

GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	23 (2001)	5-29	Udine, 31.III.2002	ISSN: 0391-5859
---	-----------	------	--------------------	-----------------

S. CARESSA, E. GORDINI, R. MAROCCO, G. TUNIS

CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEGLI AFFIORAMENTI ROCCIOSI DEL GOLFO DI TRIESTE (ADRIATICO SETTENTRIONALE)*

GEOMORPHOLOGIC FEATURES OF THE ROCK OUTCROPS OF THE TRIESTE GULF (NORTHERN ADRIATIC SEA)

Riassunto breve - Indagini indirette e numerose immersioni subacquee nel Golfo di Trieste hanno permesso d'identificare un cospicuo numero d'affioramenti rocciosi, solo in minima parte conosciuti dagli studi precedenti. Su un centinaio di queste rocce, d'origine ancora incerta, è stata condotta un'analisi morfologica quantitativa al fine di definire i loro caratteri tipici (forma, estensione, profondità, distanza dalla costa, tessitura e morfologia del fondale, ecc.) e le eventuali relazioni di dipendenza con queste variabili (attraverso analisi bi- e multivariata).

Parole chiave: Geomorfologia subacquea, Affioramenti rocciosi, Piattaforma continentale, Golfo di Trieste, Italia.

Abstract - A very relevant number of rocky outcrops, only a few of them already known from previous studies, have been discovered and identified through indirect measurements and several scuba diving in the Gulf of Trieste. A quantitative morphological analysis has been performed on about hundred of those outcrops, in order to define their peculiar features (shape, extension, depth, distance from the coastline, texture and bottom morphology, etc.) and to highlight the dependence relationships with these variables (bi- and multivariable analysis).

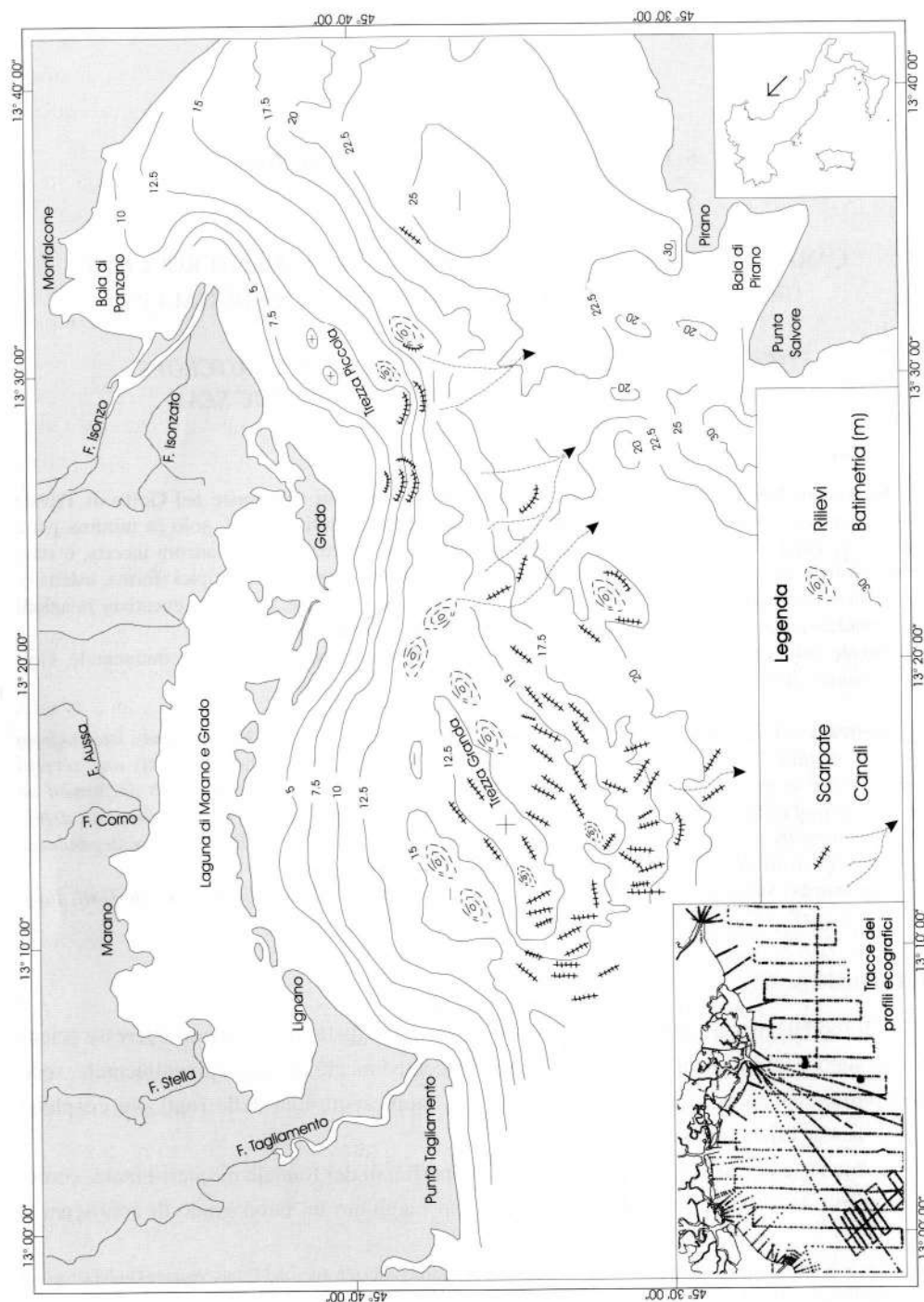
Key words: Subaqueous geomorphology, Rock outcrops, Continental shelf, Trieste Gulf, Italy.

Introduzione

Il fondale marino dell'alto Adriatico è da sempre oggetto di un attento interesse scientifico, sia per le sue peculiari caratteristiche di recente braccio di mare epicontinentale, sede d'importanti processi oceanografici, sia poiché rappresenta una delle fonti più cospicue delle risorse ittiche nazionali.

Anche se per molte delle caratteristiche superficiali del fondale di questo mare, come, ad esempio la tessitura dei sedimenti, si è ormai raggiunto un buon grado di conoscenza,

* Lavoro eseguito con i contributi M.U.R.S.T. - Fondi 60 % (Cartografia tematica del Friuli-Venezia Giulia e regioni finitime; Responsabile R. Marocco).



rimangono ancora molti lati oscuri soprattutto sull'interpretazione genetica e sull'età di formazione di alcune estese morfologie sottomarine (alti morfologici di natura diversa - vedi ad esempio Dosso di Santa Croce - e alcune incisioni meandriformi) e, in particolare, dei corpi sedimentari cementati (che prendono il nome locale di tegnue, grebani, sassi, ecc) che sono noti da almeno un secolo. In passato, queste formazioni sottomarine sono state oggetto di studio sia dal punto di vista geologico - paleo ambientale (con interpretazioni che vanno da "beachrock" a "pockmark") che da quello biologico (in quanto oasi di vita su un fondale povero e monotono), senza però arrivare ad una loro puntuale definizione areale, ad una catalogazione o suddivisione secondo determinate tipologie morfologiche, e, soprattutto, senza una chiara interpretazione genetica.

Primario obiettivo di questo lavoro è quello di fornire un dato quantitativo, il più accurato possibile, di tutti gli affioramenti rocciosi presenti nel versante italiano del Golfo di Trieste (da Punta Sdobba alla foce del F. Tagliamento) con l'intento di definire la loro area di diffusione, i rapporti con la morfologia regionale e con la sedimentologia dei fondali e le eventuali connessioni tra loro profondità, altezza e forma. Tutti questi dati dovranno costituire la base conoscitiva sulla quale sviluppare, in una fase successiva della ricerca, lo studio sulla genesi di questi depositi cementati, anche alla luce di ricerche specifiche eseguite in aree simili. Obiettivo non secondario, poi, è quello di costruire un database di questi geositi che potrà essere utilizzata per azioni di tutela a livello nazionale (aree marine protette) di questo patrimonio naturale, com'è stato eseguito recentemente nell'area litorale di Grado, in corrispondenza di resti archeologici sommersi, colonizzati da *Posidonia oceanica*.

Lineamenti geologici e geomorfologici

Il fondale marino oggetto del presente studio si estende per circa 730 km², nella parte più settentrionale dell'alto Adriatico e rappresenta il settore più occidentale del Golfo di Trieste (fig. 1).

È un'area marina soggetta all'influsso di ingenti apporti solidi e liquidi continentali da parte dell'Isonzo ad Est e del Tagliamento ad Ovest (per entrambi è stimato un apporto solido di 2×10^6 m³ all'anno, REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA, 1979 e COLANTONI et al., 1985). Risulta sede di una circolazione di masse d'acqua essenzialmente da Est ad Ovest, cui si assommano correnti unidirezionali di marea e altre di deriva, meno regolari e di

Fig. 1 - Golfo di Trieste: ubicazione dell'area in studio, tracce dei rilievi ecografici e schema morfologico del fondo marino (da MAROCCO, 1989; modificato).

- Gulf of Trieste: location of the study area, echo-sounding survey tracks and morphological scheme of the sea-bottom (modified from MAROCCO, 1989).

direzione variabile, causate dai venti regnanti e dominanti di Bora e di Scirocco. In particolare, lungo la fascia costiera le masse d'acqua dolce del F. Isonzo si propagano in direzione SE e subordinatamente NE e SW, mentre quelle del F. Tagliamento essenzialmente a SW, subordinatamente, verso NE.

