

GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	26 (2004)	5-24	Udine, 30.VI.2005	ISSN: 0391-5859
---	-----------	------	-------------------	-----------------

E. GORDINI, R. RAMELLA, R. ROMEO, M. DEPONTE, R. MAROCCO

INDAGINI ACUSTICHE SUGLI AFFIORAMENTI ROCCIOSI DEL GOLFO DI TRIESTE
(ADRIATICO SETTENTRIONALE)

*ACOUSTIC INVESTIGATIONS ON THE ROCK OUTCROPS OF THE TRIESTE GULF
(NORTHERN ADRIATIC SEA)*

Riassunto breve - In questo lavoro sono riassunti i risultati dell'indagine acustica ad alta risoluzione, eseguita con l'utilizzo di un sub-bottom profiler Chirp Datasonics, su alcuni affioramenti rocciosi presenti sul fondale del Golfo di Trieste. Obiettivo principale è stato quello di definire la geometria sepolta di questi litosomi al fine di verificare una loro continuità, e dunque relazione genetica, con i depositi di TST (Transgressive System Tract) o nell'ambito dei depositi sottostanti del sistema LST (Lowstand System Tract).

Parole chiave: Affioramenti rocciosi, Golfo di Trieste, Sub-bottom profiler Chirp, Sismica ad alta risoluzione, Facies acustica.

Abstract - *In this elaborate there are summarized the results of the high resolution acoustic investigation, performed with a sub-bottom profiler Chirp Datasonics, on some rock outcrops on the seafloor of the Trieste Gulf. The main objective has been to define the buried geometry of these rocky bodies with the purpose to verify their continuity, and therefore genetic relationship, with the deposits of TST (Transgressive System Tract) or within the underlying deposits of the LST (Lowstand System Tract) system.*

Key words: *Rock outcrops, Trieste Gulf, Sub-bottom profiler Chirp, High resolution seismic investigation, Acoustic facies.*

Introduzione

Recenti lavori (CARESSA et al., 2001; GORDINI et al., 2003) hanno messo in evidenza la nutrita presenza e i vari aspetti morfologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste che sono stati solo in minima parte analizzati dalla letteratura scientifica precedente (vedi per tutti STEFANON & ZUPPI, 2000, e CONTI et al., 2002). Anche se il quadro delle conoscenze su questi geotopi marini si sta completando, rimane ancora da definire la loro genesi che molti autori ritengono essere legata a processi determinati dalla fuoriuscita del metano dal sottofondo marino (studi in tal senso sono in corso d'espletamento, attraverso l'analisi di campioni di roccia). Questo meccanismo diagenetico per ossidazione del metano, messo in evidenza per la

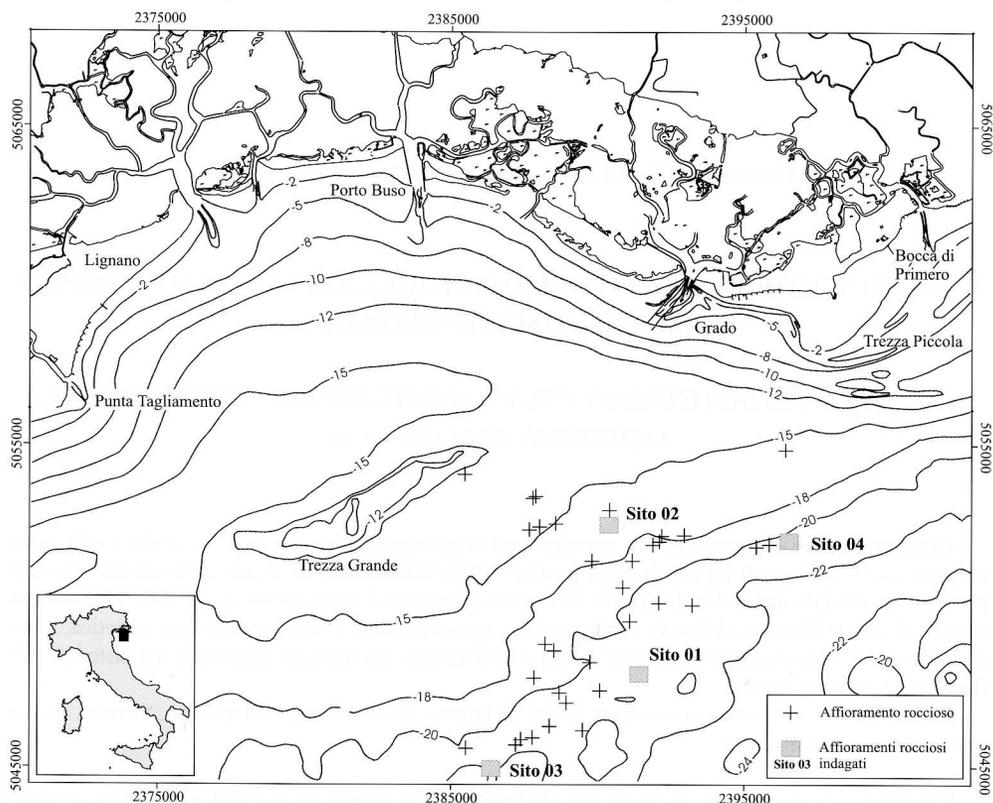


Fig. 1 - Mappa batimetrica del Golfo di Trieste-Trezza Grande e ubicazione delle aree in studio.
 - Bathymetric map of the Trieste Gulf-Trezza Grande and location of the study areas.

prima volta nei Mari del Nord ("bubbling reef" di JENSEN et al., 1992) farebbe supporre un prolungamento a forma di pinnacolo e un radicamento degli affioramenti rocciosi nel substrato sedimentario.

Con questo lavoro s'intende dar risposta a questo quesito ovvero definire la geometria sepolta di questi litosomi, in modo da verificare una loro eventuale continuità con la presenza di gas nel sottofondo o in caso contrario, inquadrali nel contesto della formazione dei depositi di TST (Transgressive Systems Tract) o nell'ambito dei depositi sottostanti del sistema LST (Lowstand Systems Tract), inerenti alla antica piana alluvionale.

A tal fine sono stati indagati con profili acustici ad alta risoluzione (Sub-bottom profiler Chirp) quattro affioramenti presenti nel fondale del Golfo di Trieste (fig. 1), scelti come rappresentanti d'altrettante tipologie morfologiche definite preliminarmente da CARESSA et al., 2001.

Il presente lavoro è il risultato della collaborazione dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale OGS (Gruppo di ricerca GEA, resp. R. Ramella) con il Dipartimento

di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università degli Studi di Trieste (Programma MURST 60 %, resp. R. Marocco).

Generalità ed acquisizione dei dati

I rilievi acustici Chirp, sono stati eseguiti dalla M/N Castorino 2 appositamente attrezzata (fig. 2) per le operazioni di messa in mare/alaggio del dispositivo acquisitore e dotata di un sistema CAP-6600 della Datasonics con tecnologia "Chirp". Il sistema è costituito da:

- il Datasonics DSP-661 Processor che genera la tipica forma d'onda Chirp, elabora, mostra i dati acquisiti ed esamina e controlla la funzionalità del sistema;
- il Datasonics DSP-661 Processor Software operante su piattaforma Windows per applicare filtri digitali ai segnali, generare immagini multiple dei dati acustici acquisiti, ed inoltre memorizzarli e registrarli su supporti ad alta densità;
- il Datasonics DSP-662 Transceiver a doppio canale, che sovrintende il trasmettitore ad alta energia e il ricevitore montati sul "tow vehicle".

Il tow vehicle utilizzato è il TTV-190 deep water vehicle (utilizzabile in prospezioni fino a 1000 metri). Questa configurazione permette di acquisire contemporaneamente su due bande di frequenza differenti, rispettivamente con sweeps da 2 a 7 kHz e pattern radiativo conico di 45° e simultaneamente anche con sweeps da 8 a 23 kHz con cono da 30°. Il ricevitore è costituito da un array lineare di otto idrofoni con una banda di ricezione compresa tra 2 e 100 kHz. Il tow vehicle TTV-190 è stato trainato a poppavia dell'imbarcazione, ad una profondità di 3,00 metri dalla superficie ed ad una distanza di m 12.

