso Classico si eleva dalla pianura del fiume Isonzo e dal mare del Golfo di Trieste, fino a quote che vanno dal centinaio di metri del carso di Doberdò del Lago e di Marcottini a NW ai 400-450 m sul livello del mare del carso di Divaccia e San Canziano a SE. Si tratta quindi di un altopiano inclinato lungo il cui asse è possibile identificare un allineamento collinare largo circa 4 km adiacente, verso NE, ad una depressione allungata larga un paio di chilometri. L'allineamento collinare trova condizionamento nel prevalere in affioramento delle dolomie

2.2 Morfologia krasa

FRANCO CUCCHI, LUCA ZINI, CHIARA CALLIGARIS

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste

Kraška planota se dviguje od ravnice ob Soči in Tržaškega zaliva do nadmorskih višin približno 100 metrov na severozahodnem delu Krasa pri Doberdodu in Poljanah, na jugovzhodu pa dosega nadmorske višine 400 do 500 metrov pri Divači in Škocjanu. To je nagnjena planota, na njeni osi leži pas vzpetin širok do 4 km, na severovzhodu se stika z nekaj kilometrov širokim ravnikom. Vzpetine so posledica dvigovanja dolomitov nad apnenci, ravnik ali depresija sledi divaškemu in jameljskemu prelomu. Severovzhodni del raziskovanega območja zaznamuje mreža vodnih tokov s dendridnimi do vzporednimi odtoki, ki so značilni za malo propustne in srednje topne kamnine, kot so laporji in peščenjaki v flišnih faciesih (Cucchi & Zini, 2009).

S širjenjem visoke planote proti severu, to je preko Senožeških brd proti Postojni, se nadmorska višina giblje med 550 m v Postojnski kotlini in 700-800 m na območju gričevja Sajeveče in Laže ter Ravenske planote.

Posebne geološke značilnosti, geografska lega in dolgotrajna izpostavljenost okoljskim dejavnikom so vplivali na oblikovanje klasičnega Krasa, ki predstavlja bistvo kraških pojavov, tako na površju kot v podzemlju. Po površju so vode v razdobju približno petnajstih milijonov let povzročile erozijo flišnega faciesa in raztopile na milijone kubičnih metrov kamnin; ozemlje ima zaradi tega edinstven izgled, v katerem skoraj ni več mogoče prepoznati prvotnih površinskih oblik. Na območju klasičnega Krasa, ki meri približno 750 km², so nastale (in še vedno nastajajo) različne kraške tvorbe, ki so posledica raztapljanja in ki po številu in velikosti presegajo erozivne formacije. Omenjene tvorbe so izrazita posledica strukturnogeoloških dejavnikov.

Ker je raztapljanje izredno počasen kraški proces – v današnjih podnebnih pogojih se letno raztopi komaj 0,01-0,03 mm kamnin (Furlani et al., 2009)–, je potrebnih več tisoč let, da se ustvarijo prepoznavne oblike in znatne morfološke spremembe, zato je današnja morfologija pokrajine pravzaprav zelo podobna prazgodovinski.

sui calcari, la depressione segue le faglie di Divača e Doberdò. La parte nord-orientale dell'area di studio è segnata da un insieme di reticoli fluviali con pattern di drenaggio da dendritici a paralleli, tipici delle aree in cui affiorano rocce poco permeabili e mediamente erodibili quali marne ed arenarie in facies di flysch (Cucchi & Zini, 2009).

Nell'estensione dell'altopiano verso settentrione, cioè verso il Postumiese oltre la sella di Senosecchia, le quote variano dai 550 m s.l.m. della conca di Postumia ai 700-800 m delle colline di Saiecce e Lase e dell'altopiano di Rauni.

Le particolari caratteristiche geologiche, la collocazione geografica, la prolungata esposizione agli agenti atmosferici, hanno portato il Carso Classico a rappresentare l'essenza del carsismo, superficiale e profondo. In superficie, durante la quindicina di milioni d'anni di evoluzione, le acque hanno eroso la copertura in facies di flysch e dissolto milioni di metri cubi di roccia, imprimendo al territorio un aspetto unico in cui le forme superficiali iniziali sono ormai quasi irriconoscibili. Nei circa 750 km² che compongono il territorio del Carso Classico, si sono sviluppate e continuano a svilupparsi, una serie di morfologie carsiche dissolutive che sono in netta dominanza come numero e dimensione rispetto a quelle erosive. Queste forme sono fortemente dipendenti dai condizionamenti geologico strutturali.

Dato che la dissoluzione carsica è un processo estremamente lento (con i climi attuali, se ne vanno appena 0,01-0,03 mm all'anno (Furlani et al., 2009), e quindi ci vogliono migliaia di anni per avere forme significative ed evoluzioni morfologiche "importanti") il paesaggio, inteso come morfologia odierna, è molto simile a quello preistorico.

L'elemento morfologico più rappresentativo è sicuramente la dolina che conferisce alla superficie topografica un aspetto irregolare e tormentato (Figura 2.6). Là dove affiorano i calcari sono presenti doline di tutte le dimensioni, con una propensione a quelle di dimensioni medie. Si notano fasce in cui prevalgono forme di grandi dimensioni e notevole profondità (da Sesana a Sistiana passando per Monrupino, Gabrovizza e San Pelagio o da Dobraule a Comeno, o fra Mattavun e Divaccia), aree in cui le doline sono uniformemente distribuite e presentano un'elevata densità maggiore di 75 per km², come avviene nel carso di