La distribuzione dei sedimenti (BRAMBATI et al., 1988) si realizza secondo fasce parallele alla linea di costa e solo in prossimità delle foci fluviali o d'antichi delta, ormai abbandonati (Banco Mula di Muggia e Primero), si osservano propaggini sabbiose che si estendono o si diramano verso le maggiori profondità. Procedendo dalla costa verso il mare aperto s'incontrano dapprima le sabbie costiere, che in genere rappresentano la componente più grossolana degli apporti fluviali attuali e sub-attuali e parte dei depositi di spiaggia derivati dall'erosione dei litorali. Queste sabbie presentano due traccianti mineralogici: la picotite per l'Isonzo e il granato per il Tagliamento (GAZZI et al., 1973). Immediatamente a ridosso di questa fascia inizia una zona di transizione tra sabbie e peliti che trovano posto al largo, in un'area di sedimentazione propria. Questi sedimenti sono costituiti da illite, clorite e da strati misti di illite-montmorillonite (OGORELEC et al., 1991) e rappresentano l'accumulo dei materiali fini portati a mare dai fiumi. L'elemento caratterizzante del golfo è la presenza, ancora più al largo, di un'ampia area a sedimentazione sabbiosa (le sabbie carbonatiche di piattaforma) derivante da depositi riesumati dalla trasgressione postglaciale. Queste sabbie si collocano in un'area che da Grado si estende verso NE e Sud, portandosi al centro della piattaforma adriatica fino alle coste dalmate. Il loro spessore supera raramente i 30-40 cm, tranne che in casi di morfologie particolari (dune subacquee), dove localmente può assumere valori di circa 1,5 metri. L'area di distribuzione delle sabbie di piattaforma è caratterizzata da un'ingente attività biologica ed è fortemente intaccata dall'attività dei pescatori di molluschi eduli. In questi tratti di fondale sembra essere assente o quasi la deposizione attuale e la dinamica sedimentaria viene caratterizzata da fenomeni locali di erosione e risedimentazione. Indicativi sono i ratei di sedimentazione (OGORELEC et al., 1991), determinati attraverso datazioni dell'attività ^{210}Pb nei sedimenti della parte centrale del golfo: da 1 mm/anno al centro si passa, verso il delta dell'Isonzo, a ratei di circa 2,5 mm/anno.

La batimetria e la morfologia dei fondali del Golfo di Trieste sono ormai noti a grandi linee, grazie ai lavori di MOSETTI (1966); BRAMBATI & VENZO (1967); ROSSI et al. (1968) e MAROCCO (1989). In questo tratto della più estesa piattaforma adriatica, le pendenze medie assumono un valore di 0,6 m/km e le profondità massime valori attorno ai 23-24 metri. La piattaforma è contraddistinta da particolari morfologie del fondo e sottofondo (TRINCARDI et al., 1994; CORREGGIARI et al., 1996). Dalla linea di riva in poi, si estende il cuneo sedimentario litorale che si sviluppa, senza interruzioni di continuità, dal delta isontino all'apparato deltizio tilaventino ed oltre, fino alla profondità di 12-13 metri. È costituito da depositi fluviali attuali o recenti rielaborati dal moto ondoso che corrispondono ai classici depositi di

stazionamento alto (HST). Segue un fondale con caratteri morfologici molto articolati che si realizzano in aree a lieve pendenza. Qui si riconoscono due alti morfologici regionali (che assumono la denominazione locale di Trezza Granda e di Trezza Piccola), divisi da un lieve avvallamento e, inoltre, da incisioni canaliformi, da una serie di modeste elevazioni determinate da "mattes" di *Posidonia* ed, infine, da affioramenti rocciosi. Quest'area rappresenta un corpo sedimentario riferibile ad un TST, contraddistinto da depositi di delta (alti delle Trezze), non ancora completamente spianati dalla trasgressione postglaciale. Una delle peculiarità più interessanti in questa zona sono però gli affioramenti rocciosi, studiati a più riprese da vari autori tra cui STEFANON (1967); BRAGA & STEFANON (1969); STEFANON & MOZZI (1972; 1973); NEWTON & STEFANON (1975 a; 1976); BOLDRIN (1979) e recentemente da MIZZAN (1999). Tali affioramenti si trovano distribuiti a varie profondità e distanze dalla costa, sul fondale marino che si estende da Grado ad Ancona. In particolare la maggior parte degli studi si sono concentrati a Chioggia e al largo di Caorle, dove gli affioramenti sono localizzati a profondità di 12 metri. Nel Golfo di Trieste Stefanon in vari lavori, segnala la presenza di queste rocce in zone prospicienti Lignano e Grado, alle profondità di 6 e 13 metri, rispettivamente a 0,5 miglia e 6 miglia dalla costa. Tutti gli affioramenti rocciosi riscontrati da questi Autori, erano stati inizialmente raggruppati geneticamente in tre classi:

1. "Reef" in senso stretto, con il corpo roccioso totalmente costituito da organismi costruttori. Le concrezioni calcaree sono attribuibili ad alghe Corallinacee e secondariamente Briozoi, Molluschi (*Arca noae*, *Chama griphoides*, *Lemintina arenaria*), Antozoi (*Cladocora cespitosa*), Serpulidi (*Serpula concharum*, *Serpula vermicularis*, *Pomatoceros triquetus*, *Rotula* sp. plur.). Formazioni di questo tipo corrispondono al "coralligeno" riportato da vari Autori nel bacino del Mediterraneo;
2. "Cap reef", dove la roccia organogena (alghe calcaree e, subordinatamente, Madrepore, Briozoi e Serpulidae) ricopre con un cappello superficiale un substrato preesistente;
3. "Coating reef", dove la parte organogena costituita da Briozoi, Serpulidae e alghe calcaree, si presenta con una spessa crosta che ricopre completamente tutto l'affioramento.

Gli affioramenti rocciosi a carattere elastico, furono suddivisi in due categorie; le arenarie calcaree e le "beachrocks". All'esame queste ultime rocce presentano un carattere compatto, con granuli arrotondati e rappresentati da carbonati (90%), da quarzo, feldspati e plagioclasti, zeoliti di probabile origine secondaria: si rilevano inoltre piccole percentuali di cloriti, vermiculiti, epidoti, pirosseni e titanite. Gli affioramenti d'arenarie calcaree, sono lastriformi, meno compatte e presentano tipiche alternanze di strati sabbiosi e siltosi. NEWTON & STEFANON (1975 a; 1976), BOLDRIN, (1979) concordano nell'affermare che tali affioramenti in passato erano sicuramente coperti da una coltre più o meno spessa di sedimento prevalentemente sabbioso. Condizione questa, testimoniata dalla colorazione grigio-azzurra, tipica di una roccia che si conserva in un ambiente riducente.

Oggi la genesi di quest'ultime formazioni rocciose di piattaforma è stata messa in discussione, grazie alla segnalazione in Adriatico di "bubbling reef" (sensu JENSEN et al., 1992) e di altri depositi cementati, legati a processi di ossidazione di metano (COLANTONI et al., 1998; CURZI et al., 1998). Segnatamente, gruppi di "pockmark" o "pockmak" isolati (diametri di 60-350 metri e profondità di circa m 6) sono stati studiati nella zona centrale dell'Adriatico. Altre forme che nel passato erano interpretate come "beachrock" o "reef" algali, in realtà sono connesse alla presenza di gas nei sedimenti e si presentano, nella parte settentrionale dell'Adriatico, a forma di gruppetti sparsi di lastre sabbiose a cemento carbonatico. Analisi fatte da COLANTONI et al. (1998) su campioni di arenaria fine di colore chiaro (costituenti resti erosionali dei depositi LST e TST, cementati e superficialmente colonizzati biologicamente) raccolti su di un affioramento roccioso al largo di Carole, ad una profondità di 20 metri, evidenziano lungo sezioni verticali, laminazioni piano-parallele centimetriche e cavità post-deposizionali e/o erosionali. Determinante per l'attribuzione genetica è stata, però, l'analisi della composizione isotopica dell'ossigeno che è risultata lievemente positiva (1,56-1,66 ‰ PDB), indicando così un ambiente temperato in accordo con le condizioni attuali. La composizione isotopica del carbonio, invece ($\delta^{13}\text{C}$ compreso tra -38,67 ‰ e -26,95 ‰ PDB), ha evidenziato l'avvenuto processo diagenetico per effetto dell'ossidazione di gas metano. Altri campioni raccolti dagli stessi Autori in diverse zone adriatiche non permettono la medesima interpretazione genetica. CONTI et al. (1998) hanno, infine, messo a confronto le caratteristiche isotopiche di campioni costituiti da calcite e/o Mg-calcite, di lastre rocciose rinvenute al largo di Grado, di "pore water e peat interstitial water" estratti rispettivamente da livelli argillosi e torbosi sempre nella stessa zona e da livelli a cemento carbonatico di carote del Mar Ionio. I risultati delle analisi isotopiche hanno evidenziato valori del $\delta^{13}\text{C}$ compresi tra -5,33 ‰ e +3,20 ‰ PDB; $\delta^{18}\text{O}$ con valori che variano da 5,10 ‰ a 4,29 ‰ PDB, quindi difficilmente imputabili ad ossidazioni del metano.

Acquisizione dei dati

L'analisi degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste è stata attuata integrando rilievi indiretti (ecografici ed a scansione laterale) e diretti in immersione. I rilievi sono stati eseguiti con la M/N Castorino 2, dotata di G.P.S., ecografo 16 Computer Sonar Lowrence (192 khz) ed ecografo a scansione laterale Edge Tech, modello "Model DF-1000/DCI".