Il software utilizzato per l'acquisizione dei dati è il Datasonics Dual Frequency Chirp 2 Profiler che permette di ottimizzare la profilazione acustica variando la lunghezza e la durata dell'impulso, l'Hardware Gain, il Power Controls, il Bottom tracking, il TVG ed eventuali filtri.

La posizione planimetrica, in tempo reale, dell'imbarcazione è stata ottenuta utilizzando un sistema di rilevamento GPS e DGPS cinematico, in modalità continua. Lo strumento impiegato è un ricevitore Ashtech G12 Lite dotato di decodificatore DGPS LandStar MkIV della Thales Tracs Ltd (fig. 2). La precisione ottenuta evidenzia una deviazione standard pari a cm 28.

Per ottenere un'elevata precisione nella percorrenza dei transetti programmati è stato studiato e realizzato un software dedicato alla navigazione, visualizzazione grafica dei profili, acquisizione della posizione geografica ed elaborazione dei parametri: rotta vera, rotta teorica, velocità dell'imbarcazione, tipologia GPS utilizzata (GPS, DGPS) e riferimento cronologico UTM (GMT).

Segnatamente, a bordo dell'imbarcazione è stata utilizzata anche la seguente strumentazione:

- un ricevitore palmare Garmin GPS 76 a 12 canali;

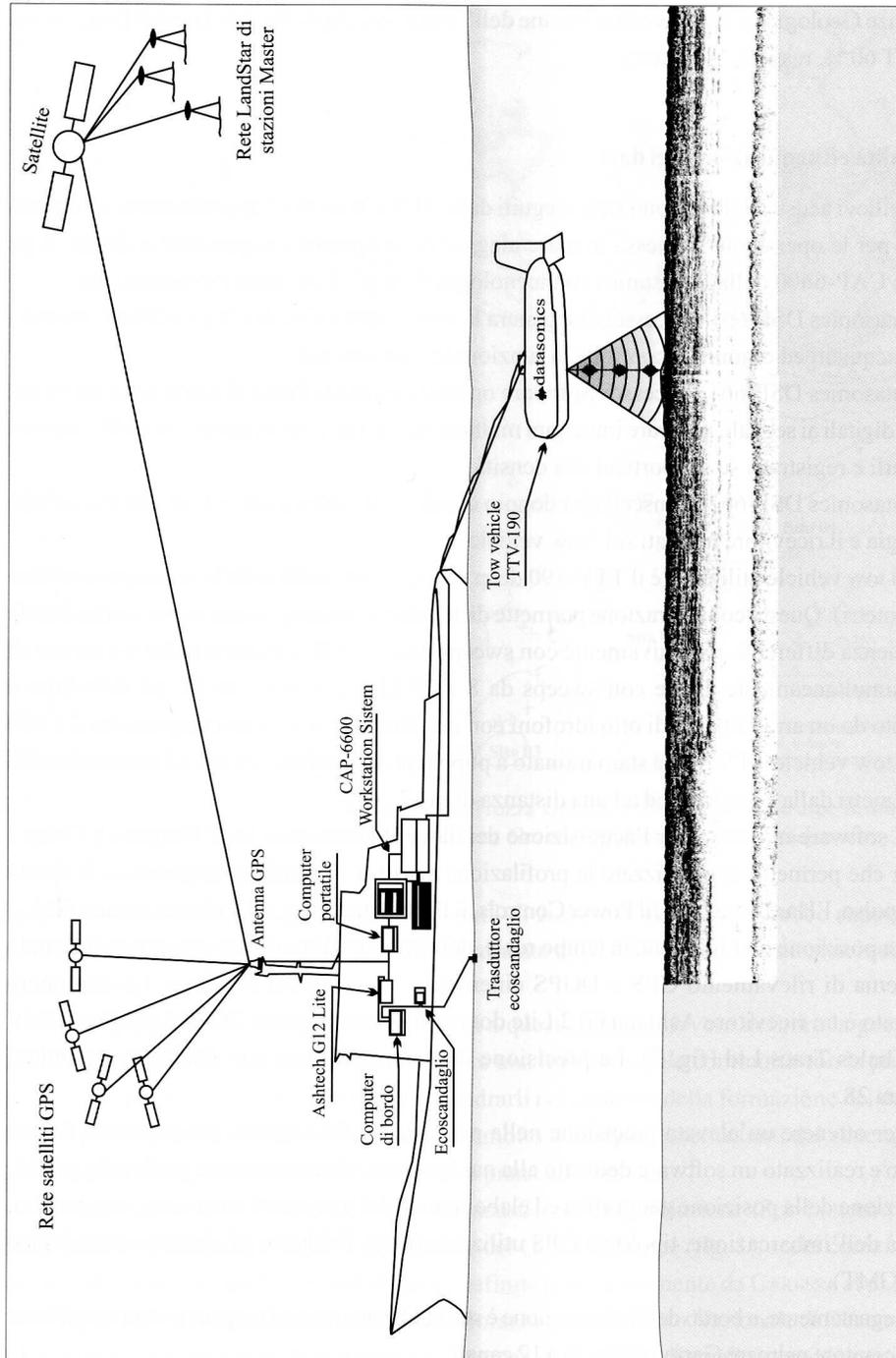


Fig. 2 - Schema del sistema di acquisizione sub-bottom profiler Chirp.
- The sub-bottom profiler Chirp acquisition system.

- un ricevitore GPS Lawrence a 12 canali;
- un ecoscandaglio X-16 Computer sonar Lawrence digitale con registrazione e visualizzazione grafica dei profili;
- un ricetrasmittitore CB 40 canali;
- n. 2 computers portatili con il compito di gestire l'acquisizione simultanea dei dati di profondità e di posizione forniti, rispettivamente, dall'ecoscandaglio e dal GPS/DGPS con cadenza di un secondo.

La penetrazione ottenuta varia da 7 a 14 metri essendo notevolmente influenzata dai diversi tipi di sedimento indagato; la risoluzione è stata mediamente compresa tra 20 e 30 cm.

Breve inquadramento geologico

Le caratteristiche del fondo e del sottofondo del Golfo di Trieste sono il risultato di processi evolutivi tardo-pleistocenici ed olocenici che hanno visto da un lato la progressiva ingressione marina postglaciale e dall'altro l'aggradazione della costa alluvionale, alimentata dai paleofiumi Tagliamento ed Isonzo, due dei più importanti fiumi dell'Italia settentrionale.

La situazione attuale del golfo palesa la presenza lungo costa di un primo esteso prisma sedimentario che copre una fascia continua che va dall'apparato deltizio isontino (ad Est) al delta del fiume Tagliamento ed oltre (ad Ovest), fino alla profondità di ca. 12-13 metri. Questo corpo sedimentario presenta la classica stratigrafia del conoide progradazionale ed è costituito da sedimenti fluviali attuali/recenti rielaborati continuamente dal moto ondoso e dalle correnti litoranee. Il prisma sedimentario costiero rappresenta il tratto finale del sistema HST che termina in una zona sub-pianeggiante e mossa per la presenza di rilievi sabbiosi e affioramenti rocciosi che si inseriscono nell'ambito dei depositi trasgressivi del TST. La sottile coltre dei depositi trasgressivi (variabile da 30 a 40 cm, salvo valori particolari di 1,5 metri in corrispondenza di dune sommerse) assume, in corrispondenza dell'alto morfologico della Trezza Grande, massima potenza (m 6) e definisce un cono costiero deltizio annesso in seguito all'innalzamento del livello marino nel Tardiglaciale. Questi depositi sono sabbie medie e medio-fini, carbonatiche derivate da sedimenti rielaborati dalla trasgressione marina. Sono ricchi di frammenti organogeni, alghe calcaree, spugne, molluschi, echinodermi, briozoi, etc., e presentano, nel loro limitato spessore, una gradazione normale con all'interno livelli di tritume conchigliare ad indicare una avvenuta trazione da parte di correnti di fondo, mentre in altri casi, si osservano contatti erosivi tra sedimenti grossolani e sedimenti pelitici-torbosi continentali. L'età di questi depositi trasgressivi non è stata determinata analiticamente. Sulla base di considerazioni climatiche generali, in conformità ai picchi d'innalzamento del mare su scala globale e in relazione alla età di formazione del delta tilaventino (MAROCCO, 1991) e della laguna di Caorle, nel retroterra (ca. 9.000 anni; MAROCCO et al., 1996; GALASSI & MAROCCO,