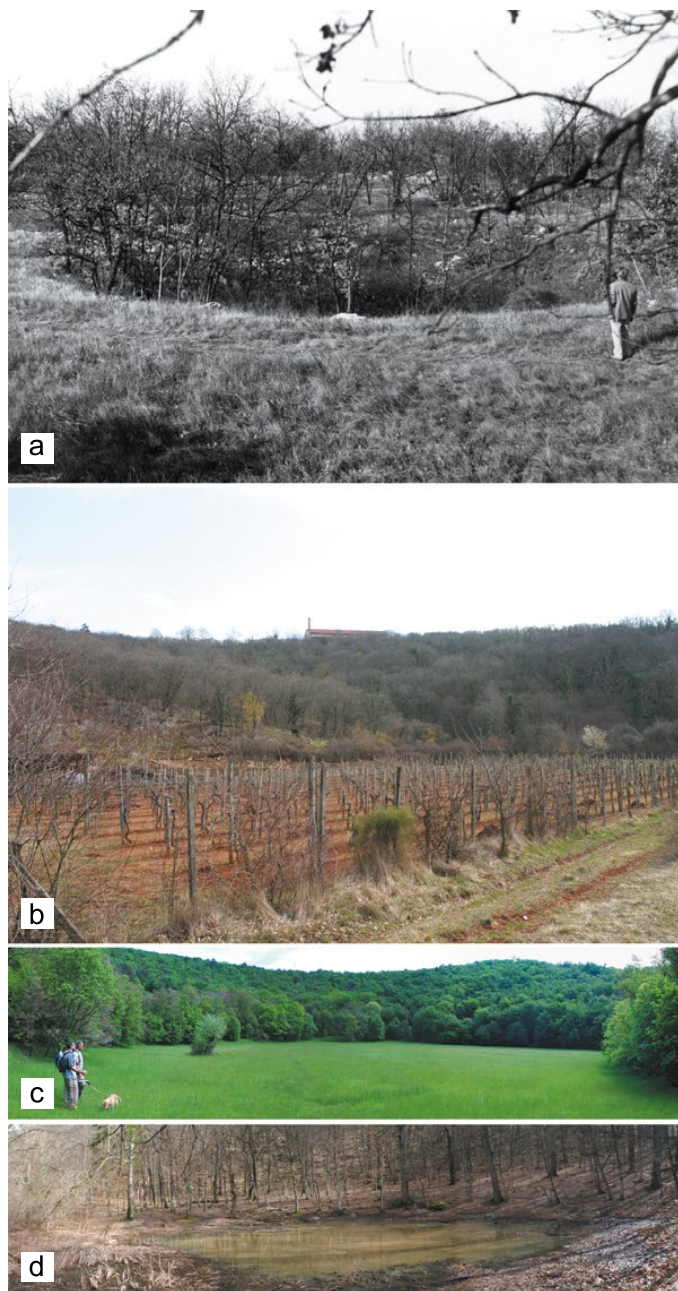
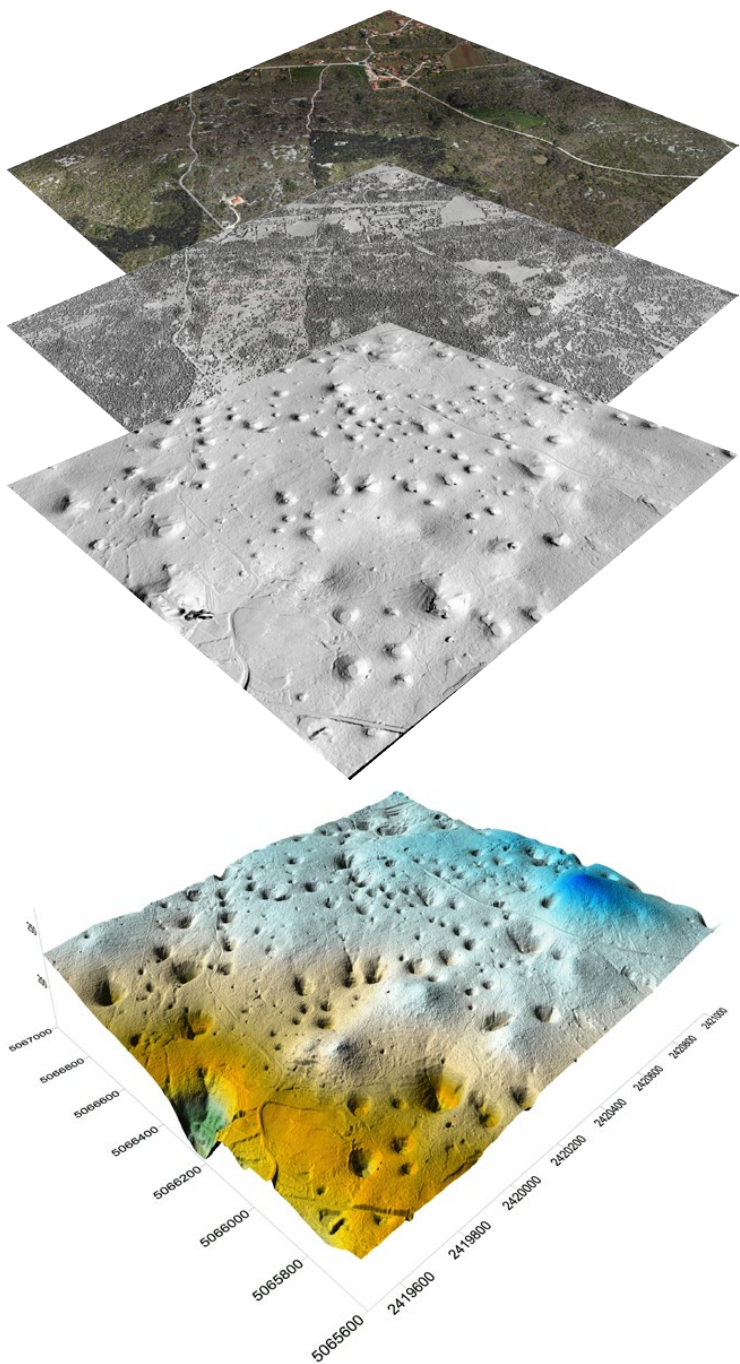


Figura 2.6
a) Dolina presso la Grotta dei Ciclami, gennaio 1983;
b) Dolina presso la Grotta Nemetz;
c) Dolina presso Ceroglie;
d) Dolina di Percedol.
Foto: Furio Finocchiaro

Slika 2.6
a) Dolina pri Orehovi pejci, januarja 1983;
b) Dolina pri Jami pri Katri;
c) Dolina pri Cerovljah;
d) Prčedol.
Fotografije: Furio Finocchiaro.



Morfološki element, ki najbolj izstopa, je nedvomno kraška dolina, ki daje topografski površini raznolik in razgiban videz. Tam, kjer so na površju apnenci, so prisotne doline različnih velikosti, največ pa jih je srednje velikosti (Slika 2.6). Opazna so območja, kjer prevladujejo doline večjih dimenzij in znatnih globin (od Sežane do Sesljana preko Re-pentabra, Gabrovca in Šempolaja ali od Dobravelj do Komna ali še med Matavunom in Divačo), ter območja, kjer so doline enakomerno poraz-deljene in kjer gostota presega $75/\text{km}^2$, kot na primer na doberdobskem Krasu in pri Poljanah, pri Koprivi in Brjih. Zelo pogoste so doline vzdolž točno določenih osi, najpogosteje v smeri S-J, na območju med Lokvijo in Kozino, pa tudi v smeri SZ-SV (Geomorfološka karta klasičnega Kra-sa, Priloga 2). Drugod je porazdelitev neenotna z gostoto med 40 in 75 dolinami na km^2 .