La prima parte della ricerca è stata incentrata sulla integrazione dei rilievi batimetrici dell'area in esame che ha previsto la realizzazione di una carta batimetria

di dettaglio (scala 1:50.000), ancorata alla rete topografica costiera della Regione Friuli-Venezia Giulia. Complessivamente si sono realizzate circa 487,4 km di strisciate batimetriche (fig. 1). Contemporaneamente si sono raccolte tutte le segnalazioni, le posizioni geografiche e i caratteri morfo-sedimentologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste, ricavate da circa trent'anni di frequentazione di questi siti da parte del primo degli scriventi. I dati consistono in una copiosa raccolta di tracciati ecografici, accompagnati da punti di stazionamento, determinati da traguardi a terra, da coordinate Loran e, ultimamente, da rilevamenti GPS di circa 250 affioramenti rocciosi subacquei. Preliminarmente, pertanto, si è provveduto all'omogeneizzazione dei dati raccolti e all'esclusione di quegli affioramenti che si presentavano con determinazioni doppie, incomplete o dubbie. Si è passato, poi, alla verifica in campo delle segnalazioni ricevute con numerose immersioni subacquee. In un'ulteriore fase, è stata costruita una tabella riassuntiva, corredata da un elenco degli affioramenti analizzati, distinti secondo coordinate geografiche, profondità e spessori (potenze). Questi ultimi dati sono stati ricavati dall'analisi degli ecogrammi, fatte tutte le correzioni del caso. In aggiunta a questi dati e favoriti dalle numerose osservazioni dirette, sono state elencate le principali tipologie morfologiche maggiormente rappresentative dei vari affioramenti. È emerso che molte caratteristiche, come nel caso degli affioramenti tabulari, sono comuni, ma possono rivelare piccole differenze che permettono un'ulteriore suddivisione in sottotipi. In generale, questi corpi rocciosi sono caratterizzati da superfici piane, arealmente estese e di spessore modesto. Manifestano, inoltre, una stratificazione evidente e sono più o meno fratturati. Altri affioramenti, invece, si presentano con forme compatte, arrotondate e con forte sviluppo verticale. Altri, ancora, con gruppi di lastroni molto bassi e intensamente fratturati. In conformità a questi elementi si sono definiti otto tipi d'affioramento. Sono stati, inoltre, segnalati rispettivamente, distanza dalla costa, morfologia del fondale marino e tipologia del sedimento che caratterizza l'area dell'affioramento.

Ultimata questa selezione dei dati, si sono analizzati statisticamente solo 104 affioramenti dei 250 segnalati inizialmente. Si ritiene, però, che anche dopo una simile riduzione, la popolazione degli affioramenti rocciosi raccolti sia altamente significativa al fine di tracciare un loro primo profilo nell'ambito dei fondali del Golfo di Trieste.

I dati ricavati sono stati, quindi, normalizzati per procedere alla loro analisi statistica che ha previsto:

- a) Una prima analisi statistica elementare dei diversi parametri e la loro distribuzione di frequenza;
- b) Uno studio bivariato dei parametri in modo da evidenziare il grado di correlazione tra loro;
- c) Uno studio multivariato con la realizzazione di un dendrogramma riassuntivo.

Risultati

Dall'analisi degli ecogrammi, ma soprattutto dal rilevamento diretto, in immersione, degli affioramenti rocciosi si sono potute inscrivere le loro caratteristiche morfologiche fondamentali in almeno otto tipologie qui di seguito proposte (fig. 2).

Tipo A - Affioramento che si presenta come un crostone sabbioso cementato, impostato su un alto morfologico, in parte concrezionato da depositi biogenici. L'alto spesso assume la forma a barcana o a falce e l'affioramento ne fissa, di solito, l'apice e solo parzialmente, il dorso. Le dimensioni medie di questi affioramenti sono m 7-10 di larghezza, m 50-60 di lunghezza e cm 30 (max cm 40) di potenza. Sono presenti spaccature che lo attraversano per l'intero spessore secondo direzioni diverse, sempre riempite da sedimento. I bordi dell'affioramento s'immergono nella sabbia di piattaforma circostante, senza nicchie d'erosione; ciò farebbe supporre una sua continuità anche sotto le sabbie. Questa tipologia si rinvie essenzialmente nei fondali marini del versante meridionale della Trezza Grande ed è associata a "mattes" di *Posidonia*, sepolte da un sottile strato di sabbia grossolana. La genesi di questi affioramenti sembra essere determinata dalla cementazione dei sedimenti sciolti che costituivano un vecchio campo di dune sottomarine, non del tutto smantellato dall'ingressione marina postglaciale.

		Planimetria	Sezione	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Spessore (m)	Stratificazione	Fratturazioni	
Tipologie di affioramento	Tabulari	Tipo A			50-60	7-10	0,3-0,4	Non evidente	Sì riempite di sedimenti
		Tipo B1			80-100	15	0,5-2,7	Evidente	Sì
		Tipo B2			30-40	10	0,4-1,2	Evidente	Sì
		Tipo B3			13-14	13-14	0,4-1,7	Evidente	Sì
	Tipo C			50-60	10-12	0,6-1,4	Evidente	Sì	
	Tipo D			10	10	0,2-0,4	Non evidente	Sì riempite di sedimenti	
	Tipo E			8	6	2,2-4,2	Evidente	Sì	
Tipo F			1	1	1,0-1,3	Non evidente	No		

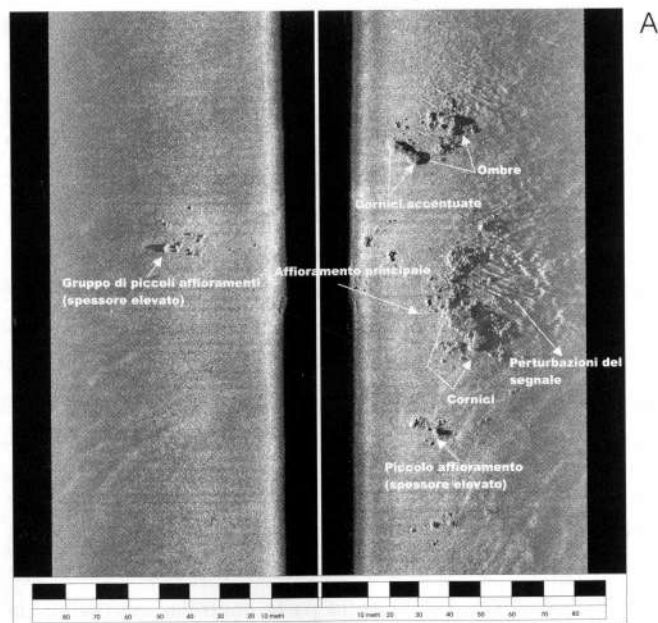
Fig. 2 - Tabella riassuntiva dei principali caratteri morfologici e geometrici degli affioramenti del Golfo di Trieste.
- *Summarising table of the main morphological and geometrical features of the outcrops in the Gulf of Trieste.*

Tipo B1 Tabulare - Tipologia caratterizzata da un notevole sviluppo in lunghezza che segue l'andamento di alti morfologici relativi (cordoni litorali fossili?) del fondale marino. Sono affioramenti caratterizzati da spessori che possono variare da un minimo di 0,5 metri ad un massimo di m 2,7, con cornici quasi verticali, lungo tutto il perimetro e caratterizzate da una netta stratificazione piano parallela. Lungo la base dell'affioramento si rinvengono frequentemente cunicoli e nicchie d'erosione che sembrano continuare nello strato interrato e sono particolarmente gradite alla fauna presente. La parte apicale dell'affioramento è spesso interessata da una consistente colonizzazione bentonica sessile e vagile. Le dimensioni medie sono di m 15 di larghezza e di 80-100 metri di lunghezza. Questi affioramenti per lo più arenacei, sono contrassegnati da una notevole uniformità e compattezza, anche se presentano numerose fratture orientate secondo direzioni diverse.

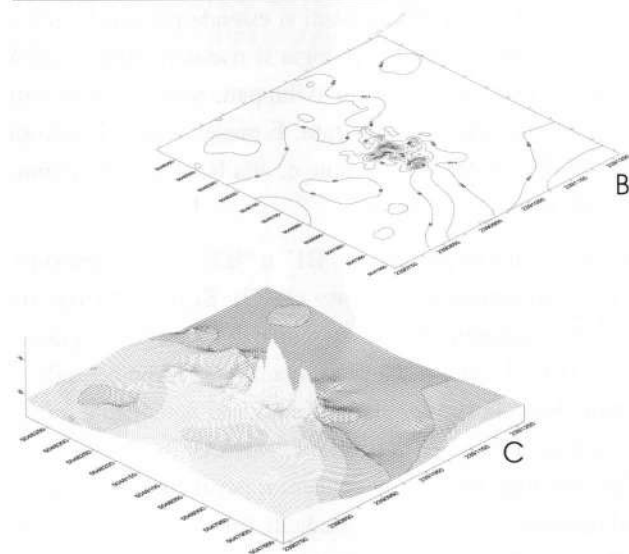
Tipo B2 Tabulare - Tipologia d'affioramento molto affine alla precedente e alla successiva, che si contraddistingue poiché costituita da un insieme frazionato di tanti affioramenti dello stesso tipo, ma di dimensioni e spessori diversi. Solitamente sono presenti uno o due elementi principali di dimensioni maggiori (m 5 x 5) nella parte centrale, circondati da altri minori; l'area complessiva occupata da questi affioramenti si estende per una larghezza di circa m 10 e una lunghezza di m 30. Anche questa tipologia si riscontra alla sommità di modesti alti morfologici. Gli elementi centrali, quelli più sviluppati, sono caratterizzati da cornici verticali e fessurazioni lungo evidenti piani di strato. È presente una rigogliosa colonizzazione superficiale ad opera d'alghe calcaree e spugne e, alla base, nicchie comunemente occupate dalla fauna stanziale in questi ambienti.