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

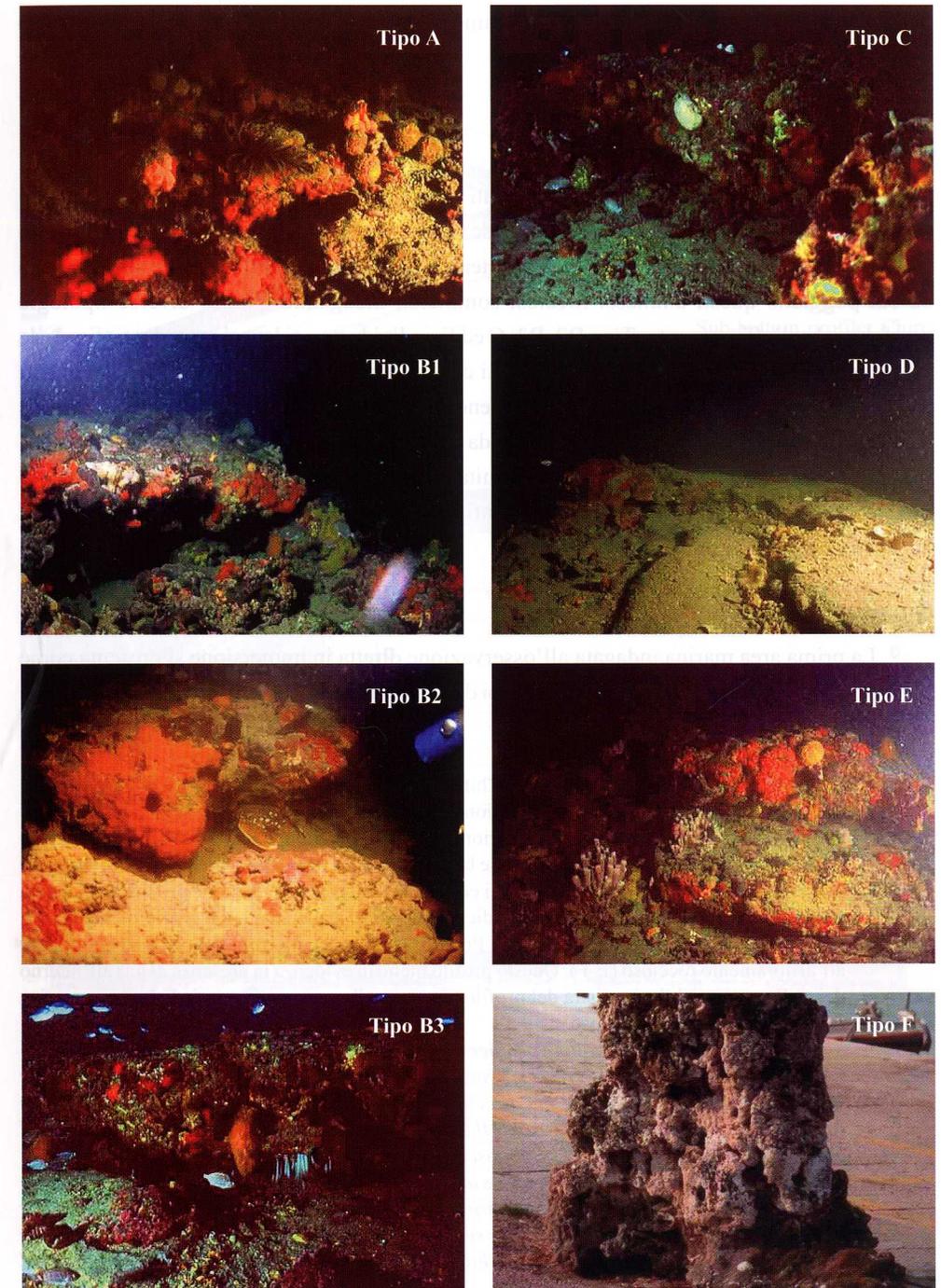
Fig. 3 - In alto: tabella riassuntiva dei principali caratteri morfologici e geometrici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste (da CARESSA et al., 2001 modificato). A destra: fotografie delle varie tipologie morfologiche.

- Above: summarising table of the main morphological features of the rock outcrops in the Trieste Gulf (from CARESSA et al., 2001 modified). Right: photos of the varied morphological typologies.

1999), si può ritenere che almeno l'annegamento del corpo sedimentario della Trezza sia avvenuto tra i 16.000 e 11.300 anni fa (GORDINI et al., 2002).

Questi depositi sabbiosi sormontano con contatti netti i sedimenti pelitico-torbosi continentali del sottofondo, ascrivibili al sistema (LST), con età Pleniglaciale (da 19.945 a 22.120 anni BP; sempre GORDINI et al., 2002).

Per la descrizione morfo-sedimentologica dei fondali del golfo di Trieste e per i caratteri



morfologici e le ipotesi genetiche sugli affioramenti rocciosi si rimanda a GORDINI et al. (2003) e CARESSA et al. (2001).

Rilievi sismici ad alta risoluzione Chirp

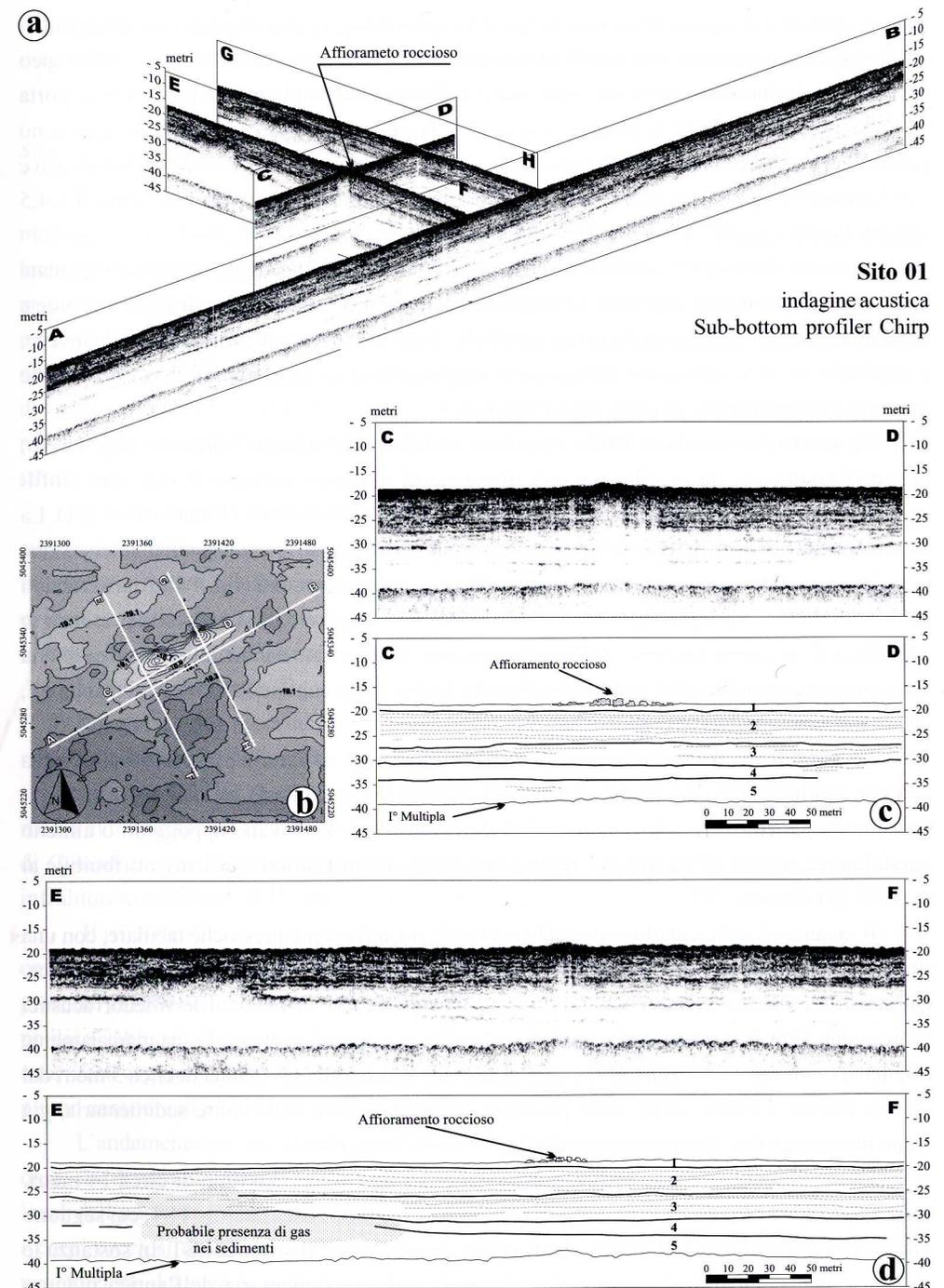
I quattro siti indagati (fig. 1) sono stati scelti sulla base delle conoscenze acquisite precedentemente in prospezioni indirette (Side Scan Sonar e batimetrie) e dirette, eseguite in immersione. In particolare si è cercato di caratterizzare acusticamente il substrato sedimentario su cui poggiano questi ammassi rocciosi sommersi, indagando quattro diverse tipologie morfologiche d'affioramento, Tipo B2, B3, C ed E, individuate nei lavori precedenti (fig. 3, da CARESSA et al., 2001 modificato). In tutti i siti che presentavano in generale più affioramenti rocciosi, questi sono stati attraversati da almeno un profilo longitudinale (lungo la direzione di massimo sviluppo degli affioramenti) e da due trasversali posti ai fianchi degli stessi. Preliminarmente a questi rilievi è stata eseguita una taratura della strumentazione sul punto dove era stato eseguito un sondaggio stratigrafico, precedentemente analizzato da GORDINI et al. (2002).