Na obravnavanem območju je bilo popisanih več kot 22.400 dolin, od katerih približno 5.945 v Italiji in 16.500 v Sloveniji; njihova skupna površina pa meri približno dvajset km^2 . Na celotnem preučevanem vzor-cu je povprečni premer manjši od 50 m (okrog 62 odstotkov vseh primer-kov). 31,5 odstotkov dolin ima premer med 50 in 100 metri, medtem ko jih le ducat dosega premer nad 500 m. Povprečna globina največjih do-lin znaša 30 metrov in v redkih primerih doseže 70 metrov. V odstotkih to pomeni, da je skoraj 40 odstotkov vseh dolin nastalo zaradi podrtja stropa podzemne votline.

Na splošno je na celotnem območju opazen strukturni vpliv na de-presije, v katerih se nahajata Doberdobsko in Prelostno jezero, dve kra-ški polji, ki sta povezani z brestoviškim prelomom, zahodnim podalj-škom preloma na območju Brestovice in Jamelj. Nejasen pa je izvor dveh razpok v smeri S-J: prva se vijugasto vije čez doberdobski Kras (t.i. Dol), druga, manj očitna, pa gre od Branika do Gorjanskega (Mali dol).

Med čudovitimi morfološkimi strukturami, ki so prisotne na tem ob-močju, zagotovo najbolj izstopajo znamenite subvertikalne stene, ki so značilne za klif vzdolž obale (Slika 2.7) in so posledica delovanja povr-šinskih sil na narivu tržaško-komenskega antiklinorija zaradi kom-pleksnega sistema narivov dinarskega tipa, kakršna sta na primer kraški nariv in palmanovska linija.

Poseben element pa predstavlja dolina reke Glinščice, ki se nahaja

Oggi la tecnologia laserscanner consente di ricavare immagini tridimensionali eccezionali per lo studio della geomorfologia: dalla foto aerea alla scansione, al substrato filtrato, al 3D.

Danes nam tehnologija laserskih skenerjev omogoča pridobivanje odličnih tridimenzionalnih podob za geomorfološke raziskave: zračno sliko skeniranega območja, filtrirani substrat, 3D sliko.

Doberdò del Lago e Marcottini e nel carso di Capriva e Berie. Sono frequentissime le doline allineate lungo direzioni ben definite, più spesso in direzione N-S, nell'area tra Lokev e Kozina, e talora in direzione NW-SE (Carta Geomorfologica del Carso Classico, Tavola 2). Il resto del territorio presenta una distribuzione a macchia di leopardo con una densità compresa tra 40 e 75 doline per km².

Nell'areale considerato, sono state identificate più di 22.400 doline di cui circa 5.945 in Italia e 16.500 in Slovenia e le cui superfici complessive sono orientativamente pari ad una ventina di km². Sull'intero campione esaminato, il diametro medio è risultato essere inferiore ai 50 m (circa il 62% dell'intera popolazione). Il 31,5 % ha un diametro compreso tra i 50 e i 100 m, mentre solo una dozzina di doline hanno diametro

na južni meji klasičnega Krasa in ki je globoko zarezana v apnenčaste kamnine; njeno morfologijo pogojujeta litološka sestava in tektonski elementi s prelomi in različnimi kamninami, kjer je s selektivno erozijo nastala edinstvena hidrostruktura.

Tem »veličastnim« pojavom se pridružujejo manjši kraški pojavi, zaradi katerih je to ozemlje pridobilo naziv klasični Kras: škraplje, škavnice, razpoke, kraške špranje, zaobljene kraške formacije, ki so nastale zaradi delovanja podpovršinskih plasti, ter koničaste oblike, ki so posledica pospešenega morskega aerosola, gobaste tvorbe, hum in kraški stebri. Raznovrstnost, dimenzije in število pojavov so res impresivni: prav iz teh razlogov že dalj časa obstaja želja po ustanovitvi geoparka klasičnega Krasa, ki naj bi vsesplošno ovrednotil to območje.



Figura 2.7
La falesia di Duino.

Slika 2.7
Devinske stene.

superiore ai 500 m. Le profondità delle depressioni maggiori oscillano mediamente sui 30 m e raggiungono occasionalmente i 70 m. Percettualmente, si reputa che quasi il 40% delle doline abbia genesi da crollo di volta di cavità sottostanti.



Poleg oblik na površju so za Kras značilne tudi izjemno razvite, pogoste in raznolike podzemne morfološke tvorbe. V pasu, ki ga zaobjema projekt, je popisanih 4.077 podzemnih votlin, in sicer 3.060 v Italiji, 1.017 pa v Sloveniji. Vzroka te nesorazmerne porazdelitve ne gre iskati le v manjši prisotnosti jam v Sloveniji, temveč tudi v intenzivni jamarski dejavnosti, ki je bila že od polovice 19. stoletja dalje značilna za območja na italijanski strani meje. Ob pregledu skupne podatkovne baze, zasnovane v sklopu Projekta HYDROKARST, lahko opazimo, da niso vse jame enako globoke in zanimive. V Italiji je jam, ki presegajo dolžino 100 metrov, kar 128, v Sloveniji pa 116. Le nekaj nad deset jam presega 1.000 m. Na osnovi razmerja (S/P) med dolžino (S) in globino (P), ki ga opredeljujejo Zini et al., (2011) lahko jame razdelimo na tri skupine:

- a) HC: jama, ki se pretežno razprostira v subhorizontalni smeri ali z rahlim naklonom, $S/P \geq 1,3$;*
- b) VC: jama, ki se pretežno razprostira v vertikalni smeri, $S/P \leq 0,7$;*
- c) CC: kompleksne jame $0,7 < S/P < 1,3$.*

Opravljen analiza je pokazala, da ima približno 45 odstotkov jam pretežno vodoravno podobo, 30 odstotkov jam pa je pretežno vertikalnih. Okrog 25 odstotkov jam ima kompleksnejšo obliko –vrstijo se brezna in horizontalni predeli.

Med stotinami jam imajo le nekatere zadostno globino, da se v njih nahaja vodonosnik ali da vanje zaidejo vode ob visokem vodostaju. Nekatere izmed teh jam imajo poseben zgodovinski in znanstveni pomen ter so bile zaradi tega za krajše ali daljše obdobje predmet monitoriranja. Med temi so:

2.2.1 Škocjanske jame

Vodni tok reke Reke – zgornje Timave po približno 40 km dolgem površinskem toku ponikne v podzemni kompleks rovov Škocjanskih jam v bližini naselja pri Divači – Škocjana. Voda odteka v jamo, ki je dolga več kot šest kilometrov, in prečka nekaj zelo globokih udornic: Malo dolino (120 m globine) in Veliko dolino (165 m globine). Po približno treh kilometrih poti skozi ogromno sotesko s 26 slapovi (Šumeča jama in Podzemni kanjon reka) reka izgine v sifonu Mrtvega jezera na nadmorski višini 212 m. Jama ima tudi velik sekundarni rokav, bogato zasigan, skozi

Figura 2.8
Le kamenitze di Borgo
Grotta Gigante.