Tipo B3 Tabulare - Affioramento affine ai precedenti "B1" e "B2", è stato descritto, in modo dettagliato dal punto di vista biologico, da BOLDRIN (1979). Si presenta con un corpo compatto di dimensioni abbastanza contenute (m 13 di raggio) e di forma tondeggianti. Può assumere spessori che variano da 0,4 a 1,7 metri. Nelle vicinanze del corpo centrale si possono individuare altri affioramenti di forma simile, ma di dimensioni nettamente minori. Presenta un evidente cappello organogeno, mentre la parte inferiore manifesta una rozza stratificazione. Modeste fratture s'intravedono nella parte apicale. Il perimetro è caratterizzato da cornici accentuate che si alternano a superfici degradanti fino al contatto con il sedimento circostante. Generalmente questo tipo d'affioramento roccioso si rinvie alla sommità o sulla scarpata di dossi isolati (vedi fig. 3).

Tipo C - Questa tipologia è stata definita essenzialmente per descrivere affioramenti inclinati che presentano una cornice da un lato e sono sepolti dall'altro. Il lato in cui l'affioramento affiora è qualificato da marcate stratificazioni che, in prossimità del fondo, favoriscono la formazione di cavità molto profonde ed estese. L'affioramento si sviluppa



A



B

C

Fig. 3 - A) Sonogramma a scansione laterale di un gruppo di affioramenti di tipo B3 Tabulare;
B) Batimetria;
C) Ricostruzione tridimensionale degli affioramenti individuati.
- A) Lateral scanning echosounding diagram showing an outcrop group of Tabular B3 type;
B) Bathymetry;
C) Tridimensional reconstruction of the discovered outcrops.

lungo direzioni preferenziali, con larghezze di 10-12 metri e di m 50 di lunghezza. Anche questa tipologia d'affioramento manifesta una notevole continuità laterale.

Tipo D - Affioramento esteso (m 50 x 50), articolato e raramente isolato in quanto è spesso associato a tipi "F" (pinnacolari, descritti successivamente). Si tratta di un affioramento

complesso in cui parte dei corpi rocciosi sono abbastanza concentrati (lunghezza e larghezza, m 10) mentre, altri, di dimensioni più limitate e alternati di tanto in tanto ad affioramenti di tipo "F", si estendono a raggiera dal corpo centrale. Gli spessori variano da 0,2 a 1,2 metri, ma i valori più comuni sono di 0,2-0,4 metri. Si trovano nelle aree apicali della Trezza Grande e sono, molto spesso fortemente intaccati (o addirittura divelti) dagli attrezzi di pesca a strascico. In analogia alla tipologia "A", lo strato più superficiale (da m 0,1 a 1,0) del substrato sciolto che costituisce il fondale marino, è interessato dalla presenza di "mattes" di *Posidonia oceanica* o di *Cymodocea*.

Tipo E - Completamente diversi dalle tipologie precedenti, questi affioramenti (poco frequenti in zona) sono contraddistinti da corpi massicci e imponenti che si stagliano con pareti quasi verticali dal fondale. Localmente si definiscono "panettoni", nome che esprime molto bene la loro forma. La parte che annega nel sedimento circostante, presenta spalle di modesta pendenza (vedi schema di fig. 2) che fa supporre una prosecuzione dell'affioramento nel substrato. Il corpo emerso mostra in modo evidente una stratificazione piano parallela, dove i piani si presentano curvati con angolo concavo verso il basso e sono messi in evidenza da fessurazioni interstrato, più o meno ampie. La parte sommitale è caratterizzata da



Fig. 4 - Affioramento di tipo F pinnacolare, divolto e trasportato a terra da pescatori.
- Pinacular F type outcrop, removed from sea-bed and carried to land by fishermen.

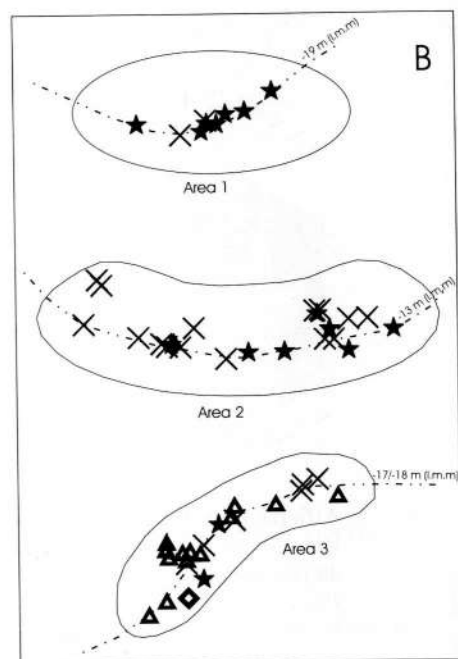
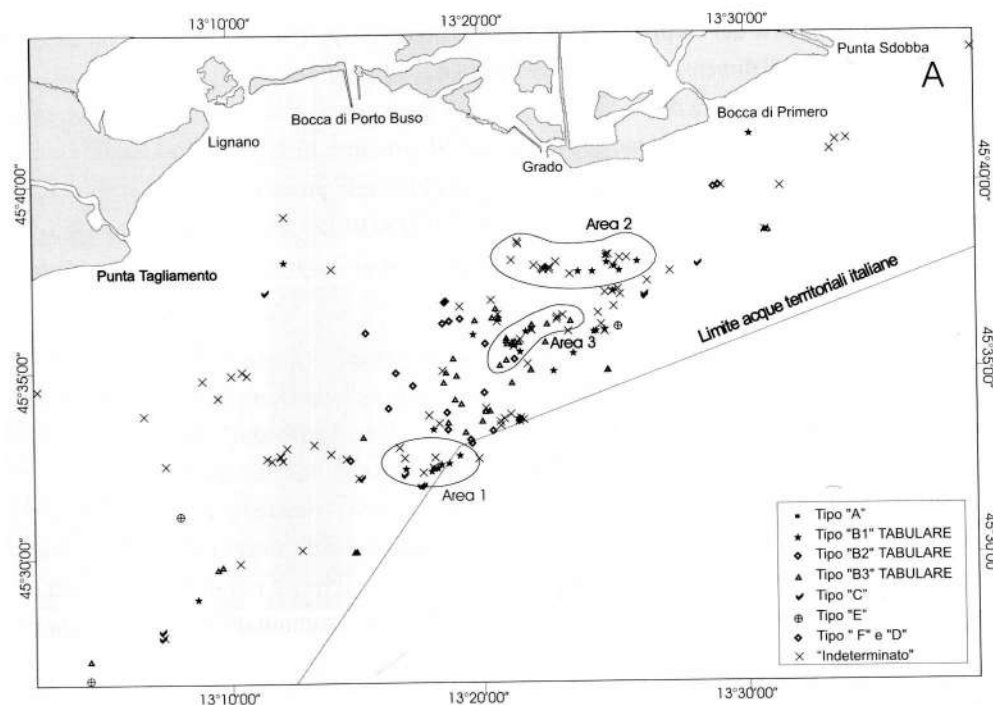


Fig. 5 - A) Distribuzione e tipologia degli affioramenti rocciosi nel Golfo di Trieste;
B) Allineamenti individuati suddivisi in aree (Area 1, 2 e 3).

- A) Distribution and types of the rocky outcrops in the Gulf of Trieste;
B) Main alignments of the rocky outcrops divided in areas (area 1, 2 and 3).

evidenti spaccature secondo varie direzioni, ma di solito con piani ortogonali a quelli di stratificazione. Lo spessore varia da un massimo di m 4,2 ad un minimo di m 2,2, la forma della base è rappresentata da un ellissoide irregolare con asse maggiore di circa m 8 e quello minore di 6 metri.

Tipo F - Questa forma a pinnacolo si rinviene associata alla tipologia "D", ma può essere presente anche in sporadici piccoli gruppi isolati. Le dimensioni tipiche sono di 1,0-1,3 metri d'altezza, con una base (di area circa m 1 x 1) quasi sempre a sezione minore rispetto a quella della sommità. Non è presente una stratificazione evidente, anche perché questi corpi sono completamente costituiti da alghe calcaree e spugne. Come già accennato per la tipologia "D", gli affioramenti di questo tipo si distribuiscono in aree prossime alla Trezza Grande e si rinvencono quasi sempre divelti o fortemente inclinati in seguito a operazioni di pesca a strascico, molto frequenti nella zona (fig. 4). Il fatto che questi litosomi siano così facilmente rovesciabili, fa supporre una loro formazione superficiale. Nella quasi totalità degli affioramenti, la parte esterna è interessata da una colonizzazione d'alghe calcaree (*Lithophyllum*, *Peyssonelia*, *Lithothamnium*), serpulidi e briozoi, che forniscono un ottimo substrato per poriferi, cnidari, echiuridi, echinodermi, molluschi e crostacei.

Per avere una visione d'insieme della distribuzione geografica di tutti gli affioramenti rocciosi (compresi anche quelli di cui si conosce la sola ubicazione), la loro posizione è stata restituita su un reticolato chilometrico (utilizzando il software Surfer). Ne emerge una distribuzione tutt'altro che casuale, che segue la diffusione delle sabbie di piattaforma e pertanto una ben definita distanza dalla costa e un orientamento NE/SW che sembra proseguire verso occidente, al di fuori dell'area investigata (fig. 5 A).