Sito 01 (fig. 4)

La prima area marina indagata all'osservazione diretta in immersione si presenta come un insieme di tanti piccoli affioramenti rocciosi della stessa forma, ma con dimensioni e potenze

Fig. 4 - Indagine acustica sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) sul Sito 01. (a) Rappresentazione 3d; (b) Mappa del fondale marino (prospezione con ecoscandaglio digitale); (c) Profilo acustico e interpretazione eseguito lungo la direzione di massimo sviluppo dell'affioramento roccioso (C-D). Nella parte centrale sono visibili le lacune acustiche dovute alla presenza nella porzione superficiale della coltre sedimentaria dei corpi rocciosi. L'interpretazione proposta evidenzia come gli affioramenti non presentino radici sviluppate e siano adagiati o parzialmente sepolti dall'unità acustica trasgressiva 1; (d) Profilo acustico e interpretazione, perpendicolare all'affioramento roccioso (E-F). Questo profilo mette in evidenza la presenza di gas all'interno dei sedimenti, visibile a sinistra del profilo, mentre nella porzione centrale la lacuna acustica tipica di un substrato roccioso.

- Acoustic investigation sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) on the Site 01. (a) 3d imaging; (b) Seafloor map (digital echosounder survey); (c) High resolution Chirp sonar profile and the interpretation performed along the direction of maximum development of the rock outcrop (C-D). In the central part they are visible the acoustic gaps due to the presence in the superficial portion of the rocky bodies. The proposed interpretation underlines as the breakthroughs doesn't introduce developed roots and has abandoned or partially buried from the transgressive acoustic unity 1; (d) High resolution Chirp sonar profile and the interpretation perpendicular to the rock outcrop (E-F). This profile reveals the presence of gas inside the sedimentary blanket, visible to the left of the profile, while the central portion shows the acoustic gap typical of a rocky substratum.



molto variabili. La visione d'insieme di questa zona, evidenzia una disposizione allungata di questi "sassi" secondo una direzione preferenziale (NE-SO), impostata su di un alto morfologico del fondale marino. Una stima sull'estensione dell'area d'affioramento di queste rocce, porta a dimensioni di circa m 50 di lunghezza e m 15 di larghezza. Nell'area centrale del sito, sono presenti un limitato numero di affioramenti di dimensioni maggiori (10-15 metri di lunghezza e 1,0-1,3 metri di spessore), circondati da molti altri di minore estensione e spessore (0,7-4,5 metri di lunghezza e 0,1-1,0 metri di altezza).

I blocchi di maggiore dimensione presentano contorni a cornici quasi verticali, sormontate da un capello arrotondato, dovuto all'accrescimento organogeno ad opera di alghe calcaree e subordinatamente madrepora, briozoi e serpulidi, tipico del "Cap reef". La parte basale invece, è costituita da un'arenaria che palesa un'evidente geometria tabulare con fessurazioni che seguono l'andamento degli strati piano-paralleli.

Su questo sito sono stati realizzati quattro profili acustici ad alta risoluzione (fig. 4 a e b) e, specificatamente, un profilo lungo la direzione di massimo sviluppo (C-D), due profili trasversali (E-F e G-H) e un profilo più esteso (A-B), parallelo e distante 15 metri ca. da C-D. La restituzione 3D dei profili ha sottolineato la loro ottima sovrapposizione nei punti di intersezione e una buona continuità laterale dei maggiori riflettori acustici presenti (fig. 4 a). Analizzando i profili dei due transetti più significativi (C-D ed E-F di fig. 4 c e d) si evince la presenza in superficie di un corpo roccioso, di limitato spessore, evidenziato anche dall'esistenza di una facies semi-trasparente al di sotto del substrato litoide e almeno quattro riflettori principali, che delimitano cinque unità acustiche.

Segnatamente, immediatamente sotto ai margini degli affioramenti rocciosi si osserva una continuità laterale dei maggiori riflettori acustici che escludono un radicamento con il sottofondo. Ne consegue che questi "sassi" verosimilmente si trovano appoggiati o almeno parzialmente sepolti all'interno del ridotto materasso sedimentario (< di 1 m), attribuibile ai depositi del sistema TST.

Il materasso sedimentario sottostante evidenzia un andamento pressoché tabulare, con una stratificazione piano parallela, localmente articolata, di potenza variabile da decimetrica a metrica. Questa strutturazione del sottofondo viene localmente modificata da inflessioni dei riflettori acustici in aree contraddistinte dalla mancanza di segnale riflesso, contornate da una fascia marcatamente riflettente (vedi fig. 4 d, Sezione E-F). Questa area che si trova alla profondità di circa 5 metri dal fondale marino è caratterizzata dalla presenza di gas all'interno della coltre sedimentaria, già ampiamente segnalata dagli studi precedenti (STEFANON, 1980; 1984).

I depositi del materasso sedimentario, penetrati fino ad un massimo di circa 14 metri, sono essenzialmente sabbie di piattaforma (sequenza acustica 1) del sistema TST, cui seguono orizzonti sabbiosi, pelitici e torbosi dei depositi continentali del sistema LST. In sostanza le sequenze acustiche sotto la prima, descrivono la coltre sedimentaria dell'antica pianura

alluvionale, caratterizzata da continui episodi di esondazione ed impaludamento, nelle fasi iniziali della sua formazione, che successivamente hanno portato alla sovrapposizione attraverso contatti erosivi di strati sabbiosi e poi pelitici, fino ai livelli torbosi di chiusura.