Slika 2.8
Škavnice pri Briščikih.

In generale, nell'intera area, è evidente l'imprinting strutturale sulle depressioni che ospitano i laghi di Doberdò e di Pietrarossa, due polje di livello di base connessi alla faglia del *Colle Nero*, prosecuzione occidentale della faglia di *Brestovica* e *Jamelica*. Dibattuta invece è l'origine dei due solchi a direzione circa N-S, uno, inciso e serpeggiante, che taglia il carso di Doberdò (il cosiddetto Solco del Vallone), uno, meno inciso, che da Rifemberg si prolunga fino a Goriano.

Tra le meravigliose morfologie presenti nell'area, spiccano di certo le spettacolari pareti subverticali che caratterizzano la falesia lungo la costa (Figura 2.7), risultato dell'energia di rilievo conferita al fronte del sovrascorrimento dell'Anticlinorio Trieste-Komen dal complesso sistema di sovrascorrimenti ad andamento dinarico del *Thrust del Carso* e della *Linea di Palmanova*.

Parte a sé invece fa la Val Rosandra ai confini meridionali del Carso Classico, una valle profondamente incisa in calcari, dalla morfologia condizionata dalla litologia e dalla tettonica, cioè da faglie e da rocce diverse su cui l'erosione selettiva ha creato una singolare idrostruttura.

A queste forme "in grande" fanno corollario tutte quelle minute, che costituiscono il patrimonio carsico che giustifica l'appellativo Classico dato al Carso: i campi solcati, le kamenitze (Figura 2.8), i fori di dissoluzione, le scannellature, i solchi, i crepacci carsici, le forme arrotondate per carsismo sottocutaneo e aguzze per dissoluzione accelerata da aerosol marino, i funghi, gli hum e i torrioni. La varietà, le dimensioni ed il numero sono veramente notevoli: non per niente si vuole istituire da tempo il Geoparco del Carso Classico, valorizzando universalmente il territorio.

Oltre alle forme epigee, il Carso è caratterizzato dalla presenza in profondità di morfotipi carsici particolarmente evoluti, frequenti e vari. Nell'area coperta dal progetto, sono rinvenibili 4.077 cavità, di cui 3.060 in Italia e 1.017 in Slovenia. La disparità numerica non è solamente dovuta alla non presenza di grotte in territorio sloveno, bensì all'intensa attività speleologica decisamente elevata in Italia sin dalla metà dell'800. Attingendo alla banca dati congiunta appositamente realizzata per il Progetto HYDROKARST, emerge che non tutte le cavità hanno la medesima profondità e importanza. In Italia le cavità con uno sviluppo in

katerega pa se trenutno ne pretaka voda (Tiha jama in Velika dvorana). UNESCO je jama in njeno okolico leta 1986 razglasil za spomenik svetovne naravne dediščine (UNESCO World Heritage).

2.2.2 Kačna jama

Kačna jama je velik podzemni kompleks, ki se je oblikoval v krednih apnencih približno 1 km zahodno od naselja Divača. To je po Škocjanu ena prvih lokacij, kjer opazimo vodo podzemnega toka Timave. Jama je bila prvič raziskana leta 1895. Brezno se odpre na nadmorski višini 445 m in je dostopno preko vrtine, ki je globoka 213 metrov in vodi do razvejane-ga sistema dveh nivojev podzemnih rogov.

V zgornjem nivoju ni opaziti hidrogeoloških pojavov, je pa tu veliko sigastih tvorb; v tem predelu merijo preučene galerije skupaj približno 1,5 km in se nahajajo med 150 in 245 metri nadmorske višine.

Spodnji nivo, v katerega vstopamo z zgornjega prek zaporednih brezen in rogov, se razvija subhorizontalno na približno 90 m nadmorske višine; zajema razvejan sistem rogov, kjer nahajamo tudi hidrogeološke pojave (tod se pretaka nekaj podzemnih rokavov Timave) in ki merijo skoraj 4 kilometre. Dostop do spodnjih rokavov je odkrila in prvič raziskala skupina jamarjev iz Trsta leta 1975; skozi ta del jame teče stalni vodni tok, ki je še neraziskan; obstaja še drug rokav, ki ga zaznamuje skupek večjih jezer.

Trenutno se z raziskovanjem ukvarja več znanstvenih ekip, ki prihajajo iz različnih držav; izsledki njihovega delovanja z leti nadgrajujejo in izpopolnjujejo naše znanje o tem pomembnem kraškem sistemu.

Vse do danes je bilo raziskanih in popisanih že 8,6 km Kačje jame vse do globine 279 m, kar ustreza nadmorski višini 156 m.

Med visokim vodostajem Timave se nivo vode lahko povzpne tudi do 80-90 metrov ter tako poplavi zgornji nivo rogov.

Kačna jama je del kompleksnega in široko razprostrtega sklopa jam (povezave med njimi še niso raziskane), ki povezuje Škocjanske jame, Kačno jama in Brezno treh generacij. Slednje je bilo odkrito nedavno (leta 2010) in njegovo dno se nahaja na isti globini kot jezero Phare na skrajnem jugovzhodnem delu novih rogov Kačne jame.

Skupen obseg tega obsežnejšega jamskega sistema naj bi v dolžino meril več kot 15 km.

pianta superiore ai 100 m sono 128, mentre quelle in Slovenia sono 116. Una decina solamente hanno uno sviluppo superiore ai 1000 m. Sulla base del rapporto (S/P) tra sviluppo orizzontale (S) e profondità (P), definito in Zini et al., (2011) possono essere riconosciute tre tipologie di grotte:

- a) HC: cavità a prevalente sviluppo sub-orizzontale o debolmente inclinato in cui $S/P \geq 1,3$;
- b) VC: cavità a prevalente sviluppo verticale in cui $S/P \leq 0,7$;
- c) CC: cavità complesse con $0,7 < S/P < 1,3$.

L'analisi realizzata ha messo in evidenza che circa il 45% delle cavità ha un prevalente sviluppo orizzontale, mentre il 30% ha un prevalente sviluppo verticale. Il 25% circa ha una forma complessa, in cui i pozzi si alternano a tratti orizzontali.