In particolare, notevole risulta essere l'addensamento di queste tipologie di fondale in un tratto di mare fortemente limitato, verso meridione, dal confine delle acque nazionali. Ragionevolmente ci si aspetta che proseguendo quest'indagine in acque slovene e soprattutto croate, potrebbero aumentare notevolmente il numero d'affioramenti presenti e, quindi, delineare un "pattern" di distribuzione sensibilmente diverso da quello che c'è dato di osservare. "Pattern" questo che, in ogni modo, è ben diverso da quello fino ad oggi supposto che indicava una concentrazione all'apice della Trezza Grande. Dai dati analizzati quest'ipotesi non trova assolutamente credito, anzi, si può dire con certezza che la quasi totalità di questi affioramenti si trova distribuita non a caso in una fascia di fondale marino che degrada verso le profondità maggiori. Più precisamente, essa occupa ampi settori ai margini degli alti morfologici e nelle aree di scarpata che si estendono dai 13 ai 20 metri di profondità. Sono assenti, salvo rare eccezioni, nell'area del conoide sedimentario costiero. Da una più attenta analisi della loro disposizione areale emergono alcuni settori di fondale dove sono riconoscibili allineamenti che non possono essere ritenuti casuali (fig. 5 B), in

quanto seguono fedelmente l'andamento delle batimetriche. Questi allineamenti sono stati individuati in almeno tre aree:

- area "1", dove si osserva una concentrazione di affioramenti del tipo B1 Tabulare che segue, con un particolare andamento Est-Ovest, concavo (verso costa), l'isobata dei 19 metri. Questo allineamento potrebbe continuare ancora verso Est, ai limiti delle acque nazionali e all'interno di quelle croate;
- area "2", dove affioramenti del tipo B2 uniti ad altri, non ben classificabili, si distribuiscono ancora secondo una direzione Est-Ovest, abbastanza simile al precedente, ma ubicata a profondità minori (m 13);
- area "3", dove si raggruppano diversi affioramenti tabulari (tipo B1, B2 e B3) e altri affioramenti indeterminati che seguono un allineamento di forma convessa, di direzione NE-SW, che segue o determina l'isobata dei 16 metri.

Il fatto che questi allineamenti seguono (quasi) fedelmente l'andamento delle batimetriche, può dipendere da molteplici cause e/o da una serie di fattori concomitanti. Ad una prima analisi, però, anche sulla base dei lavori precedenti (BRAMBATI & VENZO, 1967, hanno segnalato la presenza di sabbie di spiaggia fossile alle profondità di m 10, 18 e 21), le cause principali possono essenzialmente ridursi a due estreme:

- ad una genesi in ambiente litorale ("beachrocks"), lungo paleolinee di riva che hanno mantenuto le loro caratteristiche fisiografiche e sedimentologiche originarie fino ad oggi;
- a depositi cementati inclusi nel materasso sabbioso alluvionale della paleopianura tardiglaciale ed olocenica, venuti a giorno per successiva erosione della coltre sedimentaria soprastante.

Non si esclude la dipendenza di singoli gruppi d'affioramenti ad altre cause che possono anche essere legate a processi connessi alla presenza di praterie di *Posidonia*.

La concentrazione o la densità massima di questi affioramenti sui fondali del golfo risulta essere pari a 13 affioramenti su 4 Km² (3,25 affioramenti per Km²).

Vediamo ora alcune caratteristiche di questi fondi duri.

a) Profondità della base dell'affioramento roccioso (fig. 6 A)

Dall'analisi dei dati raccolti emerge che la profondità massima della base dei 104 affioramenti rocciosi analizzati è di 21,5 metri; quella minima è di m 8,3, mentre, la media è di m 17,1. La curva di frequenza del parametro profondità (espresso in metri), si presenta ondulata in quanto caratterizzata da mode secondarie ed è fortemente asimmetrica verso le profondità minori. Il grafico rende evidente una moda principale relativa ad una profondità di 18-19 metri che rappresenta il 17% circa della popolazione e tre picchi, o mode secondarie, rispettivamente nelle classi di profondità 8-9, 12-13 e 15-16 metri. In questo raggruppamento è peculiare la moda secondaria degli 8-9 metri di profondità che rappresenta il 3% circa del totale e collega tra loro affioramenti

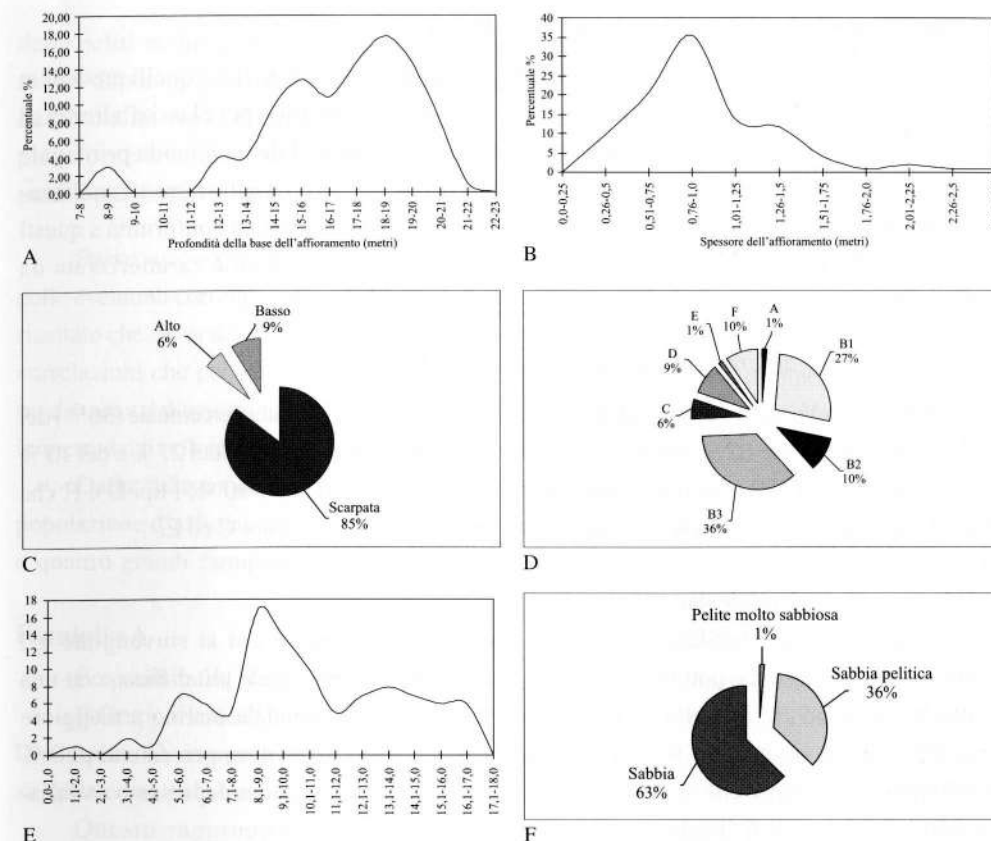


Fig. 6 - Distribuzione di frequenza dei principali parametri che caratterizzano gli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste.

- Frequency distribution of the main parameters characterising rocky outcrops of the Gulf of Trieste.

- A) Profondità della base (Base depth) (m);
- B) Spessore (Thickness) (m);
- C) Morfologia del fondo marino (Sea-bed morphology);
- D) Tipologia morfologica (Morphological type);
- E) Distanza dalla costa (Distance from the coastline);
- F) Tessitura dei sedimenti (Sediment texture).

rocciosi individuati in corrispondenza della Trezza Piccola. A parziale commento del grafico, è degna di attenzione la cattiva classazione dei dati e la spiccata polimodalità che viene parzialmente semplificata dalla scelta di 1 metro come limite di classe della profondità. Inoltre, sembra doveroso anticipare che gli affioramenti rocciosi si trovano essenzialmente al di là dell'area caratterizzata dalla sedimentazione litorale (prisma sedimentario che termina grosso modo sui m 13), in un'area che si estende fino alla linea di demarcazione delle acque territoriali.

b) Spessore dell'affioramento roccioso (fig. 6 B)

Gli spessori massimi misurati sono di m 2,7, quelli minimi di m 0,4 e quelli medi di m 1,0. La curva di frequenza dello spessore dell'affioramento (distinta per classi d'altezza di m 0,25) è caratterizzata da un andamento essenzialmente bimodale, con moda principale appartenente alla classe m 0,76-1,00, rappresentativa del 35 % degli affioramenti analizzati. Subordinate sono le mode m 1,26-1,50 (12 %) e m 2,01-2,25 (2 %). In conformità a questi dati si può affermare che la maggioranza degli affioramenti studiati è caratterizzata da potenze modeste.

c) Tipologia degli affioramenti rocciosi (fig. 6 C)

Il grafico della tipologia degli affioramenti rocciosi evidenzia un'alta percentuale (36 %) del tipo B3 Tabulare e B1 e B2, sempre tabulari, rispettivamente con percentuali del 27 % e del 10 % circa. Sono presenti, poi, con percentuali che si aggirano su valori del 9-10 %, i tipi D e F, che spesso si trovano associati in piccoli gruppi. Netamente in subordine i tipi C ed E.

d) Morfologia del fondale marino (fig. 6 D)

Dall'analisi del fondale marino che caratterizza l'area su cui si rinvencono gli affioramenti rocciosi si è potuto constatare che la morfologia regionale più diffusa, con una percentuale del 85 %, è quella di scarpata, ovvero le aree del fondale marino a maggiore acclività che rappresentano i fianchi delle Trezze. Si registrano, inoltre, percentuali di 9 % d'affioramenti rocciosi che si posizionano su bassi morfologici (aree depresse o avvallamenti) e altri, circa il 6 %, alla sommità d'alti morfologici.

e) Distanza dalla costa (fig. 6 E)

Questo parametro, calcolato seguendo linee perpendicolari alla costa, assume un valore massimo di 17,0 km e minimo e medio, rispettivamente di 2,0 e 10,4 km. Va precisato che i valori computati sono condizionati dall'andamento curvilineo della costa. Dal grafico emerge una notevole disomogeneità dei valori, che si traduce in una curva polimodale, mal classata e con una spiccata asimmetria verso le profondità maggiori. Il picco di massima frequenza (17 %) si posiziona in corrispondenza della classe di distanza compresa tra 8,1-9,0 km.

f) Tessitura del sedimento (fig. 6 F)

La maggior concentrazione degli affioramenti (63 %) si rinviene all'interno della fascia delle sabbie di piattaforma, che, come visto, rappresentano i sedimenti relitti della trasgressione marina postglaciale. Nella fascia delle sabbie pelitiche (tenori di pelite 5-30 %), che contorna la fascia delle sabbie di piattaforma, si colloca il rimanente 36 % delle formazioni rocciose rinvenute in zona. Un solo affioramento è stato rinvenuto all'interno del campo

delle peliti molto sabbiose, il quale definisce l'area di mescolamento in parti eguali delle sabbie di piattaforma e delle peliti di derivazione fluviale. È importante sottolineare come la quasi totalità degli affioramenti rocciosi trova una collocazione nell'ambito delle sabbie di piattaforma e nelle sabbie pelitiche che rappresentano le aree di sedimentazione dei depositi marini più mobili al largo della fascia litorale e, soprattutto, quelli meno spessi.