Sito 02 (fig. 5)

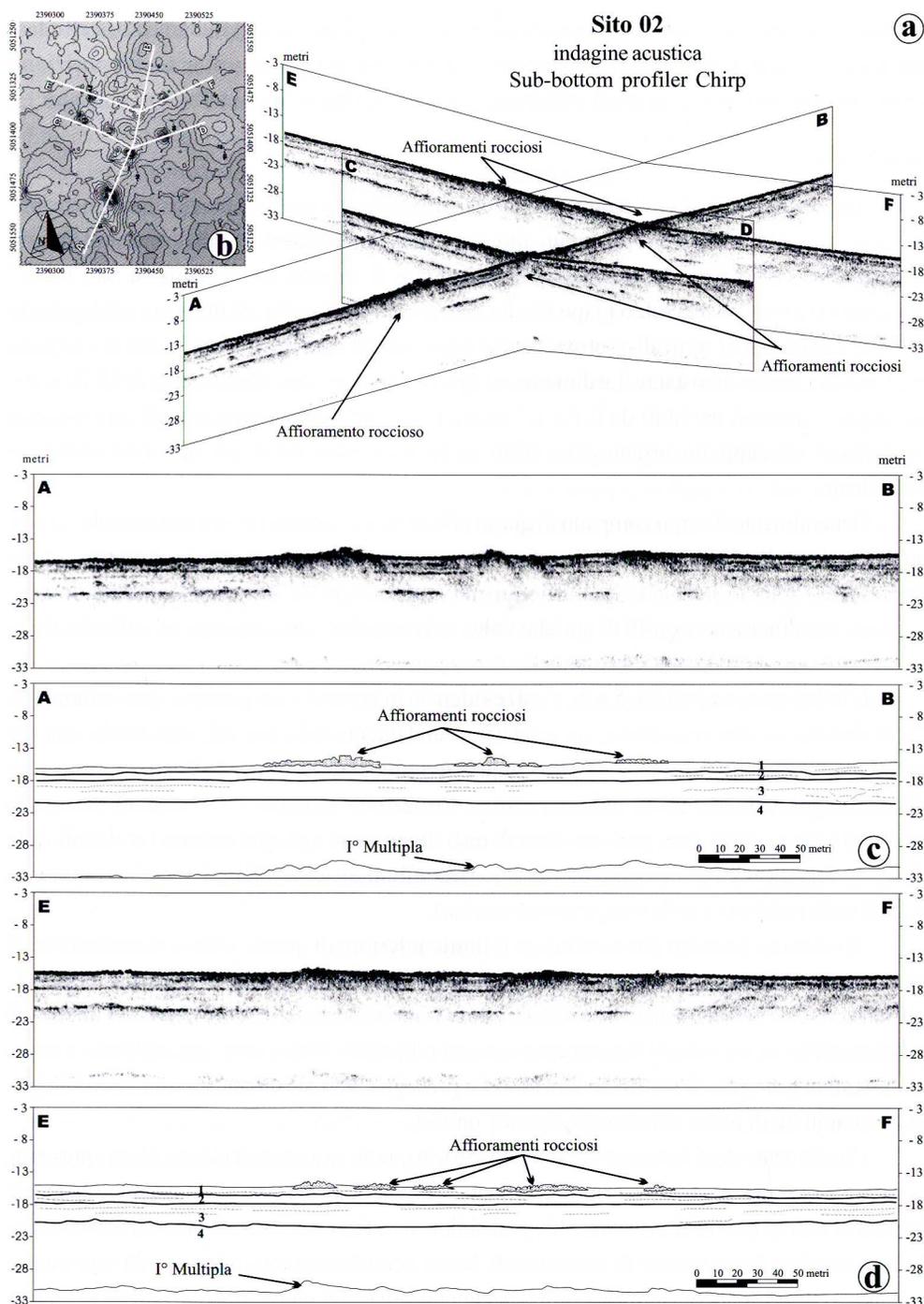
Anche questo sito è contraddistinto da un insieme d'affioramenti rocciosi, di dimensioni modeste che si localizzano sopra ad un alto morfologico relativo del fondale marino. Questa località, ben conosciuta dai pescatori del luogo con il termine di "grebeni de San Piero" presenta massi rocciosi tabulari (Tipo B3 di CARESSA et al., 2001; fig. 3) di forma tondeggianti e contorni con cornici verticali o sub-verticali e solo in alcuni casi, degradanti fino ad immergersi nel fondale marino circostante. Le dimensioni dei singoli corpi sono mediamente di 15-20 metri di raggio e spessori variabili da 0,4 a 1,7 metri. Come nel caso precedente, gli affioramenti presentano un cappello organogeno (Cap reef), impostato su di un substrato arenaceo stratificato.

Generalmente il corpo compatto di questi affioramenti rocciosi mostra una serie di fratture superficiali, nella parte apicale, e particolari scavernamenti alla base che possono anche interessare l'intera estensione dell'affioramento. Oltre a queste strutturazioni naturali sono evidenti scardinamenti e crolli di antiche volte, esistenti fino a poco tempo fa, e divelte dalle turbo-soffianti abilitate alla raccolta della *Venus verrucosa*.

L'indagine acustica (fig. 5 a, b, c e d) evidenzia in generale una penetrazione minore (ca 7 m) rispetto al sito precedente, un medesimo andamento tabulare del sottofondo con tre riflettori acustici che delimitano quattro sequenze sedimentarie. Secondo la taratura eseguita sul sondaggio GT1bis, posto nelle vicinanze, l'orizzonte acustico 1 è costituito da sabbia media al tetto e sabbia fine, pelitica, ricca di resti organogeni e plaghe torbose (probabili resti di *Cymodocea*) nella parte centrale e basale riferibili al sistema TST (depositi di ambiente infralitorale rielaborati dalla trasgressione marina).

Il riflettore acustico che costituisce il limite inferiore di questa unità è riconducibile al contatto netto lineare ed al livello decimetrico di sabbia fine pelitica con noduli organici, presente al tetto dell'unità acustica 2, riferibile al tratto superficiale del sistema LST (depositi pelitico-sabbiosi, con specie tipicamente terrestri o fluviali - *Pulmonata* spp. e *Pisidium* spp.- e rari resti organogeni di ambiente litorale) che prosegue, verosimilmente assumendo sempre più un carattere di piana alluvionale, fino all'unità 4.

L'andamento dei riflettori sismici (fig. 5 c e d), in questo caso, non evidenzia alcuna presenza di sacche di gas nel substrato che rimane definito da una stratigrafia tabulare con assottigliamenti locali dell'unità superficiale, riconducibili probabilmente a fenomeni erosivi recenti. Nel dettaglio, i corpi rocciosi determinano la presenza di facies semi-trasparenti, alternate da una buona penetrazione del segnale nelle aree immediatamente adiacenti ed intermedie. Anche in questo



caso il particolare andamento dei riflettori esclude una continuità orizzontale al di sotto della coltre sedimentaria e anche un loro radicamento negli orizzonti sottostanti.

La massima continuità all'interno della coltre sedimentaria di questi affioramenti rocciosi si può stimare essere pari al metro.

Sito 03 (fig. 6)

In questa località si riconoscono affioramenti rocciosi di "Tipo C" (CARESSA et al., 2001), che costituiscono un corpo roccioso principale allungato e inclinato che si sviluppa lungo una direzione preferenziale NO-SE e un secondo con le stesse caratteristiche, ma più limitato, a 70 metri dal primo, allungato nella stessa direzione. Il lato nord-orientale dell'affioramento si immerge nel fondale marino, mentre al lato opposto si elevano cornici verticali o sub-verticali, marcatamente stratificate e solo superficialmente ricoperte dal cappello organogeno. Alla base delle cornici si presentano profonde ed estese cavità che si prolungano al di sotto dell'affioramento. Complessivamente queste rocce si allungano per circa 70 metri, con una larghezza di circa m 15.