Fra le centinaia di cavità, solo alcune sono sufficientemente profonde da interessare la falda di base o da essere raggiunte dalle acque durante le piene. Alcune di esse hanno importanza storica e scientifica in quanto sono state monitorate per periodi più o meno lunghi. Fra queste:

2.2.1 Grotte di San Canziano

Dopo un percorso superficiale di circa 40 km, nelle vicinanze dell'abitato di Divaccia-Škocjan (San Canziano) il fiume Reka-Timavo Superiore si inabissa nel complesso di gallerie sotterranee delle Grotte di San Canziano (Škocjanske Jame). L'acqua del fiume entra in una cavità lunga complessivamente più di 6 km e attraversa alcune doline di crollo molto profonde: la Mala dolina con i suoi 120 m di profondità e la Velika dolina con 165 m. Da qui il fiume, dopo aver percorso circa 3 km di una gigantesca forra (Šumeča jama e Podzemni kanjon Reka) con 26 cascate, scompare in un sifone del Lago Morto (Mrtvo jezero) a 212 m s.l.m. La cavità ha inoltre un imponente ramo secondario riccamente concrezionato e non percorso attualmente dalle acque (Tiha jama e Velika dvorana). L'UNESCO, nel 1986 ha dichiarato questa grotta e l'area circostante, Patrimonio Mondiale Naturale dell'Umanità (UNESCO World Heritage).



2.2.3 Labodnica pri Trebčah

Labodnica pri Trebčah je najbolj znana jama na tržaškem Krasu. Leta 1841 jo je odkril Antonio Federico Lindner pri iskanju virov pitne vode za potrebe mesta Trst in takrat so jo po nekaj mesecih izkopavanj tudi opremlili za dostop. Jamo, ki je last občine Trst, trenutno upravlja jamarsko društvo Società Adriatica di Speleologia; opremljena je s fiksno lestvijo.

Dolga leta je veljala za eno najglobljih jam na svetu; v preteklosti in vse do današnjih dni je ohranila središčno vlogo pri raziskovanju kraške hidrogeologije, saj je postala pomemben podzemni znanstveni laboratorij.

Vhod v brezno se nahaja v bližini državne meje ob manjši dolini med Trebčami in Fernetiči. Jama meri 920 m, globoka je 354 m in v njej se nahaja okrog dvajset brezen, globokih od 2 do 50 m, prek katerih je mogoč dostop do Lindnerjevega rova in v številne stranske rove. Široka končna dvorana, skozi katero se pretaka rokav Timave (Slika. 2.9), je

Figura 2.9
Le acque del Timavo nell'Abisso di Trebiciano.
Foto: U. Tognolli

Slika 2.9
Reka Timava v Labodnici pri Trebčah.
Fotografija: U. Tognolli

2.2.2 Abisso dei Serpenti

L'Abisso dei Serpenti è un grandioso complesso ipogeo che si sviluppa nei calcari cretaci a circa 1 km ad ovest dell'abitato di Divača. È uno dei primi punti, dopo San Canziano, in cui si intercettano le acque del Timavo sotterraneo. La cavità fu esplorata per la prima volta nel 1895. L'abisso si apre a quota 445 m s.l.m. e si presenta con un pozzo di accesso profondo 213 m che conduce ad un sistema più vasto di gallerie distribuite su due livelli.

Il livello superiore è idrogeologicamente inattivo ma riccamente concrezionato; in questo tratto le gallerie censite si sviluppano per circa 1,5 km e sono comprese tra le quote di 150 e 245 m s.l.m..

Il livello inferiore, a cui si accede dal livello superiore attraverso una serie di pozzi e gallerie, si sviluppa sub-orizzontalmente restando a quota di circa 90 m s.l.m e consiste in un articolato sistema di gallerie idrologicamente attive (vi passano alcuni rami del Timavo sotterraneo) che si sviluppano per una lunghezza complessiva di quasi 4 km. L'accesso ai rami inferiori è stato scoperto ed esplorato per la prima volta nel 1975 da un gruppo di speleologi triestini e ospita un corso d'acqua perenne di cui non si conoscono ancora le portate reali; mentre un altro ramo è caratterizzato da una serie di grandi laghi.

Attualmente molti gruppi speleologici, provenienti da varie nazioni, sono impegnati nell'attività di esplorazione ed è grazie al loro contributo che di anno in anno le conoscenze di questo imponente sistema carsico sono arricchite ed aggiornate.

Ad oggi i tratti censiti nell'Abisso dei Serpenti raggiungono uno sviluppo complessivo di più di 8,6 km fino ad una profondità complessiva di 279 m che corrisponde alla quota 156 m s.l.m.

Durante le piene più significative del Timavo, il livello delle acque può risalire anche di 80-90 m fino ad allagare il livello di gallerie superiore.

L'Abisso fa parte di un più complesso ed esteso insieme di cavità (non ancora speleologicamente connesse) che collega le Grotte di San Canziano (*Škocjanske jame*, in Slovenia), la *Kačna Jama* e l'Abisso delle tre generazioni (*Brezno treh generacij*). Quest'ultimo è stato scoperto solo recentemente (2010) e la sua quota di fondo coincide con quella del lago *Phare* situato nell'estremità sud-orientale delle gallerie nuove della *Kačna Jama*.

v večjem delu napolnjena z rečnimi naplavinami in ostanki udorov. Naj-novejše jamarsko-potapljaške raziskave so potrdile prisotnost večjih poplavljenih dvoran, ki segajo še nadaljnjih 25 m v globino in so dolge vsaj 100 m: v teh vodah živi proteus (človeška ribica) in veliko število drugih jamskih organizmov (manjših vretenčarjev).

2.2.4 Jerkova jama

Jerkova jama se nahaja v bližini Cola pri Repentabru na nadmorski višini 302 m, 3,5 km od Labodnice v smeri proti severu. Jama je pretežno navpična in ima številna brezna, ki vodijo v široke dvorane; na dnu se pretaka eden od podzemnih rokavov Timave. Razdalja med vhodnim in izhodnim sifonom meri 340 m, jama je v celoti dolga približno 450 m. Raziskovanje jame, ki se je pričelo leta 1987, je zahtevalo veliko truda in težka izkopavanja, ki so jih opravili jamarji skupine Commissione Grotte E. Boegan. Izkopna dela so večkrat opustili in z njimi ponovno nadaljevali, dokler se niso leta 1999 zaključila z odkritjem stalnega vodnega toka Timave na nadmorski višini približno 4 m. Z geološkega vidika je ta jama tesno povezana z Labodnico pri Trebčah; podobno kot v Labodnici je namreč mogoče tudi tu opaziti skoraj 300 metrov dolgo zaporedje usedlin, 200 m dolomitskih apnencev repentaborske formacije, nad katerimi so nabrežinski apnenci, bogati z delci rudistov. Geološka struktura tudi v tem primeru pogojuje sosledico podzemnih prostorov.

Rovi na dnu jame so poplavljeni; zanje so značilni temni in sivi dolomiti z neenakomerno plastnostjo. Morfološka zgradba jamskih obokov in sten je posledica rušenja kamnitih plasti in podorov, medtem ko je dno napolnjeno z ostanki teh podorov, skal, peskov in ilovico. Vzorčevanje voda na dnu jame je kljub nerednim analizam omogočilo opredelitev v facies kalcijevega bikarbonata, ki je zelo podoben faciesu vode, analizirane v Labodnici, medtem ko so vidne razlike s primerjavo vode reke Reke (zgornje Timave); jamska voda vsebuje več kalcija in bikarbonata ter ima manj magnezija. Najvišji zabeleženi nivo vode je dosegel 30 m nadmorske višine, vendar so tudi v stenah nekaterih brezen vidni znaki vodnega nivoja, ki lahko doseže do 70 m nadmorske višine.