Passo successivo all'analisi statistica elementare delle singole variabili è stato lo studio delle eventuali correlazioni, o ridondanze, dei vari parametri attraverso uno studio bivariato. È risultato che molti dei diagrammi non forniscono correlazioni significative oppure definiscono correlazioni che possono essere ritenute scontate, come il rapporto di dipendenza esistente tra distanza dalla costa (espressa in km) e la profondità della base dell'affioramento (definito in metri dal livello medio mare) o il suo spessore.

Dalla "cluster analysis" (fig. 7) di tutti i parametri considerati, emerge che l'intera popolazione d'affioramenti rocciosi è suddivisa in dieci gruppi che possono essere ricondotti a quattro grandi famiglie.

Famiglia A

È costituita da tre gruppi d'affioramenti ubicati essenzialmente sulle Trezze.

Il Gruppo 1 viene contraddistinto da elevati valori del contenuto in sabbia, da tipologie D e in parte C, da una morfologia di scarpata, da valori medio-alti di profondità e di distanza dalla costa e da bassi valori di spessore.

Questo raggruppamento si lega molto bene al Gruppo 2. Varia la tipologia dell'affioramento che diviene B3 Tabulare, mentre si restringono i "range" di variazione della profondità e della distanza dalla costa. Aumenta, invece, la variazione dello spessore degli affioramenti (che rimane su valori medio-bassi) e rimane costante la natura del sedimento.

Si passa quindi al Gruppo 3 che si differenzia dal precedente essenzialmente per la tipologia (B2, B3 e C, con forte predominanza di B3) e dal sedimento più pelitico.

Famiglia B

Gruppo 4, 5 e 6

Il Gruppo 4 annovera generalmente morfologie di scarpata, fondali sabbiosi, tipologie di tipo B1 e B2 Tabulari con ampi valori di oscillazione della distanza dalla costa e dello spessore degli affioramenti. Nel Gruppo 5 trovano posto gli affioramenti rocciosi con valori estremamente variabili di profondità, di spessore e oscillazioni su valori medio-bassi di distanza dalla costa. La morfologia è quella di scarpata, la tessitura del fondale è sabbioso pelitica, la tipologia degli affioramenti A e B1 Tabulare.

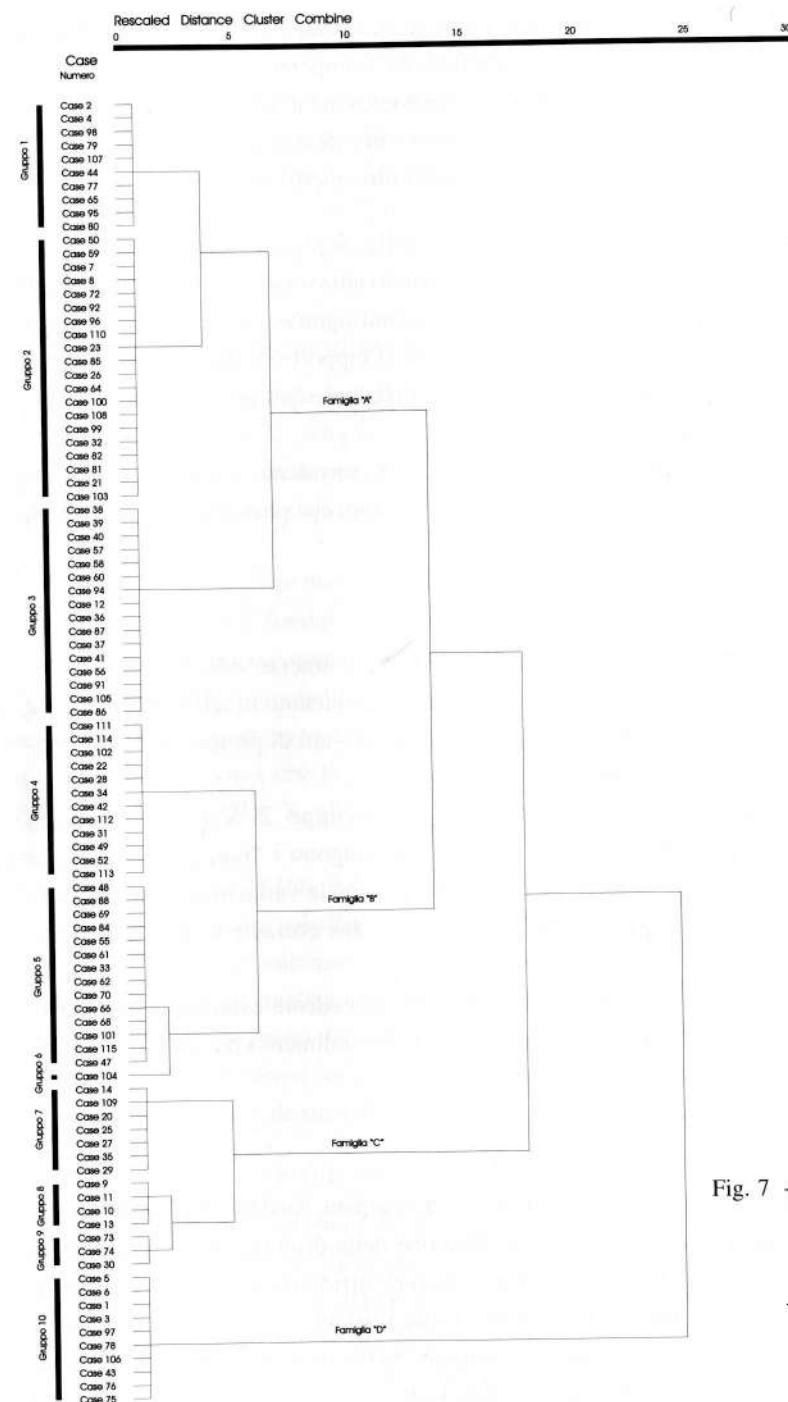


Fig. 7 - "Cluster analysis" degli affioramenti rocciosi e raggruppamento in famiglie.
- Cluster analysis of the rocky outcrops and subdivision in groups.

Questo gruppo si correla all'affioramento 104, che non trova casi analoghi in quanto si differenzia notevolmente dai precedenti per spessore (è il massimo registrato) e per trovarsi su un fondale più ricco di pelite (pelite molto sabbiosa) rispetto a tutti gli altri.

Famiglia C

Gruppo 7, 8 e 9

Il Gruppo 7 è caratterizzato da una morfologia di basso fondale, cioè da punti individuati nelle aree di depressione relativa e da tipologie legate alle forme tabulari (B1, B2 e B3). I rimanenti valori sono alquanto elevati, sia per la profondità e la distanza dalla costa, che per i contenuti in sabbia. Varia invece di molto la potenza degli affioramenti.

Il Gruppo 8 viene definito solamente con quattro affioramenti localizzati nell'area di un particolare alto morfologico, denominato "San Pietro", ubicato di fronte a Grado. Esso è contraddistinto da una grande omogeneità dei parametri che corrispondono a tipologie di affioramento B3 Tabulare, da medio-bassi valori di potenza e medi valori di profondità, distanza e natura del sedimento (sabbioso). Questa famiglia si completa con il Gruppo 9, dove vengono inseriti gli affioramenti ubicati alla sommità della Trezza Grande.

Famiglia D

Chiude il "cluster" il Gruppo 10 con valori che ad eccezione della tipologia dell'affioramento, della morfologia di scarpata e in parte della natura sabbiosa del fondale, sono molto dissimili. Rispetto a tutti i gruppi precedenti, la discriminante principale sembra essere la tipologia D, E e F che si trova spesso in associazione. Da notare che del gruppo fanno parte molti degli affioramenti della Trezza Piccola e altri più o meno isolati e vicini alla costa.