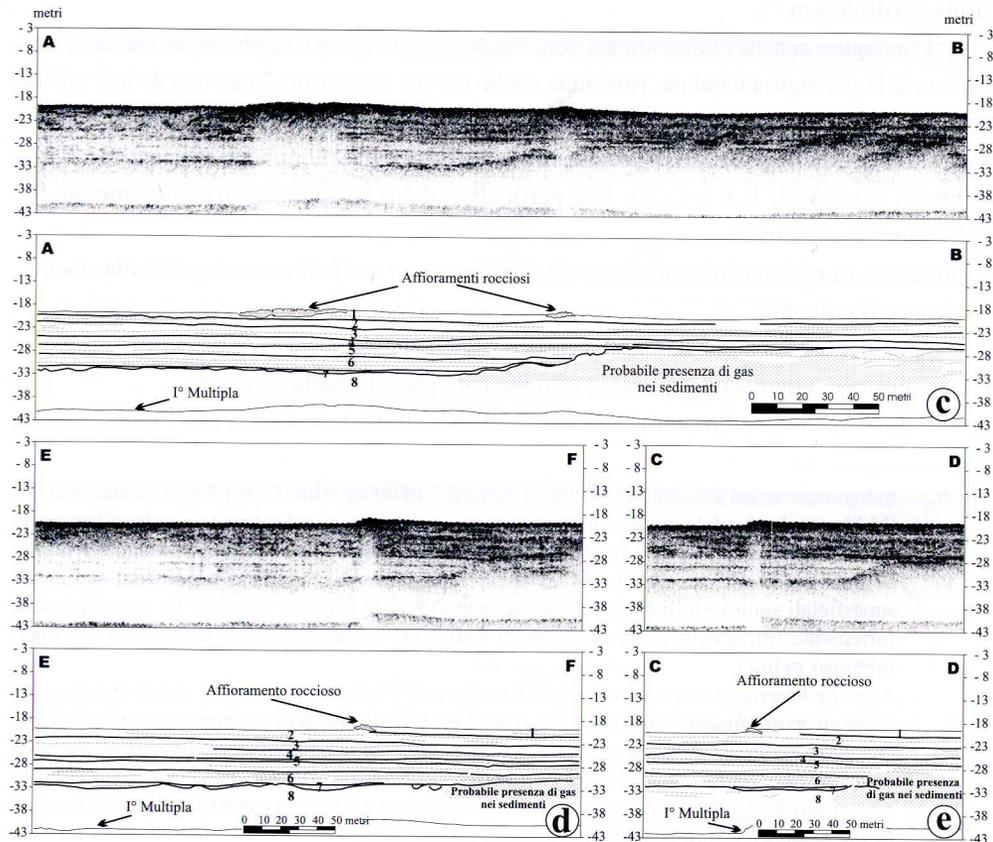
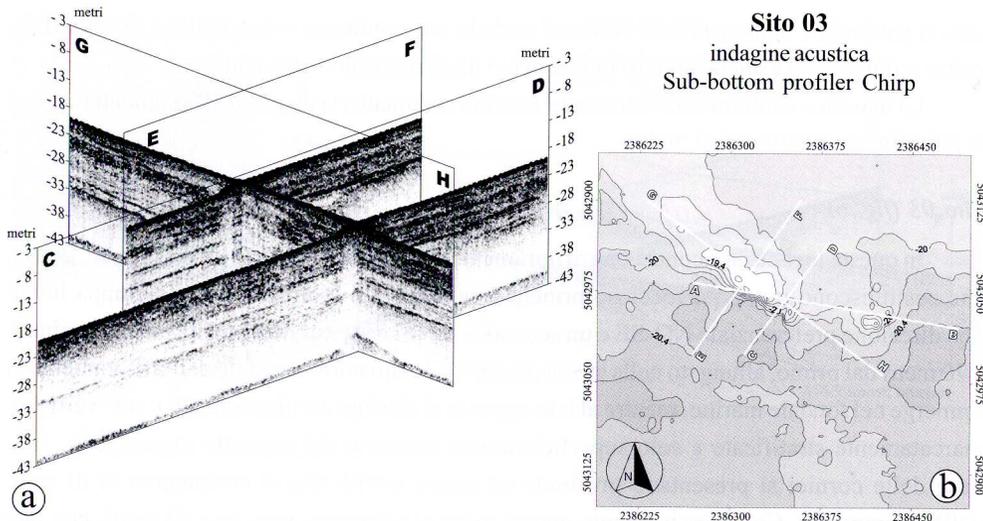
L'indagine acustica condotta sul sottofondo del sito (penetrazione massima ca. 13 m) evidenzia la geometria tabulare, rinvenuta anche nei siti precedenti, interrotta da una diffusa presenza di gas all'interno dei sedimenti (lacune acustiche, vedi fig. 6 c profilo A-B) e alcune troncare laterali degli orizzonti acustici in connessione agli affioramenti rocciosi (fig. 6 d ed e, profili trasversali E-F e C-D). Nel particolare dalle sezioni sopraccitate emerge che l'affioramento principale:

- presenta una perfetta continuità laterale, con larghezza molto limitata rispetto alla sua lunghezza di sviluppo;
- è appoggiato sopra ad un riflettore acustico principale;
- non mostra continuità con il piccolo affioramento presente nelle vicinanze.

Segnatamente, inoltre, i transetti C-D ed E-F mettono in evidenza che l'unità acustica

Fig. 5 - Indagine acustica sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) sul Sito 02. (a) Rappresentazione 3d; (b) Mappa del fondale marino (prospezione con ecoscandaglio digitale); (c, d) Profili acustici ad alta risoluzione Chirp e interpretazioni eseguiti lungo le direzioni di massimo sviluppo degli affioramenti rocciosi (A-B ed E-F). Adagiati o parzialmente sepolti dai sedimenti superficiali sono visibili (tipica lacuna acustica) i corpi rocciosi presenti. La penetrazione è fortemente influenzata dalla presenza di sedimenti superficiali prevalentemente sabbiosi-sabbioso pelitici.

- Acoustic investigation sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) on the Site 02. (a) 3d imaging; (b) Seafloor map (digital echosounder survey); (c, d) High resolution Chirp sonar profiles and the interpretations performed along the directions of maximum development of the rock outcrops (A-B and E-F). There are visible (typical acoustic gap) the bodies rocky abandoned or partially buried by the superficial sediments. The penetration is primarily influenced strongly by the presence of sandy-silty sand superficial sediments.



superficiale (unità 1) viene troncata lateralmente dalla presenza dell'affioramento. Ciò può essere spiegato ipotizzando una rimozione dei depositi al fondo con accumuli o locali erosioni in corrispondenza di questi alti morfologici relativi.

Anche in questo caso i rilievi evidenziano un limitato apparato radicale dell'affioramento, che si presenta come un crostone di sabbia cementata, di spessore metrico, appoggiato ed in parte sepolto dai sedimenti sabbiosi e sabbioso pelitici ricchi di tritume conchigliare. Lo spessore massimo stimato per questo affioramento corrisponde all'altezza della sua cornice sud-occidentale, pari a 1,4 metri.

Dal profilo A-B, emerge anche che il corpo principale non è legato, al di sotto della coltre sedimentaria, al piccolo affioramento roccioso individuato più ad Est, che presenta un limitato spessore e l'assenza di un apparato radicale.

SITO 04 (fig. 7)

L'ultimo sito indagato è interessato da due affioramenti rocciosi (di tipo E, CARESSA et al., 2001) molto diversi rispetto ai casi precedenti e volgarmente definiti a "panettone", termine che descrive molto bene la loro forma. Questi affioramenti si presentano su fondali relativamente fini (sabbia fina pelitica, pelite molto sabbiosa) ad una distanza di circa 45 m tra loro, con un primo corpo massiccio ellissoidale, con asse maggiore di 35 m ed elevazione dal fondale di 2,0-2,5 m e un secondo, con una larghezza di circa 15,0 m e altezza di 1,0-1,5 m. Il primo affioramento

Fig. 6 - Indagine acustica sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) sul Sito 03. (a) Rappresentazione 3d; (b) Mappa del fondale marino (prospezione con ecoscandaglio digitale); (c) Profilo acustico ad alta risoluzione Chirp e interpretazione eseguita in corrispondenza dei due affioramenti rocciosi (A-B). La successione sedimentaria presente nell'area indagata è caratterizzata da geometria tabulare, si nota inoltre, una diffusa presenza di gas nei sedimenti; (d, e) Profili acustici ad alta risoluzione Chirp e interpretazioni eseguiti perpendicolarmente alla direzione di massimo sviluppo dell'affioramento roccioso (C-D ed E-F). I due profili mettono in risalto il particolare assetto stratigrafico dell'area indagata. In particolare si osserva una perfetta continuità laterale dell'affioramento principale e l'interruzione laterale dell'unità acustica superficiale 1 in corrispondenza del corpo roccioso. Anche in questo caso si nota la presenza di gas nei sedimenti (lacuna acustica in basso a destra).