Lo sviluppo complessivo di questo sistema più ampio di cavità risulterebbe così, lungo più di 15 km.

2.2.3 Abisso di Trebiciano

L'Abisso di Trebiciano è la grotta più nota tra le tante presenti sul Carso. È stata scoperta e resa agibile nel 1841, dopo mesi di duri lavori di scavo, da Antonio Federico Lindner nell'ambito delle ricerche di fonti di acqua potabile per la città di Trieste. Di proprietà del Comune di Trieste, oggi la cavità è gestita dalla Società Adriatica di Speleologia ed è attrezzata con scale fisse.

A lungo è stata una delle grotte più profonde del mondo e ha avuto, come ha tuttora, un ruolo molto importante nelle indagini sull'idrogeologia carsica, essendo divenuta un importante laboratorio scientifico sotterraneo.

L'ingresso dell'Abisso si trova nei pressi del confine di Stato sul fianco di una piccola dolina fra Trebiciano e Ferneti. Nel suo complesso la cavità ha uno sviluppo planimetrico complessivo di 920 m, una profondità di 354 m e consta di una ventina di pozzi, profondi dai 2 ai 50 m, attraverso i quali si accede alla Caverna Lindner e a numerose diramazioni secondarie. L'ampio vano finale, lungo il quale scorre un ramo del Timavo (Figura 2.9), è per la gran parte riempito da depositi alluvionali e di crollo. Recenti esplorazioni speleosubacquee hanno accertato la presenza di ampi vani allagati per ulteriori 25 m in profondità e 100 m in lunghezza: in queste acque vivono il proteo ed un gran numero di altri organismi ipogei (piccoli invertebrati).

2.2.4 Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko

La Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko si apre a Zolla di Monrupino alla quota di 302 m s.l.m. e a 3.5 km a nord dell'Abisso di Trebiciano. La cavità è ad andamento prevalentemente verticale, con numerosi pozzi che conducono a due ampie caverne, sul cui fondo scorre un ramo del Timavo sotterraneo. La distanza tra il sifone di entrata e quello di uscita è di 340 m, lo sviluppo complessivo della grotta è di circa 450 m.

L'esplorazione, iniziata nel 1987, ha comportato notevoli fatiche e difficili lavori di scavo che sono stati condotti dagli speleologi della Com-

2.2.5 Briška jama

Briška jama je bila vključena v Guinnessovo knjigo rekordov kot največja turistična podzemna dvorana na svetu: obsega jamsko votlino, ki je dolga 167 m, široka 76 m in visoka 99 m, njena skupna prostornina pa znaša 365.000 m³. Prvič jo je leta 1840 raziskal Antonio Federico Lindner, inženir mineralogije, ki se je v prvi polovici 19. stoletja podal v raziskovanje podzemnega toka Timave in ga je nazadnje odkril v jami Labodnici pri Trebčah. V turistične namene so Briško jamo odprli leta 1908 in danes je povsem dostopna obiskovalcem, odlično razsvetljena in bogata s čudovitimi jamskimi tvorbami. V šestdesetih letih so nekateri jamarji skupine Commissione Grotte E. Boegan pričeli z izkopom v stranskem breznu ter tako dosegli globino 252 m (z nadmorsko višino 23 m). Na dnu tega brezna se občasno nabira voda, obilnejša v primeru padavin, ki odteka v globine skozi naravno oblikovan rov. Le ob izrednem vodostaju podzemnih voda Timave se brezno delno napolni z vodo. Morfološke značilnosti, osrednja lokacija znotraj območja klasičnega Krasa, dostopnost, električna napeljava in stalna prisotnost osebja so dejavniki, ki so z leti omogočili namestitev raznih merilnih naprav za geološki nadzor tako znotraj jame kot ob njej (Slika 2.10). Zaradi celotnega sklopa teh naprav je danes Briška jama prava znanstvena postajanka, študijsko središče za različna področja znanosti o Zemlji.

Znotraj jame se namreč nahajajo seizmološka postaja Nacionalnega inštituta za oceanografijo in eksperimentalno geofiziko (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – INOGS), horizontalna nihala in klinometri Oddelka za matematiko in geoznanosti (Dipartimento di Matematica e Geoscienze) Univerze v Trstu, merilne naprave za vodna slezenja in kapljanja ter konkrecijo (z njimi upravlja planinsko društvo Società Alpina delle Giulie CAI TS v sodelovanju z Oddelkom za matematiko in geoznanosti tržaške Univerze), senzorji za stalni nadzor radona (ARPA FVG - Deželna agencija za okolje) in sonda za stalni nadzor nivoja, temperature in električne prevodnosti talnih voda (Oddelek za matematiko in geoznanosti tržaške Univerze). Zunaj jame se nahajajo še druge merilne naprave, kot na primer meteorološka postaja inštituta ISMAR (Istituto di Scienze Marine – CNR) in nekatere naprave za spremljanje kraške disolucije (TMEM), ki delujejo že od leta 1979.

missione Grotte “E. Boegan”. Questi lavori sono stati abbandonati e ripresi più volte fino a concludersi nel 1999 con la scoperta di un corso d’acqua (Timavo) permanente ad una quota di circa 4 m s.l.m.

Dal punto di vista geologico, la cavità è in stretta correlazione con l’Abisso di Trebiciano ed anche qui, come a Trebiciano, è possibile osservare quasi 300 m di successione sedimentaria, 200 m nelle dolomie calcaree della Formazione di Monrupino seguiti verso l’alto dai Calcari di Aurisina ricchi in frammenti di rudiste. Lo sviluppo dei vani, come spesso accade, è condizionato dall’assetto geologico strutturale.

Le gallerie di fondo sono allagate e si sviluppano in dolomie nerastre e grigie irregolarmente stratificate. La morfologia delle volte e delle pareti è il risultato di crolli e ribaltamenti mentre il fondo è ingombro di materiale crollato, detriti, sabbia e limo.

I monitoraggi delle acque di fondo, seppur saltuari, hanno permesso di identificare una facies bicarbonato – calcica molto simile a quella delle acque analizzate nell’Abisso di Trebiciano, mentre rispetto all’acqua del *Reka* (Timavo superiore) le differenze sono più evidenti: l’acqua nella grotta è più ricca di calcio e bicarbonato e più povera percentualmente di magnesio.

Il livello dell’acqua massimo registrato è stato di 30 m s.l.m., ma sulle pareti dei pozzi sono evidenti segni di risalita fino a 70 m s.l.m.