Discussione

Il primo dato che emerge da questo studio è l'elevato numero d'affioramenti individuati in un relativamente poco esteso braccio di mare, che, oltretutto, è delimitato verso costa da uno sviluppato cuneo sedimentario costiero e alle maggiori profondità, dal confine delle acque nazionali. Tenendo conto che in acque slovene e croate si possono trovare ancora centinaia di questi affioramenti (solo in parte segnalati dalla letteratura, ma molto ben conosciuti dai pescatori locali), sarebbe ragionevole concludere che il numero complessivo di questi "sassi" si aggirerebbe almeno al triplo di quello segnalato. Ciò vale per il solo Golfo di Trieste, ma se estendiamo questa stima anche al Golfo di Venezia, il numero di queste "tegnue" dovrebbe aggirarsi sulle migliaia. MIZZAN (1999) in parte conferma questa supposizione parlando di "discreto numero di affioramenti di dimensioni medio grandi e

un numero maggiore di strutture piccole o medio piccole" nel solo Golfo di Venezia e riferendo che i pescatori locali parlano di migliaia di affioramenti. Altrettanto interessante è stata la distribuzione areale degli affioramenti rocciosi nell'area in esame che si sviluppa nell'ambito delle sabbie di piattaforma con un andamento abbastanza disperso, con punti o allineamenti di concentrazione e un orientamento generale in direzione NE-SW. Morfo-batimetricamente, gli affioramenti rocciosi occupano, in preferenza, la fascia di fondale marino che degrada verso le profondità maggiori (dai 13 ai 22 metri), ai margini degli alti delle Trezze. Quest'area è stata contraddistinta da generali fenomeni d'erosione dei sedimenti superficiali, avvenuta con forte intensità durante la fase trasgressiva postglaciale e presente in forma più lieve oggidi, dato il riscontrato grado di mobilità dei fondali in concomitanza con le mareggiate più violente. Nell'ambito di questa distribuzione, assumono notevole valenza i particolari allineamenti fra affioramenti di tipologia simile, distribuiti fedelmente secondo l'andamento delle batimetriche 13, 16 e 19, all'interno delle sabbie di piattaforma che sono comunemente interpretate come depositi residuali della trasgressione Versiliana. Il valore medio dello spessore degli affioramenti (ca. m 1,0) conferma una modesta potenza degli stessi, anche se, in casi isolati si osservano valori eccezionali pari a m 2,7.

Di scarsa utilità ai fini di questo studio si è dimostrata l'analisi bivariata delle variabili sopra definite, che non ha evidenziato espressive interdipendenze, di là da correlazioni che possono ritenersi "scontate" come nel caso profondità dell'affioramento-distanza dalla costa.

Anche lo studio multivariato dei parametri che definiscono le caratteristiche degli affioramenti rocciosi ha in un certo senso disatteso le aspettative: ha solamente messo in evidenza che famiglie di rocce sono costruite essenzialmente in base alle relazioni tra la morfologia e la tessitura del fondale e la tipologia d'affioramento. È di particolare interesse il fatto che la "cluster analysis" ha raggruppato nella stessa famiglia quei corpi rocciosi che si allineano secondo le batimetriche, così come quelli che sono localizzati sopra modesti rilievi morfologici.

Di fondamentale importanza, però, è stata l'osservazione diretta in immersione degli affioramenti rocciosi che conferma quanto riportato da studi precedenti e rivela che queste formazioni si presentano nella maggioranza dei casi ricoperte da concrezioni organogene, più o meno spesse, che si sono accresciute a partire da un substrato solido, non sempre visibile. Questo substrato, quando esposto, evidenzia una forma comunemente a lastra, tabulare, con una marcata stratificazione piano parallela, resa ancora più evidente da fenomeni d'erosione selettiva.

Tutti i litosomi in affioramento presentano caratteristiche fratture o fessurazioni che li attraversano per l'intero spessore e che assumono andamenti ortogonali alla stratificazione,

oppure altri che sembrano casuali. L'origine di tali fenditure sembra essere recente ed è da ricercarsi nell'azione erosiva delle correnti di fondo (accertata sia teoricamente sia misurata in campo) che scalzano alla base la roccia cementata, determinando prima le fessurazioni e poi il crollo di porzioni più o meno estese delle parti sospese. Non si esclude però, almeno in quei pochi casi dove sono evidenti fuoriuscite di gas (bromboli) che tali fratture siano riconducibili a rigonfiamenti locali del substrato con conseguente esposizione e fratturazione del sedimento cementato soprastante.

Resta ancora da appurare in molti casi la continuità o meno di queste formazioni con il substrato. A tal riguardo, le osservazioni dirette fatte in immersione hanno dimostrato frequenti presenze di cunicoli e articolate depressioni (utilizzate da crostacei per tana), al di sotto degli affioramenti. Nella maggior parte dei casi, però, almeno d'evidenti sotto-escavazioni di lastroni di sabbia cementata che mettono in evidenza la loro forma tabulare, non si evince una continuità o meno con il sottofondo. Anche la forma così adagiata sul fondo che assumono molti degli affioramenti analizzati sembra indicare una loro formazione superficiale o quantomeno, un adattamento alle situazioni attuali di lastre inglobate in sedimenti soprastanti. D'altra natura invece gli affioramenti E che appaiono geneticamente diversi. Così come appaiono differenti dai primi, quegli affioramenti che insistono sull'apice delle dune sottomarine, colonizzate da "mattes" di *Posidonia oceanica* e i pochi che presentano gorgogliamento di gas.

I dati fino ad ora raccolti e segnatamente il gran numero d'affioramenti individuati e supposti in alto Adriatico, la loro diversità di forma, i possibili allineamenti e la dipendenza dalle sabbie di piattaforma, così come a volte anche dalle radici di *Posidonia*, la presenza di "bromboli" fa ritenere, in via del tutto preliminare, che i corpi rocciosi che costellano i fondali del Golfo di Trieste abbiano genesi diverse che possono essere indicativamente imputate:

- alla cementazione di depositi sabbiosi marino-litorali, avvenuta all'interno dell'antico prisma sedimentario costiero e sulle antiche linee di riva;
- alla venuta a giorno, per erosione della coltre sedimentaria soprastante, di depositi cementati inclusi nel materasso sabbioso alluvionale della paleopianura tardiglaciale;
- alla cementazione in loco di depositi legati alla fuoriuscita di gas metano, originato da processi di decomposizione delle torbe depostesi durante l'ultima glaciazione würmiana. Quest'ultima ipotesi trova supporto dalle segnalazioni di gorgogliamento di gas in prossimità d'alcuni affioramenti rocciosi analizzati;
- a processi di cementazione delle sabbie marine legati al radicamento sul substrato della *Posidonia*.

Anche se la formazione di questi affioramenti sarà il tema di una successiva ricerca, preme qui rilevare che gli studi di geochimica isotopica già eseguiti su campioni di roccia dell'area

in oggetto (CONTI et al., 1998), evidenziano valori di $\delta^{13}\text{C}$ compresi tra -0,04 e -5,33 PDB e di $\delta^{18}\text{O}$ tra 0,72 e -5,28 PDB. Questi valori di ^{13}C (solo lievemente negativi) si riferiscono ad affioramenti di tipo B3, E e F (STEFANON, comunicazione personale, 2001) e suggeriscono una derivazione da carbonati d'origine biogena o carbonati marini piuttosto che da carbonati derivanti da processi di ossidazione del metano ad opera di batteri (il $\delta^{13}\text{C}$ del metano dei pozzi produttivi dell'area del Po mostra valori compresi tra -73 ‰ e -38 ‰ PDB).

Conclusioni

L'alto numero d'affioramenti rocciosi individuati nel Golfo di Trieste, la loro distribuzione areale e i loro caratteri morfologici essenziali hanno permesso di raggiungere una serie di risultati che potranno, in seguito, essere ripresi e sviluppati al fine di definire la genesi di questi geositi che sotto vari punti di vista "arricchiscono" l'ambiente marino dell'alto Adriatico. In quest'ottica è quanto mai auspicabile prevedere al più presto ad una forma di tutela e di valorizzazione di questo patrimonio ambientale anche attraverso il coinvolgimento delle marinerie locali, come è stato fatto in altre parti d'Italia. Segnatamente, l'elevato numero d'affioramenti individuati (ca. 250) in un tratto di mare, relativamente poco esteso e delimitato da acque slovene e croate, fa ritenere che la presenza di queste rocce nell'intero settore dell'alto Adriatico sia cospicua (indicativamente sull'ordine delle migliaia). Questa presenza poi è legata alla distribuzione delle sabbie di piattaforma (che in area hanno un'orientazione, grossomodo, NE-SW) e in quest'ambito, alla morfologia del fondale che degrada verso le profondità maggiori. La maggioranza degli affioramenti, poi, presenta tipologie tabulari, che a volte si succedono in allineamenti che seguono fedelmente l'andamento delle batimetriche regionali, mentre, altre volte, si presentano in forme compatte a panettone o in pinnacoli. La concentrazione massima di queste rocce è di 3,25 affioramenti per km^2 .

L'analisi statistica elementare condotta sulle variabili di un centinaio d'affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste, ha messo in evidenza che:

- La profondità della base di queste rocce assume valori massimi di m 21,5, minimi di m 8,3 e medi di m 17,1, con una moda principale corrispondente a 17 % per quanto riguarda la classe 18-19 metri e tre mode secondarie alle profondità 8-9, 12-13 e 15-16 metri;
- Il massimo valore misurato per lo spessore dell'affioramento è di m 2,7, minimo pari a m 0,4 e medio di m 1,0, dove la classe 0,76-1,00 metri rappresenta il 35 % del totale;
- La tipologia degli affioramenti può essere definita in otto classi che comprendono forme essenzialmente tabulari (da A ad D), a panettone (E) e pinnacoli (F). Tra le classi o sottoclassi individuate maggiormente rappresentata è quella tabulare nelle tre forme B1 (27 %), B2 (10 %) e B3 (36 %); mentre le tipologie C (6 %), D (9 %), a panettone (1 %) e pinnacolare (10 %) sono subordinate;

- La morfologia del fondale più diffusa dove si ubicano questi affioramenti è quella di scarpata, con una percentuale pari a 85 %, mentre il basso e l'alto morfologico assumono rispettivamente valori di 6 % e 9 % circa;
- Per quanto riguarda la distanza dalla costa degli affioramenti, il valore massimo è di 17,0 Km, minimo 2,0 e medio pari a 10,4 Km, con picco di massima frequenza (17 %) in corrispondenza dei 8,1 e 9,0 Km;
- Infine la tessitura del sedimento evidenzia come la gran maggioranza degli affioramenti si trovano sulle sabbie pulite di piattaforma (63 %), e in parte (36 %) su sabbie di piattaforma con una componente minoritaria pelitica (sabbie pelitiche). La percentuale rimanente (1 %) spetta al mescolamento in pari proporzioni tra le sabbie di piattaforma e le peliti (peliti molto sabbiose).