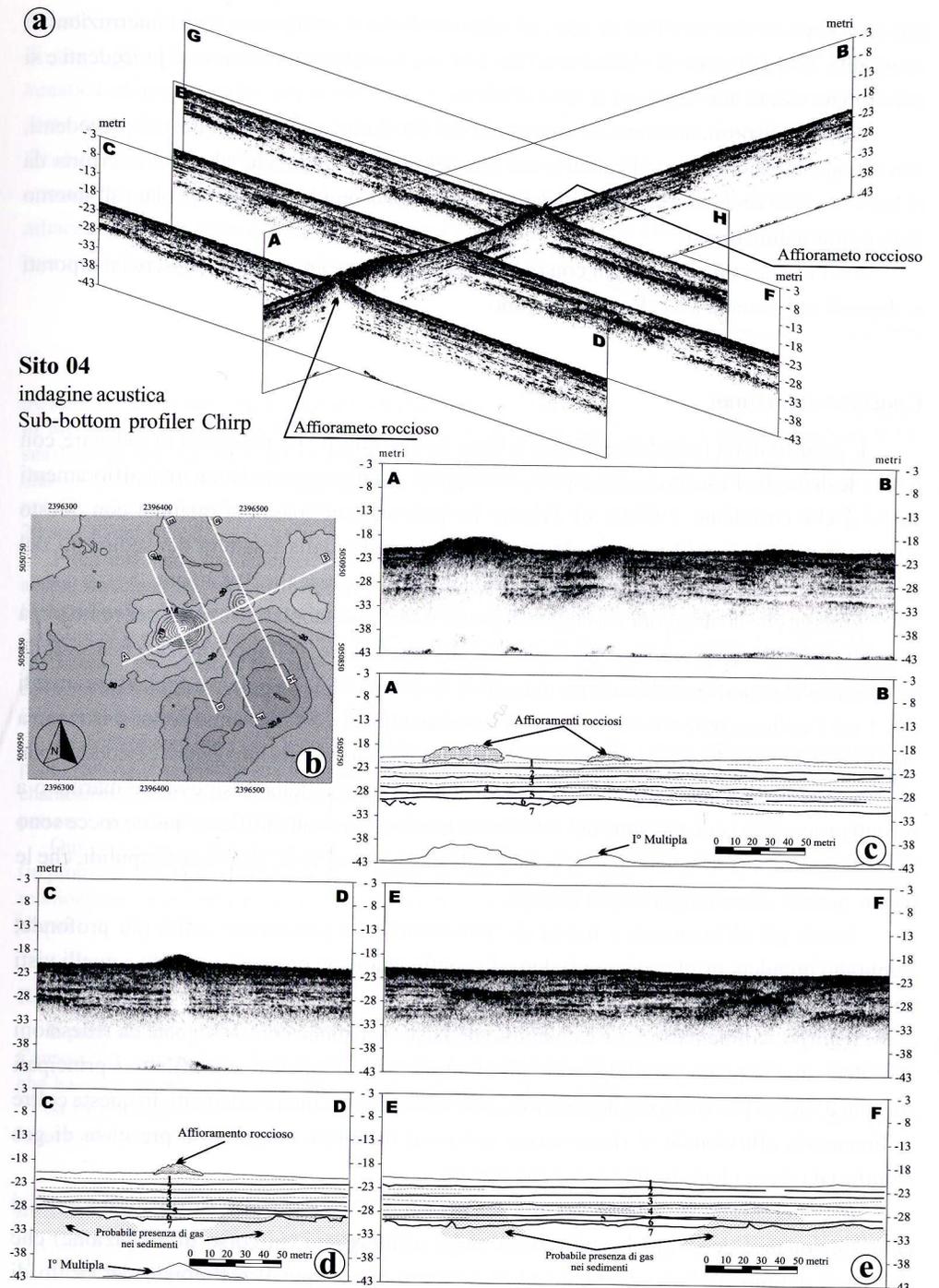
- Acoustic investigation sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) on the Site 03. (a) 3d imaging; (b) Seafloor map (digital echosounder survey); (c) High resolution Chirp sonar profile and the interpretation performed across the rock outcrops (A-B). The succession sedimentary present in the investigated area is characterized by tabular geometry, besides, a diffused presence of gas is noticed in the sediments; (d, e) High resolution seismic lines and the interpretations acquired perpendicular to the direction of rock outcrop maximum development (C-D and E-F). Showing the particular stratigraphic order of the investigated area. Particularly a perfect side continuity is observed, of the principal rock outcrop and the side interruption of the superficial acoustic unity 1 in correspondence of the body rock. Also in this case the presence of gas is noticed in the sediments (acoustic gap in low to the right).

manifesta pareti sub-verticali ed è ricoperto da una patina organogena (Coating reef), interrotta solamente in prossimità del substrato sedimentario basale. Tutta la volta dell'affioramento, ma anche parte dei fianchi, mettono in risalto spaccature profonde, variamente orientate, che permettono di osservare l'andamento della stratificazione quasi sempre piano parallela delle arenarie fini, siltose che definiscono il corpo della roccia. Ai lati della roccia si osserva un incurvamento degli strati verso il basso, determinati probabilmente dalla crolli o rotture delle arenarie a geometria tabulare.

I rilievi acustici (fig. 7 a, b, c, d, e) e in particolare, il transetto A-B (fig. 7 c) eseguito nella direzione di sviluppo dei due litosomi mostra una soluzione di continuità tra i due, sottolineata dall'ottima penetrazione del segnale nella successione sedimentaria intermedia (unità acustiche 1, 2 e 3), ulteriormente confermata dalla perfetta continuità laterale dei maggiori riflettori acustici e delle sequenze da essi definite, visibili nel transetto E-F (fig. 7 e). La geometria massiccia dei litosomi viene messa in risalto anche dalle estese lacune acustiche presenti sotto ad essi, ma ad una certa distanza dalle loro radici che appaiono avere un limitato sviluppo all'interno del primo substrato sedimentario. Ciò è particolarmente evidente nel profilo C-D (fig. 7 d) dove si assiste ad un assottigliamento del lato settentrionale dell'affioramento, al contatto con il fondale marino, che non impedisce la penetrazione del segnale trasmesso e che sottolinea la

Fig. 7 - Indagine acustica sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) sul Sito 04. (a) Rappresentazione 3d; (b) Mappa del fondale marino (prospettiva con ecoscandaglio digitale); (c) Profilo acustico e interpretazione eseguito in corrispondenza dei due affioramenti rocciosi (A-B). Il profilo mette in risalto la tipica forma a panettone di questa tipologia morfologica di affioramento. In particolare mostra una soluzione di continuità tra i due affioramenti rocciosi presenti, sottolineata dall'ottima penetrazione del segnale nella successione sedimentaria intermedia. A differenza dei casi precedentemente analizzati i corpi rocciosi presentano radici più estese all'interno della coltre sedimentaria superficiale; (d, e) Profili acustici e interpretazioni eseguiti perpendicolarmente alla direzione di massimo sviluppo degli affioramenti rocciosi (C-D ed E-F). I due transetti evidenziano molto bene la geometria tabulare degli orizzonti sedimentari presenti nell'area di indagine, interrotti solamente dalle tipiche lacune acustiche in presenza di corpi rocciosi superficiali (C-D). La presenza di riflettori acustici irregolari è essenzialmente determinata da accumuli di gas intrappolato all'interno dei sedimenti.

- Acoustic investigation sub-bottom profiler Chirp (2-7 kHz) on the Site 04. (a) 3d imaging; (b) Seafloor map (digital echosounder survey); (c) Sonar profile and the interpretation performed across the rock outcrops (A-B). The profile shows the typical "panettone-Christmas sweet bread" shape of these rock outcrops. In particularity shows a good continuity between the rock outcrops, underlined by the good penetration of the signal in the intermediary sedimentary succession. Unlike the cases previously analyzed the rocky bodies introduce wider roots inside the superficial sedimentary blanket; (d, e) Sonar profile and the interpretations performed perpendicular to the direction of the rock outcrops maximum development (C-D and E-F). The two profiles underline well the tabular geometry of the sedimentary section, locally interrupted by the acoustic gaps in presence of superficial rocky bodies (C-D). The presence of irregular acoustic reflectors is essentially determined by accumulations of gas inside the sediments.



presenza sotto ad esso di riflettori acustici orizzontali che si sviluppano senza interruzioni di continuità. In questo caso il radicamento dei litosomi è senz'altro superiore ai precedenti e si può stimare essere non superiore a 1,0-1,5 metri.