2.2.5 Grotta Gigante

La Grotta Gigante è stata inserita nel libro del Guinness dei Primati dove risulta essere la cavità turistica più ampia al mondo: consiste in una caverna lunga 167 m, larga 76 m e alta 99 m, per un volume totale di 365.000 m³.

È stata esplorata per la prima volta nel 1840 dall’ingegnere minerario Antonio Federico Lindner. Resa turistica nel 1908, è oggi facilmente visitabile, ottimamente illuminata, splendidamente concrezionata.

Negli Anni Sessanta alcuni speleologi della Commissione Grotte “E. Boegan” iniziarono uno scavo alla base di un pozzo laterale che oggi raggiunge la profondità di 252 m a quota 23 m s.l.m.

Al fondo di questo pozzo occasionalmente affiora dell’acqua, più abbondante in caso di precipitazioni, che si inabissa attraverso una con-

2.2.6 Lisičja luknja

Jama Lisičja luknja se nahaja na dnu kraške doline v bližini vasi Slivno na nadmorski višini 179 m, v središču tržaškega klasičnega Krasa, na območju, kjer so se na površju razvile zanimive in nenavadne kraške oblike. Jama obsega 825 m dolg rov, ki se rahlo spušča in se v nekatere



Figura 2.10
La Grotta
Gigante.

Slika 2.10
Briška jama.

dotta naturale. Solo in occasione delle piene importanti del Timavo sotterraneo, il pozzo si riempie parzialmente per l'emersione delle acque di falda.

Le caratteristiche morfologiche, la posizione centrale nel Carso Classico, la facilità d'accesso, la disponibilità dell'elettricità e di personale, hanno facilitato negli anni, il posizionamento all'interno e all'esterno della grotta, di alcune stazioni scientifiche di monitoraggio geologico (Figura 2.10).

L'insieme di queste apparecchiature rende oggi la Grotta Gigante una vera e propria stazione sperimentale scientifica, un punto di riferimento per lo studio nei diversi campi delle Scienze della Terra.

Infatti, all'interno della cavità sono presenti: la stazione sismologica dell'INOGS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale), i pendoli orizzontali e i clinometri del DMG (Dipartimento di Matematica e Geoscienze) dell'Università di Trieste, le stazioni di misura della percolazione e del concrezionamento (gestiti dalla Società Alpina delle Giulie-CAI TS in collaborazione con il DMG), i sensori di monitoraggio in continuo del gas Radon (gestiti da ARPA FVG – Agenzia Regionale per l'Ambiente), la sonda per il monitoraggio in continuo di livello, temperatura e conducibilità elettrica delle acque di fondo (DMG). All'esterno della cavità ci sono altre apparecchiature di monitoraggio come la stazione meteorologica gestita dall'ISMAR (Istituto di Scienze Marine – CNR) e alcune stazioni di misura della dissoluzione carsica (tramite dispositivo TMEM) attive già dal 1979.

2.2.6 Grotta Antonio Federico Lindner

La Grotta Lindner si apre sul fondo di una dolina in località Slivia a 179 m di quota. Il sito si trova al centro del Carso Classico triestino in una zona dove si sono sviluppate interessanti e peculiari forme carsiche superficiali. La cavità consiste in una galleria lunga 825 m, in lieve discesa e a tratti anche molto ampia, che raggiunge i 9 m s.l.m. A metà circa della caverna si aprono alcuni pozzi e diramazioni laterali che conducono ad un'altra piccola sala il cui fondo si trova a quota di circa 2 m s.l.m. e ove è installato uno strumento di monitoraggio.

Durante le piene del Timavo sotterraneo, la cavità si allaga parzial-

rih odsekih zelo razširi ter tako doseže globino 9 m nadmorske višine. Približno na polovici jame je nekaj brezen in stranskih rovvov, ki vodijo do druge manjše dvorane na nadmorski višini okrog 2 m; tu je nameščena merilna naprava. Med visokim vodostajem podzemnih voda Timave je jama delno preplavljena, saj je tesno povezana z vodostajem izvirov, oddaljenih 6,8 km. Povišan nivo vode traja nekaj dni in je povezan s količino padavin.

2.2.7 Izviri Timave

Izviri Timave, imenovani tudi vrelci, bruhalniki ali pomotoma ustja, se nahajajo v Štivanu pri Devinu: predstavljajo glavni sistem izvirov klasičnega Krasa, zajemajo pa štiri večje vodne žile v treh rokavih. Vode, ki napajajo reko Timavo, se po približno 3 kilometrih izlivajo v Jadransko morje v Tržiškem zalivu.

Prvi rokav je opremljen s premično zapornico in z odcepnim kanalom v smeri proti papirnici; glavne vodne žile drugega in tretjega rokava so pregrajene z dvema pretočnima kanaloma, ki tvorita dva bazena, katerih nivo uravnavata zapornici. S tem se nadzira višina vodne gladine izvirov in se preprečuje vdor morske vode.

Z raziskavami podzemlja so bile odkrite povezave med štirimi vodnimi žilami, ki predstavljajo končni del zelo razvejanega sistema podzemnih kanalov, ki so poplavljeni ter se spuščajo do 83 metrov pod morsko gladino, skupna dolžina teh kanalov pa meri približno 1500 metrov. Speleologi so tudi odkrili povezavo med izvirskim sistemom in bližnjo jamo (Pozzo dei Colombi).

Tu je podjetje AcegasApsAmga vse do devedesetih let prejšnjega stoletja črpalo vodo za oskrbo mesta Trst. Danes se timavski izviri prištevajo med rezervne vodne vire in občasno prispevajo manjše količine pitne vode za preskrbo mesta in zaledja (okrog 20 odstotkov).

Kraški podzemni vodni viri so rezultat vsaj nekaj deset milijonov let trajajočih razvojnih sprememb, med katerimi je začetni fazi nastajanja podzemnih tvorb sledilo še dolgo obdobje širitve prostorov v freatičnih pogojih. Med to fazo je na vodno omrežje - s pretakanjem vode povečini iz jugovzhodne proti severozahodni smeri, to je proti izvirskemu pasu na zahodnem območju – najverjetneje vplivalo sosednje propustnih slojev



Figura 2.11
Esplorazioni speleosubacquee nella
Grotta dei Colombi in prossimità
delle Sorgenti del Timavo.
Foto: Paolo Guglia

Slika 2.11
Spust jamarjev-potopljačev v Jamo
pri Štivanu ob izviri reke Timave.
Fotografija: Paolo Guglia

mente, in stretta relazione con il regime delle acque alle sorgenti poste a 6,8 km di distanza. Gli episodi di innalzamento del livello hanno una durata di parecchi giorni e una frequenza correlata con le precipitazioni.