L'analisi bivariata delle variabili sopra definite non ha evidenziato significative interdipendenze. Si registrano solamente correlazioni scontate tra la profondità dell'affioramento, con la distanza dalla costa che è spiegabile con l'andamento del gradiente medio del fondale marino nell'area. Lo studio multivariato ha messo in evidenza che le famiglie d'affioramenti sono influenzate, essenzialmente, dalla morfologia e tessitura del fondale e dalla loro tipologia, mentre gli altri parametri sembrano non essere decisivi. La "cluster analysis" ha permesso di raggruppare nella stessa famiglia quei corpi rocciosi che si allineano secondo le batimetriche, così come quelli che sono localizzati sopra modesti rialzi morfologici.

Particolare importanza hanno assunto le osservazioni dirette, in immersione di questi affioramenti che si presentano come un ammasso di concrezioni organogene poggianti su substrati duri, costituiti a volte da lastroni di sabbia cementata adagiata o affiorante sulle sabbie di piattaforma. La roccia presenta solitamente fratture ortogonali alla stratificazione, altre ad andamento casuale e scavamenti o nicchie d'erosione alla base che non fanno intravedere una continuità con il substrato. Diversa, invece, la situazione degli affioramenti a panettone (tipo E), dove un substrato sembra evidente.

In conformità a questi dati e in via del tutto preliminare, si è propensi a ritenere che gli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste siano un insieme di forme poligeniche (costituiti da depositi litorali e marini, ma anche alluvionali, messi a giorno dalla trasgressione Versiliana), rielaborato dai processi biologici e geomorfici attualmente in atto sui fondali adriatici.

Manoscritto pervenuto il 20.XII.2001.

SUMMARY - About 488 echo-sounding profiles, punctual lateral scanning echo-sounding surveys and scuba diving carried out in several years have allowed to identify at least 250 rocky outcrops in the Gulf of Trieste. The areal distribution analysis and the essential geomorphic characteristics (extension, shape, thickness, etc.) have shown that these very peculiar rocks lie beyond the coastal sedimentary prism (from 13 to 21 m depth), in the sector where shelf sands are located, following NE-SW direction,

which continues into the Gulf of Venice. The rocky outcrops are located, almost in continuum, along the southern sides of the banks (the morphological relieves called "Trezze"), and on the small depressions among them, where they reach the maximum values of density of about three per square kilometre. The outcrops are made of sandstone and they emerge from shelf sands usually (73%) showing planar-tabular morphotypes (with clear stratification), sometimes massive or pinacular, always covered by cap reefs. Bubbling reefs, locally defined as "bromboli" are rarely present. Their mean thickness is one metre and they follow directions related, along kilometres, to 13, 16 and 19 m bathymetric contours displacement.

The statistical analysis performed on morpho-sedimentological parameters characterising these subaqueous outcrops has shown that they are essentially dependent on morphology and bottom depth as much as on sediment texture and on the outcropping type. On the basis of the predominance of one factor, the overall population can be divided in, at least, four great outcrop groups.

Direct diving observations (made easy by shallow waters) have highlighted that sandstones are often fractured orthogonally to stratification, and associated to more irregular ones and small caves or erosion niches at the base. These fractures do not show presence of roots nor do they suggest a further extension under the sea-bed.

On the basis of the above data, as preliminary results, due to the high number of surveyed and hypothesised rocky outcrops along with their shape and areal distribution, it is presumed that they were not produced by an only process, but several different processes interacted on littoral and marine, as well as on alluvial deposits of the paleo-plain, which Versilian transgression made outcrop.

Bibliografia

- BOLDRIN A., 1979 - Aspetti ecologici delle formazioni rocciose dell'Alto Adriatico. *Atti del Conv. Scient. Naz. P.F. Oceanografia e Fondi Marini*, 3: 1197-1207.
- BRAGA G. & STEFANON A., 1969 - Beachrock ed alto Adriatico: Aspetti paleogeografici, climatici, morfologici ed ecologici del problema. *Atti Ist. Ven. di Scien. Lett. ed Art.*, 127: 351-359.
- BRAMBATI A., CIABATTI M., FANZUTTI G.P., MARABINI F. & MAROCCO R., 1988 - Carta sedimentologica dell'Adriatico settentrionale. *De Agostini*, Novara.
- BRAMBATI A. & VENZO G.A., 1967 - Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste. *St. Trent. Sc. Nat.*, sez. A, 44: 202-274.
- COLANTONI P., FANZUTTI G.P. & MAROCCO R., 1985 - Geologia della piattaforma adriatica. *P.F. Oceanografia e Fondi Marini*: 49-85.
- COLANTONI P., GABBIANELLI G., CEFFA L. & CECCOLINI C., 1998 - Bottom features and gas seepages in the Adriatic Sea. Estratto da: *V International Conference on Gas in Marine sediments*: 28-31.
- CONTI A., STEFANON A. & ZUPPI G.M., 1998 - Isotopic geochemistry in gas venting related marine carbonates: preliminary results. Estratto da: *V international Conference on Gas in Marine sediments*: 32-34.
- CORREGGIARI A., ROVERI M. & TRINCARDI F., 1996 - Late Pleistocene and Holocene evolution of the North Adriatic Sea. *Il Quaternario*, 9 (2): 697-704.
- CURZI P.V., D'ONOFRIO S., GABBIANELLI G., PANIERI G., CEFFA L., GASPARINI G. & RICCIUTO T., 1998 - A possibile mechanism of rising gas at a Bonaccia field pockmark (central Adriatic Sea). Estratto da: *V international Conference on Gas in Marine sediments*: 174-177.
- GAZZI P., ZUFFA G.C., GANDOLFI G. & PAGANELLI L., 1973 - Provenienza e dispersione litoranea della sabbia delle spiagge adriatiche tra le foci dell'Isonzo e del Foglia. Inquadramento regionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 12 (1): 1-37.
- JENSEN P., AAGAARD I., BURKE JR R.A., DANDO P.R., JORGENSEN N.O., KUIJPERS A., LAIER T., O'HARA S.C.M. & SCHMALJOHANN R., 1992 - Bubbling reefs in the Kattegat: submarine landscapes of

carbonate-cemented rocks support a diverse ecosystem at methane seeps. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 83: 103-112.

- MAROCCO R., 1989 - Lineamenti geomorfologici della costa e dei fondali del Golfo di Trieste e considerazioni sulla loro evoluzione tardo-quadernaria. *Int. J. Speleol.*, 18 (3-4): 87-110.
- MIZZAN L., 1999 - Localizzazione e caratterizzazione di affioramenti rocciosi delle coste veneziane. Primi risultati di un progetto di indagine. *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Ven.*, 50: 195-212.
- MOSETTI F., 1966 - Morfologia dell'Adriatico settentrionale. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 8: 138 - 150.
- NEWTON R. & STEFANON A., 1975 a - The "Tegnue de Ciosa" area: patch reefs in the Northern Adriatic Sea. *Mar. Geol.*, 8: 27-33.
- NEWTON R. & STEFANON A., 1976 - Primi risultati dell'uso simultaneo in Alto Adriatico di Side Scan Sonar, Subbottom Profiler ed Ecografo. *Mem. Biogeogr. Adriat.*, 9, Suppl.: 33-60.
- OGORELEC B., MISIC M. & FAGANELI J., 1991 - Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Sedimentological aspects. *Mar. Geol.*, 99: 79-92.
- REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA, 1979 - Studio sull'assetto fluviale e costiero della Regione del Friuli-Venezia Giulia. *ELC- Elettroconsult*, Milano.
- ROSSI S., MOSETTI F. & CESCO B., 1968 - Morfologia e natura del fondo nel Golfo di Trieste (Adriatico Settentrionale fra Punta Tagliamento e Punta Salvore). *Boll. Soc. Adriat. Sc.*, Trieste, 56 (2): 187-206.
- STEFANON A., 1967 - Formazioni rocciose del bacino dell'Alto Adriatico. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti*, 125: 79-85.
- STEFANON A. & MOZZI C., 1972 - Esistenza di rocce organogene nell'Alto Adriatico al largo di Chioggia. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti*, 130: 495-499.
- STEFANON A. & MOZZI C., 1973 - Rock outcrops in the Northern Adriatic Sea. *Scien. Div. Inter.*: 203-206.
- TRINCARDI F., CORREGGIARI A. & ROVERI M., 1994 - Late Quaternary transgressive erosion and deposition in a modern epicontinental shelf: the Adriatic Semienclosed Basin. *Geo-Marine Letters*, 14: 41-51.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- sig. Stefano CARESSA
Riva G. Garibaldi 14, I-34073 GRADO
- dott. Emiliano GORDINI
Via Buonarroti 15, I-34073 GRADO
- prof. Ruggero MAROCCO
- prof. Giorgio TUNIS
Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi
Via E. Weiss 2, I-34100 TRIESTE
marocco@univ.trieste.it
tunis@univ.trieste.it