Il tipo di risposta acustica del sottosuolo del sito è analoga a quella dei siti precedenti, con una penetrazione di ca. 13 metri, una geometria essenzialmente tabulare, interrotta da riflettori acustici irregolari, determinati dalla presenza di accumuli di gas intrappolato all'interno della coltre sedimentaria.

Anche in questo caso, seppur con radici maggiori, i litosomi sembrano essere incorporati ai depositi del sistema TST da cui emergono.

Considerazioni finali

L'utilizzo della metodologia "sub-bottom profile Chirp" ha permesso di indagare con notevole dettaglio l'assetto sedimentario dei depositi su cui poggiano i numerosi affioramenti rocciosi che costellano il Golfo di Trieste. La penetrazione massima ottenuta con questo sistema è stata da 7 a 14 m ca., notevolmente influenzata dalla tessitura dei sedimenti del sottofondo marino. La risoluzione è stata mediamente compresa tra 20 e 30 cm.

Emerge che la maggioranza degli affioramenti rocciosi tabulari (l'ottanta per cento circa di quelli individuati) presentano un limitato o talvolta assente, sviluppo radicale ben visibile all'interno del materasso sabbioso riconducibile al sistema TST. La potenza degli affioramenti (ca. 1 m) li colloca, poi, al tetto dei depositi continentali del LST che come detto, si trovano a 30-40 cm dal fondo. In questa situazione l'ipotesi più plausibile sulla loro genesi è riconducibile o a processi pedogenetici avvenuti nella paleopianura prima della trasgressione marina o a recenti processi di cementazione del sottofondo marino. Una volta litificate queste rocce sono venute a giorno e conseguentemente colonizzate da alghe calcaree, Briozoi e Serpulidi, che le hanno portate alla configurazione attuale.

Anche gli affioramenti a forma di "panettone" che presentano radici più profonde, sembrano prendere origine da questi depositi continentali con processi analoghi a quelli visti per gli affioramenti tabulari.

Il corpo sedimentario LST è costituito da facies acustiche contrassegnate da riflessioni prevalentemente piano parallele, variabili in ampiezza e frequenza, con riflettori principali spazati d'alcuni metri e livelli decimetrici, indicanti superfici meno riflettenti. In questa coltre sedimentaria alluvionale si riconoscono orizzonti torbosi e una diffusa presenza di gas manifestata da evidenti lacune acustiche tipiche.

A conclusione di questo lavoro e senza nulla togliere ai risultati delle analisi composizionali e geochimiche sulle rocce degli affioramenti (in corso di esecuzione) che dovranno definire la loro origine, sembra appurato che seppur il sottofondo del Golfo di

Trieste sia ricco di gas, non appaiono manifeste relazioni di dipendenza diretta tra queste sacche di gas e gli affioramenti soprastanti. A tal proposito va comunque ricordato che l'indagine acustica eseguita non ha permesso di indagare la limitata porzione di substrato sedimentario sottostante agli affioramenti, precludendo così l'eventuale possibilità di evidenziare locali e limitate risalite di gas dai depositi sottostanti. Ipotesi questa che non trova un riscontro se si considera la geometria a notevole sviluppo orizzontale degli accumuli di gas osservata nelle aree adiacenti. Questo fatto dovrebbe escludere l'origine metanogenica di questi particolari geositi marini che necessitano di essere protetti dall'azione di pesca incontrollata.

Manoscritto pervenuto il 1.VIII.2003.

SUMMARY - The sub-bottom profile Chirp methodology has found a good application in the definition of the geometric characteristics of the buried portion of the numerous rock outcrops present in the seafloor of the Trieste Gulf (main objective of this study), but also on the sedimentological characterization of the superficial sediments. The penetration is varying from 7 to 14 metres being notably influenced by the type of investigated sediment, while the resolution has been included between 20 and 30 cm.

From this study has emerged that the investigated rock outcrops reveal a limited, or sometimes absent development radical inside the referable sandy mattress to the system TST (Transgressive Sistem Tract). The thickness of rock outcrops (about 1 m) puts them, to the roof of the continental deposits of the LST. In this situation the most reasonable hypothesis on their genesis is referable or to lithification happened in the ancient lowland before the sea transgression or to recent processes of cementation of the sea foundation. Then, they outcropped and colonization from calcareous algae, Briozoi and Serpulidi, started that has brought them to the actual configuration.

The sedimentary body LST is constituted by acoustic facies marked by parallel reflections predominantly plain, varying in amplitude and frequency, with principal reflectors spaced of some meters and small levels, characterized from less reflecting surfaces. In this alluvial sedimentary blanket, peat horizons and a diffused presence of gas has been recognized, as manifested by evident transparent facies.

Our conclusions, that anyway need the confirmation by the composition and geochemical analyses (in progress), are that even though the foundation of the Trieste Gulf is rich of gas there are no apparent relationships of a direct relationship between these knapsacks of gas and the rock outcrops present above.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato reso possibile dalla disponibilità e fattiva collaborazione del Sig. Stefano Caressa, noto sub gradese. Si deve a lui l'ubicazione dei siti e la loro sommaria descrizione in immersione che hanno permesso poi l'espletamento di indagini più approfondite.

Si ringraziano i colleghi F. Donda per l'aiuto prestato durante la stesura e A. Camerlenghi per la lettura critica del manoscritto (GDL-INTE).

Bibliografia

CARESSA S., GORDINI E., MAROCCO R. & TUNIS G., 2001- Caratteri geomorfologici degli affioramenti rocciosi del Golfo di Trieste (Adriatico Settentrionale). *Gortania-Atti Mus. Fr. St. Nat.*, 23: 5-29.

- CONTI A., STEFANON A. & ZUPPI G.M., 2002 - Gas seeps and rock formation in the northern Adriatic Sea. *Cont. Shelf Res.*, 22: 2333-2344.
- GALASSI P. & MAROCCO R., 1999 - Relative sea-level rise, sediment accumulation and subsidence in the Caorle Lagoon (northern Adriatic Sea, Italy) during the Holocene. *Il Quaternario*, 12 (2): 249-256.
- GORDINI E., MAROCCO R. & VIO E., 2002 - Stratigrafia del sottosuolo della "Trezzina Grande" (Golfo di Trieste, Adriatico Settentrionale). *Gortania-Atti Mus. Fr. St. Nat.*, 24: 31-63.
- GORDINI E., CARESSA S. & MAROCCO R., 2003 - Nuova carta morfo-sedimentologica del Golfo di Trieste (da Punta Tagliamento alla foce dell'Isonzo). *Gortania-Atti Mus. Fr. St. Nat.*, 25: 5-29.
- 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., 1991 - Evoluzione tardopleistocenica-olocenica del delta del F. Tagliamento e delle lagune di Marano e Grado, (Golfo di Trieste). *Il Quaternario*, 4 (1b): 223-232.
- MAROCCO R., MELIS R., MONTENEGRO M.E., PUGLIESE N., VIO E. & LENARDON G., 1996 - Holocene evolution of the Carole barrier-lagoon (northern Adriatic Sea, Italy). *Riv. Ital. Pal. Strat.*, 102 (3): 385-396.
- STEFANON A., 1980 - The acoustic response of some gas-charged sediments in the Northern Adriatic Sea. *Bottom Interacting ocean Acoustics Conference, SAACLANT ASW Centre, La Spezia*: 73-84.
- STEFANON A., 1984 - Sedimentologia del mare Adriatico: Rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica. *Boll. Ocean. Teor. Appl.*, 2 (4): 281-324.
- STEFANON A. & ZUPPI G.M., 2000 - Recent carbonate rock formation in the northern Adriatic Sea. *Hydrogèologie*, 4: 3-10.

Indirizzi degli Autori - Authors' addresses:

- dott. Riccardo RAMELLA
 - dott. Emiliano GORDINI
 - dott. Roberto ROMEO
 - dott. Michele DEPONTE
- Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale -OGS-
Borgo Grotta Gigante 42/c, I-34010 SGONICO (TS)
www.ogs.trieste.it
- prof. Ruggero MAROCCO
- Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine
dell'Università degli Studi
Via E. Weiss 2, I-34100 TRIESTE
E-mail: marocco@univ.trieste.it