2.2.7 Le gallerie delle Sorgenti del Timavo

Le Sorgenti del Timavo, dette anche risorgive, risorgenze o, erroneamente, Foci, sono in località San Giovanni di Duino: rappresentano il sistema sorgivo principale del Carso Classico, consistente in quattro polle raccolte in tre rami. Le acque che confluiscono nel fiume Timavo, percorrono 3 km circa e sboccano nel Mare Adriatico, Golfo di Panzano.

Il 1° ramo è dotato di una paratoia mobile e di una derivazione per la Cartiera del Timavo, le polle principali del secondo e del 3° ramo sono sbarrate da due stramazzi che vanno a formare due bacini, il cui livello è regolato da paratoie. Il tutto per regolare le altezze delle acque sorgive ad evitare contaminazione da acque marine.

Esplorazioni speleosubacquee hanno rilevato le interconnessioni tra le quattro polle, recapiti di un articolato complesso ipogeo allagato di gallerie intrecciate e ampie che giunge fino a 83 m sotto il livello del mare ed ha 1500 m di sviluppo totale. Gli speleosubacquei hanno inoltre verificato il collegamento tra il sistema sorgivo e il Pozzo dei Colombi (Figura 2.11).

Da qui, fino agli anni '90 del secolo scorso, AcegasApsAmga attingeva acqua per alimentare l'acquedotto della città di Trieste. Attualmente le Sorgenti (Timavo e Sardos) sono considerate una fonte di approvvigionamento di riserva e contribuiscono saltuariamente con pochi m³/s alle acque per la città e l'altopiano (circa il 20% del totale).

Il reticolo carsico ipogeo è il risultato di almeno una decina di milioni di anni di evoluzione, durante i quali all'iniziale fase speleogenetica è seguito un lungo periodo di ampliamento dei vani in condizioni di freaticità. Durante questa fase, con movimento delle acque prevalente da SE verso NW, cioè verso la zona sorgentifera nel settore occidentale, la gerarchizzazione del reticolo è probabilmente stata condizionata dagli strati più aperti e continui e dalle discontinuità persistenti alle quali le spinte tettoniche conferivano maggior apertura e quindi permeabilità.

Quasi sicuramente alla crisi di salinità del Messiniano, 6-5 milioni di anni fa, è seguita una fase in cui il gradiente è bruscamente e notevol-

ali razpok, na katere so vplivali tektonski premiki, ki so še povečevali prepustnost.

Skoraj zagotovo je v Messinijski krizi slanosti pred 6-5 milijoni let sledila faza, med katero se je gradient naenkrat znatno povečal, kar je posledično povzročilo vsesplošno znižanje podzemnih votlin zaradi erozije in korozije in ustvarilo še nove globoke jamske soteske. Zatem je nastopila faza prilagajanja z znatnim udiranjem in usedanjem materialov, ki so celo zapolnili in pregradili dotedanje glavne smeri odtoka ter posledično odprli nove odtoke. Medtem se je razvoj nadaljeval s procesi konkrecije, nastopile so nove zapolnitve, erozijske spremembe in še drugi podori. Ta proces so spremljala tudi nihanja tal in podnebne spremembe.

Zagotovo je nam najbližja tista faza, med katero so se povečale in razširile vertikalne ali subvertikalne odprtine vadoznega pasu. Večino poznanih jam in votlin predstavljajo danes brezna; povečini niso globoka, saj so jih zasuli in zaprli udori ali nakopičen material. Veliko brezen sega do drugih rovov in votlin, ki tako tvorijo kompleksne in obsežne jame.

Kraški pojavi v hidrostrukturi na območju kasičnega Krasa segajo danes vsaj do 150-200 m pod morsko gladino, zaobjemajo raznovrstne vodne poti, razne rove in brezna, ki so med seboj povezani in večinoma povsem poplavljeni.

Za epifreatski pas je značilna razvejana mreža manjših odprtin, ki zagotavljajo učinkovit in hiter površinski odtok v globine. S površine se stekajo številni med seboj povezani odvodni kanali, ki enako učinkovito skrbijo za odtekanje teh vod v smer delnega nihanja in posledično v zasičeno cono. Konkrecije, udorne skale in rečne usedline spreminjajo obliko in velikost odprtin ter vplivajo na lokalno večanje ali manjšanje prepustnosti. Za klasični Kras je značilno široko, zmogljivo in dobro povezano drenažno omrežje, ki je učinkovito razvejano ter lahko po eni strani zagotavlja hiter pretok vode iz površinskih točk pa vse do globin in do morja, po drugi strani pa zagotavlja statične rezerve praktično neomejenih količin sladke vode.

mente aumentato, il che ha innescato un generale complessivo abbassamento per erosione e corrosione dei vani, con la genesi di profonde forre. A ciò ha fatto seguito una fase di adeguamento dei vani, con grandi crolli e depositi di riempimento anche tanto imponenti da sbarrare le vie principali di deflusso con conseguente apertura di nuove vie. Nel mentre, l'evoluzione procedeva con concrezionamenti, altri riempimenti, episodi prevalentemente erosivi, altri crolli. Il tutto a seguire le oscillazioni del livello di base e le variazioni climatiche.

Sicuramente più recente è la fase durante la quale si sono moltiplicati ed allargati i vani verticali o subverticali della zona vadosa. I pozzi oggi costituiscono l'assoluta maggioranza delle cavità note anche se solitamente non hanno grandi profondità perché occlusi da crolli o riempimenti. Molti di loro intercettano gallerie o caverne, dando accesso a cavità complesse ed estese.


Oggi l'idrostruttura carsica del Carso Classico è sicuramente carsificata almeno fino a 150-200 m di profondità sotto il livello del mare, contiene ampie ed estese vie d'acqua quali gallerie e pozzi tra loro collegati, in buona parte completamente allagati.

La zona epifreatica è interessata da un minuto e diffuso reticolo di discontinuità beanti che sono in grado di drenare efficacemente e rapidamente le acque in profondità. Il reticolo superficiale fa capo a numerosissimi dreni intercomunicanti che altrettanto efficacemente drenano le acque verso la zona di oscillazione e la zona satura. Il concrezionamento, i depositi di crollo e alluvionali, modificano forma e dimensioni dei vani, portano a locali aumenti o diminuzioni della permeabilità. Comunque sia, il Carso Classico contiene al suo interno una vastissima, potente e ben collegata rete di dreni efficacemente gerarchizzati, in grado da un lato di trasferire con velocità le acque dai punti di assorbimento ai recapiti di fondo e a mare, dall'altro di contenere riserve statiche con volumi praticamente inesauribili di acqua dolce.



**A) Il Reka in inverno.
B) Sablici.**

**A) Reka Reka pozimi.
B) Sabliči.**



Il Reka a San Canziano.

Reka Reka pri Škocjanu.